# Beekherstel













Een onderzoek naar de hydraulische en morfologische effecten van maatregelen ter bevordering van de natuurlijke situatie van de Saasvelderbeken.


## HERINRICHTING Saasveld - Gammelke







Titel: Beekherstel. Een onderzoek naar de hydraulische en morfologische effecten van

maatregelen ter bevordering van de natuurlijke situatie van de

Saasvelderbeken.

Status: Definitieve versie

Datum: Maart 2009

Auteur: R.C. Duijvestijn

In opdracht van: Dienst Landelijk Gebied, Regio Oost (DLG-Oost), Zwolle

Royal Haskoning, afdeling Water & Ecologie, Enschede

Universiteit Twente, Enschede

Faculteit Construerende Technische Wetenschappen

Opleiding Civiele Techniek

Vakgroep Waterbeheer (Water Engineering & Management)

Afstudeercommissie: Dr. Ir. J.S. Ribberink (Universiteit Twente)

Dr. Ir. C.M. Dohmen-Janssen (Universiteit Twente)

Drs. H.W. Grobbe (Royal Haskoning)

Drs. C. Oosterhoff (Dienst Landelijk Gebied)

Copyright Maart 2009


### Samenvatting

Beekherstel is een relatief nieuw onderdeel binnen de waterbeheerwereld. Er zijn nog veel lacunes en effecten van maatregelen en vegetatie zijn lang niet altijd duidelijk. Dit onderzoek tracht meer inzicht te geven over maatregelen die genomen kunnen worden om beekherstel uit te voeren. Tijdens dit afstudeeronderzoek, welke is uitgevoerd bij Royal Haskoning, zijn de hydraulische (waterstanden) en morfologische (bodemveranderingen) effecten van beekherstel onderzocht. Hiervoor zijn twee maatregelen met behulp van het modelleerprogramma SOBEK geanalyseerd.

#### **Inleiding**

Decennia lang zijn rivieren en beken door Nederlandse waterbouwers gekanaliseerd en gestuwd om het water onder controle te houden. Een teveel aan water moest zo snel mogelijk afgevoerd worden, wat resulteerde in kanalisatie en rechttrekking van rivieren en beken. Een tekort aan water noodzaakte de opvang en retentie ervan met behulp van stuwen. In de huidige watersystemen kunnen de steeds groter wordende hoeveelheden water echter niet altijd snel genoeg worden afgevoerd met zo nu en dan een overstroming als gevolg. Daar komt bij dat men verwacht dat door klimaatveranderingen de komende decennia de hoeveelheid af te voeren water steeds heftiger pieken en dalen zal vertonen. Enerzijds gaat het toenemen als gevolg van meer langdurige en intensieve regenbuien. Daarnaast verwacht men dat de zeespiegel zal stijgen, waardoor het water minder snel wordt afgevoerd. Anderzijds is de verwachting dat er tijdens droge periodes een steeds groter tekort aan water is. Een bijkomend gevolg van het stuwen en kanaliseren van rivieren is dat de flora en fauna van waterlopen dusdanig is veranderd dat van een goed ecologisch systeem, zoals dat wordt benoemd in de Europese Kaderrichtlijn Water, vaak niet eens meer sprake is. Vissen kunnen de rivieren en beken niet opzwemmen vanwege te grote peilverschillen (door de aanwezigheid van stuwen) en door het nagenoeg stilstaande water is er weinig variatie in de stroomsnelheid en vegetatie.

Door bovengenoemde problemen is het idee ontstaan om juist in de bovenlopen, daar waar beken beginnen, te beginnen met het herstellen van de watersystemen. Beken zijn immers kleinschaliger en eenvoudiger te bedwingen. Hierdoor zijn gevolgen bij droogte- of natschade en dus ook de risico's een stuk kleiner. Daarnaast sluit dit goed aan bij de filosofie van de commissie waterbeheer  $21^{\rm e}$  eeuw (WB21) om het water vertraagd af te voeren.

#### **Probleem**

De praktijkcase betreft hier twee beken nabij Oldenzaal: de Lemselerbeek en de Saasvelderbeek. Deze beken liggen in een gebied dat door Dienst Landelijk Gebied opnieuw wordt ingericht. Momenteel zijn deze beken kaarsrecht, volledig gestuwd en ingesleten in de omgeving. Doordat de beken op de stuwwal van Oldenzaal beginnen is het verhang echter groot. In combinatie met het fijne dekzand zorgt dit voor het wegzakken van de beek. Het waterschap Regge & Dinkel, dat het beheer van de beken in handen krijgt, heeft als doel om de stuwen te verwijderen en de bodem op te hogen (de primaire maatregelen) zodat de beek natuurlijker wordt en de waterstand verbetert. De uitdaging is om de beken zo natuurlijk mogelijk te maken, maar wel beheersbaar. Feitelijk is dit een contradictie. Wanneer een beek namelijk zo natuurlijk mogelijk gemaakt wordt, moet het water vrij stromen. Dit betekent niet alleen alle stuwen eruit, maar ook verder geen (technische) ingrepen. Dit is echter een nogal drastisch uitgangspunt en het zal tot gevolg hebben dat de stroomsnelheid flink omhoog gaat in het bovenstroomse deel van de beken. In het benedenstroomse deel zal daarnaast de snelheid verminderen en het zand dat bovenstrooms geërodeerd is, zal hier neerslaan. Hierdoor ontstaat wederom uitslijting van de beek met bovenstrooms verdroging en benedenstrooms vernatting tot gevolg. Dit zijn problemen die nu ook aanwezig zijn en moeten juist worden tegengegaan. Aanvullende maatregelen zijn daardoor nodig.

#### Maatregelen

Rivieren hebben de natuurlijke neiging om een bepaald evenwicht te vinden. Dit resulteert in de vlakkere delen (zoals Nederland) in een meanderend patroon. De Saasvelderbeken zijn in het verleden aangelegd door de mens en hebben van nature nooit gemeanderd. Oude meanderpatronen zijn daardoor in het veld niet te vinden. Een van de maatregelen is

onderzoeken wat het effect is van het laten meanderen van de beken. Dit is gedaan op basis van empirische relaties van natuurlijke meanderpatronen. De andere maatregel is het aanbrengen van keidammen. Hiermee wordt de bodem (en daardoor ook de waterstand) vastgelegd. Dit is zijn beide enigszins technische ingrepen (doordat wordt ingegrepen in het systeem en de beek niet de volledige vrijheid krijgt), maar met natuurlijke doeleinden (het water kan vrij stromen). In beide gevallen is het verbeteren en vasthouden van de waterstand en het verbeteren van de natuurlijke situatie (onder andere door variatie in de stroomsnelheid) het doel.

#### **Effecten**

In totaal zijn drie situaties doorgerekend:

- 1. Nulsituatie: hierbij zijn alleen de primaire maatregelen van het waterschap doorgevoerd (bodem verhogen en stuwen verwijderen);
- 2. Meanderen: hierbij is de lengte van de beek in de nulsituatie verlengd;
- 3. Keidammen: hierbij zijn dammen in de nulsituatie ingevoerd.

#### Nulsituatie

De situaties zijn 50 jaar doorgerekend. In deze tijd gaat de beek op zoek naar een evenwichtssituatie. De morfologische processen zijn een gevolg van deze continue zoektocht van een waterloop naar evenwicht. Dit evenwicht ligt lager dan de beekbodem in de huidige en in de nieuwe situatie. Hierdoor is een vraag en aanbod van sediment. De vraag naar sediment wordt mede bepaald door de stroomsnelheid en de ruwheid van de bodem. Aangezien de bodem bestaat uit (zeer) fijn materiaal is een lage stroomsnelheid voldoende om het sediment te transporteren. Dit resulteert in de steile bovenlopen in erosie. In de Saasvelderbeek treedt miden benedenstrooms sedimentatie op. Het aanbod van sediment is groter dan de vraag. Daardoor wordt het sediment dat in de bovenlopen is geërodeerd afgezet.

#### Meanderen

De hydraulische effecten van de maatregel meanderen tonen aan dat de waterstand iets hoger komt te liggen dan zonder gebruik van deze maatregel. De stroomsnelheid zal hierbij dalen ten opzichte van de nulsituatie. De morfologische effecten zijn goed. De bodem zal in het bovenstroomse deel nog wel flink eroderen, maar dit is al veel minder. Dit is zowel in verticale (diepte insnijding) als in horizontale (lengte insnijding) richting positiever dan in de nulsituatie het geval is. De erosie in de bovenloop is fors afgenomen. In de Lemselerbeek is deze twee tot drie keer zo klein geworden. De noordelijke tak van de Saasvelderbeek heeft slechts een tiende deel van de oorspronkelijke erosie tot gevolg en in de zuidelijke tak van de Saasvelderbeek is de erosie zelfs tot stoppen gebracht. Het midden- en benedenstroomse deel zijn door deze maatregel qua bodempeil stabiel, er vindt geen sedimentatie meer plaats. Oplossingen voor het bovenstroomse deel zullen nog gezocht moeten worden. Hierbij kan gekeken worden naar maatregelen als het implementeren van keidammen of het aanpassen van het dwarsprofiel. Voor het natuurlijk maken van beken kan meanderen als goede oplossing dienen om insnijding tegen te gaan. Hierbij dient wel gekeken te worden naar het complete beeksysteem. De steile bovenlopen hebben dan wel aanvullende maatregelen nodig. Daarnaast kost de maatregel meanderen extra ruimte, die wel beschikbaar moet zijn.

#### Keidammen

Wat het effect van de keidammen betreft zorgt elke dam voor een bodemval. Dat resulteert in een trapjespatroon van de waterstand. De dammen zorgen ervoor dat de bodem en daardoor de waterstand wordt vastgelegd. De afwijking ten opzichte van het ontwerpbodempeil is, vergeleken met de nulsituatie, vrij klein. De dammen in dit onderzoek zijn niet allemaal even goed gemodelleerd, getuige de verschillen die er optreden ten opzichte van het ontwerp. Daarnaast de variatie in bodempeil vóór en na een dam soms vrij groot. Dit wordt veroorzaakt door de onderlinge damafstand. Deze is bepaald aan de hand van het peilverschil en het verhang. Omdat de afvoeren in de beektakken bovenstrooms kleiner zijn dan benedenstrooms zijn de resultaten voor het ene beekdeel beter dan voor een andere. De verschillen na 50 jaar met het ontwerppeil zijn klein vergeleken met de nulsituatie, maar blijken te groot om binnen de randvoorwaarden te vallen. Betere afstemming van de damafstand en –hoogte moet het mogelijk maken om de bodem (en daardoor de waterstand) beter vast te houden. Over elke keidam is een verval in waterpeil. Hierdoor is er een waterstandsverschil tussen voor en na de dam. Dit mag niet te groot zijn in

verband met de vispasseerbaarheid. De bodem blijft overwegend goed op zijn oorspronkelijke peil liggen (en de waterstand daardoor ook). Als dit ontwerpbodempeil zó is aangelegd dat de waterstand in initiële situatie al op het gewenste peil ligt, dan zal dit op de lange termijn ook in de buurt van deze gewenste waterstand blijven.

#### Combinatie

De resultaten van de onderzochte maatregelen zijn gebruikt om deze zo goed mogelijk binnen de toekomstige landgebruikfuncties in te passen. De resultaten tonen aan dat de hoofdvariant nog niet optimaal is ontwikkeld. In het eerste, agrarische deel zijn keidammen geplaatst. Daarna komt in het natuurgedeelte ruimte voor meandering. De bodem blijft goed liggen in het eerste deel, de dammen doen goed hun werk. Op de grens van het deel met dammen en het meanderende deel ontstaat echter een erosiekuil. De vraag naar sediment is nog aanwezig en feitelijk alleen maar verplaatst. De gewenste waterstand wordt hierdoor niet gehaald en de stroomsnelheid valt niet in zijn geheel binnen de grenzen van de randvoorwaarde. Het inpassen van deze maatregelen in de casus van de Saasvelderbeken binnen de gestelde randvoorwaarden is daardoor niet helemaal gelukt. De resultaten van dit onderzoek zijn echter hoopgevend. Het heeft er alle schijn van dat de beken met de maatregelen meanderen en keidammen ontworpen kunnen worden om binnen de grenzen van de gegeven randvoorwaarden te vallen.

#### Conclusie

Naar aanleiding van de resultaten kan gezegd worden dat de maatregelen die het waterschap voor ogen heeft, te weten het verwijderen van de stuwen en het verhogen van de bodem, niet afdoende zijn. De bodem- en waterstanden na 50 jaar zijn in de bovenlopen flink gedaald en benedenstrooms is de bodem omhoog gekomen. Hierdoor treedt verdroging op van het bovenstroomse deel en vernatting benedenstrooms. Dit is nu ook al het geval en moet juist met behulp van de landinrichting juist teniet worden gedaan.

Er kan gesteld worden dat het doel, om de hydraulische en morfologische effecten van maatregelen van beekherstel te onderzoeken, gehaald is. Er is meer bekend over de effectiviteit van de onderzochte maatregelen. De resultaten van dit onderzoek kunnen gebruikt worden bij beekherstel in Nederland en daarbuiten. Bij implementatie van maatregelen is het echter zaak om een goed monitoringsprogramma op te stellen, zodat de berekende effecten gecontroleerd en gecalibreerd kunnen worden. De resultaten daarvan kunnen dan eventueel gebruikt worden om herstel bij grotere waterwegen plaats te laten vinden.



#### Voorwoord

Na maanden in de wereld van beekherstel te hebben geleefd is het tijd om terug te kijken en het onderzoek af te sluiten. Ik kon mij in het begin weinig voorstellen van beken in Twente en het herstel dat daar eventueel voor nodig was. Het leek me ook niet leuk om zulke kleine waterloopjes te onderzoeken. Ik heb het echter een mooie ervaring gevonden en kijk met een goed gevoel terug op mijn afstudeeronderzoek.

Ik wil bij deze enkele mensen bedanken die mij hebben geholpen dit rapport te maken zoals het is. Allereerst enkele mensen van waterschappen. Ik heb veel nuttige tips en reacties gehad op mijn vragen via mail, maar bovenal wil ik graag Romeo Neuteboom Spijker (Waterschap Veluwe), Jan Willem van den Barg (Waterschap Velt & Vecht), Rob Gubbels (Waterschap Roer & Overmaas) en Daniël Coenen (Waterschap Peel & Maasvallei) hartelijk danken voor hun openheid en interesse bij de interviews. Qua modellering zou ik er ook niet in mijn eentje uitgekomen zijn. Het omzetten van het model in SOBEK 2.09 naar SOBEK-RE heeft Jaap Zeekant voor mij gedaan, dank daarvoor. René Buijsrogge heeft mij vervolgens geholpen met het werkend krijgen van het model, zodat er eindelijk resultaten kwamen. Bij een hoop overige vragen die ik had kon ik terecht bij mijn medestudeerder. Ward Klop, je was een mooie sparringspartner.

Tips en kritiek op het vlak van schrijven en hoe het onderzoek uit te voeren heb ik van Han Grobbe en Jan Ribberink mogen ontvangen, maar bovenal heeft Marjolein Dohmen-Janssen mij hier goed mee geholpen. Ik heb van jullie allen veel nuttige tips gehad die mij erg trots maken op mijn onderzoek en het verslag.

Verder wil ik mijn ouders en vriendin nog heel hartelijk danken. Mam, pap, dankzij jullie heb ik niet alleen de hersenen om deze studie en dit onderzoek te kunnen doen. Jullie hebben me ook geleerd wat doorzettingsvermogen en discipline is. Mama, heel erg bedankt voor je steun, je bent er altijd voor me. Er is veel gebeurd sinds het moment dat ik jullie verliet, maar ik hoop dat ik vooral nog veel mooie momenten met je mee mag maken. Papa, ik hoop dat ik je levensinstelling op de goede manier ter harte heb genomen en dat je kunt zien dat ik geniet van mijn leven en dat ik me realiseer hoe goed we het hebben. Mirna, ik heb heel veel aan je gehad tijdens mijn afstuderen en ik dank je daarvoor. Het geduld en de liefde die je opbracht zeggen genoeg.

Mijn studentenleven eindigt hier bij dit verslag. Ik heb 8½ jaar genoten van de mogelijkheden die mij geboden werden. Het fijne studeerklimaat in Nederland, de uithoek Enschede, maar bovenal mijn vrienden die ik hier heb opgedaan. Iedereen van mijn jaarclub, bestuur, dispuut, huis en vereniging heeft mij een hoop geleerd en ik kan nu met een gerust hart en een volle zak bagage de grote boze arbeidswereld instappen.

Ronald Duijvestijn, maart 2009

## Inhoudsopgave

SAMENVA	TTING		]
voorwo	ORD		ν
HOOFDS	TUK 1.	INLEIDING	1
§ 1.1	AANLE	IDING ONDERZOEK	· 1 ·
§ 1.2		EEM- EN DOELSTELLING	
§ 1.3	Onder	ZOEKSVRAAG	
§ 1.4		G	
§ 1.5	AANPA	K & LEESWIJZER	
HOOFDS	TUK 2.	THEORETISCH KADER	4 -
§ 2.1		IE	
§ 2.2		RIE	
§ 2.3		GE TOESTAND VAN DE BEKEN	
§ 2.4		NSTE SITUATIE	
§ 2.5		MATIE OVER BEEKHERSTELANTE BELEIDSINSTRUMENTEN	
§ 2.6 § 2.7		ANTE BELEIDSINSTRUMENTEN OORWAARDEN	
HOOFDS	TUK 3.	MAATREGELEN	17 ·
		OTEN VAN DE RUWHEID	17
§ 3.1 § 3.2		EINEN WATERDIEPTE	
§ 3.2 § 3.3		EINEN VERHANG	
§ 3.4		DERZOEKEN MAATREGELEN	
HOOFDS	TUK 4.	MODELBESCHRIJVING	24 -
§ 4.1	Keuze	voor SOBEK	
§ 4.2	Modei	LERING IN SOBEK	24 -
§ 4.3		LERING NULSITUATIE	
§ 4.4		LERING MEANDEREN	
§ 4.5		LERING KEIDAMMEN	
§ 4.6		LIGHEIDSANALYSE	
§ 4.7	_	VATTING	
HOOFDS		EFFECT OP HYDRAULICA	
§ 5.1		TUATIE	
§ 5.2		REGEL MEANDEREN	
§ 5.3		REGEL KEIDAMMEN	
HOOFDS		EFFECT OP MORFOLOGIE	
§ 6.1		TUATIE	
§ 6.2		TUATIE NADER BEKEKEN	
§ 6.3		REGEL MEANDEREN	
§ 6.4		REGEL KEIDAMMEN	
HOOFDS		RESULTATEN GEVOELIGHEIDSANALYSE	
§ 7.1		r van Manning-coëfficiënt	
§ 7.2		T VAN KORRELGROOTTE	
§ 7.3		TIJDSTIP 2Q-AFVOER	
§ 7.4		「VAN $^1\!\!4Q$ -AFVOER	
§ 7.5			
HOOFDS		RESULTATEN HOOFDVARIANT	
§ 8.1		TATEN HOOFDVARIANT	
§ 8.2	ALTER	NATIEVE OPLOSSINGEN	63 -

HOOFDSTUK 9.	DISCUSSIE	<b>65</b> ·
HOOFDSTUK 10.	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	67
REFERENTIES		70
BEGRIPPENLIJST-		73
APPENDICES		74 -





### Hoofdstuk 1. Inleiding

In dit hoofdstuk staat de aanleiding voor het onderzoek. Vervolgens wordt het probleem geschetst. Aan de hand hiervan worden het onderzoeksdoel en de onderzoeksvraag gepresenteerd. Dit hoofdstuk eindigt met een leeswijzer voor dit rapport.

#### § 1.1 Aanleiding onderzoek

Decennia lang zijn rivieren en beken door Nederlandse waterbouwers gekanaliseerd en gestuwd om het water onder controle te houden. Een teveel aan water moest zo snel mogelijk afgevoerd worden, wat resulteerde in kanalisatie en rechttrekking van rivieren en beken. Een tekort aan water noodzaakte de opvang en retentie ervan met behulp van stuwen. In de huidige watersystemen kunnen de steeds groter wordende hoeveelheden water echter niet altijd snel genoeg worden afgevoerd met zo nu en dan een overstroming als gevolg. Daar komt bij dat men verwacht dat door klimaatveranderingen de komende decennia de hoeveelheid af te voeren water steeds heftiger pieken en dalen zal vertonen. De hoeveelheid water gaat toenemen als gevolg van meer langdurige en intensieve regenbuien. Hier bovenop komt de verwachting dat de zeespiegel zal stijgen, waardoor het water minder snel kan worden afgevoerd. De hoeveelheid water zal tijdens droge periodes nog meer afnemen, waardoor de tekorten toenemen. De Commissie Waterbeheer 21e eeuw (WB21) is van mening dat het zaak is om het water in de Nederlandse rivieren en beken zo veel mogelijk bovenstrooms vast te houden en vervolgens traag af te voeren. De filosofie wordt als volgt uitgedrukt: 'vasthouden, bergen, afvoeren'. Dit resulteert erin dat tijdens hevige regenval vertraging van de afwatering plaatsvindt en in tijden van droogte er meer water voorradig is. Een bijkomend gevolg van het stuwen en kanaliseren van rivieren is dat de flora en fauna van waterlopen dusdanig is veranderd dat van een goed ecologisch systeem, zoals dat wordt benoemd in de Europese Kaderrichtlijn Water, vaak niet eens meer sprake is. Ingrepen zijn echter niet zonder risico. Bij een verkeerde inschatting van de risico's kunnen namelijk in zeer korte tijd grote stukken land overstromen met aanzienlijke schade tot gevolg. Daarnaast kan droogteschade in de zomer ook een grote kostenpost zijn.

Door bovengenoemde problemen en de filosofie van WB21 is het idee ontstaan om juist in de bovenlopen, daar waar beken ontstaan, te starten met het herstellen van de watersystemen. Beken zijn immers kleinschaliger en daardoor eenvoudiger te bedwingen. Doordat de gevolgen kleiner zijn bij droogte- of natschade zijn de risico's ook een stuk kleiner. Royal Haskoning is betrokken bij dit project, omdat het deel uit wil maken van deze nieuwe aanpak. Onder leiding van de Dienst Landelijk Gebied wordt het gebied Saasveld-Gammelke opnieuw ingericht. Grote delen worden herverkaveld waardoor meer ruimte beschikbaar komt voor natuurdoeleinden. De huidige natuurgebieden zijn versnipperd en deze delen moeten beter aansluiten bij elkaar. Landbouwgebieden moeten beter aansluiten bij de agrarische bedrijven. Om het gebied integraal aan te pakken zullen ook de waterlopen in het gebied veranderd worden. Er lopen vier beken door het gebied (de Lemselerbeek, de Saasvelderbeek, de Gammelkerbeek en de Deurningerbeek). Deze moeten alle vier aangepast worden. Door de onnatuurlijke staat van de beken is verdroging van de landbouw opgetreden. Voornamelijk in de hogere gedeelten. Daarnaast is de ecologische waarde van de beken lager dan wenselijk. Over het algemeen zijn de beken in de huidige situatie namelijk rechte sloten waar vissen vanwege de huidige stuwen nauwelijks tegen op en af kunnen zwemmen en zijn er geen paaimogelijkheden voor hen. De vegetatie in en rondom de beken is ook erg vereenvoudigd. Het heeft weinig ecologische waarde.

De beken die in dit onderzoek centraal staan zijn de Lemseler- en Saasvelderbeek. Deze komen net na Saasveld samen in de Spikkersbeek. Aangezien de beken onder het beheer van het waterschap vallen wordt ook die partij bij dit project betrokken. Gezamenlijk is er de doelstelling om de huidige beken te veranderen in natuurlijk afstromende beken. In eerste instantie komt dat neer op het verwijderen van de vele stuwen en het ophogen van de bodem. Dit zijn de primaire maatregelen die het waterschap wil treffen. Het gebrek aan stuwen zal naar verwachting echter een flinke stroomsnelheid teweeg brengen en dus moeten aanvullende maatregelen getroffen worden. Het doel van de primaire maatregelen is de waterstand naar een gewenst niveau te brengen. De gewenste waterstand is gekoppeld aan de eisen voor het landgebruik (stad, natuur of landbouw) en vormt een harde eis. Vervolgens zijn aanvullende maatregelen nodig die de bodem- en waterpeilen moeten vastleggen. Die moeten ertoe bijdragen dat de nieuwe situatie duurzaam is en een natuurlijk uiterlijk krijgt. Daarnaast dienen deze maatregelen een duurzaam



karakter te hebben, daar de ambitie is om de natuur zoveel mogelijk haar gang te laten gaan en beheer en onderhoud minimaal uit te voeren.

#### § 1.2 Probleem- en doelstelling

De opdracht waarmee DLG naar Royal Haskoning is gegaan, is de vraag hoe de beken zo natuurlijk mogelijk gemaakt kunnen worden, waarbij zij beheersbaar blijven. Feitelijk is dit een contradictie. Wanneer een beek zo natuurlijk mogelijk gemaakt wordt, moet het water vrij stromen. Dit betekent niet alleen alle stuwen eruit, maar ook verder geen (technische) ingrepen. Dit is echter een nogal drastisch uitgangspunt, zeker bij een beek met een steil verhang. Naar verwachting zal dit tot gevolg hebben dat de stroomsnelheid flink omhoog gaat in het bovenstroomse deel van de beken, waardoor erosie plaatsvindt. De gevolgen van deze primaire maatregelen voor de bodempeilen en waterstanden moet daarom worden onderzocht. Het kan grote gevolgen hebben voor de omringende landbouwgebieden. Daarnaast is deze vrijheid voor de terrestische natuur (natuur gebonden aan het landsysteem) vaak niet voordelig omdat het niet graag (regelmatig) onder water staat. De aquatische natuur (natuur gebonden aan het watersysteem) zal naar verwachting wel profiteren. Een ander probleem bij beek- en rivierherstel is dat over dit relatief nieuwe onderwerp weinig literatuur bestaat over de effecten op de bodem- en waterpeilen van maatregelen om beekherstel te bereiken. De mate van effectiviteit van maatregelen is van belang voor het al dan niet uitvoeren van projecten en het verkrijgen van ruimte hiervoor.

Uit bovenstaande probleemstelling is door Royal Haskoning het volgende onderzoeksdoel geformuleerd: het doel is om meer inzicht te krijgen in de effecten voor de bodempeilen en de waterstanden van de maatregelen voor beekherstel. Randvoorwaarde bij het zoeken naar oplossingen is dat dit duurzame oplossingen worden die bijdragen aan het natuurlijke uiterlijk van de beek en na aanleg weinig onderhoud vergen.

#### § 1.3 Onderzoeksvraag

De primaire maatregelen zijn de maatregelen die het waterschap Regge & Dinkel wil nemen. Deze zijn het verwijderen van de stuwen en het op peil brengen van de waterstanden conform de nieuwe waterhuishouding door middel van bodemverhoging. De onderzoeksvraag die in dit onderzoeksrapport centraal staat is als volgt:

Wat zijn hydraulische en morfologische effecten van de primaire maatregelen die getroffen gaan worden en is het van belang dat er aanvullende maatregelen geïmplementeerd worden? Zo ja, wat voor maatregelen zijn dit en wat zijn de hydraulische en morfologische effecten daarvan?

Vragen die het beantwoorden van de onderzoeksvraag vergemakkelijken zijn de volgende:

- Welke maatregelen kunnen getroffen worden om de effecten van de primaire maatregelen te verminderen?
- Wat zijn potentieel kansrijke aanvullende maatregelen om te implementeren in het inrichtingsgebied en wat zijn de hydraulische en morfologische effecten van de deze onderzochte maatregelen?
- Kan het bekensysteem van de Lemseler- en Saasvelderbeek worden ingericht met behulp van de onderzochte aanvullende maatregelen en hoe kan dat op de beste manier?

#### § 1.4 Belang

Het voornaamste belang van dit onderzoeksrapport is voor Royal Haskoning het leveren van toegevoegde waarde voor beekherstel in het algemeen en de Saasvelderbeken in het bijzonder. De gevolgen voor de bodem- en waterpeilen op lange termijn worden beter bekeken. Welke maatregelen hebben wat voor effect en waar is extra aandacht of onderzoek voor nodig. De risico's van beekherstel kunnen hierdoor beter geschat worden. De resultaten van dit onderzoek kunnen gebruikt worden door waterschappen en afdelingen van DLG en kunnen daardoor helpen in het nemen van beslissingen van de te nemen maatregelen en de te verwachten gevolgen die beekherstel met zich meebrengt.



#### § 1.5 Aanpak & leeswijzer

Allereerst zal in Hoofdstuk 2 een analyse gepresenteerd worden van de locatie en de huidige hydraulische en morfologische karakteristieken van de beken. Daarnaast worden bekende informatie en relevante beleidsdocumenten hier ook behandeld. Vervolgens zal in Hoofdstuk 3 een lijst met mogelijke maatregelen worden samengesteld. Aan de hand hiervan vervolgens de te onderzoeken maatregelen gekozen. De randvoorwaarden die van belang zijn voor dit onderzoek worden hier ook besproken. In Hoofdstuk 4 worden vervolgens het gebruikte modelleerprogramma en de bijbehorende theorie gepresenteerd die gebruikt worden in het onderzoek. In dit hoofdstuk is de beschrijving van het model en de schematisatie van de beken te vinden. In dit hoofdstuk staat ook het model dat het waterschap heeft geleverd en hoe dat is gebruikt beschreven. In Hoofdstuk 5 worden de resultaten van het hydraulische onderzoeksgedeelte gepresenteerd. Dit is het onderzoeksgedeelte naar het waterstanden van de primaire en aanvullenden maatregelen, vlak na aanleg. Na bestudering van de korte termijneffecten wordt in Hoofdstuk 6 gekeken naar de lange termijneffecten. Hier wordt gepresenteerd wat voor effect de maatregelen hebben op de morfologie. In Hoofdstuk 7 worden enkele invoerparameters nader bekeken met behulp van een gevoeligheidsanalyse. Hiermee kan antwoord gegeven worden op de vraag welke parameters het meest van invloed zijn op de resultaten. Dan volgt in Hoofdstuk 8 een inpassing van de maatregelen binnen de randvoorwaarden van het inrichtingsgebied. Met de kennis die er nu is wordt er een ontwerp gemaakt voor de Saasvelderbeken. Hierna wordt in Hoofdstuk 9 gediscussieerd over alternatieve oplossingen en de betrouwbaarheid van de resultaten. Vervolgens worden de conclusies en aanbevelingen in Hoofdstuk 10 gepresenteerd.

Achter in dit rapport een begrippenlijst opgenomen. Als in dit rapport 'het waterschap' vermeld staat, wordt hiermee het waterschap Regge & Dinkel bedoeld, tenzij anders aangegeven. Waterschap Regge & Dinkel is het waterschap dat uiteindelijk het beheer over de beken krijgt. Verder wordt in dit rapport 'Landinrichtingscommissie' en 'Uitvoeringscommissie' Saasveld-Gammelke door elkaar gebruikt. Dit komt omdat het eerste document voor de herinrichting (uit 1998) onder de naam van de Landinrichtingscommissie Saasveld-Gammelke is uitgebracht. De wijziging hierop uit 2008 is onder de naam van de Uitvoeringscommissie Saasveld-Gammelke uitgebracht. Het betreft hier echter dezelfde instantie en beide zijn ondersteund door Dienst Landelijk Gebied Oost. Bij verwijzingen naar de betreffende documenten wordt het onderscheid wel aangehouden.

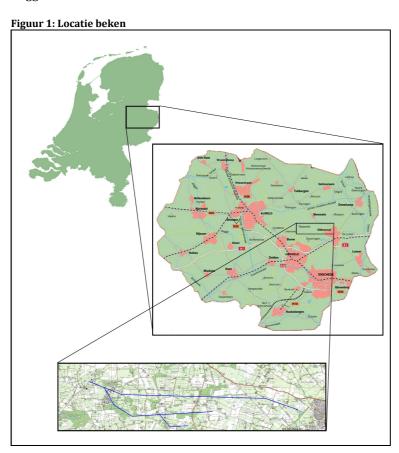


#### Hoofdstuk 2. Theoretisch kader

In dit hoofdstuk wordt allereerst het gebied waar de besproken beken doorheen stromen beschreven. Daarna volgt een overzicht van bekende informatie over beekherstel en het beleid dat betrekking heeft op beekherstel. Vervolgens wordt de huidige situatie gepresenteerd. Daarbij wordt vanaf beleidsniveau ingezoomd naar fysische eigenschappen. Daarna wordt de gewenste situatie beschreven aan de hand van (beleids)documenten die zijn opgesteld voor de herinrichting van het gebied. Dit wordt begeleid door streefbeelden. Hierna worden ook de randvoorwaarden die betrekking hebben op dit onderzoek gepresenteerd. Daarna volgt een lijst met aanvullende maatregelen die getroffen kunnen worden om de gewenste situatie te behalen.

#### § 2.1 Locatie

De beken die behandeld worden in dit onderzoek liggen in het oosten van Overijssel, in Twente. In dit gebied tussen Oldenzaal, Hengelo, Borne en Saasveld ligt het nieuw in te richten gebied: Saasveld-Gammelke. Twee van de vier beken in dit gebied zijn de Lemseler- en Saasvelderbeek. Dit zijn de beken die in dit onderzoek centraal staan. De Lemselerbeek ontspringt op de westelijke kant van de stuwwal van Oldenzaal, in de wijk De Graven Es en stroomt net voorbij Saasveld, nabij het buurtschap Dulder, in de Spikkersbeek. De Saasvelderbeek ontspringt in het kwelgebied rondom Gammelke. Beide beken lopen in een rechte lijn naar het westen, waar ze net voorbij Saasveld samen de Spikkersbeek vormen. De Spikkersbeek mondt uiteindelijk uit in de Regge.

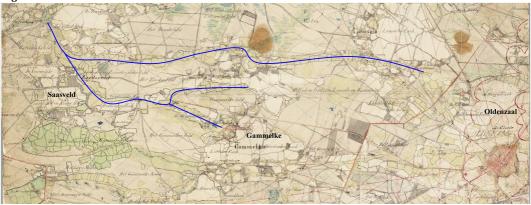


#### § 2.2 Historie

Tussen 1000 en 1200 was er al turfwinning in Twente. Vanaf 1900 is de verandering van het watersysteem in een stroomversnelling geraakt. De woeste gronden, zoals heide- en veengebieden, werden ontgonnen, terwijl vennen en moerassen werden drooggelegd. Dit allemaal om meer land geschikt te maken voor de landbouw. Dat ging gepaard met het graven van een zeer intensief ont- en afwateringsstelsel. De meeste van deze sloten en greppels werden eind 19e en begin 20e eeuw gegraven, mede in het kader van allerlei werkverschaffingsprojecten, wat na de Tweede Wereldoorlog is versterkt met de Marshallhulp. Het doel hiervan was om

lagere grondwaterstanden en minder droogte en verzilting te bereiken (Waterschap Regge & Dinkel [WRD], 2006). Voor deze ontgravingwerkzaamheden liep het water door de veenlagen en de afwatering vond dan ook vooral via het grondwater plaats. Slechts zelden, bij hevige regenval, is water over het veen afgestroomd. Door de bovenstaande graafwerkzaamheden kwam de beek is iets ten zuiden van het zuidelijke erosiedal, net naast de veenlaag te liggen. Het graven en onderhouden van een beek aan de rand van een dal is makkelijker dan in het centrum van een moerassige, met veen bedekte laagte (Runhaar, Jansen, Timmermans, Sival & Knol, 2003). De beken zijn continu aangepast door de mens om het water zoveel mogelijk te sturen, hierdoor zijn oude meanders niet terug te vinden op kaarten en in het veld.

Figuur 2: Kaart van het stroomgebied van de Saasvelderbeken uit 1848 (Bron: www.watwaswaar.nl) Figuur 3



#### § 2.3 Huidige toestand van de beken

#### **Hydrologie**

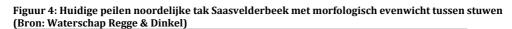
Beide beken zijn permanent watervoerend. De Lemselerbeek wordt gevoed door diepere grondlagen, het water hieruit vormt boven op de stuwwal van Oldenzaal bronnen die het begin zijn van de Lemselerbeek. Deze bronnen liggen tegenwoordig in een nieuwbouwwijk, De Graven Es. Bij hevige regenval is de afvoer een stuk hoger dan voor de bouw van deze wijk, het water wordt door bestrating snel afgevoerd. Hier is bij de inrichting van deze wijk wel rekening mee gehouden, er zijn wadi's aangelegd, maar hevige regenbuien hebben hoe dan ook een grotere impact op de beek dan vroeger. Wat wel gezegd kan worden is dat de beek zelfs in tijden van extreme droogte watervoerend is, zoals in de zomer van het jaar 2003 (Grobbe & Bakker, 2005). De Saasvelderbeek ontspringt iets verder naar het westen, rond het kwelgebied bij Gammelke. Dit is een noord-zuid gerichte kwelzone die de beek voorziet van water. Deze beek en dit gebied hebben een grote natuurpotentie. Dit wordt bevestigd door de aanwezigheid van het natuurgebied Gammelke (USG, 2008). De Lemselerbeek wordt ook door deze kwelzone gevoed.

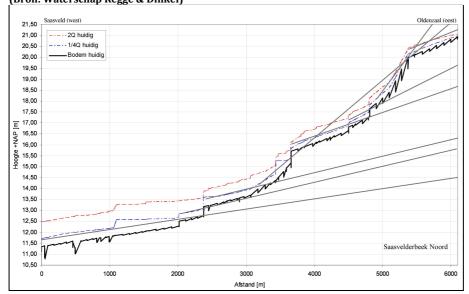
#### Lengteprofiel

Voor beide beken is een voorontwerp gemaakt door het waterschap Regge & Dinkel. In Figuur 4 staan voor de noordelijke tak van de Saasvelderbeek de huidige bodem- en waterpeilen gepresenteerd. Deze en de peilen van de overige beken staan duidelijker weergegeven in Appendix B. Als nader wordt gekeken naar het lengteprofiel kan worden vastgesteld dat tussen elke stuw een morfologisch evenwicht wordt bereikt.

Een dergelijk evenwicht zal een rivier of beek altijd zoeken. Dit evenwicht is afhankelijk van de afvoer, ruwheid en verhang, welke invloed hebben op de stroomsnelheid en de waterstand, welke op hun beurt weer invloed hebben op het bodempeil. In bovenstaande figuur is de stroomsnelheid echter altijd vrij laag, waardoor er weinig morfodynamiek plaatsvindt. Zodra de stuwen weg zijn, zal de beek op zoek gaan naar een nieuw evenwicht. Dit evenwicht kan alleen maar theoretisch gevonden worden, omdat er altijd wel een variabele is welke (iets) verandert.

In de figuur zijn ook twee afvoerregimes te onderscheiden. De rode lijn is de 2Q-afvoer, of extreme afvoer. Dit is een afvoer die statistisch 1 à 2 dagen per 50 tot 100 jaar voorkomt. De blauwe lijn is de ¼Q-afvoer, of voorjaarsafvoer. Deze afvoer wordt ongeveer 80 dagen per jaar bereikt of overschreden.





#### **Verhang**

Doordat de beken op de stuwwal liggen hebben ze een steil tot erg steil verhang, vooral de Lemselerbeek. Het hoogteverschil van de Lemselerbeek is bijna 18 meter over een lengte van slechts 8 km. Dit komt neer op een hydraulische gradiënt van 2.1 \* 10-3, voor de Saasvelderbeek is dit 1.7\*10-3, terwijl een gradiënt van 10-4 gebruikelijk is in Nederland (bijvoorbeeld voor de Rijn). Een verhang zo groot als deze waterlopen komt in Nederland niet veel voor. Dit is vooral het geval in het zuiden van Limburg en op de stuwwallen van Overijssel, Gelderland en Utrecht. Omdat het hier een dermate steil verhang betreft zijn momenteel ruim 30 stuwen geplaatst om deze beken te bedwingen (Appendix C). Het plaatsen van de stuwen is nodig, omdat anders de stroomsnelheid van de beek te groot is en er daardoor (veel) sedimenttransport optreedt. Dit heeft tot gevolg dat de beek diep insnijdt in de omgeving, waardoor de waterstanden ook veel lager komen te liggen en verdroging plaatsvindt. Ondanks de aanwezigheid van de stuwen heeft deze insnijding al plaatsgevonden en is de beek al weggezakt in de omgeving wat met name bovenstrooms verdroging tot gevolg heeft. De stuwen hebben nog een andere taak, ze zorgen er namelijk voor dat de waterstand hoog genoeg blijft voor een optimale grondwaterstand voor agrarische activiteit (vooral in de zomer). Dit betekent dat de waterstand gedurende het jaar in principe te laag is, maar er wel voldoende water uit de beken gehaald kan worden voor beregening. Er geldt hoe droger het land, hoe makkelijker men over het land kan rijden met zware machines. Het beregenen van het land tijdens droogte is veel eenvoudiger en daarom hebben agrariërs over het algemeen graag een lage (grond)waterstand. De 1.5 tot 2 m drooglegging die nu aanwezig is, is echter teveel van het goede. De nieuwe peilen zijn bepaald op 80 cm drooglegging.

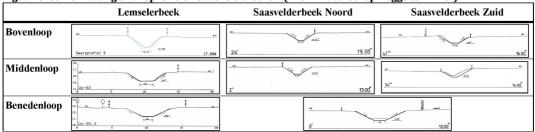
#### **Dwarsprofiel**

Het dwarsprofiel varieert over de lengte van de beken. Dit is in overeenstemming met de eigenschappen van een laaglandbeek wat de Twentse beken zijn. Deze beken kunnen worden opgedeeld in:

- Een bovenloop (snelstromend, meestal smal slingerend beekje in een smal beekdal waarin ook bronnen kunnen voorkomen);
- Een middenloop (beek is wat breder, stroomt minder hard in een breed, licht glooiend beekdal);
- Een benedenloop (beek is breed, stroomsnelheid laag en geen duidelijk beekdal) (Zonderwijk, Heijdeman, Jaarsma & Leemeijer, 1988).

De Saasvelderbeken hebben in de bovenlopen een dwarsprofiel dat smaller en in de benedenlopen juist wat breder en ondieper is, dit vanwege het feit dat meer stroomafwaarts er meer water afgevoerd dient te worden en hoe groter de dwarsprofielen worden. De profielen zijn over het algemeen allemaal eenvoudige trapeziumprofielen met bijbehorende taluds van 1:1½ of 1:2 (zie Figuur 5). Voor het ontwerpen van de profielen zijn door de provincie Overijssel ontwerpregels opgesteld om te zorgen dat er een goede waterafvoer plaats kan vinden. Deze ontwerpregels zijn gebaseerd op de grondwaterstanden (naar aanleiding van GGOR) en zijn onder andere ondergebracht in het Waternood rapport (Projectgroep Waternood, 1998) en 'Voorbeeldenboek Waternood' (Provincie Overijssel & Dienst Landelijk Gebied, g.d.). De dwarsprofielen staan in Appendix C groter weergegeven.

Figuur 5: Samenvatting dwarsprofielen Saasvelderbeken (Bron: Waterschap Regge & Dinkel)



De bodembreedte van de dwarsprofielen van de Lemselerbeek varieert van ongeveer 55 tot 75 cm breed in de bovenlopen en is halverwege 2 m breed. Daarna versmalt de beek weer tot 1.3 m breed (nabij Saasveld). De noordelijke loop van de Saasvelderbeek begint met een breedte van 75 cm en wordt iets vergroot tot 90 cm tot het moment dat hij samenkomt met de zuidelijke loop, welke begint met een breedte van 75 cm. Gezamenlijk stromen ze verder en worden vergroot tot 1.5 m.

#### Sediment

Het gebied bestaat vooral uit dekzand. Het dekzand is non-cohesief, afgezet in het Weichselien door de wind (Runhaar et al, 2003). Kenmerkend voor deze eolische afzettingen is de wat rondere vorm van het sediment, waardoor minder wrijvingsweerstand tot stand komt en er dus over het algemeen minder kracht (water) nodig is om het sediment in beweging te zetten. Dit is ook goed te zien in de omgeving, de beek is overal diep ingesneden en zorgt voor verdroging van de omringende natuur en landbouwgronden.

#### § 2.4 Gewenste situatie

De Landinrichtingscommissie Saasveld-Gammelke heeft in 1998 een document geschreven met daarin een beschrijving van de gewenste situatie voor het inrichtingsgebied. Hierop volgde in 2008 een wijziging (USG, 2008) waarin de gewenste situatie als volgt staat beschreven:

"Het natuurlijker maken van de Saasvelderbeek en Lemselerbeek vindt plaats door aanpassingen in het profiel, incidentele tracéverleggingen en eventueel door het aanpassen van de helling. Indien mogelijk worden stuwen verwijderd of vervangen door bijvoorbeeld vistrappen. Eventuele overstromingen in natuurgebieden moeten in overleg plaatsvinden met de beherende organisatie; dit is namelijk ook afhankelijk van de waterkwaliteit. In de natuurgebieden zoekt de beek zoveel mogelijk haar eigen weg en zal zelf haar tracé wijzigen."

Momenteel is verreweg het grootste deel van het landinrichtingsgebied ingericht als landbouwgebied. Door het herinrichten zal een groot deel van het landinrichtingsgebied herverkaveld worden en komt er meer ruimte beschikbaar voor natuurdoeleinden. Het gebied zal naar aanleiding van een Milieu Effect Rapportage (MER), waarin de doelstellingen zijn vastgelegd, als een landschappelijk raamwerk worden ingericht. Hierbij wordt een scheiding aangehouden tussen bossen, reservaatgebieden, natuurontwikkelingsprojecten, beken, singels en uitloopgebieden voor de bevolking. Landbouw kan zich hierbinnen ontwikkelen, waarbij landbouw en natuur zoveel mogelijk gescheiden zijn (LSG, 1998). De kwelzones worden omgezet naar reservaten en er komt natuur op die plekken waar de meeste kansen zijn voor natuurontwikkeling. Zo krijgen de beken een duidelijke oost-west structuur van beekdalen (met waterlopen en bossen) en dekzandruggen (met wegen en bebouwing). Deze aandacht hangt samen met de landschappelijke en historische ligging, dorpsuitbreiding tot aan en in het dal van de beek en de reservaatgebieden en natuurontwikkelingsprojecten langs de beek. Om de beken



natuurlijker in te richten zijn enkele maatregelen bedacht (bodemhellingen worden aangepast aan de maaiveldhelling, stuwen worden aangepast of verwijderd en met name in reservaatgebieden gaat de beekbodem omhoog. Daarnaast wordt de diepte aangepast aan de functie van de afwaterende gronden) (LSG, 1998). Een idee van de Dienst Landelijk Gebied is om deze beken om te vormen naar meanderende beken.

#### Karakteristieken van een natuurlijke beekloop

Een natuurlijke beek kent van de bron tot de monding geen barrières en het proces van erosie en sedimentatie leidt tot spontane meandering. Karakteristieke natuurelementen zijn:

- Structuurrijke beekbedding met snelstromend water in de diepe buitenbochten en langzaam stromend water in de ondiepe binnenbochten;
- Natuurlijke beekoevers met erosie (afkalving van buitenbochten) en sedimentatie (afzetting van oeverwallen);
- Beekbegeleidende bossen met in de winter hoge grondwaterstanden of overstroming;
- Andere aanliggende natuurelementen, zoals natte oevers, spontaan afgesnoerde meanders, overstromingsvlaktes, ruigten en struwelen.

Al deze karakteristieken ontstaan vanzelf als er maar voldoende stroming is en een zandvang ontbreekt, zodat ongehinderd transport van sediment mogelijk blijft (Kwak & Stortelder, 2006).

Door de normalisatie en kanalisatie is er een snelle afvoer van water in de winter die lokaal problemen oplevert. Daarnaast is er in de zomer vaak een beperkende watervoerendheid door de verdroging en insnijding. Voor het herstel van beken is dynamiek in de afvoer belangrijk. Soms moet de dynamiek worden beperkt (hogere afvoeren in de zomer en minder extreem in de winter), soms juist verruimd (herstel oorspronkelijke stroomgebieden). Voor de waterkwaliteit is de herkomst van het water belangrijk, daarnaast spelen morfologische aspecten mee. Bij het herstel van de belevingswaarde van beken moet rekening worden gehouden met het gebiedseigen karakter (WRD, 2006). In het inrichtingsplan is hier aandacht aan besteed door natuurgebieden zoveel mogelijk samen te voegen en rond de beken te realiseren. Het is dan het beste als de beek zelf natuurlijker wordt gemaakt zonder barrières, snel stromend en meanderend. Dit kan alleen als het dwarsprofiel sterk verkleind wordt. Bij hoge afvoeren zal een dergelijke, kleinere beek buiten de oevers treden. Dat betekent dat extra gebieden nodig zijn waar het water tijdelijk geborgen kan worden, bijvoorbeeld in retentiebekkens of op laag gelegen landbouwgronden waarop een blauwe dienst (hierbij wordt op initiatief van de grondeigenaar water vastgehouden en/of tijdelijk geborgen) wordt gevestigd (Kwak & Stortelder, 2006). Voor de Lemseler- en Saasvelderbeek zijn in het inrichtingsplan geen gebieden aangegeven voor de inzet van een blauwe dienst. Wel is het bij deze beken de bedoeling om zoveel mogelijk water in het beekdalsysteem te bergen. In principe hebben alle laag gelegen percelen grenzend aan de waterlopen die op de plankaart (zie Figuur 10 in § 2.4§ 2.5) staan potentie om voor een blauwe dienst in aanmerking te komen (USG, 2008). Wel is voorzien dat er enige mate van zandtransport plaats mag vinden. Dit betreft overigens alleen horizontale morfologie, zoals het afkalven van oevers en afzetten van zand in de binnenbochten. Verticale morfologie, zoals het eroderen en sedimenteren van de bodem (insnijden en ophogen) is iets wat moet worden voorkomen, aangezien dat de drooglegging en de verdroging vergroot. Dit is iets wat nu ook al het geval is en juist moet veranderen.

De omvang van de meanders (aantal bochten per km, breedte, diepte van de insnijding) hangt af van de hoeveelheid water die wordt afgevoerd, het verval en de grondsoort. De aanleg van nieuwe kronkelige beeklopen zou in overeenstemming moeten worden gebracht met de historische patronen. Dan blijft de herkenbaarheid van het landschap beter gewaarborgd. In vlakke gebieden, zou herstel van doorstromingsvlaktes in overweging genomen kunnen worden (Kwak & Stortelder, 2006).



#### Streefbeeld

In onderstaande figuur is aangegeven hoe een beek er uit zou moeten zien volgens de Europese Kaderrichtlijn water.

Figuur 6: Referentiebeeld KRW: de beek heeft alle kenmerken van een natuurlijke beek (Waterschap Vallei & Fem. 2008)



Welke ontwikkelingsrichting op dit moment de meest geschikte is, hangt af van de doelstellingen. Het is een afweging tussen de beheersbaarheid en de natuurlijkheid. Terug naar de situatie uit het verleden is niet mogelijk omdat een aantal aspecten onomkeerbaar veranderd is. Zo zijn bijvoorbeeld de afvoerpieken van de beken veel hoger dan vroeger. Dit wordt veroorzaakt door grote akkercomplexen en steden die water niet lang vasthouden. De laagwaterpieken van de beken daarentegen zijn juist lager, omdat een groot deel van het water snel wordt afgevoerd en een deel van het water wordt gebruikt voor beregening van akkers. Verder is het beekwater ook veel voedselrijker dan vroeger. Een reis terug in de tijd is ook niet wenselijk omdat een inrichting gevraagd wordt ten bate van een nieuwe, eigentijdse functie: een combinatie van natuur, landbouw en recreatie. Daarbij is de historische referentie wel van belang omdat deze aanwijzigen geeft over wat de natuur hier zelf zou realiseren. De richting waarin de natuurlijke processen werken dient echter gecombineerd te worden met eigentijdse functies. Verder kan de invulling van een herstelde beek gedaan worden aan de hand van beekverlegging uit het verleden, zodat de cultuurhistorie bewaard wordt. Dit is ook een van de aanbevelingen uit het landinrichtingsplan (LSG, 1998).

Figuur 7: Een voorbeeld van hoe een herstelde beek eruit kan zien (voorbeeld naar de Rode Beek, Limburg) (van Winden, Braakhekke, Overmars & Kurstjens, g.d.).



Een andere mogelijkheid van hoe de beek eruit kan komen te zien is zichtbaar in onderstaande figuur (Figuur 8). Het betreft hier een foto van de Gammelkerbeek ter hoogte van het Hulsbeek. Deze beek heeft in de bovenloop een natuurlijke uitstraling, kabbelend, ondiep water en daardoor een grotere aantrekkingskracht voor mens, flora en fauna.

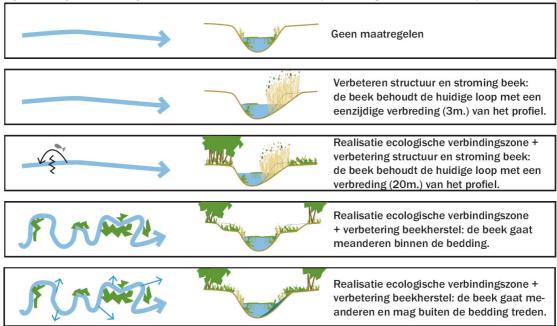


Figuur 8: Voorbeeld van het streefbeeld van de beek (Gammelkerbeek nabij het Hulsbeek)



Om een beeld te hebben van de hoeveelheid ruimte een ambitie met bijbehorende oplossing kost, is het voorbeeld van het waterschap Vallei & Eem aangehaald. Dit waterschap heeft voor twee beken in hun beheersgebied, de Heelsumse en Renkumse Beek, een overzicht van lengte- en bijbehorende dwarsprofielen gemaakt. Dit is gedaan naar gelang de natuurlijke ambitie. Hoe meer naar beneden, hoe groter de ambitie (zie Figuur 9).

Figuur 9: Mogelijke maatregelen, afhankelijk van ambitieniveau (Waterschap Vallei & Eem, 2008)



#### § 2.5 Informatie over beekherstel

Beekherstel is een relatief nieuw onderwerp in de waterbeheerwereld. In enkele nationale en internationale regio's is er al enige aandacht aan besteed en zijn enkele projecten uitgevoerd.

In de Verenigde Staten is men al enige tijd beekherstel aan het uitvoeren. Verschillende departementen en agentschappen hebben samen The Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG) opgericht. Deze werkgroep heeft in 1998 een document geschreven waarin de processen, principes en praktijkvoorbeelden worden beschreven die voor het herstellen van beken relevant zijn. Er wordt ook aandacht besteed aan de totale aanpak van een



## Afstudeeronderzoek naar hydraulische en morfologische effecten van maatregelen voor beekherstel.



dergelijk project, van idee tot beheer (FISRWG, 1998). Hierin staan verschillende manieren om beekherstel aan te pakken. Maatregelen en hun mogelijke effecten op de omgeving worden hierin besproken, alsmede het verkrijgen van draagvlak van de stakeholders in de omgeving.

Wat in heel Nederland al wordt toegepast, is het creëren van objecten ter bevordering van de vismigratie. Zo is bij de meerderheid van de stuwen in de grote rivieren een vistrap aangelegd. Verder zijn in Nederland vooral in het zuiden beekherstel- en (her)meanderprojecten. Zo is door het waterschap Roer & Overmaas eind jaren '80 al begonnen met het terugbrengen van rechte beken naar een meanderende, meer natuurlijke stroom. De ontwerpen voor de vernieuwde beken werden in eerste instantie gemaakt door modelleren, berekenen en dimensioneren en vervolgens uitgevoerd. Deze methode bleek echter niet altijd even effectief en nauwkeurig, vandaar dat tegenwoordig op basis van lokale kennis van het gebied land gekocht wordt en de beken de ruimte krijgen om daarbinnen hun eigen weg te zoeken. Wanneer dan ergens problemen ontstaan, wordt er plaatselijk ingegrepen. Bijvoorbeeld door het verwijderen van overtollige vegetatie (Gubbels, 2008). Een meer recent voorbeeld is de Swalm (Waterschap Peel & Maasvallei). Deze beek is niet lang geleden hersteld naar een vrij meanderende beek met hoge landschappelijke en ecologische waarde. Hier zijn een stuw en vistrap verwijderd en is door de meandering de lengte vergroot. Ook in Brabant gebeurt veel op het gebied van beekherstel. Zo zijn zowel de Kleine als de Grote Beerze hersteld. Deze zijn gedeeltelijk in oude meanders teruggelegd en gedeeltelijk zijn nieuwe meanders gegraven.

In Twente is één project bekend. Het stuwwalgebied van de Springendalse Beek is verbeterd en hersteld. Deze beek was in de benedenloop rechtgetrokken, gedraineerd en meanders waren afgesneden. Daarnaast werd het water van bovenstrooms gelegen landbouwgronden snel afgevoerd wat grote piekafvoeren en erosie veroorzaakte. De boven- en middenloop van de beek lagen hierdoor bijna twee meter onder het maaiveld, waardoor de beek het hele dal draineerde. Het beekwater was voedselrijk door de bemeste omliggende agrarische percelen. Door deze verdroging en verzuring verdween de typische beekfauna. Daarnaast kreeg de beekbodemfauna het zwaar te verduren door piekbelastingen in de beek die ontstonden door zware regenval. In de zomers was er juist te weinig afvoer (Kwak & Stortelder, 2006).

Eenzelfde soort problematiek speelt zich ook af rondom de Saasvelderbeken. Ook deze beken zijn diep ingesleten met een grote verdroging tot gevolg, vandaar de plaatsing van stuwen om het water geleidelijker af te voeren. In de nabijheid van de Saasvelderbeken is ook een grotere waterloop waarbij een meanderende visie is voorzien, de Regge. Bij deze rivier is onderzoek gedaan naar de gevolgen van hermeanderen (rivier terugleggen in oude meanders) en ontstuwen (Medemblik, de Graaff & Oosterhoff, 2008). Eind 2008 is het besluit, op basis van hydraulisch ontwerp, genomen om stuwen gedeeltelijk te verwijderen. Conclusie is dat men eerst oude meanders aankoppelt. Dit wordt vervolgens gemonitord en aan de hand van de effecten bekijkt men of de stuwen eruit kunnen.

Conclusie van bovenstaand vooronderzoek in de praktijk, is dat het verschil in oplossingen van beekherstel samenhangt met de doelen ervan: is de Kaderrichtlijn Water bepalend, is er een bepaald ecologisch niveau dat behaald moet worden of is het meer een persoonlijke ambitie van een instantie? Het achterhalen van de doelstelling is dan ook bepalend voor de oplossingsmogelijkheden die geboden en geïmplementeerd worden.

#### § 2.6 Relevante beleidsinstrumenten

#### Commissie Waterbeheer 21e eeuw (WB21)

WB21 heeft in het rapport "Waterbeleid voor de 21e eeuw" in 2000 advies uitgebracht aan de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat en de voorzitter van de Unie van Waterschappen. Eén van de aanbevelingen in het rapport is om het waterbeleid van de 21e eeuw te organiseren op basis van drie principes. Ten eerste dient men anders om te gaan met waterbeheer: overtollig water zoveel mogelijk bovenstrooms vasthouden in de bodem en in het oppervlaktewater. Zonodig moet men water tijdelijk bergen in retentiegebieden langs de waterlopen, waarvoor ruimte moet worden gecreëerd. Water mag slechts worden afgevoerd indien het niet mogelijk is om het vast te houden. Ten tweede dient er voldoende ruimte te zijn voor water: er moet voldoende ruimte gereserveerd worden. Er mag geen nieuwe ruimte worden onttrokken aan het



## Afstudeeronderzoek naar hydraulische en morfologische effecten van maatregelen voor beekherstel.



watersysteem. Water wordt weer een sturend principe bij de ruimtelijke ordening in Nederland. Waar nodig moet ruimte beschikbaar worden gesteld voor het tijdelijk bergen van water. En tenslotte het derde principe van meervoudig ruimtegebruik: water kan via meervoudig ruimtegebruik worden gekoppeld aan andere functies. In het landelijke gebied zal het water dan ook gecombineerd moeten worden met de mogelijkheden van landbouw, natuur en recreatie.

Om onder andere het waterbergend vermogen van Nederland te versterken zijn meer dynamische en veerkrachtige riviersystemen nodig. Het is daarbij belangrijk om het water op te vangen zodra en dáár waar het valt (Commissie Waterbeheer 21e eeuw, 2000). De filosofie van WB21 (vasthouden, bergen, afvoeren) wordt gebruikt om de beken om te vormen tot natuurlijke beken en op die manier meer water vast te kunnen houden in tijden van droogte en de problemen van wateroverschotten tegen te gaan. Het advies van de commissie waterbeheer 21e eeuw heeft invloed op dit inrichtingsgebied en de gedachtegang achter het opnieuw inrichten van de beken, daarom is ingrijpen en aanpassen van beken van belang.

#### Europese Kaderrichtlijn Water (KRW)

De KRW is een Europees beleidsstuk dat Europese landen ertoe dwingt hun watersystemen voor 2015 kwalitatief op orde te hebben. De KRW is opgesteld om aquatische ecosystemen te beschermen en te verbeteren, duurzaam watergebruik te bevorderen en de negatieve gevolgen van overstromingen en droogteperioden te beperken. Er moet hierbij door de aangesloten landen worden voldaan aan een goede toestand van het water. Dit houdt in dat grond- en oppervlaktewater van een goede chemische en kwantitatieve toestand zijn en dat het oppervlaktewater in een goede ecologische toestand moet verkeren. Praktisch gezien komt de KRW erop neer dat waterschappen de taak krijgen om het watersysteem ecologisch optimaal te laten functioneren, zodat dieren en planten in een gezonde onderlinge verhouding met het water kunnen leven. De verontreinigende uitstoot moet verminderd worden en er moet een ecologisch verantwoorde inrichting aanwezig zijn. Om dit te bewerkstelligen moeten alle Europese landen hun watersystemen classificeren volgens de regels en op basis daarvan de eisen wat betreft chemicaliën en flora en fauna opvolgen. Dit houdt in dat chemicaliën die niet in het watersysteem horen er ook niet inzitten en dat de planten en dieren die er wel in horen er ook daadwerkelijk in voorkomen (Het Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie, 2000). Voor Nederland zijn de voorschriften van de KRW in principe voordelig aangezien door dit beleid het water Nederland schoner binnenkomt uit de omringende landen.

Een punt binnen het KRW-beleid dat bijzondere aandacht verdient, is de morfologie. De mate van eroderen en sedimenteren speelt namelijk een grote rol bij de natuurlijkheid van een systeem. Hoe natuurlijker een watersysteem geclassificeerd wordt, hoe natuurlijker deze processen moeten verlopen. Bij een kanaal zal weinig morfologie plaatsvinden en het sediment dat neerslaat zal gebaggerd worden. Bij een natuurlijk systeem daarentegen zal de bodem op sommige plekken eroderen, elders zal het vervolgens neerslaan en de bochten zullen aan de buitenkant uitslijten en in de binnenbochten aanzanden. Dit is een natuurlijk proces en dit zal dus ook aanwezig moeten zijn bij een watersysteem van de hoogste classificatie. Voor verschillende flora en fauna is het echter niet altijd noodzakelijk dat deze morfologische processen plaatsvinden. De variatie in stroomsnelheid die hiermee bereikt wordt weer wel.

#### Watertype volgens de Europese Kaderrichtlijn Water

De beken zijn volgens de KRW-typologie beoordeeld. Deze typering vertelt wat de doelstelling is voor deze beken en welke consequenties daaraan zijn gekoppeld. Er wordt bij het vaststellen van deze typering gekeken naar de mate van natuurlijkheid van het watersysteem (natuurlijk, kunstmatig of sterk veranderend). Dit geeft een bepaalde mate van ambitie aan. Hoe natuurlijker het systeem wordt getypeerd, hoe strenger de eisen met betrekking tot waterkwaliteit. Daarnaast spelen de karakteristieken als ondergrond, mate van watervoerendheid en stroomsnelheid een rol. De beken zijn als volgt getypeerd: R3, R4 en R5.

- R3 is een droogvallende langzaamstromende bovenloop op zand (Saasvelderbeek);
- R4 een permanent langzaamstromende bovenloop op zand (Lemselerbeek);
- R5 is een langzaamstromende middenloop/benedenloop op zand (beide beken).

Een beschrijving van deze typeringen is te vinden in Appendix C.



#### Gewenst Grond- en Oppervlaktewaterregime (GGOR)

Een ander beleid dat op watersystemen is gericht, is GGOR: het Gewenst Grond- en Oppervlaktewater Regime. GGOR geeft voor een bepaalde vorm van landgebruik de grondwaterstand, het grondwaterstandverloop, de oppervlaktewaterpeilen, de grondwaterkwaliteit (ook kwel en infiltratie), karakteristieken van oppervlaktewaterkwantiteit (stromingsdynamiek, etc), oppervlaktewaterkwaliteit en vorm en inrichting van het oppervlaktewater aan. GGOR is in de eerste plaats een hulpmiddel om hydrologisch strijdige wensen tussen verschillende vormen van landgebruik (of gebruiksvormen van oppervlaktewater) inzichtelijk te maken (Provincie Overijssel, 2001; Waterschap Regge & Dinkel [WRD], 2007).

Het natuurlijker maken van het watersysteem is daarom gericht op zowel het grondwater als op het oppervlaktewater. Voor het grondwater wordt er onderscheid gemaakt in 3 verschillende gewenste waterhuishoudingsregimes:

- Landbouwgerichte waterhuishouding (optimaal voor landbouw)
- Landbouwgerichte waterhuishouding met beperkte ontwatering (optimaal voor grasland)
- Natuurgerichte waterhuishouding (optimaal voor natuur)

In de provincie Overijssel wordt tevens gewerkt met het ontwerpprincipe Waternood, hierop zijn en worden de watersystemen gedimensioneerd. Waternood staat voor Watersysteemgericht Normeren, Ontwerpen en Dimensioneren. Het watersysteem is een samenspel van grond- en oppervlaktewater, hierdoor is GGOR het uitgangspunt voor het ontwerp dat gemaakt gaat worden (Provincie Overijssel, 2001).

#### Natura2000

Europa heeft een zeer gevarieerde en rijke natuur, die van grote biologische, esthetische en economische waarde is. Om deze natuur te behouden heeft de Europese Unie het initiatief genomen voor Natura2000. Dit is een samenhangend netwerk van beschermde natuurgebieden. Voor Nederland gaat het in totaal om 162 gebieden (Ministerie van LNV). Er vallen geen Natura2000-gebieden onder de landinrichting van de beken die in dit onderzoeksrapport bestudeerd worden. Wel is het zo dat het natuurgebied het Kloppersblok een Natura2000-gebied is dat vlakbij het landinrichtingsgebied ligt. Hoewel er dus per definitie geen rekening gehouden hoeft te worden met de aanvullende voorwaarden, kunnen zij ook niet helemaal uit het oog verloren worden. Het is immers goed mogelijk dat bepaalde maatregelen die getroffen worden in het inrichtingsgebied Het Kloppersblok beïnvloeden door bijvoorbeeld grondwaterveranderingen. Hier is al wel rekening mee gehouden in het voorontwerp, bij het bepalen van de gewenste grond- en oppervlaktewaterpeilen. Controle bij het definitieve ontwerp is aan te raden. Het landinrichtingsgebied is verder ook geen Ecologische Verbindingszone (EVZ) waar rekening mee gehouden moet worden.

#### § 2.7 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden die voor dit onderzoek van belang zijn komen voornamelijk vanuit bestaand beleid. De randvoorwaarden zijn tot stand gekomen tijdens een workshop, gehouden 11 september 2008 te Royal Haskoning Enschede. Hier waren alle betrokkenen van dit onderzoek aanwezig, te weten de betrokkenen van de Dienst Landelijk Gebied, het Waterschap Regge & Dinkel, Royal Haskoning en Universiteit Twente. Het doel van de workshop was om duidelijke randvoorwaarden op te stellen, waar de uitkomsten uiteindelijk op worden getoetst. Tijdens de workshop is allereerst een historische beschrijving van de beken gegeven, waarmee de natuurlijke situatie verduidelijkt werd. Daarna is gebrainstormd over wat een natuurlijke beek voorstelt en wat voor idee eenieder daarbij had. Vervolgens zijn alle inrichtingsideeën in vier categorieën onderverdeeld, te weten: landgebruik, ecologie, esthetica en beekaanzicht. De volledige lijst met ideeën, alsmede de uitkomsten van de workshop zijn terug te vinden in Appendix E. Hierna zijn de randvoorwaarden voor dit onderzoek vastgesteld. Deze zijn hieronder weergegeven en uitgelegd.

#### **Beleid**

De eerste randvoorwaarde komt voort uit een beleidsstuk dat een optimale afstemming tussen grond- en oppervlaktewater beoogt, het Gewenst Grond- en Oppervlaktewater Regime (GGOR).

Door het waterschap is een voorstudie gedaan, waarbij de gewenste waterpeilen op grond van GGOR zijn bepaald. Hierdoor liggen de ontwerpwaterpeilen al vast. De peilen die verkregen worden met de maatregelen mogen maximaal 15 cm verschillen (vastgesteld tijdens de workshop). Daarbinnen is een maatregel goed, daarbuiten moet de maatregel aangepast worden of voldoet hij niet. De waterlijn die aangehouden moet worden en waarop gemodelleerd wordt, is de ¼Q-lijn, zoals gegeven door het waterschap Regge & Dinkel. De ontwerpwaterlijn in de grafieken (Appendix B) is het resultaat van een voorstudie naar de gewenste grondwaterstanden, met daaraan gekoppeld de gewenste oppervlaktewaterpeilen. Hierbij geldt een vereiste drooglegging (verschil tussen maaiveld en waterpeil) per landgebruik, voor landbouw is dit bijvoorbeeld 80 cm. De ¼Q-lijn (zie figuur), de afvoer die 80 dagen per jaar voorkomt of wordt overschreden, is de lijn waarin deze peilen zijn verwerkt. De 2Q-lijn is de extreme afvoer waarbij de beek helemaal (oevervol) gevuld is, waarbij dus een maximale breedte wordt bereikt. Momenteel zijn de beken ontworpen op de 2Q-afvoer waarbij er geen inundatie optreedt voor de landbouw (van der Scheer & van Veenen, 2004).

Het is van belang dat wordt uitgelegd hoe men tot de gewenste waterstand is gekomen. Dit is gedaan in een voorstudie van het waterschap en is tot stand gekomen naar aanleiding van GGOR. Het waterschap heeft met de informatie van de gewenste grond- en oppervlaktewaterpeilen een waterlijn vastgesteld. Aan de hand van deze informatie is een bodempeil ingevoerd. Dit omdat er in SOBEK geen waterstand ingevoerd kan worden, maar wel een bodempeil. De afvoer die hier overheen gaat bepaalt vervolgens de waterpeilen. Om de gewenste waterstand te bereiken heeft het waterschap een bodempeil bepaald met daarop een stabiele waterdiepte van 15 cm voor de zuidelijke tak van de Saasvelderbeek en 30 cm voor de overige waterlopen. Dit resulteert theoretisch in een gewenste waterstand. Dit ontwerp is door het waterschap niet doorgerekend. De waterstand is afhankelijk van het bodempeil, maar er zal naar verwachting geen stabiele waterdiepte ontstaan zoals aangenomen door het waterschap, aangezien afvoeren, verhang en dwarsprofielen variëren over de lengte. Bovenstrooms zal door een kleinere afvoer naar verwachting de waterdiepte kleiner zijn, terwijl het goed mogelijk is dat benedenstrooms de waterdiepte juist groter is. De waterstand zal hierdoor dan al gauw afwijken van de gewenste waterstand. Het ontwerpbodempeil is wel als uitgangspunt genomen om in te zien wat dit voor effecten heeft op de waterstand. De waterstand die is opgegeven door het waterschap is de gewenste waterstand en deze zal als uitgangspunt gelden.

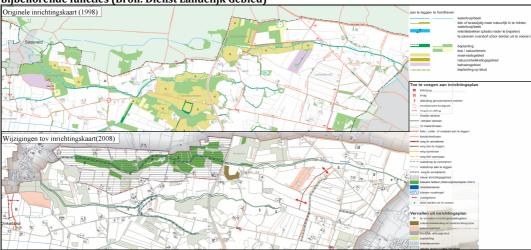
Een volgende randvoorwaarde komt voort uit de Europese Kaderrichtlijn Water. De basis voor de inrichting van het oppervlaktewater is een stroomsnelheid tussen de 0.2 en 0.4 m/s bij lage afvoeren. Als lage afvoer is bepaald dat hiervoor de ¼Q-afvoer aangehouden kan worden. Aanvullend bij de KRW-typering van de waterlopen is het beschaduwen van de beken en het toelaten van periodieke overstromingen. Daarnaast dienen de oevers 'zacht' te zijn, wat er min of meer op neer komt dat dit geen kunstmatige oever moet zijn maar natuurlijk materiaal waardoor enige mate van horizontale erosie mogelijk is.

#### Ruimtelijke inpassing

De beken lopen momenteel veelal langs agrarisch gebied zoals weilanden en kavels, waardoor weinig ruimte is voor het water. De Dienst Landelijk Gebied is momenteel bezig met het herverkavelen van deze grond, zodat er meer ruimte beschikbaar komt voor nieuwe natuur en beken. Het is goed mogelijk er in de toekomst meer ruimte beschikbaar is dan nu het geval is, het zou ook kunnen dat er slechts iets meer ruimte beschikbaar komt. In onderstaande figuur (Figuur 10) is het beoogde toekomstige traject te zien. Hierin valt op dat de beken in de toekomst afwisselend door natuur- en landbouwgebied lopen. De kaart staat groot in Appendix C. Wat opvalt, is dat in het plan de natuur een groot aandeel heeft. In de bovenlopen is vooral landbouw terug te vinden. De bronnen van de Lemselerbeek liggen in een wijk in Oldenzaal. Daarnaast behoort het einde van de beken, daar waar het door Saasveld stroomt, niet tot het inrichtingsgebied en feitelijk dus ook niet tot het onderzoeksgebied. De effecten hier worden wel meegenomen, daar oplossingen bovenstrooms ook benedenstrooms voor problemen kunnen zorgen.



Figuur 10: Originele plankaart van het inrichtingsgebied (boven) en de wijzigingen hierop met bijbehorende functies (Bron: Dienst Landelijk Gebied)



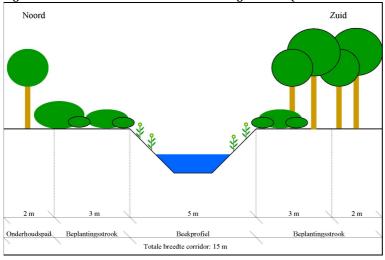
Het landgebruik langs de beek is aan de hand van bovenstaande kaarten als volgt gedefinieerd (zie Tabel 1). Dit is gezien vanaf het einde van de beken, vanaf Saasveld.

Tabel 1: Beken en bijbehorend functiegebruik

Beek	Afstand van [m]	Afstand tot [m]	Functie
Lemselerbeek	7300	6130	Landbouw
	6130	2100	Natuur
	2100	1600	Landbouw
	1600	460	Stad
Saasvelderbeek Noord	6105	4305	Landbouw
	4305	3835	Natuur
	3835	3430	Landbouw
Saasvelderbeek Zuid	4705	3430	Natuur
Saasvelderbeek Totaal	3430	3130	Landbouw
	3130	1430	Natuur
	1430	460	Stad
Spikkersbeek	460	0	Stad

Verder zal de beek over het hele traject een maximale breedte van 15 meter krijgen. Hoe dit er precies uitziet staat hieronder schematisch weergegeven (Figuur 11).

Figuur 11: Ruimte voor de beek in de toekomstige situatie (Bron: Dienst Landelijk Gebied)



## Afstudeeronderzoek naar hydraulische en morfologische effecten van maatregelen voor beekherstel.

De 15 meter maximale breedte is de totale breedte (corridor) inclusief stroomgoot met bermstroken en onderhoudspad. Deze volledige breedte kan dus niet volledig worden gebruikt voor de beek, men moet rekening houden met onderhoudspad en de eventuele oeverafkalvingen. In eerste instantie zijn aan beide zijkanten 2-meterstroken vrijgehouden voor een onderhoudspad, welke in enkele jaren mag begroeien en tot de vegetatiezone van de beek mag behoren. De 3-meter beplantingsstrook mag enigszins afkalven voor een natuurlijk erosie- en sedimentatieproces. Daar waar een beek door een natuurgebied loopt, worden de 5 meter stroken geïntegreerd in het natuurgebied (USG, 2008).

Zoals in Figuur 11 is te zien, is de begroeiing vanaf de beek laag en hoog aan de randen van de beplantingsstrook. Vooral aan de zuidkant van de beek zal hogere beplanting komen, dit om zoveel mogelijk schaduw te creëren voor de beek. Bij een lage waterstand in de beek zal de zon het water namelijk erg snel opwarmen, waardoor water snel verdampt en algen snel kunnen groeien wat de ecologie niet ten goede komt.

#### **Samenvatting**

De randvoorwaarden zoals die zijn meegegeven en van belang zijn voor dit onderzoek, zijn als volgt:

- GGOR
- Ontwerppeilen liggen vast
- Aanhouden van de ontwerpwaterstand ¼Q-afvoer, geleverd door het waterschap
- o Maximaal +/- 15 cm verschil
- KRW
- Stroomsnelheid bij ¼Q-afvoer is 0.2 0.4 m/s
- Ruimtelijke ordening
  - Traject ligt vast bij landbouwgedeeltes
  - Traject ligt vast bij natuurgedeeltes; hier is wel meer vrijheid mogelijk om het traject aan te passen om tot een beter ontwerp te komen, dit dient gemotiveerd te zijn
  - o 15 meter maximale breedte



### Hoofdstuk 3. Maatregelen

In dit hoofdstuk worden de mogelijke aanvullende maatregelen besproken.De uitdaging is om maatregelen te nemen die de beek beheersbaar houden, maar wel een natuurlijk uiterlijk geven. Er zal een compromis gevonden moeten worden tussen technische maatregelen en de wens om alles natuurlijk te maken. Feit is dat natuurlijk en beheersbaar elkaar uitsluiten, maar er kan wellicht een compromis gevonden worden dat ervoor zorgt dat beide eigenschappen zo goed mogelijk tot hun recht komen. Aan de hand van theorie zal puntsgewijs een variabele besproken worden om de problematiek aan te gaan en welke maatregelen daaruit voort kunnen komen. De theorie die van invloed is omtrent de beekproblematiek is de theorie die het verband tussen het verhang en de stroomsnelheid beschrijft. Deze vergelijkingen gelden overigens alleen in een evenwichtssituatie. De vergelijkingen die hiervoor van belang zijn, zijn als volgt:

Vergelijking 1: verband tussen stroomsnelheid en verhang, Chézy-vergelijking

$$Q = u \cdot A$$

$$u = C\sqrt{h \cdot i_b}$$

$$Q = B \cdot C \cdot h^{\frac{3}{2}} \cdot i_b^{\frac{1}{2}}$$

Met: Q Debiet [m³/s]

u Stroomsnelheid [m/s]

A Oppervlakte van het dwarsprofiel  $[m^2] = h * B$ 

h Waterdiepte in [m]

B Breedte [m]

C Chézy-waarde in [m½/s]

i<sub>b</sub> Verhang [-]

Op basis bovenstaande vergelijkingen kan gesteld worden dat de stroomsnelheid verkleind kan worden door het vergroten van de ruwheid (kleinere C) of het verkleinen van de waterdiepte (h) en/of het verhang ( $i_b$ ). Bij een gelijkblijvend debiet zou door de snelheidsvermindering de oppervlakte van de dwarsdoorsnede vergroot worden. Er is een aantal oplossingen bedacht. Daarnaast is ook navraag gedaan bij verschillende waterschappen over oplossingen bij beekherstel die bij hen zijn uitgevoerd. Mogelijke maatregelen staan hieronder per variabele vermeld.

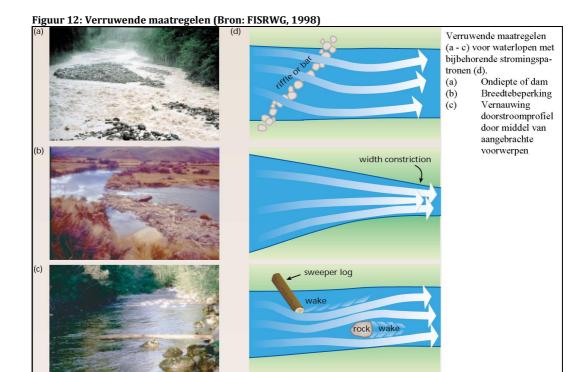
### § 3.1 Vergroten van de ruwheid

Voor het vergroten van de ruwheid kan gedacht worden aan:

- Veranderen dwarsprofiel
- Micromeandering
- Drempels
- Keidammen
- Vistrappen
- Vegetatie

Een goede mogelijkheid om de ruwheid te vergroten is door het dwarsprofiel aan te passen. Bij een ondiepere beek of bredere bodem neemt de weerstand toe, waardoor stroomsnelheid uit het water gehaald wordt. Een andere manier van het vergroten van de ruwheid is het aanbrengen van micromeandering, waarbij een beek binnen zijn eigen profiel meandert, dit kan bijvoorbeeld door het slingerend aan te leggen (afwisselend pools and riffles) binnen de beschikbare corridor (Schutte, 2006). Feitelijk worden dan afwisselend verschillende dwarsprofielen aangelegd, waardoor het water moeite heeft zijn weg te vinden en daardoor de weerstand wordt vergroot.

Enkele voorbeelden van verruwing zijn in onderstaande figuur (Figuur 12) weergegeven.



Het aanbrengen van drempels, (kei)dammen of vistrappen dient een tweeledig doel. Zowel voor het vastleggen van de bodem als voor het verruwen van het dwarsprofiel. Door met kunstwerken erosie te voorkomen, wordt de diversiteit in afkalvingen en aanzandingen verminderd, hoewel tussen de (natuur)stenen van een keidam ook veel leven kan zitten. Daarnaast geeft een keidam een verschil in stroomsnelheid over de breedte en hierdoor zal de flora en fauna ook variëren, wat een natuurlijker beek tot gevolg zal hebben.

In onderstaande figuur is een voorbeeld te zien van een steendam. Duidelijk waarneembaar is de stuwende werking en vergroting van de ruwheid. Doordat de steendammen werken als een ministuw wordt de bodem naar verwachting (vlak) voor de steendam verhoogd en er vlak na verlaagd. Het water wordt namelijk afgeremd en daardoor opgestuwd, door deze lagere snelheid zal het zandtransport afnemen. Naast de plaatselijke versnelling van het water door de steendam loopt er water over de steendam wat een kleine waterval kan veroorzaken. Dankzij deze verschijnselen kan er benedenstrooms van de dam een erosiekuil ontstaan. Deze dam zorgt dus, naast afremming van het water en vastlegging van de bodem, voor variatie in bodem, snelheid en daardoor flora en fauna.



Figuur 13: Voorbeeld stenen dam zoals gebruikt door waterschap Aa & Maas (Waterconservering 2e generatie, g.d.)



Figuur 14: Voorbeeld van een stenen dam in de Gammelkerbeek nabij het Hulsbeek



Voordelen van een natuurlijke beek met keidammen zijn daarnaast als volgt (FAO, 2002):

- Ze passen over het algemeen goed in het landschap;
- De passeerbaarheid voor vissen is goed;
- Ze creëren nieuwe habitats voor fauna;
- Er is weinig kans dat ze gaan verplaatsen en vergen daardoor weinig onderhoud.

Hiernaast is ook nog de mogelijkheid om de vegetatie te vergroten waardoor de ruwheid wordt vergroot. Dit kan door middel van het aanbrengen of laten groeien van vegetatie op bodem en oevers. Een andere mogelijkheid is om afwisselend aan beide zijden van de beek vegetatie te



planten zodat de beek een slingerend patroon krijgt. Ook is het mogelijk om veel vegetatie op een locatie op de bodem aan te brengen zodat het water gestuwd wordt, dit wordt ook wel een vegetatiestuw genoemd.

Beken worden van nature veel meer beïnvloed door vegetatie dan rivieren. De grootte van de beek en de hoeveelheid water die hier doorheen stroomt, is namelijk een stuk minder dan bij rivieren. Het gevolg is dat vegetatie een veel grotere invloed heeft op het water en daardoor op de patronen van de waterloop (zoals de meanders, riffles en pools). Een medewerker bij het waterschap Veluwe noemde deze invloed van vegetatie zelfs hét kenmerkende verschil tussen beken en rivieren.

#### § 3.2 Verkleinen waterdiepte

Voor het verkleinen van de waterdiepte kan gedacht worden aan:

- Verhogen bodem
- Vergroten natte oppervlak

Volgens de theorie is het mogelijk om door middel van een kleinere waterdiepte een kleinere stroomsnelheid te realiseren. Dit kan bereikt worden door middel van het verhogen van de bodem. Dit is één van de maatregelen die in ieder geval uitgevoerd gaat worden, naast het verwijderen van de stuwen. Andere mogelijkheid is om het natte dwarsprofiel aan te passen, bijvoorbeeld door de bodem te verbreden of de taluds te verflauwen.

#### § 3.3 Verkleinen verhang

Voor het verkleinen van het verhang kan gedacht worden aan:

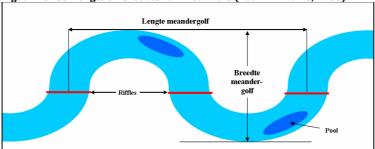
- Vergroten lengte
- Aanbrengen stuwen

Een mogelijkheid om het verhang te verkleinen is om de lengte van de waterloop te vergroten. Op deze manier overbrugt de waterloop over dezelfde afstand een kleiner verval. Dit kan door oude meanders op te zoeken en de beek daarin aan te leggen. Het is ook mogelijk nieuwe meanders te graven. Vaak zijn oude meanders berekend op kleinere afvoeren en zullen de dwarsprofielen daarvan aangepast moeten worden. Rivieren en beken zijn altijd in een dynamisch evenwicht tussen de sedimentladingen en de energie die beschikbaar is door stroomsnelheid om het sediment te transporteren. De geometrie van meanders, de patronen van rivieren, ontwikkelen zich op een natuurlijke manier om een evenwicht te creëren tussen de aanvoer van sediment en de aanwezigheid van stroom/snelheidsenergie. Rivieren volgen een continue verandering in de lengte van de waterloop wat erin resulteert dat een bepaald verhang wordt gehandhaafd. Op deze manier zal de rivier niet steiler of minder steil worden. Als de lengte van een rivier wordt aangepast, door het verminderen van sinuositeit (zoals het aftakken van meanders of kanaliseren) wordt de lengte van de waterloop verkleind, dit heeft tot gevolg dat het lokale verhang vergroot wordt wat tot gevolg heeft dat er een hoeveelheid aan veranderingen plaats vindt aan de rivierloop (Rosgen, 1996). Natuurlijk rechte alluviale rivieren (rivieren die over hun eigen afzettingen stroomt) zijn heel zeldzaam. Zelfs met rechtere rivieren is er een mate van sinuositeit, de diepste rivierbedding (Thalweg) volgt dan alsnog een soort sinuspatroon tussen de rechte banken/oevers van de waterloop. Klei en vegetatie, die overigens in groten getale langs rivieren en beken staan, zeker bij uiterwaarden, kunnen er voor zorgen dat meanders anders lopen dan verwacht. Dit is ook de reden dat men nauwelijks perfect gevormde meanders tegenkomt (Vermont Agency of Natural Resources [VANR], 2004). Beken met hele hoge sedimentladingen hebben normaal gesproken kortere meandergolven en grotere meanderbreedtes (zie Figuur 15). Bij een beek met een groot bodemtransport en een oever die resistent is voor erosie (vegetatie of cohesief materiaal) is het dwarsprofiel normaal gesproken smaller.



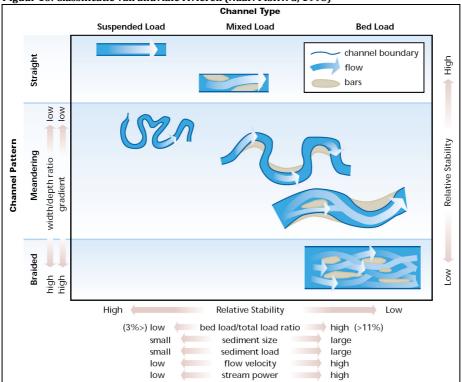


Figuur 15: Golflengte en breedte van meanders (Naar: Williams, 1986)



Als men een meander op een natuurlijke wijze wil aanleggen, is het verstandig om de formules op het gebied van natuurlijke sinuositeit te gebruiken. De redenen waarom sommige rivieren wel meanderen en andere niet, hangt af van verschillende parameters (zie Figuur 16). Zoals te zien hangt het patroon onder andere af van parameters als stabiliteit, gradiënt, sedimentgrootte en stroomsnelheid.

Figuur 16: Classificatie van alluviale rivieren (Naar: FISRWG, 1998)



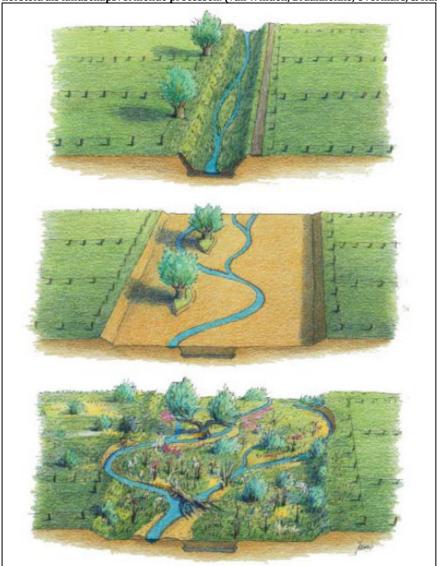
In Limburg zijn zoals gezegd al meerdere beken hersteld. Eén daarvan is de Rode Beek. Deze loopt door het Geuldal. Het ontwerp van de Rode Beek is gebaseerd op het zogenaamde accoladeprofiel dat nu vaak bij beken wordt aangelegd als de ruimte beperkt is. Dit bestaat uit een smal laagwaterbed en een breed hoogwaterbed. In het geval van Rode Beek is een variant ingevoerd: menselijk ingrijpen blijft beperkt tot het graven van een breed hoogwaterbed, waarna de beek zelf haar laagwaterbed mag vormen. Er wordt allereerst een brede ondiepe vlakte uitgegraven door het laagste deel van het terrein, waarover het beekwater vrij kan stromen. De beek zal in deze vlakte zelf haar zomerbedding gaan vormen die – binnen de grenzen van het gegraven hoogwaterbed (ook wel corridor genoemd) – een natuurlijke loop krijgt en zichzelf eenvoudig kan verleggen. Er is daardoor voldoende ruimte voor beekgebonden processen in de nieuwe brede beddingen en het voedselrijke water zal binnen het hoogwaterbed blijven en niet tot een verstoring van leefgemeenschappen in het moeras leiden.

Aangezien de Saasvelderbeken in de natuurgebieden zelf hun weg mogen zoeken, is onderstaande visualisatie voor de inrichting wellicht een idee. Hierbij is een corridor gemaakt



met aan weerszijden waterkeringen. Binnen deze corridor kan de beek zelf zijn weg vinden en zal het hele gebied bij hoogwater tot de oevers gevuld zijn.

Figuur 17: Het verkrijgen van een streefbeeld in drie stappen, naar idee van de uitwerking van de Rode Beek. *Boven*: De huidige situatie. *Midden*: Een gegraven breed en vlak hoogwaterbed, waar het water overheen stroomt. *Onder*: De beek graaft zelf zijn bedding uit, erosie en sedimentatie zijn hersteld als landschapsvormende processen. (van Winden, Braakhekke, Overmars, & Kurstjens, g.d.)



De bedding raakt begroeid, maar de beek zal een deel van de vegetatie weer opruimen en plaatselijk vers zand afzetten. Door begrazing ontstaat er een mozaïekpatroon, waar bos en struikgewas de overhand krijgen. Het gaat hier vooral om wilgen en elzen, de kenmerkende bomen in beekdalen. Lokaal zullen op hogere plekken ook eiken ontkiemen. Bij de dimensies van de bedding dient rekening gehouden te worden met het feit dat opstuwing door de dichtere vegetatie in de nieuwe bedding bovenstrooms geen problemen oplevert. Dit voorbeeld is toegepast bij de Rode Beek in Limburg, bij de dimensionering daarvan is het doorstroomprofiel meer dan vijf maal zo groot als in de huidige situatie. De beekbeddingen worden aangelegd in het laagste deel van de beide dalen. In de beekloop zal zich een grote variatie aan watertypen ontwikkelen, wat voor de flora en de fauna van groot belang is. De verwachting is dan ook dat allerlei kenmerkende soorten vogels, vissen, amfibieën, libellen en andere waterinsecten zullen terugkeren (van Winden et al, g.d.).

Voor het tegengaan van een te grote horizontale verplaatsing kan gedacht worden aan het planten van vegetatie of het aanbrengen van elzen aan de oevers. De horizontale morfologie zal voornamelijk in de eerste paar jaar voorkomen. Daarna is de vegetatie te sterk en bepalend voor



de loop van de beek, hierdoor zal het patroon van de beek niet tot nauwelijks meer veranderen (Zonderwijk, Heijdeman, Jaarsma & Leemeijer, 1988). De totale lijst met mogelijke oplossingen en voorbeelden hiervan is te vinden in Appendix F.

#### § 3.4 Te onderzoeken maatregelen

De primaire maatregelen die volgens het inrichtingsplan uitgevoerd gaan worden zijn het verwijderen van alle stuwen en het verhogen van de bodem. Hoeveel dit verhoogd zal worden hangt af van de morfologische evenwichtssituatie, aangezien er een bepaalde waterstand bereikt moet worden. Bij een waterstandverandering zal er namelijk een verandering in bodempeil plaatsvinden, wat weer een gevolg heeft voor de waterstand, net zolang tot er een evenwicht wordt gevonden. Of de primaire maatregelen afdoende werken om de inrichtingsdoelen te halen is één van de doelen van dit onderzoek. De effecten van aanvullende maatregelen worden ook onderzocht.

De maatregelen die onderzocht gaan worden zijn de maatregel meanderen en de maatregel keidam. Dienst Landelijk Gebied zou graag zien of het mogelijk is om de beken te laten meanderen. Deze aanvullende maatregel wordt daarom onderzocht. De andere maatregel is het verruwen van de bodem door middel van een keidam. Qua effect zal dit nagenoeg gelijk zijn aan het verruwen van de bodem door middel van vistrappen of drempels (zie § 3.1). Daarnaast spelen de meervoudige functies (vastleggen bodem, diversiteit in stroomsnelheden, stuwen water) een rol om voor deze maatregel te kiezen. Verruwen middels een vegetatiestuw is niet mogelijk. Volgens de Europese Kaderrichtlijn Water behoren de beken beschaduwde beken te zijn. Dat betekent er niets in kan groeien, aangezien daar zonlicht voor nodig is.

Het veranderen van het dwarsprofiel was ook een mogelijkheid. Hier wordt echter niet naar gekeken. Hiervoor is niet gekozen vanwege het feit dat er veel variaties mogelijk zijn. Dit is een studie op zich waard.



### Hoofdstuk 4. Modelbeschrijving

In dit hoofdstuk staat beschreven welk model er binnen het onderzoek gebruikt is en waarom. Daarna is beschreven hoe in SOBEK gerekend wordt en worden de belangrijkste vergelijkingen gepresenteerd. Verder zal besproken worden hoe het model is opgezet en hoe de te onderzoeken maatregelen zijn gemodelleerd om tot resultaten te komen.

#### § 4.1 Keuze voor SOBEK

Het modelleerprogramma dat gebruikt wordt om de hydraulische en morfologische effecten te onderzoeken is SOBEK-River/Estuary (SOBEK-RE). Dit model is ontworpen door het vroegere Waterloopkundig Laboratorium Delft (WL Delft) en het Rijksinstituut voor Zoet- en Afvalwaterbehandeling (RIZA) van Rijkswaterstaat, tegenwoordig beter bekend als Deltares en de Waterdienst. SOBEK is een eendimensionaal dynamisch numeriek modelleersysteem voor open waterlopen. Dit houdt in dat het gebruikt kan worden als flexibel, krachtig en betrouwbaar stuk gereedschap om problemen in rivierbeheer, overstromingsveiligheid en water kwaliteit kan simuleren en oplossen (SOBEK-RE heldesk, 2004 (*User Manual*)).

De keuze is op dit model gevallen omdat het waterschap de beken gemodelleerd heeft in SOBEK 2.09. Met SOBEK 2.09 is het mogelijk om de *Rainfall-Runoff* te bepalen en aan de hand daarvan de *channel* en *overland flow* te verkrijgen. Hiermee kan inzicht verkregen worden in een eventuele overstroming bij een bepaalde regenbui en afvoer. De bedoeling is echter om de verticale insnijding te onderzoeken en daarom is een programma met morfologische berekeningsmogelijkheden nodig. SOBEK-RE heeft deze mogelijkheden wel. Daar beide programma's door dezelfde instantie zijn ontworpen is de verwachting dat de programma's redelijk goed op elkaar zijn afgestemd en dat het model van het waterschap eenvoudig overgezet kan worden naar een model in SOBEK-RE. Op deze manier moeten de dwarsprofielen, stuwen en eigenschappen als hoogte en lengte eenvoudig uitgelezen kunnen worden en kan het model worden aangepast op de nieuwe situatie.

Het nieuwe model is niet volledig gecalibreerd. Dit is niet gedaan omdat het huidige beeksysteem erg verschilt met de gewenste situatie. Op parameters als stroomsnelheden en waterstanden kan het nieuwe model niet worden vergeleken met de huidige situatie. De afvoeren dienen wel overeen te komen, dat is dan ook gecontroleerd. De gegevens die gebruikt zijn voor het opzetten van het model komen van het waterschap en zijn wel gecalibreerd.

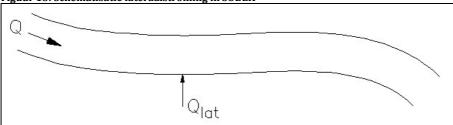
#### § 4.2 Modellering in SOBEK

De modules van SOBEK-RE die gebruikt worden in dit onderzoek zijn waterstroming, sediment transport en morfologie. Het modelleren van de maatregel meanderen is gedaan door de lengte te vergroten tussen twee opeenvolgende dwarsprofielen. Hierdoor wordt het verhang kleiner (aangezien de dwarsprofielen wel op dezelfde hoogte blijven). De maatregel keidammen kan ingevoerd worden middels het invoeren van overlaten (weirs).

#### Lateraalafvoeren

Een schematisatie van de manier waarop lateraalafvoeren in SOBEK-RE is gemodelleerd is te zien in onderstaande figuur (Figuur 18).

Figuur 18: Schematisatie lateraalstroming in SOBEK



Bij het modelleren van lateraalstromingen moet men rekening houden met het feit dat de toegevoegde afvoer  $(Q_{lat})$  niet te groot wordt ten opzichte van de hoofdafvoer (Q). Hierbij geldt



een maximum lateraalafvoer van 25% van de hoofdafvoer ( $Q_{lat} \le 0.25Q$ ). Deze lateraalafvoeren zijn verwerkt in de continuïteitsvergelijking (Vergelijking 2) door middel van uitwisseling van water met de buitenwereld (dit kan zowel inkomend als uitgaand water zijn).

#### Vergelijking 2: Continuïteitsvergelijking voor water

$$\frac{\partial At}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{lat}$$

Met: A<sub>t</sub> Totale oppervlakte dwarsprofiel [m<sup>2</sup>]

q<sub>lat</sub> Laterale afvoer per eenheid lengte [m<sup>2</sup>/s]

Q Afvoer

# Morfologie

Morfologie wordt veroorzaakt door (lokale) vraag en aanbod van sediment. Het water moet hiervoor wel de mogelijkheid hebben om dit sediment te kunnen transporteren. Tijdens de normale afvoer is er vanwege het lage aanbod van water met bijbehorende lage stroomsnelheden weinig sedimenttransport, wat weinig morfologische activiteit tot gevolg heeft. Tijdens extreme (2Q) situaties is de hoeveelheid water flink gestegen en de hoeveelheid capaciteit sedimenttransport daardoor ook.

De morfologische veranderingen worden in SOBEK bepaald met behulp van de continuïteitsvergelijking voor bodemmateriaal (Vergelijking 6). Samen met de continuïteitsvergelijking (Vergelijking 2) en de evenwichtsvergelijking voor water (Vergelijking 3) wordt deze vergelijking numeriek opgelost door SOBEK. Hierbij wordt de volgende werkwijze gehanteerd:

- Eerst wordt de waterbeweging bepaald op basis van een vaste dwarsdoorsnede die tijdens de voorgaande rekenstap is bepaald (Vergelijking 3);
- Dan wordt het sedimenttransport per eenheid breedte berekend (Vergelijking 4);
- Vervolgens wordt het sedimenttransport *s* (Vergelijking 5) bepaald;
- Tot slot de morfologische aanpassingen bepaald met behulp van Vergelijking 6.

Op basis hiervan wordt de dwarsdoorsnede aangepast. Met behulp van de mogelijke transportformules kan *s* bepaald worden. Deze transportformules beschrijven het sedimenttransport op basis van lokale omstandigheden zoals bodemruwheid, stroomsnelheid en korrelgrootte.

#### Vergelijking 3: Evenwichtsvergelijking water

$$Q = u \cdot h \cdot B$$

Met: Q Debiet [m<sup>3</sup>/s]

u Stroomsnelheid [m/s]

h Waterdiepte [m]

B Stroombreedte [m]

# Vergelijking 4: Sedimenttransport per eenheid breedte

$$s = \frac{0.05u_m^5}{(1 - \varepsilon)\sqrt{g}C^3\Delta^2 D_{50}}$$

Met: u<sub>m</sub> Gemiddelde stroomsnelheid [m/s]

g Gravitatieconstante [m/s<sup>2</sup>]

Δ Relatieve dichtheid [-]

D<sub>50</sub> Korrelgrootte waarvan 50% van het materiaal kleiner is [m]

### Vergelijking 5: Bepaling sedimenttransport

$$S = W_s s \cdot u_m$$

Met: W<sub>s</sub> Sedimenttransporterende breedte [m]

s Sedimenttransport per eenheid van breedte [m²/s]

u Stroomsnelheid [m/s]

Vergelijking 6: Continuïteitsvergelijking bodemmateriaal

$$\frac{\partial A_t}{\partial t} - \frac{\partial S}{\partial x} = -s_{lat}$$

Met: A<sub>s</sub> Sedimenttransporterende dwarsdoorsnede [m<sup>2</sup>]

S Sedimenttransport door de dwarsdoorsnede inclusief porievolume [m³/s]

s<sub>lat</sub> Laterale sedimenttoevoer inclusief porievolume [m<sup>2</sup>/s]

# Bepaling transportformule

Om de morfologie te berekenen kan gekozen worden uit de volgende transportvergelijkingen:

- · Ackers & White
- Engelund & Hansen
- Meyer-Peter & Müller
- Parker & Klingeman
- Van Rijn

De formules van Meyer-Peter & Müller en Parker & Klingeman zijn bruikbaar voor rivieren met grof sediment en in dit geval dus niet bruikbaar. De formule van Van Rijn is niet bruikbaar vanwege de beperkingen met betrekking tot waterdiepte en stroomsnelheid. De keuze voor de te gebruiken transportformule is Engelund & Hansen, dit is een veelgebruikte vergelijking voor fijn sediment aangezien geen rekening wordt gehouden met het moment van beweging. Daar het sediment fijn en eolisch van aard is, is dit een voor de hand liggende keus. Deze vergelijking kan als volgt dimensieloos worden opgeschreven:

Vergelijking 7: Transportformule Engelund & Hansen

$$\Phi = \frac{0.05}{1 - \varepsilon} \frac{C^2}{g} \theta_s^{5/2}$$

Met:  $\Phi$  Sediment transport parameter [-]

 $\theta_s$  Shields-parameter, vertegenwoordigd de stroomcondities [-]

C Chézy coëfficiënt [m½/s]

ε Packing factor van het bodemmateriaal [-]

# § 4.3 Modellering Nulsituatie

Allereerst worden de waterstanden en stroomsnelheden van de nulsituatie berekend naar het toekomstige ontwerp van het waterschap, dit houdt in dat de bodem wordt verhoogd en de stuwen worden verwijderd, dit wordt de nulsituatie genoemd. Hierbij wordt in eerste instantie niet morfologisch gerekend. Eerst wordt gecontroleerd of de waterstanden wel voldoen aan de randvoorwaarden die zijn gesteld. De maatregelen worden op dezelfde manier hydraulisch onderzocht en vergeleken met de nulsituatie. Vervolgens wordt er morfologisch gerekend en worden de totale effecten bekeken. Zo kan onderzocht worden wat de effecten zijn in de initiële situatie bij een bepaalde maatregel en wat een maatregel op lange termijn voor effect heeft. De invulling van de verschillende lagen met informatie staan hieronder punt voor punt beschreven voor de nulsituatie, per maatregel en voor de morfologie.

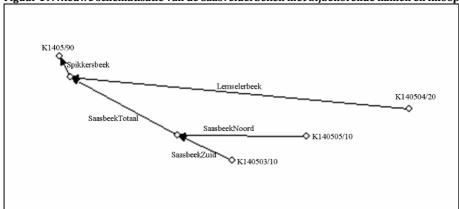
De nulsituatie is de situatie waarbij in de huidige beek de stuwen zijn verwijderd en de bodem is verhoogd tot de voorgestelde ontwerpbodempeilen zoals voorgeschreven door het waterschap. Dit is gemodelleerd door de stuwen uit het model te halen en vervolgens de dwarsprofielen naar de nieuwe bodemhoogte te brengen. Hierbij is uitgegaan van de huidige dwarsprofielen en de door het waterschap voorgestelde bodempeilen. De nulsituatie is het uitgangspunt voor de maatregelen die worden onderzocht, het effect van de maatregelen kan zo vergeleken worden met deze nulsituatie.

#### *Topografie*

De beken waren in eerst instantie in veel kleine waterlopen opgedeeld. Daarnaast waren enkele waterlopen (*branches*) verkeerdom gemodelleerd, waardoor het water niet alleen naar beneden zou lopen, maar soms juist werd vastgehouden. Omdat het model was versnipperd en vastliep is,

na beraadslaging van verschillende SOBEK-experts, het grote aantal waterlopen (meer dan 50) teruggebracht naar vijf. De begin- en eindpunten zijn hierbij intact gebleven. Hiertussen zijn de nieuwe waterlopen aangelegd met nieuwe benamingen, maar wel met dezelfde (totale) lengtes als voorheen. Aan de hand van het oude model is op dezelfde locaties hetzelfde dwarsprofiel op dezelfde hoogtes geïmplementeerd, deze zijn ten opzichte van NAP. Na deze handelingen kon het programma het model wel doorrekenen. In onderstaande figuur (Figuur 19) is te zien hoe de waterlopen zijn geschematiseerd in SOBEK-RE in de nieuwe situatie.

Figuur 19: Nieuwe schematisatie van de Saasvelderbeken met bijbehorende namen en knooppunten



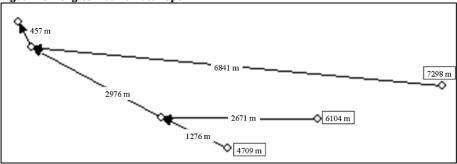
Zoals te zien zijn er in het nieuwe model vijf waterlopen en zes knooppunten. De knooppunten aan het begin en eind (K140504/20; K140505/10; K140503/10 en K1405/90, zoals aangegeven in Figuur 19) zijn hydraulische en morfologische randvoorwaarden. De knooppunten en hun namen zijn rechtstreeks overgenomen uit het model van het waterschap, zo kan het nieuwe model direct geverifieerd worden met het model van het waterschap. Verder is voor de dwarsprofielen en de waterlopen de volgende benaming gebruikt:

Tabel 2: Renaming van de beken in het nieuwe model

Naam	In model	Afkorting
Lemselerbeek	Lemselerbeek	LB
Saasvelderbeek Noordelijke tak	SaasbeekNoord	SN
Saasvelderbeek Zuidelijke tak	SaasbeekZuid	SZ
Saasvelderbeek Gezamenlijke tak	SaasbeekTotaal	ST
Spikkersbeek	Spikkersbeek	SB

De nieuwe lengtes van de waterlopen staan in de onderstaande figuur. De afstanden in de omlijnde blokken bij de beginpunten zijn de totale afstanden van de beek. Dit is van belang voor de weergave van de resultaten. Zo kan het hele snelheids- en waterstandprofiel van de beken gezien worden, stroomversnellingen of plotselinge waterschommelingen kunnen dan goed worden waargenomen. Dit is vooral van belang op locaties waar waterlopen samengevoegd worden.

Figuur 20: Lengtes nieuwe waterlopen





# Afstudeeronderzoek naar hydraulische en morfologische effecten van maatregelen voor beekherstel.



De overige aantakkingen die in het model stonden, zijn geïmplementeerd als lateraalstroming, op dezelfde locaties als in het oude model het geval was. De locaties en bijbehorende afvoeren van de lateraalstromingen staan in Appendix G.

#### Dwarsprofielen

In Appendix G zijn de nieuwe en oude locaties en lengtes van de waterlopen en dwarsprofielen opgeschreven in een tabel. De hoogtes van het ontwerp van de Saasvelderbeek Totaal die het waterschap had aangeleverd sloten niet aan bij die van de Spikkersbeek. Dit is gecontroleerd door de huidige bodem- en waterpeilen te controleren en deze aan de lengteafstanden te koppelen. Het bleek dat er een verschil van 23 cm tussen het ontwerpbodempeil van de twee waterlopen zat. Dit peil is niet overal met 23 cm verhoogd, maar er is rekening gehouden met het ontwerp van het bodemprofiel over de lengte, waardoor in het begin geen extra verhoging optreedt, maar langzamerhand oploopt naar 23 cm. Dit is gedaan omdat zo naar verwachting de gewenste waterstand beter gehaald wordt. Er zal naar verwachting wel een verschil tussen de beken zitten qua bodempeil, aangezien op dat punt de Lemseler- en de Saasvelderbeek samenkomen. De afvoer zal groter worden, maar de waterstand moet voor beide beken hetzelfde zijn (aangezien hier eisen zijn vanuit GGOR). Gezien de formule voor de bepaling van het debiet (Vergelijking 3) zal bij een gelijkblijvende breedte de stroomsnelheid en/of de waterdiepte moeten toenemen om de grotere afvoer te kunnen bolwerken. Aangezien de waterstand gelijk moet zijn voor beide beken, zal de bodem zich naar verwachting verlagen. Dit is zo niet ingevoerd, omdat de beek zichzelf zal aanpassen op de lange termijn. De figuur met beoogde en ingevoerde bodempeilen is te vinden in Appendix G.

#### Kunstwerken

Er zijn geen kunstwerken (stuwen) in het model geïmplementeerd aangezien deze in het ontwerp ontbreken, ze worden immers verwijderd.

#### Frictie

Bij de invoer voor frictie is alleen de bodemfrictie ingevoerd. Uit het model van het waterschap zijn de Manning-coëfficiënten gehaald. Er is gekozen voor deze waardes en niet voor de Chézywaardes, omdat die afhankelijk zijn van de waterdiepte (natte omtrek) en de Manning-coëfficiënten constant blijven ongeacht de waterdiepte. Juist ook na verdieping van de bodem is het mogelijk dat de Chézy-waardes veranderen, terwijl Manning-coëfficiënten gelijk blijven, deze coëfficiënt is voor de gehele beek  $0,0399 \, (m^{1/6})$ . Deze waarde komt overeen met een bergbeek met een rotsbodem (zie tabel in Appendix G). Dit lijkt dus niet helemaal op de waarde die bij de natuurlijke beek hoort. De waarde van het waterschap is aangehouden, er zal nog wel onderzocht worden wat het effect van een andere ruwheid is (zie Hoofdstuk 7).

#### **Condities**

Er dienen randvoorwaarden opgegeven te worden voor de waterstroming op zowel de randpunten als de lateraalafvoeren. De randvoorwaarden die bovenstrooms zijn opgelegd staan in de tabel in Appendix G, samen met de invoer voor de lateraalafvoeren. Deze afvoeren zijn gebaseerd op de data van het waterschap. Dezelfde begin- en lateraalafvoeren zijn gebruikt. Aan het eind van de Spikkersbeek dient een benedenstroomse randvoorwaarde opgegeven te worden voor de waterstand, deze is afkomstig van het waterschap en is in de ¼Q-situatie 12.1 m +NAP en in de 2Q-situatie 12.6 m +NAP. Gezien de ambitie om geen onderhoud plaats te laten vinden na aanleg van maatregelen is een tijdshorizon van 50 jaar gekozen voor het analyseren van de effecten van maatregelen op de bodem- en waterpeilen voor de lange termijn. Aangezien er weinig informatie is betreffende de afvoerregimes in het inrichtingsgebied is gekozen voor een combinatie van de huidige twee afvoersituaties. Voor de impact van de morfologie wordt een ¼Q-afvoer gebruikt gedurende 5 jaar met daarna 1 dag een 2Q-afvoer. Vervolgens is er een periode van 45 jaar met ¼Q-afvoer. Aangezien de 2Q-situatie statistisch eenmaal per 50 jaar voorkomt is deze eenmaal meegenomen. De ¼Q-afvoer wordt statistisch echter slechts 80 dagen per jaar bereikt of overschreden. Bovenstaand afvoerregime heeft dus een grotere impact (meer afvoer) dan volgens voorspelling zou plaatsvinden. Aan de hand van dit afvoerregime wordt gekeken naar de gevolgen voor de bodem gedurende deze twee afvoeren.

Op rekenpunten waar 3 of meer waterlopen samenkomen, dient aangegeven te worden wat de verdeling van het sediment is. Hier is gekozen om dit proportioneel te laten verlopen. Zo is de sedimenttoevoer in verhouding tot de watertoevoer. Als randvoorwaarde voor de bovenstroomse knooppunten en lateraalafvoeren is gekozen om geen sediment de beek in te laten stromen, dit vanwege het feit dat deze knooppunten het begin zijn van de waterlopen en geen sedimenttoevoer hebben. Deze bronnen verzamelen zich in bovenstrooms gelegen wadi's en stromen langzaam naar een ven. Van hieruit begint het model te rekenen (dit ven is een bovenstroomse randvoorwaarde).

#### Initiële condities

De initiële condities moeten worden ingevoerd zodat het model de evenwichtspeilen kan berekenen. Dit kan per waterloop worden aangegeven, maar vaak gebeurt dit met *autostart* waarbij het programma het model als het ware volzet met water en het leeg laat lopen totdat er een evenwicht is gevonden. Dat is hier ook gebeurd. Daarnaast dienen de waardes voor het sediment ingevoerd te worden. De korrelgrootte van het dekzand ligt tussen de 75 en 150 micrometer (0.075 – 0.150 mm). Notitie hierbij is dat, aangezien de formule van Engelund & Hansen gebruikt wordt (zie Vergelijking 7), er alleen rekening gehouden hoeft te worden met de  $D_{50}$  (hiervoor is een waarde van 0.115 mm gebruikt).

# Grid definitie

Er dienen rekenpunten ingevoerd te worden, waardoor output van het model wordt verkregen. Het aantal punten in een waterloop bepaalt de nauwkeurigheid van de resultaten en de tijdsduur van de berekening. In elke waterloop moeten in ieder geval drie punten zijn aangebracht, anders kan SOBEK het model niet doorrekenen. Na overleg met SOBEK-experts is gekozen voor een afstand van 100 meter voor de meeste waterlopen, dit zorgt voor voldoende nauwkeurigheid. Voor de zuidelijke streng van de Saasvelderbeek en voor de Spikkersbeek is om de 50 m een rekenpunt aangebracht. Dit is gedaan omdat deze takken kleiner zijn dan de overige takken en er bij een afstand van 100 meter nauwelijks rekenpunten zouden zijn en er dus minder nauwkeurigheid behaald zou worden.

#### Run time data

De simuleringstijd en rapportering dienen ingevoerd te worden. Na overleg met experts is besloten om een berekening om de 10 minuten te maken, voor 1 maand lang. Dit is lang genoeg om de waterstanden te berekenen, omdat deze zich snel aanpassen.

#### § 4.4 Modellering Meanderen

Het modelleren van de maatregel meanderen is niet te realiseren door daadwerkelijk een meanderpatroon in SOBEK-RE in te voeren, daar het een eendimensionaal rekenprogramma is. Bij meandering komen ook spiraalstromingen tot stand, maar dit kan met dit programma niet gemodelleerd worden. Dat is in dit geval ook niet van belang, aangezien vooral de verticale morfologie onderzocht moet worden. Deze insnijding kan met dit programma wel onderzocht worden. Het modelleren van meanders is gedaan door middel van het verlengen van de beeklengte tussen de dwarsprofielen in de nulsituatie. Door de lengte te vergroten over hetzelfde verval wordt het verhang kleiner. De afmetingen waarbij rekening gehouden moet worden bij het meanderen, zijn bepaald aan de hand van de formules en aannames van Thorne (1997) en Williams (1986) (zie § 3.1). Deze vergelijking is voor de beken in dit onderzoek goed te gebruiken, hoewel in de bovenstroomse delen niet altijd de 1.5 meter oevervolle breedte gehaald wordt. Dit is in Appendix H te zien, waar per dwarsprofiel de oevervolle breedte staat gepresenteerd. Kleinere beken en rivieren kunnen wellicht ook dezelfde meandergolf hebben, maar dit is niet aangetoond in dit onderzoek.

Leopold (1964) betoogt (aldus VANR, 2004) dat riffles (zie Figuur 21) 5-7 oevervolle breedtes van elkaar af liggen en meander golflengtes 10-14 oevervolle breedtes. Williams (1986) heeft een formule gevonden voor de breedte van de meandergolf, deze formule is als volgt:

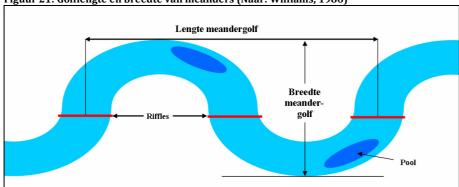
Vergelijking 8: Bepalen van de breedte van de meandergolf (VANR, 2004)  $B=3.7\cdot W^{1.12}$ 



Hierin is B Breedte meandergolf (ft) W Oevervolle breedte (ft)

Deze formule geldt voor rivieren van 5 tot 13.000 ft breed. Dit komt overeen met een breedte van 1.5 tot 4000 meter (1 *foot* = 0.3048 meter).

Figuur 21: Golflengte en breedte van meanders (Naar: Williams, 1986)



Om de meandereigenschappen te bepalen is de oevervolle breedte nodig om zowel de lengte van de meandergolf als de meanderbreedte uit te rekenen. Omdat de dwarsprofielen niet over de hele lengte hetzelfde zijn, hangt de grootte van de meandergolf af van de locatie. Het komt er voornamelijk op neer dat bovenstrooms kleinere meanders aanwezig zijn dan benedenstrooms, doordat de oevervolle breedtes bovenstrooms kleiner zijn. In de tabel hieronder is voor enkele locaties de oevervolle breedte te zien, met de bijbehorende breedte en lengte van de meandergolf, afgerond op hele meters. Hierbij is uitgegaan van de huidige dwarsprofielen. Bij de meandergolf staan twee rijen met getallen, dit zijn de twee uitersten naar de bevindingen van Leopold (1964), 10 en 14 keer de oevervolle breedte. De gegevens van alle dwarsprofielen zijn terug te vinden in Appendix H.

Tabel 3: Enkele dwarsprofielen en hun eigenschappen met betrekking tot meandering

Dwarsprofielen Meandering		Locatie	Breedte (oevervol) [m]	Meande	r Golf [m]	Meander breedte [m]	Nieuwe lo	catie DP	
Naam	1	Branch	[]	(00000000) [111]	10	14		10	14
L1		Lemselerbeek	3	2,3	39	54	19	5	4
L5		Lemselerbeek	878	3,6	38	54	19	1380	1199
L10		Lemselerbeek	2782	4,0	40	56	20	4386	3806
L15		Lemselerbeek	4445	4,5	45	63	23	7057	6111
L20		Lemselerbeek	6783	4,9	49	68	25	10829	9361
	Total	Lemselerbeek	6841	Gem vergroting:	1,60	1,38		10922	9441
SN1		SaasbeekNoord	7	1,0	10	14	4	11	10
SN7		SaasbeekNoord	2665	4,1	41	57	21	4210	3652
	Total	SaasbeekNoord	2671	Gem vergroting:	1,58	1,37		4219	3659
OT4		0 1 1 7 1 1		0.0	00	4.4	4.5	•	0
ST1		SaasbeekTotaal	2	3,2	32	44	15	2	2
ST6		SaasbeekTotaal	1866	5,1	51	72	27	2988	2581
ST18		SaasbeekTotaal	2938	7,1	71	100	38	4803	4121
	Total	SaasbeekTotaal	2976	Gem vergroting:	1,63	1,40		4865	4174
SZ1		SaasbeekZuid	2	0,9	9	13	4	3	2
SZ5		SaasbeekZuid	1150	4,0	40	56	20	1812	1573
	Total	SaasbeekZuid	1276	Gem vergroting:	1,58	1,37		2011	1745
SB		Spikkersbeek	5	7,4	74	103	40	7	6
	Total	Spikkersbeek	457	Gem vergroting:	1,64	1,40	.0	749	642

In Figuur 22 is schematisch weergegeven hoe de lengte van de beek over een hemelsbrede afstand is vergroot. Als voorbeeld wordt dwarsprofiel 'ST18' van de tabel hierboven gebruikt om de berekeningen te verduidelijken. Het bepalen van de nieuwe lengte van de beek is gedaan door de meandering op te vatten als ellips. De omtrek van een ellips exact berekenen is erg lastig, de





omtrek en dus de lengte van de nieuwe beek wordt daarom benaderd met de volgende vergelijking:

Vergelijking 9: Vereenvoudigde formule voor omtrek van een ellips (http://www.wiswijzer.nl)

$$s = \pi \sqrt{2(a^2 + b^2)}$$

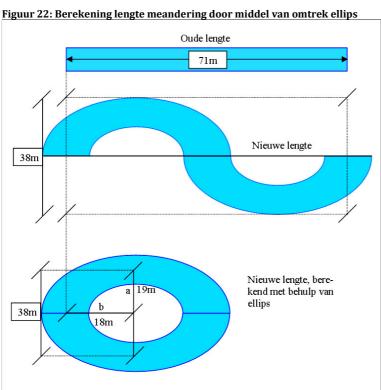
Met a: Korte straal

b: Lange straal

s: Lengte omtrek

In onderstaande figuur is een voorbeeld gegeven van het bepalen van de nieuwe lengte aan de hand van de gegevens van dwarsprofiel 'ST18' (zie

Tabel 3). Voor een ellips met deze afmetingen geldt bij een meandergolf van 10 maal de oevervolle breedte: a = 38/2 = 19 en  $b = 71/4 \approx 18$  meter (zie Figuur 22), waaruit volgt dat de nieuwe lengte van de beek 116 meter is.



<sup>3</sup>. In de nieuwe situatie is dit verkleind tot  $0.10/116 = 0.9 *10^{-3}$ .

De lengte van de oude beek is 71 meter. De lengte van de nieuwe beek *s* = 116 meter. Stel dat de

beek over deze 71 meter 10 cm vervalt. In de nulsituatie is het verhang dan dus  $0.10/71 = 1.4*10^{\circ}$ 

Aangezien de meandergolf tussen 10 en 14 keer de oevervolle breedte ligt, worden beide uitersten met elkaar vergeleken. Een kortere golf geeft een grotere lengte op een hemelsbrede afstand, waardoor het verhang wordt aangepast. Een meandergolf van 10 keer de oevervolle breedte heeft uiteindelijk een kleiner verhang tot gevolg dan een meandergolf van 14 keer de oevervolle breedte.

In de berekeningen wordt allereerst de lengte van een meandering over 10 keer de oevervolle breedte gebruikt. Als deze extremere situatie niet werkt, zal de ander ook niet werken. Echter, als deze werkt hoeft de lengte van 14 maal de oevervolle breedte niet persé ook te werken.

#### Veranderde input ten opzichte van de nulsituatie

# Topografie

Zoals hierboven uitgelegd dienen de waterlopen verlengd te worden. De nieuwe lengtes van de afzonderlijke en totale waterlopen staan gepresenteerd in Tabel 4. De lengtevergroting is ongeveer 1.6.

Tabel 4: Nieuwe lengtes waterlopen

	Oude lengte [m]	Nieuwe lengte [m]
Lemselerbeek	6841	10922
Saasvelderbeek Noord	2671	4219
Saasvelderbeek Zuid	1276	2011
Saasvelderbeek Totaal	2976	4865
Spikkersbeek	457	749

	Oude lengte [m]	Nieuwe lengte [m]
Lemselerbeek	7298	11671
Saasvelderbeek Noord	6104	9832
Saasvelderbeek Zuid	4709	7624

#### Dwarsprofielen

De dwarsprofielen hebben allemaal een nieuwe locatie gekregen. Deze nieuwe locaties zijn terug te vinden in Appendix H.

#### **Condities**

De locaties van de lateraalafvoeren zijn ook aangepast. Gezien vanaf de bron stromen ze nog steeds op dezelfde hemelsbrede afstand in de beek. Doordat de beek langer is geworden is de locatie echter veranderd. De nieuwe locaties van de lateraalafvoeren zijn te vinden in Appendix H

# Grid definitie

De afstand tussen de rekenpunten is vergroot naar 200 m voor de Lemselerbeek, de noordelijke streng van de Saasvelderbeek en de samengevoegde Saasvelderbeek. Voor de zuidelijke streng van de Saasvelderbeek en de Spikkersbeek is, de afstand vergroot naar 100m. Dit geeft volgens meerdere gebruikers en experts van SOBEK-RE voldoende rekenpunten voor presentatie van de resultaten.

# § 4.5 Modellering Keidammen

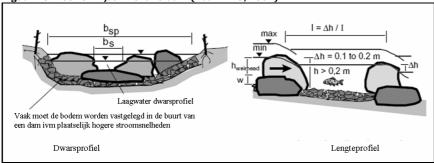
Keidammen hebben een stuwende werking en zorgen voor zowel een snelheidsvermindering als een verhoging van de waterstand, net als de huidige stuwen. De dammen worden dan ook als stuwen gemodelleerd. De grootte van de stuwdammen hangt af van de te bereiken waterstand en het effect dat bereikt moet worden. Naar aanleiding van de grootte van de keidammen is vervolgens het aantal te bepalen. Hoe groter de keidam, hoe groter het effect en hoe minder er nodig zijn. Bij een grotere dam zal het verval in waterstand echter groter zijn, waardoor de situatie van de huidige stuwen gehandhaafd blijft. Dit is niet de bedoeling, er zal daarom een afweging gemaakt moeten worden tussen grootte en aantal.

De dammen mogen niet te hoog zijn, daar de opstuwende werking en de diepte dan te groot wordt. Een beek is immers een ondiep stromend water. In het ontwerp voor de beken van het waterschap wordt uitgegaan van een waterdiepte van 15 cm voor de zuidelijke streng van de Saasvelderbeek en 30 cm bij de overige waterlopen, bij een normale ¼Q afvoer. Hierbij geldt dat het een vereiste is dat de beoogde waterpeilen worden gehaald en dat voor de modellering van de keidammen wordt uitgegaan van bovenstaande waterdieptes.

Voor de invoer is gekeken naar de manier waarop vistrappen worden ontworpen. Aangezien vistrappen vooral gebruikt worden om stuwen te vervangen of om stuwen heen lopen en daardoor over een korte afstand een groot verval hebben, dienen deze vaak uit meerdere lagen met keidammen of *boulders* (grote stenen) te bestaan om de stroomsnelheid die dit verval oplevert, op te vangen. Er zijn bij het ontwerpen van vistrappen echter ook mogelijkheden om

een zo natuurlijk mogelijke bypass te creëren, die als het ware een natuurlijke beek en afvoer nabootst. De lengte van deze bypass kan zelf worden bepaald, afhankelijk van de ruimte die beschikbaar is (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK) [FAO], 2002). De hele beek zal hier als bypass worden gezien en kan omgevormd worden naar een natuurlijk lijkende beek (wat uiteindelijk ook het doel is van het inrichtingsplan). In onderstaande figuur is aangegeven wat de uitgangspunten zijn bij het modelleren van de keidammen.

Figuur 23: Voor en zijaanzicht keidam (Naar: FAO, 2002)



De aannames die gebruikt zijn, zijn de volgende (FAO, 2002):

- Vanwege de mogelijkheid voor vissen om tegen de beek op te zwemmen geldt voor het peilverschil tussen voor en na een dam:
  - Maximaal:  $\Delta h_{max} = 0.20 \text{ m}$ ;
  - $\circ$  Overwegend:  $\Delta h = 0.10 0.15$  m.
- Voor een natuurlijke bypass geldt verder:
  - Verhang niet groter dan 1:20. Bij een groter verhang moet een ander ontwerp worden gebruikt, meer gericht op steilere beken en met meer technische ingrepen;
  - Bodembreedte minimaal 80 cm. Bij een kleinere breedte moet een andere oplossing voor verruwing worden gebruikt;
  - De dwarsprofielen en afvoer moeten zo divers mogelijk zijn (natuurlijke situatie).

In de bovenlopen wordt de minimale breedte niet altijd gehaald, hier kan met het herinrichten rekening mee gehouden worden. Enige aanpassing van de dwarsprofielen is dan aan te raden, er kan gedacht worden aan een afwisseling tussen smallere en wijdere dwarsprofielen. De inrichting rondom de keidammen dient met enige gravel of rivierstenen te gebeuren, omdat anders de grond gedeeltelijk wegspoelt door de plaatselijk hogere stroomsnelheden. De grotere rivierstenen houden op hun beurt wel weer fijn sediment tegen, zodat de bodem ophoogt in de stukken tussen de keidammen.

Voor het bepalen van de afstand tussen de keidammen wordt gebruik gemaakt van het ontwerpen van een keidam bij een vistrap. Hierbij wordt de afstand tussen de dammen berekend met behulp van Vergelijking 10.

# Vergelijking 10: Bepaling afstand tussen dammen

$$L = \frac{\Delta h}{i_b}$$

Met L Afstand tussen de dammen [m]

Δh Verval in waterstand over een dam [m]

i<sub>b</sub> Verhang [-]

In de bovenlopen, waar de keidammen waarschijnlijk het hardst nodig zijn, is het verval 2 m per 1000 m (verhang is 1:500=0.002). Hieruit volgt dat L=0.10/0.002=50 m. Het verhang, en daardoor de afstand tussen de dammen, verandert echter over de beeklengte. Daarom is elke 500 m het verhang en daardoor de afstand van de dammen bepaald. In de tabel in Appendix I is de afstand per beekgedeelte gepresenteerd. Het aantal dammen dat in de beken is gemodelleerd, is hieronder weergegeven.



Tabel 5: Aantal dammen per beekgedeelte

Beek	Totaal aantal dammen
Lemselerbeek	81
Saasvelderbeek Noord	46
Saasvelderbeek Zuid	23
Saasvelderbeek Totaal	18
Spikkersbeek	3 +
Totaal voor het beeksysteem	172

#### Veranderde input ten opzichte van de nulsituatie

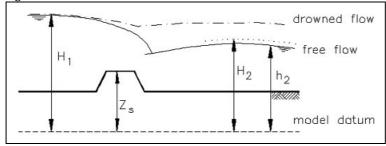
#### Kunstwerken

Tot dusver waren er nog geen kunstwerken ingevoerd. Een stuw of dam kan op meerdere manieren worden ingevoerd in SOBEK-RE, dit kan als:

- Overlaat met een vaste breedte en hoogte;
- Uitgebreide overlaat, waarbij de stromingsrichting, stromingsbreedte en de hoogte van de overlaat aangepast kan worden;
- Algemeen bouwwerk, waarbij de mogelijkheden van een overlaat worden gecombineerd met die van een poort, hiermee kan ook de hoogte van de doorstroomopening aangepast worden;
- Pomp.

Het modelleren kan het beste als standaard overlaat, aangezien het doel van de keidam is om het water te stuwen en daardoor de bodem vast te leggen en de waterstand te verhogen, er hoeft geen rekening gehouden te worden met de bovenkant van de doorstroomopening (wat wel gemodelleerd kan worden met een ander type overlaat), ook is de stroomrichting hetzelfde. De schematisatie van een standaard overlaat is in onderstaande figuur (Figuur 24) te zien. Binnen dit type overlaat kunnen drie parameters worden ingevoerd, te weten: de hoogte, breedte en vorm van de overlaat.

Figuur 24: Schematisatie van standaard stuw in SOBEK-RE



### (On)volkomen overlaat

Er is verschil tussen een volkomen (vrije stroming) en onvolkomen (onderdompeling) overlaat. Een onvolkomen overlaat houdt in dat de benedenstroomse waterstand invloed heeft op de bovenstroomse waterstand. Bij een volkomen overlaat ondervindt de stroming geen hinder van de waterstand benedenstrooms en 'schiet' het water door de opening, hierdoor ontstaat een waterval.

In SOBEK wordt het debiet over een overlaat als volgt bepaald:

Vergelijking 11: Berekenen debiet over overlaat in SOBEK

$$Q = c_w f \cdot B \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g} (H_1 - Z_s)^{1.5}$$

Met: Q Debiet [m³/s]

B Breedte doorstroomopening [m]

H<sub>1</sub> Energielijn bovenstrooms van de dam [m]

H<sub>2</sub> Energielijn benedenstrooms van de dam [m]

Zs Hoogte van de dam [m]

g Gravitatieversnelling [m/s<sup>2</sup>]

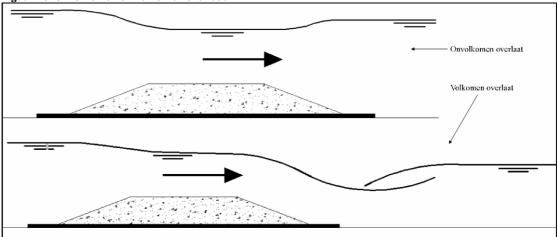




c<sub>w</sub> Correctiecoëfficiënt [-] f Reductiefactor [-]

Bij lage afvoeren zal de overlaat werken als volkomen overlaat of zelfs helemaal geen water doorlaten. Bij hogere afvoeren zal de keidam werken als onvolkomen overlaat. Het is dan van belang dat er benedenstrooms van de dam aan bodembescherming wordt gedacht om erosie te voorkomen.

Figuur 25: Onvolkomen en volkomen overlaat



Het verschil tussen onvolkomen en volkomen overlaat wordt in SOBEK bepaald aan de hand van de volgende vergelijking:

Vergelijking 12: Bepalen onderdompelfactor

$$S_f = \frac{H_2 - Z_s}{H_1 - Z_s}$$

Met: S<sub>f</sub> onderdompelfactor (submergence) [-]

Als de berekende onderdompelfactor de vastgestelde limiet overschrijdt, dan ontstaat er een situatie met een onvolkomen overlaat. In de andere gevallen vindt vrije stroming plaats en is de reductiefactor (f) gelijk aan 1.0. De onderdompellimiet hangt af van de vorm van de dam die is ingevoerd. Er is gekozen voor een lage onderdompellimiet. Hierdoor zal de dam dus snel gezien worden als onvolkomen overlaat. Dit is gekozen vanwege het feit dat er vanuit wordt gegaan dat keidammen zo zijn aangelegd dat er (vrijwel) altijd water overheen en tussendoor stroomt en dat de benedenstroomse waterstand invloed heeft op het debiet dat er doorheen stroomt. Pas bij heel lage waterstanden (vrijwel geen afvoer) zal de overlaat gezien worden als volkomen overlaat.

# Grid

De afstanden tussen de rekenpunten is verkleind naar 20 m. Dit is gedaan omdat tussen elke overlaat drie rekenpunten nodig zijn. Aangezien de kleinste afstanden tussen de overlaten 50 m is, is een afstand van 20 m voldoende om de water- en bodempeilen te kunnen berekenen.

# § 4.6 Gevoeligheidsanalyse

De mate van nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de resultaten wordt beïnvloed door de keuze die gemaakt is in voorgaande paragrafen. Een gevoeligheidsanalyse is een belangrijk hulpmiddel voor wiskundige modellen, zeker bij complexe problemen. Bij een gevoeligheidsanalyse wordt geëxperimenteerd met het model door de modelparameters te variëren en zo de invloed hiervan op de modeluitkomsten te onderzoeken. Op deze manier kan inzicht worden verkregen in eventuele noodzakelijke modelaanpassing en kan een idee gekregen worden van de gevoelige parameters. Meer inzicht in deze parameters kan ervoor zorgen dat



deze gegevens nog eens nader onderzocht worden, daar het wel of niet implementeren van mogelijke maatregelen hiervan afhankelijk kan zijn (Janssen, Slob & Rotmans, 1990).

Gezien alle mogelijke lagen met input van het model (zie § 4.3), zijn er slechts twee die veranderd kunnen worden. Dit omdat de overige data, vaste data van het waterschap is. De lagen die getest worden op gevoeligheid zijn die met de condities (voor afvoer en korrelgrootte) en frictie. Deze kunnen voor (grote) verschillen zorgen, daarom worden deze lagen één voor één aangepast. Interacties worden hierbij dus niet beschouwd, resultaten kunnen sterk afhangen van de keuze van de grootte van de betreffende parameter. De parameters worden op de volgende manier aangepast.

Tabel 6: Ingevoerde en veranderde waardes voor gevoeligheidsanalyse

Parameter	Ingevoerde waarde	Veranderde waarde
Korrelgrootte	115 µm	75 µm
		150 µm
Manning-coëfficient	0,0399	0,025
		0,035
		0,045
Afvoer	50 jaar 1/4Q, 1 dag 2Q na 5 jaar	50 jaar 1/4Q, 1 dag 2Q na 25 jaar
		50 jaar 1/4Q, 1 dag 2Q na 45 jaar
Afvoer	50 jaar 1/4Q	1/4Q +25%
		1/4Q -25%

De keuze voor deze waardes is als volgt: de korrelgrootte van het dekzand ligt tussen de 75 en  $150~\mu m$ . De waarde van  $D_{50}$  zal naar verwachting niet op één van beide uitersten liggen, maar om het effect aan te geven van deze extremen is gekozen om deze te gebruiken voor de gevoeligheidsanalyse. De Manning-coëfficiënt ligt volgens het waterschap op 0.0399. Aangezien de beek wordt ingericht als natuurlijke beek zou beter een waarde van 0.035 aangehouden kunnen worden (zie Appendix G Manning-coëfficiënt). Mocht de beek in een goede staat verkeren met slechts hier en daar wat vegetatie (wat ook zou kunnen, getuige de beoogde beschaduwing door middel van bomen op de zuidoever) is een waarde van 0.025 zelfs mogelijk. Voor de volledigheid is ook een grotere waarde genomen, die van bergrivieren met een harde ondergrond (0.045). De ondergrond van de keidammen zorgt voor een grotere ruwheid, zeker als deze boven- en benedenstrooms ondersteund wordt door een grindbed. De afvoer kan ook bepalend zijn voor de morfologie, er werd gerekend met één dag een 2Q-afvoer na 5 jaar. Dit is veranderd in de analyse naar 25 respectievelijk 45 jaar (de simulatie start op 1 januari 2000). De overige tijd is gerekend met een  $\frac{1}{4}Q$ -afvoer. Deze waarde is zowel 25% vergroot als verkleind om de gevoeligheid van deze afvoer te analyseren.

### § 4.7 Samenvatting

Voor de volledigheid staan de te berekenen situaties in onderstaande tabel gepresenteerd.

Tabel 7: Te onderzoeken situaties (u = stroomsnelheid, h = waterpeil, z = bodempeil)

Situatie	Tijdschaal	Afvoer	Onderzoeken op	Opmerking
Korte termijn				
Nulsituatie	1 maand	1/4Q	u, h	Aanpassen naar gewenste waterstand
Meanderen	1 maand	1/4Q	u, h	
Keidam	1 maand	1/4Q	u, h	
Lange termijn				
Nulsituatie	50 jaar	1/4Q + 1 dag 2Q	u, z	
Nulsituatie	200 jaar	1/4Q	Z	Morfologisch evenwicht onderzoeken
Meanderen	50 jaar	1/4Q + 1 dag 2Q	u, z	
Keidam	50 jaar	1/4Q + 1 dag 2Q	u, z	
Gevoeligheid				
Nulsituatie	50 jaar	Variabel	Z	Gevoeligheidsanalyse afvoer
Nulsituatie	50 jaar	1/4Q	Z	Gevoeligheidsanalyse afvoer
Nulsituatie	50 jaar	1/4Q + 1 dag 2Q	Z	Gevoeligheidsanalyse wrijvingsparameter
Nulsituatie	50 jaar	1/4Q + 1 dag 2Q	Z	Gevoeligheidsanalyse korrelgrootte

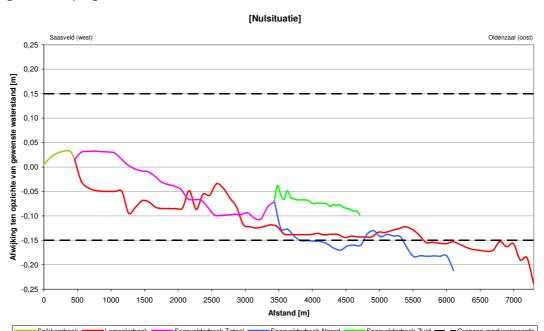


# Hoofdstuk 5. Effect op hydraulica

In dit hoofdstuk staan de hydraulische effecten op korte termijn weergegeven. Om te bepalen of de maatregelen voldoende effect hebben is er allereerst een situatie doorgerekend waarbij de primaire maatregelen zijn uitgevoerd (verwijderen stuwen en verhoogde bodem). Dit wordt de nulsituatie genoemd. De nulsituatie wordt vergeleken met de gewenste waterstand. De maatregelen zijn daarna ingevoerd en worden vergeleken met de nulsituatie om de effecten hiervan in te zien. Zo is het effect van de maatregelen direct duidelijk. De figuren zijn zo gepresenteerd dat de rechterkant het bovenstroomse gedeelte in het oosten, nabij Oldenzaal, voorstelt en de linkerkant het benedenstroomse deel van de beken nabij Saasveld. Dit is gedaan omdat de beken in het echt van oost naar west stromen. In elke figuur is voor elk beekgedeelte een andere kleur genomen. Zo is duidelijk te zien waar beektakken samenkomen en wat voor effect dat heeft. De beken zullen van bron tot einde (x = 0) en per beekgedeelte worden behandeld. De resultaten van de water- en bodempeilen voor elke beek afzonderlijk (Lemselerbeek, Saasvelderbeek Noord & Zuid) zijn te vinden in de lengteprofielen in Appendix J.

# § 5.1 Nulsituatie

De gevolgen van de aanpassingen als het verwijderen van stuwen en het verhogen van de bodem staan in deze paragraaf gepresenteerd. Dit zijn de primaire maatregelen die het waterschap wil nemen, zonder aanvullende maatregelen.



Figuur 26: Afwijking waterstand Nulsituatie

Figuur 26 toont de afwijking van de waterstand in de nulsituatie ten opzichte van de gewenste waterstand. Zoals te zien liggen de initiële waterpeilen te laag. Dit is vooral in de bovenlopen van de noordelijke tak van de Saasvelderbeek en de Lemselerbeek een probleem, aangezien de waterstand daar buiten de grenzen van de randvoorwaarde valt (de waterstand mag 15 cm afwijken van de gewenste waterstand, zie § 2.5).

#### Lemselerbeek

De Lemselerbeek heeft in de bovenloop een grote afwijking ten opzichte van de gewenste waterstand. Hierdoor valt de waterstand in de initiële situatie al buiten de gestelde grenzen van de randvoorwaarde. Vanaf x = 5600 ligt deze er wel binnen, zij het slechts nipt. Tussen x = 2000 en x = 3000 is een stijging in de waterstand (en daardoor een vermindering in de afwijking) te zien. De reden hiervoor is dat de bodem op dit punt wat hoger is aangebracht dan de rest van de beek. Dit is ook te zien in de resultaten in Appendix J. Op dit punt is een hobbel in het bodempeil te zien, wat een verhoging in de waterstand tot gevolg heeft. Dit kan er op duiden dat verhoging



# Afstudeeronderzoek naar hydraulische en morfologische effecten van maatregelen voor beekherstel.



van de bodem over het hele profiel voldoende zou kunnen zijn om de waterstanden binnen de randvoorwaarden te brengen. Het water in de Spikkersbeek stuwt het water in de Lemselerbeek op. De waterstand aan het einde van de Lemselerbeek wordt hierdoor hoger, waardoor de afwijking naar nul toe gaat.

#### Saasvelderbeek Noord

De waterstand in de noordelijke tak van de Saasvelderbeek begint ook te laag. Er is in het begin een duidelijke stap te zien waardoor de waterstand minder afwijkt. Dit is precies op de plek waar een lateraalafvoer bij de beek komt. Er is dus een bepaalde minimale afvoer nodig om in de buurt van de gewenste waterstand te komen. Dit bevestigt het vermoeden dat het niet mogelijk is een stabiele waterdiepte over de beeklengte te verkrijgen om tot de gewenste waterstand te komen, zoals beoogd (zie § 4.2). Het bodempeil zal daarom aangepast moeten worden.

#### Saasvelderbeek Zuid

Voor de zuidelijke tak van de Saasvelderbeek valt het verschil mee met de gewenste waterstand mee, zo lijkt het. Deze beektak heeft maximaal 10 cm afwijking (en valt dus binnen de randvoorwaarde). De waterdiepte hier betreft iets meer dan 5 cm (zie Appendix J). De aanname van het waterschap was 15 cm. Dit is een groot verschil. Dit is echter geen probleem voor een dergelijke kleine waterloop, zeker niet in een bovenloop waar de afvoer klein is.

#### Saasvelderbeek Totaal

Er is ook duidelijk te zien dat de waterstand (en daardoor ook de afwijking) sterk verandert als twee waterlopen samenkomen, dit heeft te maken met het feit dat er meer water door een nagenoeg zelfde profiel moet stromen, waardoor de waterdiepte lokaal (sterk) verandert. Bij het samenkomen van de beide takken van de Saasvelderbeek is dit goed te zien. De afwijking van de noordelijke tak wordt ineens veel minder, die van de zuidelijke tak juist meer (zie x = 3430). Bij het einde van de Saasvelderbeek Totaal en de Lemselerbeek is dit effect ook waarneembaar. Na het samenkomen van de twee waterlopen is er een plotselinge verandering van de waterstand, zij het dat de veranderingen voor de Lemselerbeek niet heel groot zijn.

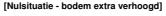
#### Spikkersbeek

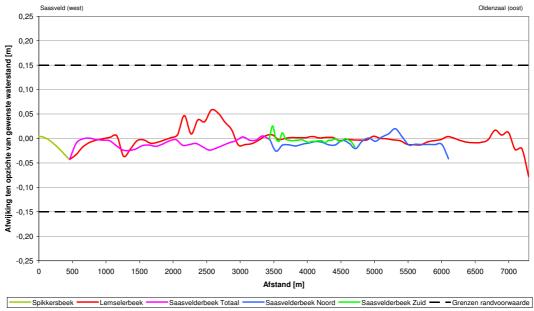
Aan het eind van de Spikkersbeek (op x = 0) gaat de waterstand vervolgens precies naar de gewenste waterstand. Dit komt doordat benedenstrooms een randvoorwaarde is opgelegd voor de waterstand.

Wat over het geheel opvalt, is dat de waterstanden in de bovenlopen veel afwijken en dat dit richting het eind afneemt. Dit heeft te maken met het feit dat bij de ingevoerde bodempeilen een beoogde stabiele waterdiepte van 30 cm (en 15 cm voor de zuidelijke tak van de Saasvelderbeek) zou zijn om bij het ingevoerde bodempeil de gewenste waterstand te halen (zie § 4.2). Dit geeft echter wel aan dat de aannames voor het bodempeil ruw zijn geschat. Zoals het er naar uitziet zal de bodem verhoogd moeten worden om de waterstanden binnen de grenzen van de randvoorwaarden te krijgen. Dit is gedaan. Hierbij zijn de afwijkingen ten opzichte van de gewenste waterstand als uitgangspunt genomen om de bodem te verhogen en soms lokaal te verlagen (vooral aan het einde van de beek). Het resultaat hiervan is te vinden in Figuur 27.

Uit Figuur 27 kan worden opgemaakt dat met een extra verhoogde bodem (verhoogd ten opzichte van de voorgestelde verhoging van het waterschap) de waterstand wel binnen de grenzen van de randvoorwaarden valt. De bovenlopen wijken nog het meest af van de gewenste waterstand, hier wijkt de waterstand echter iets meer dan 5 cm af. Opvallend is dat in de Lemselerbeek tussen x = 2000 en 3000 m een positieve afwijking plaatsvindt. Dit kan komen doordat de stroomsnelheid hier iets verandert (zie Figuur 28), waardoor de waterstand stijgt. Het kan ook komen omdat de bodem hier iets teveel extra is verhoogd. Figuur 27 vertoont in dit gedeelte namelijk eenzelfde patroon als Figuur 26.

Figuur 27: Afwijking waterstand nulsituatie [bodem extra verhoogd]





De waterstand van de Saasvelderbeek ligt in zijn geheel dicht bij de gewenste waterstand. Aan het eind van de Saasvelderbeek (waar deze samenkomt met de Lemselerbeek) is een relatief grote afwijking te zien ten opzichte van de gewenste waterstand. Dit komt omdat de bodem op deze plek iets is verlaagd gezien de positieve afwijking in eerste instantie (Figuur 26). De extra bodemverandering had hier beter achterwege gelaten kunnen worden. Dit geldt ook voor de verandering die plaats heeft gevonden in de Spikkersbeek. Hier is ten opzichte van de eerste nulsituatie de bodem verlaagd, aangezien daar een te hoge waterstand was. De waterstand is in de nulsituatie met extra verhoogde bodem (en benedenstrooms gedeeltelijk verlaagd) op het stuk van de Spikkersbeek te laag. Dit toont echter wel aan dat door bodemveranderingen de initiële waterstanden ruimschoots binnen de grenzen van de randvoorwaarde kunnen vallen.

Het veranderen van de bodempeilen en de daarop veranderende waterpeilen is een iteratief proces waarbij een verandering benedenstrooms effect kan hebben op de waterstanden bovenstrooms. De bodem wordt niet verder aangepast, aangezien de lange termijneffecten invloed hebben op de bodempeilen en daardoor ook op de waterpeilen.

Figuur 28 laat de stroomsnelheid zien voor de nulsituatie met extra verhoogde bodem. De stroomsnelheid tussen beide nulsituaties (met en zonder extra verhoogde bodem) verschilt vrijwel niet, slechts op enkele plekken is er een minimale afwijking. Er is goed te zien dat de zuidelijke tak van de Saasvelderbeek op de grens van de randvoorwaarde balanceert. Dat komt omdat hier erg weinig afvoer is. Er kan gediscussieerd worden of in zulke kleine waterlopen zo deze randvoorwaarde wel moet gelden. Als er geen of erg weinig afvoer is, kan er immers ook geen stroomsnelheid gehaald worden (zie Hoofdstuk 9 Discussie).

Zodra de zuidelijke tak samenkomt met de noordelijke tak, gaat de stroomsnelheid omhoog. Na samenkomst loopt de snelheid in de Saasvelderbeek Totaal echter weer terug naar net onder de 0.2 m/s. Dit kan te maken hebben met het opstuwende effect van de Spikkersbeek. Door de opstuwing wordt de waterstand verhoogd en gaat de stroomsnelheid naar beneden. Bij samenkomst met de Lemselerbeek is dan weer een versnelling waar te nemen. Dit als gevolg van de grotere hoeveelheid water die door een nagenoeg zelfde profiel moet stromen. De stroomsnelheid van de overige takken zit rond de 0.3 m/s en dus binnen de grenzen van de randvoorwaarde. De nulsituatie kan nog geoptimaliseerd worden, zodat de verwachte waterstand meer aansluit bij de gewenste waterstand. Hiervoor moeten de bodempeilen worden aangepast. Aangezien hier de korte termijneffecten zijn besproken is het mogelijk dat door morfologische aanpassingen op de lange termijn de bodem verandert. Hierdoor verandert ook de

0,20 0,15 0,10 0,05

waterstand. Daardoor kan het voorkomen dat het optimaliseren nutteloos is gebleken. Daarom wordt de bodem niet verder geoptimaliseerd.

Stroomsnelheid korte termijn [Nulsituatie]

Oldenzaal (oost)

Figuur 28: Stroomsnelheid Nulsituatie (korte termijn)

# § 5.2 Maatregel meanderen

1000

1500

2500

500

De hydraulische effecten van het meanderen zijn te zien in onderstaande figuren. De waterstanden zijn vergeleken met de eerste nulsituatie, dus zonder extra verhoogde bodem. Op basis van de resultaten van de nulsituatie met extra verhoogde bodem wordt er vanuit gegaan dat extra verhoging bij de maatregelen ook goed werkt. Daarnaast is het zo dat door de maatregelen de waterstand hoger kan komen te liggen, waardoor deze extra verhoging niet eens nodig hoeft te zijn.

3500

Afstand [m]

4000

4500

5000

5500

6000

6500

Figuur 29 toont de afwijking van de waterstand ten opzichte van de nulsituatie na aanbrenging van de maatregel meanderen. Duidelijk is te zien dat de zuidelijke tak van de Saasvelderbeek een grote waterstandverandering te verwerken krijgt vlak voor het moment dat deze samenkomt met de noordelijke tak. Dit verschil was ook al te zien in de nulsituatie, maar is nu groter geworden. Door de verlenging van de waterloop is de waterstand gevoeliger geworden voor veranderingen in hoeveelheid afvoer. Dit is direct terug te zien in de veranderingen in de waterstand en de stroomsnelheid.

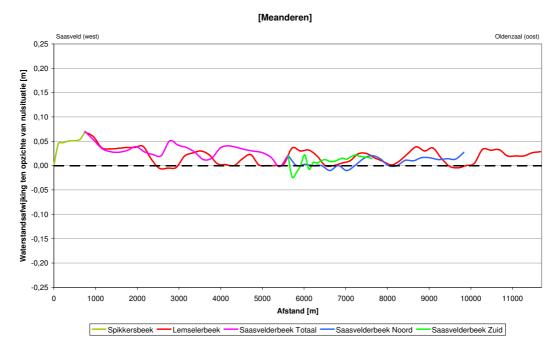
Over het algemeen is te zien dat de waterstand iets hoger ligt dan in de nulsituatie. Dit is een logisch gevolg. Er geldt in evenwicht immers  $Q = u^*A$ . Dus als het debiet (Q) gelijk blijft en de stroomsnelheid (u) afneemt (als gevolg van het verkleinde verhang, zie Figuur 30) dan moet de dwarsoppervlakte (A) groter worden. Bij een gelijkblijvende breedte betekent dit dus een vergroting van de waterdiepte.

Figuur 30 toont de stroomsnelheid bij de maatregel meanderen. In de stroomsnelheid zijn grote veranderingen te zien aan het einde van de zuidelijke tak van de Saasvelderbeek. Richting het eind wordt het water opgestuwd door de gezamenlijke tak (zie ook Figuur 29, waar de waterstand omhoog gaat), waardoor eerst een vertraging van de stroomsnelheid en vervolgens een versnelling optreedt. De vertraging komt door de opstuwing, de versnelling doordat het water met de noordelijke tak gaat meestromen. Aan het einde van de beek schiet de stroomsnelheid omhoog. Dit heeft te maken met de randvoorwaarde die aan het einde is opgelegd. Daardoor gaat de waterstand naar beneden en om hetzelfde debiet door te laten moet de stroomsnelheid omhoog.

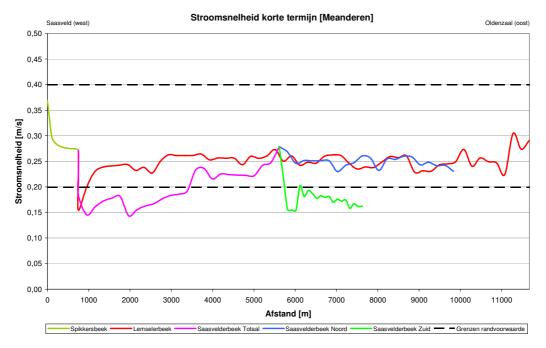


De totale stroomsnelheid ligt lager dan bij de nulsituatie. Deze is gemiddeld ongeveer 0.25 m/s ten opzichte van 0.3 m/s in de nulsituatie. Dit is ook de bedoeling van deze maatregel (zie hoofdstuk 3).

Figuur 29: Afwijking waterstand maatregel meanderen



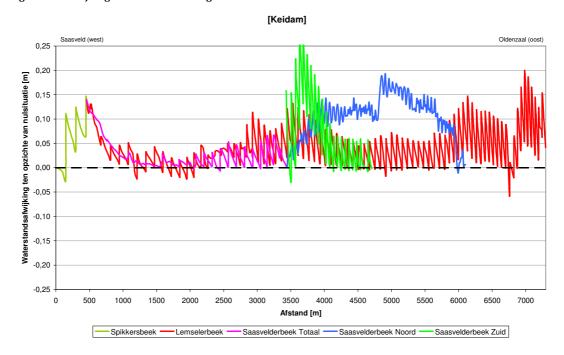
Figuur 30: Stroomsnelheid maatregel meanderen [korte termijn]



# § 5.3 Maatregel keidammen

De hydraulische effecten van het aanbrengen van keidammen zijn te zien in onderstaande figuren. De waterstanden zijn wederom vergeleken met de eerste nulsituatie, dus zonder extra verhoogde bodem. Figuur 31 toont de waterstandafwijking bij de maatregel keidammen. In de figuur is het effect (stapjespatroon) van de keidammen goed te zien. De waterstand wordt als het ware 'opgehangen'. De dammen blijken niet altijd even goed te zijn ingevoerd. Voor het ontwerp zal hier nader naar gekeken moeten worden.

Figuur 31: Afwijking waterstand maatregel keidammen



Figuur 31 laat de afwijking van de waterstand ten opzichte van de waterstand zien, na aanbrenging van de keidammen. Er is te zien dat in de bovenloop van de Lemselerbeek de afwijking tussen de 0 en 20 cm ligt. Het verschil tussen twee rekenpunten is in het begin ongeveer 10 cm (verschil tussen voor en na een dam). Dit was ook beoogd in het ontwerp van de keidammen (zie § 4.5). Hoe verder richting het eind van deze beektak, hoe kleiner het verschil in de afwijking wordt. Dit komt door een toename in het debiet. Hierdoor wordt de invloed van de dammen kleiner.

In de noordelijke tak van de Saasvelderbeek zijn kleine stapjes te zien. Dit verschil tussen voor en na een dam van ongeveer 3 cm. Op basis van de aannames kan gesteld worden dat de uitwerking niet goed is, aangezien de modellering van de dammen gebaseerd is op 10 cm peilverschil (zie § 4.5). Dit is echter geen probleem. Momenteel wordt immers een betere waterlijn verkregen dan bedacht. De modellering lijkt daarom toch goed te zijn voor deze noordelijke tak. De afwijking in de waterstand loopt echter iets op. Als de onderlinge damafstand wordt vergroot, gaat de afwijking van de waterstand naar beneden, dit is goed te zien rond x = 5000 m. Het zou beter zijn om een grotere onderlinge afstand tussen de dammen aan te brengen.

De waterstand van de zuidelijke tak van de Saasvelderbeek schiet voorbij de bovengrens van de randvoorwaarde (er is meer dan 20 cm afwijking ten opzichte van de nulsituatie, waar de waterstand op de gewenste waterstand lag), iets wat in eerdere gevallen nog niet is voorgekomen. De afwijking van de waterstand is ook erg groot, tot 25 cm verschil met de nulsituatie. Ook hier is een opgaande lijn te zien in de afwijking. Voor de zuidelijke tak van de Saasvelderbeek zal een nieuwe ontwerpafstand van de dammen onderzocht moeten worden, want de huidige dammen creëren waterstanden die teveel afwijken. Dit kan te maken hebben met de aannames die gedaan zijn voor de waterdieptes aldaar. Bij de modellering van de keidammen is immers uitgegaan van een waterdiepte van 0.2 m. Dat wordt in de bovenlopen van deze beek niet altijd gehaald (zie hiervoor ook de resultaten van de nulsituatie) en de dammen zullen hier dan ook kleiner moeten worden gedimensioneerd. Dit kan bijvoorbeeld door hier kleinere stenen te gebruiken om een kleinere waterdiepte te realiseren.

De dammen lijken voor de Saasvelderbeek Totaal wel goed te zijn gedimensioneerd. De afwijking is in het begin nog tussen de 0 en 5 cm, dit loopt langzaam af. De afwijking zit ook vlakbij de waterstand in de nulsituatie. Richting het eind, nabij de samenkomst in de Spikkersbeek, wijkt de waterstand steeds meer af. De keidammen zijn op dit gedeelte (x = 0 - 1000 m) niet goed

7000

geïmplementeerd. Hier zijn waarschijnlijk grotere dammen nodig, met een hoger peil of met een andere onderlinge afstand. Ook dit heeft te maken met de aanname van 0.2 m waterdiepte voor de dammen. Hier is goed te zien dat er een opstuwing van het water plaatsvindt. Zowel de afwijking (en ook de waterstand) van de Lemselerbeek als die van de Saasvelderbeek Totaal gaan omhoog. Over het algemeen kan worden opgetekend dat de waterstand voortdurend een schokkend effect heeft, door de aanwezigheid van de dammen is er een soort van stapjespatroon dat dit bewerkstelligt.

Stroomsnelheid korte termijn [Keidam]

Oldenzaal (oost)

O,50

O,45

O,40

O,35

O,35

O,10

O,10

O,05

O,10

O,05

O,10

O,05

O,05

O,10

O,05

O,0

Figuur 32: Stroomsnelheid maatregel keidammen [korte termijn]

In de resultaten van de stroomsnelheid (Figuur 32) is ook een stapjespatroon zichtbaar. Bij de Lemselerbeek is de te lage snelheid vooral in de bovenloop waar te nemen. Verder is te zien dat de noordelijke tak van de Saasvelderbeek het enige beekgedeelte is waar de stroomsnelheid binnen de grenzen van de randvoorwaarde valt. Daar waar het verschil in waterstandafwijking tussen twee punten klein is (x = 3500 tot x = 5500) is ook een klein verschil in snelheid te zien.

3500

Afstand [m]

4000

4500

5000

5500

6000

6500

3000

2500

De zuidelijke tak van de Saasvelderbeek heeft niet alleen een te hoge afwijking van de waterstand, maar ook een te lage stroomsnelheid over het hele traject. Aan het einde, waar de afwijking in de waterstand afneemt, is een vergroting van de snelheid te zien.

Ook bij het samenkomen van de twee beken bij de Spikkersbeek is een verschil waarneembaar, hier gaat de snelheid sterk naar beneden. Dit komt overeen met de hogere waterstand die hier gecreëerd wordt (zie Figuur 31). Als het debiet gelijk blijft zal bij een hogere waterstand immers een lagere stroomsnelheid moeten zijn. De relatie tussen deze twee parameters is goed te zien in de figuren. Elke keer dat er een grote verandering in de waterstand is, is er ook een grote verandering in de stroomsnelheid (en andersom).

500

1000

1500

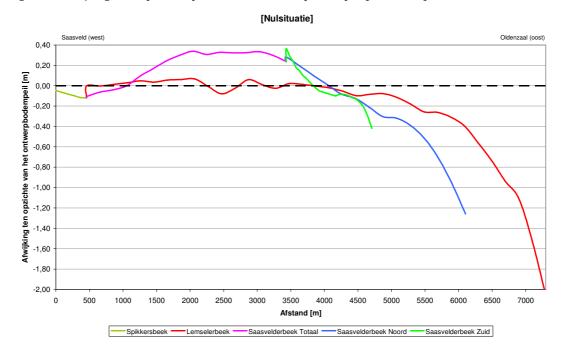


# Hoofdstuk 6. Effect op Morfologie

In dit hoofdstuk worden de morfologische effecten bekeken die op lange termijn plaatsvinden. De bodempeilen na 50 jaar worden vergeleken met de bodempeilen op t=0. De bodempeilen in elke situatie wordt steeds vergeleken met de eigen ontwerpbodem. De waterstanden worden hier dus niet bekeken, hoewel er in het algemeen vanuit gegaan kan worden dat de waterstanden net zoveel zullen veranderen als de bodem doet. De afwijkingen ten opzichte van het ontwerpbodempeil (op t=0) staan in dit hoofdstuk en de resultaten in de loop der tijd staan in Appendix K.

#### § 6.1 Nulsituatie

De lange termijneffecten voor de bodem van de nulsituatie staan hieronder beschreven. Figuur 33 toont de verandering van het bodempeil na 50 jaar ten opzichte van t = 0. Figuur 34 toont de stroomsnelheid in de nulsituatie na 50 jaar.

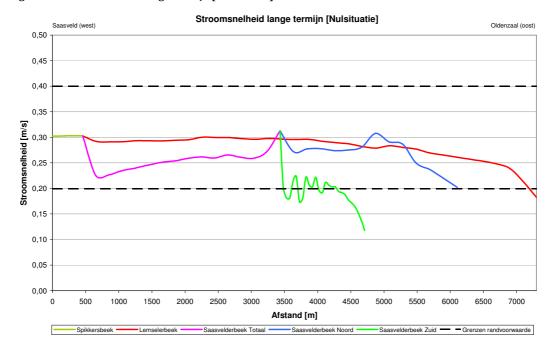


Figuur 33: Afwijking bodempeil ten opzichte van het ontwerpbodempeil [Nulsituatie]

#### Lemselerbeek

De morfologische processen zijn een gevolg van de continue zoektocht van een waterloop naar evenwicht. Dit evenwicht ligt lager dan de beek in de huidige en in de nieuwe situatie. Hierdoor is een vraag en aanbod van sediment. De vraag naar sediment wordt mede bepaald door de stroomsnelheid en de ruwheid van de bodem. Aangezien de bodem bestaat uit (zeer) fijn materiaal is een lage stroomsnelheid voldoende om het sediment te transporteren. Dit resulteert in de steile bovenlopen in erosie. Zoals te zien erodeert de Lemselerbeek veel in de bovenloop. Na 50 jaar is er 2 meter erosie opgetreden bij de bron. Vanaf x = 5000 (richting x = 0) valt de bodemdaling mee. Vanaf daar ligt de bodemverandering binnen 10 cm verschil met de ontwerpsituatie. Als de bodem op t = 0 een goede waterstand geeft valt dit gedeelte dus binnen de randvoorwaarden (waarbij geldt dat de waterstand maximaal 15 cm mag afwijken van de gewenste waterstand). Vanaf x = 4000 is de bodemverandering verkleind tot nagenoeg nul. Dit betekent dat vraag en aanbod van sediment ook nagenoeg gelijk zijn. Er is in de stroomsnelheid duidelijk te zien dat de beek een soort van evenwicht heeft gevonden, aangezien de snelheid een rustig verloop vertoont. In de Lemselerbeek is de stroomsnelheid en daardoor de vraag naar sediment over het hele traject redelijk gelijk. Het geërodeerde sediment in de bovenloop is voldoende om de vraag naar sediment benedenstrooms op te vangen. Daardoor verandert het bodempeil vanaf het punt x = 4000 nauwelijks meer.

Figuur 34: Stroomsnelheid lange termijn [Nulsituatie]



#### Saasvelderbeek Noord

De noordelijke tak van de Saasvelderbeek heeft ook een bodemdaling in de bovenloop. Dit wordt veroorzaakt door dezelfde problematiek als bij de Lemselerbeek. Vanaf x=4200 vindt echter sedimentatie plaats. Het aanbod van sediment is groter dan de vraag geworden. Daardoor wordt het sediment dat in de bovenlopen is geërodeerd, hier afgezet. De reden hiervoor is te vinden in de stroomsnelheid en het samenvoegen van de beektakken. Op x=3400 komen de noordelijke en zuidelijke tak samen. Hierdoor wordt het water in de bovenstroomse beektakken opgestuwd. Dit veroorzaakt een daling in de stroomsnelheid en dit resulteert in een afname in de sedimentvraag. In Figuur 34 is dit niet goed terug te vinden, omdat hier slechts de situatie na 50 jaar wordt getoond. Er is dan al een evenwicht gevonden. Het grootste deel van de sedimentatieprocessen vindt de eerste jaren plaats.

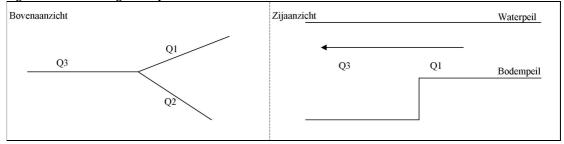
# Saasvelderbeek Zuid

De zuidelijke tak van de Saasvelderbeek heeft net als de andere twee bovenlopen een bodemdaling tot gevolg. Hier vindt eenzelfde erosie- en sedimentatieproces plaats als in de noordelijke tak. Qua stroomsnelheid is voor de zuidelijke tak van de Saasvelderbeek is geen rustig verloop te zien. De invloed van lateraalafvoeren is hier vrij groot. Na een samenkomst van een lateraalafvoer gaat de snelheid omhoog, doordat meer water door hetzelfde profiel stroomt (de waterstand verandert niet veel, zie Appendix K). Na verloop van tijd valt de snelheid weer iets terug, totdat een nieuwe lateraal zich bij de beek voegt. Ondanks het feit dat rekening is gehouden met de grootte van de lateralen (zie Hoofdstuk 4) is er toch enige invloed hiervan te merken.

#### Saasvelderbeek Totaal

Aan het einde van de noordelijke en zuidelijke tak van de Saasvelderbeek is er wederom (zie ook hoofdstuk 5) een groot verschil in stroomsnelheid. Dit wordt veroorzaakt door het samenkomen van deze takken. Hier is een grotere hoeveelheid water vanwege het samenkomen van twee beektakken. Dit moet door eenzelfde profiel stromen en omdat de waterstand nagenoeg hetzelfde is vóór als na de samenkomst, stijgt in eerste instantie de stroomsnelheid (bij een groter debiet en gelijkblijvend profiel stijgt de stroomsnelheid). Hierdoor stijgt de vraag naar sediment en dit zorgt voor een bodemdaling. Bij de bovenstroomse beken resulteert dit in bodemverhoging vanwege de afname in stroomsnelheid (zie Figuur 35).

Figuur 35: Verandering bodempeil na samenkomen beektakken



Dit is een effect dat relatief snel na aanleg zal plaatsvinden, het is daarom aan te raden bij aanleg hier rekening mee te houden. Na dit punt is vervolgens een afname in stroomsnelheid. Dit heeft als gevolg dat de vraag naar sediment afneemt. Omdat het aanbod relatief groot is (vanwege het gerodeerde sediment bovenstrooms) vindt hier sedimentatie plaats. Een oplossing kan zijn om de dwarsprofielen voor de Saasvelderbeek Totaal te verkleinen, zodat een hogere stroomsnelheid wordt verkregen en er dus een grotere sedimentvraag is. Een afname in sedimentaanbod is ook een oplossing. Er zullen dan in de bovenlopen maatregelen getroffen moeten worden.

#### Spikkersbeek

Ook bij de Spikkersbeek is een verandering in het bodempeil waar te nemen. Dit is eenzelfde soort problematiek als bij het samenkomen van de takken in de Saasvelderbeek. Na samenkomst is er een groter debiet dat door eenzelfde dwarsprofiel moet stromen. Hierdoor stijgt de stroomsnelheid en zal de bodem verlagen. Dit vindt vlak na aanleg plaats en hier kan bij het ontwerp en uitvoering rekening mee gehouden worden. Verderop gaat de bodem naar de benedenstrooms opgelegde randvoorwaarde toe en is de stroomsnelheid na 50 jaar stabiel. Hier is een evenwicht gevonden.

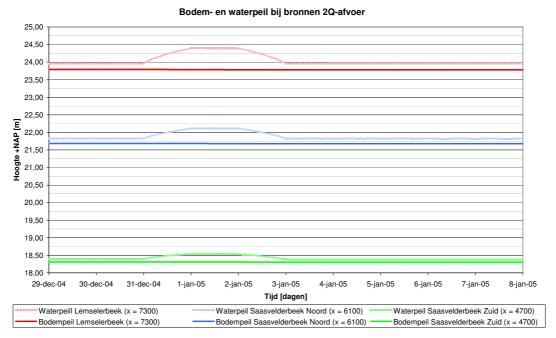
# § 6.2 Nulsituatie nader bekeken

De nulsituatie wordt nader bekeken om de bodemdaling als gevolg van de afvoer beter te kunnen inzien. Dit is alleen gedaan voor de bronnen van de beken, aangezien de erosie hier het grootst is. Er wordt hierbij ingezoomd op de periode rondom de dag met de extreme 2Q-afvoer. Deze afvoer vindt plaats gedurende één dag op 1 januari 2005. In Figuur 36 zijn het water- en bodempeil gepresenteerd. Hierbij is een duidelijke stijging in de waterstand waar te nemen. De bodem verandert hier echter niet. Althans dat is niet waar te nemen in deze figuur.

In Figuur 36 is het effect van de 2Q-afvoer wel duidelijk te zien. Gedurende de dag dat deze afvoer plaatsvindt, is er een grotere verandering in het bodempeil dan in de andere dagen. De erosie is een factor 20 keer zo groot. Gedurende drie dagen wordt er in het model extra erosie veroorzaakt (een dag voor, tijdens en na de regenbui). De extra erosie veroorzaakt door deze afvoer is 1 cm (ten opzichte van 0.5 mm normaal gesproken in drie dagen). Dit is een groot verschil (factor 20 groter), maar omdat deze afvoer statistisch slechts 1 dag in de 50 jaar voorkomt valt de extra erosie mee. Op een totale erosie van meer dan 2 m in 50 jaar kan gesteld worden dat het effect van de 2Q-afvoer te verwaarlozen is. Figuur 36 laat tevens zien dat er vrijwel elk uur een verandering in bodempeil plaatsvindt.

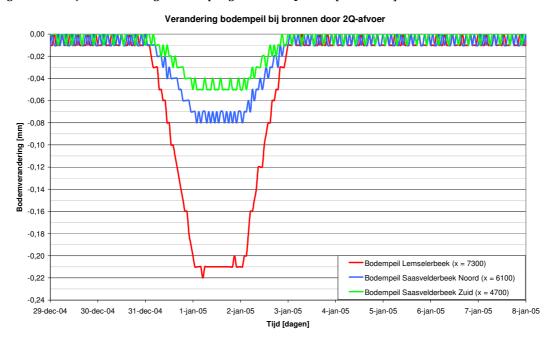


Figuur 36: Bodem- en waterpeil rond de dag met 2Q-afvoer [Nulsituatie]



Om beter te kunnen zien of de bodem verandert tijdens deze afvoer wordt ingezoomd op de verandering per uur in het bodempeil. In Figuur 37 is dit gepresenteerd.

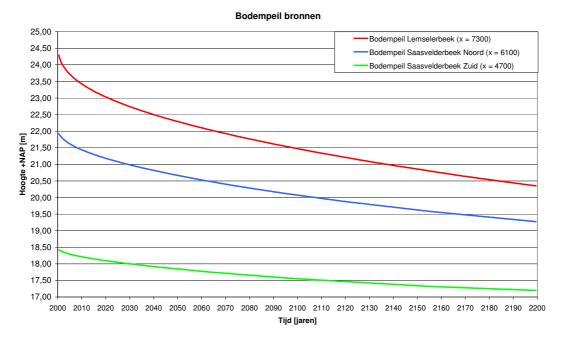
Figuur 37: Uurlijkse verandering in bodempeil gedurende 2Q-afvoer [Nulsituatie]



Er wordt ook nader onderzocht of in de loop der tijd een evenwicht gevonden kan worden. Aangezien het effect op bodemdaling van een grotere afvoer (2Q) te verwaarlozen is, wordt een situatie doorgerekend met alleen een  $\frac{1}{4}$ Q-afvoer. De situatie is gedurende 200 jaar doorgerekend om te kijken of in deze periode een evenwicht gevonden kan worden. De jaarlijkse verandering van het bodempeil tijdens deze periode is te vinden in Figuur 38.

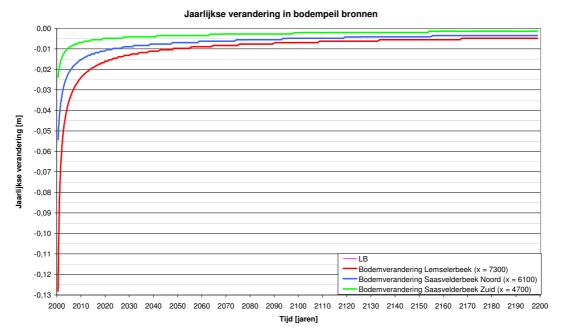


Figuur 38: Bodempeil bij de bronnen gedurende 200 jaar [Nulsituatie]



Zoals te zien blijven alle beken gedurende deze periode dalen, er is na 200 jaar nog geen evenwicht gevonden. Het lijkt er wel op dat er naar een evenwicht toegegaan wordt. De daling van het bodempeil wordt steeds kleiner, maar is na 200 jaar nog redelijk groot. Het lijkt er niet op dat er op deze lange termijn een limiet gevonden wordt. Om de daling beter te analyseren wordt de jaarlijkse verandering in Figuur 39 getoond.

Figuur 39: Jaarlijkse verandering in bodempeil bij bronnen gedurende 200 jaar [Nulsituatie]



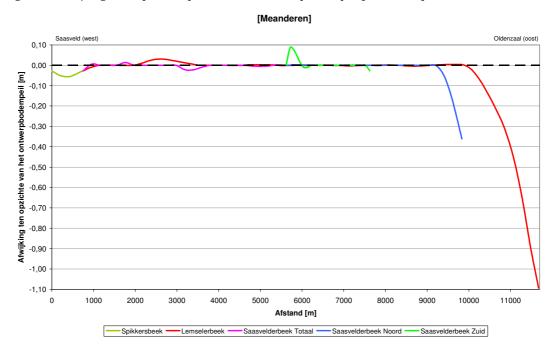
Aan de hand van deze figuur kan gezegd worden dat de grootste daling de eerste 30 jaar plaatsvindt. De jaarlijkse daling wordt steeds kleiner en gaat richting de limiet van nul. Een evenwicht zal in het echt niet gauw gevonden worden aangezien dan alle variabelen constant moeten zijn. Er is in Figuur 39 tevens te zien dat voor de Lemselerbeek na 50 jaar jaarlijks nog steeds 1 cm bodemdaling optreedt.



# § 6.3 Maatregel meanderen

De lange termijneffecten voor de bodem en voor de stroomsnelheid van de maatregel meanderen staan hieronder beschreven. Figuur 40 toont de verandering van het bodempeil na 50 jaar ten opzichte van het ontwerpbodempeil van deze maatregel op t = 0. Figuur 41 toont de stroomsnelheid bij deze maatregel na 50 jaar.

Figuur 40: Afwijking bodempeil ten opzichte van het ontwerpbodempeil [Meanderen]



Figuur 41: Stroomsnelheid lange termijn [Meanderen]



De stroomsnelheid over de hele beek is door het meanderen afgenomen. Deze lag in de nulsituatie nog rond de 0.3~m/s voor de Lemselerbeek, nu is deze afgenomen tot rond de 0.25~m/s. De andere beken hebben ook allemaal een lagere stroomsnelheid.

Lemselerbeek



Door het meanderen heeft de Lemselerbeek een veel kleinere mate van erosie in de bovenloop dan in de nulsituatie. Na ongeveer anderhalve km (dus ongeveer 1 km in de oude situatie in verband met de verlenging van de beek) is de erosie gestopt en is de afwijking ten opzichte van de ontwerpbodem op t=0 vrijwel nihil. Rond x=2500 is nu een sedimentatiebult in plaats van een erosiekuil ontstaan. Op dit punt is een lichte daling van de stroomsnelheid. Dit kan voldoende zijn om de vraag naar sediment af te laten nemen, met sedimentatie tot gevolg. Het betreft hier echter dermate weinig sedimentatie, dat geen problemen met het bereiken van de gewenste waterstanden zijn te verwachten.

#### Saasvelderbeek Noord

De noordelijke tak van de Saasvelderbeek heeft ook nog steeds hinder van erosie. Dit is ook slechts voor een kort gedeelte van het traject (500 m) en ook veel minder dan in de nulsituatie (0.35 m) in plaats van (500 m) nook veel minder dan in de nulsituatie (500 m) nook v

#### Saasvelderbeek Zuid

Voor de zuidelijke tak van de Saasvelderbeek is de bovenloop slechts 0.03 meter geërodeerd in plaats van 0.4 meter in de nulsituatie. In de nulsituatie was de bodem nog over een lengte van bijna 1 km gedaald, na het meanderen is dit verkort tot vrijwel nul meter. In de figuren is het aantakken van de zuidelijke tak van de Saasvelderbeek op de noordelijke tak goed zichtbaar. Hier ontstaat vanwege het verschil in afvoer een verschil in bodemniveau tussen de zuidelijke en de gezamenlijke tak, net als in de nulsituatie. Hier kan in het ontwerp al rekening mee gehouden worden. Opvallend is dat dit in de Saasvelderbeek Noord niet is gebeurd. De ontwerpbodem ligt in dit geval in die tak blijkbaar op een evenwichtssituatie. De stroomsnelheid in de zuidelijke tak laat tevens een minder grillig verloop zien dan in de nulsituatie. Hiermee kan gesteld worden dat de invloed die de lateraalstromingen in eerste instantie hadden is verkleind (zie Figuur 34 ten opzichte van Figuur 40).

#### Saasvelderbeek Totaal

De gezamenlijke tak van de Saasvelderbeek heeft ook bij de maatregel meanderen een afnemende stroomsnelheid over de lengte. Doordat er in de bovenlopen weinig sediment wordt geërodeerd, is er weinig aanbod en slaat in deze beektak dus geen sediment meer neer, ondanks de afnemende stroomsnelheid. De snelheid daalt nu zelfs tot onder de grenzen van de randvoorwaarde. Als oplossing hiervoor kan gedacht worden aan het verkleinen van de dwarsprofielen, zodat de snelheid weer omhoog gaat. Bij een te grote vernauwing van het dwarsprofiel en dus verhoging van de stroomsnelheid is dan de kans groot dat erosie optreedt. Hier moet op worden gelet bij het ontwerp.

#### Spikkersbeek

In de Spikkersbeek is enige mate van erosie te zien. Dit heeft te maken met het feit dat de afvoer te groot is voor de opgelegde randvoorwaarde (hier was uitgegaan van een bodempeil op x=0 van 11.80 m+NAP en een waterpeil van 12.10 m+NAP). Hierdoor daalt de bodem. Dit kan opgelost worden door hier rekening mee te houden in het ontwerp en de bodem al iets lager aan te leggen. Zo blijft de gewenste waterstand wel gehandhaafd.

In onderstaande tabel (Tabel 8) is de hoeveelheid erosie die grofweg plaatsvindt in 50 jaar gepresenteerd. Deze is alleen gemaakt voor de bovenlopen van de beken aangezien daar de grootschalige erosie plaatsvindt. Met deze tabel kan snel ingezien worden wat het effect van het meanderen is op de erosie. Met deze gegevens kan gesteld worden dat de hoeveelheid getransporteerd sediment flink afneemt als gevolg van de maatregel meanderen.

Tabel 8: Erosie in de bovenlopen in 50 jaar [m<sup>3</sup>]

Hoeveelheid erosie (m <sup>3</sup>	) in de boven	lopen
	Nulsituatie	Meanderen
Lemselerbeek	2000	680
Saasvelderbeek Noord	1000	100
Saasvelderbeek Zuid	105	0
Totaal	3105	780



Zoals te zien in de tabel is de erosie voor de Lemselerbeek met een factor 3 afgenomen. Voor de Saasvelderbeek Noord is dit zelfs gebeurd met een factor 10 en in de Saasvelderbeek Zuid is de erosie nagenoeg gestopt. Dit zijn geen precieze, maar globale cijfers. Hiermee kan echter wel gesteld worden dat de afname significant is.

# § 6.4 Maatregel keidammen

De lange termijneffecten voor de bodem en voor de stroomsnelheid van de maatregel keidammen, staan hieronder beschreven. Figuur 42 toont de verandering van het bodempeil na 50 jaar ten opzichte van het ontwerpbodempeil van deze maatregel op t = 0. Figuur 43 toont de stroomsnelheid bij deze maatregel na 50 jaar.

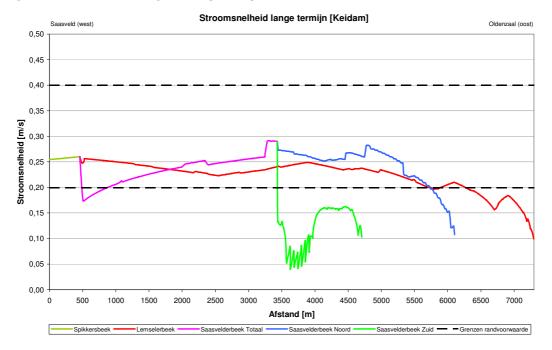
Figuur 42: Afwijking bodempeil ten opzichte van het ontwerpbodempeil [Keidam]

In de figuren is het effect van de keidammen goed zichtbaar. Elke dam zorgt voor een bodemval, wat resulteert in een trapjespatroon. Het bodemverloop op de lange termijn is minder grillig dan de waterstand op de korte termijn liet zien.

#### Lemselerbeek

Voor de eerste 500 m van de Lemselerbeek (x = 7300 tot x = 6800) is een stijging in het bodempeil te zien. Op dit stuk stijgt ook de stroomsnelheid. Na dit traject is de afstand tussen de dammen veranderd, naar het veranderde verhang op dit gedeelte. In de figuren is goed te zien wat dit teweeg brengt. De stroomsnelheid en de afwijking van het bodempeil gaan eerst naar beneden (x = 6800 tot x = 6600) om vervolgens weer te stijgen. Dit heeft te maken met de onderlinge afstand van de dammen. Dit is bepaald om de 500 m (en het bijbehorende verhang). Aangezien er grote verschillen optreden is het verstandig hier in het ontwerp beter naar te kijken en het verhang (en bijbehorende onderlinge damafstand) op kortere beekgedeelten vast te stellen, vooral in de bovenloop is dit van belang. Tussen x = 500 en x = 3500 is ook duidelijk te zien dat de dammen niet goed genoeg werken. Hier vindt tot 30 cm erosie en tot 20 cm sedimentatie plaats. Ook hier geldt dat de onderlinge afstand van de dammen beter bepaald moet worden. Op het gedeelte tussen x = 2800 en x = 6400 werken de dammen goed genoeg. De afwijking met de ontwerpbodem is op dit stuk minder dan 10 cm. Hierdoor zal de waterstand na 50 jaar dus voldoen aan de randvoorwaarde (deze mocht immers 15 cm afwijken). Hierbij wordt uitgegaan van een ontwerpbodempeil dat in initiële situatie voldoet aan de gewenste waterstand.

Figuur 43: Stroomsnelheid lange termijn [Keidam]



#### Saasvelderbeek Noord

Bij de noordelijke tak van de Saasvelderbeek lijken de aannames voor de dammen beter te kloppen. Momenteel is de eerste 500 m (x = 6100 tot x = 5600) een verkeerde aanname gedaan qua onderlinge afstand. Deze moet iets groter worden, maar de dammen moeten dan wel iets hoger worden geïmplementeerd. Dit zorgt er voor dat het bodempeil niet oploopt en ook beter rond de initiële situatie blijft liggen. Tussen x = 4200 en x = 3600 is de onderlinge damafstand ook niet helemaal correct. Het bodempeil daalt hier eerst, om vervolgens te stijgen. Het verschil met het ontwerpbodempeil blijft echter kleiner dan 10 cm. Verder is het verschil tussen voor en na een dam klein. Dit is positief, omdat zo een vloeiende waterlijn wordt verkregen. Dit is voor flora en fauna een voordeel.

# Saasvelderbeek Zuid

De dammen in de zuidelijke tak van de Saasvelderbeek lijken goed hun werk te doen, aangezien het gemiddelde bodempeil rond de nullijn (en dus het ontwerppeil) blijft bewegen. Daar waar de dammen goed zijn gemodelleerd is over het algemeen een rustig verloop van de stroomsnelheid te zien. Tussen x=4100 en x=3400 is het verval over de dammen echter groot, wat een grote afwijking ten opzichte van het ontwerpbodempeil veroorzaakt. Het gevolg hiervan is een grillig patroon in de stroomsnelheid. Het gedeelte tussen x=4600 en x=4100 heeft een kleiner verval en een rustig verloop in snelheid. De stroomsnelheid zit over het hele traject onder de ondergrens van de randvoorwaarde. Als oplossing kan gedacht worden aan het verkorten van de damafstanden. Hier is namelijk uitgegaan van een waterdiepte van 20 cm en een peilverschil van 10 cm. Het peilverschil en het verhang zijn bepalend voor de onderlinge afstand. Het peilverschil van 10 cm is erg groot voor deze kleine beektak. Er staat namelijk slechts ongeveer 5 cm water in deze beek (zie resultaten hydraulica Appendix J).

#### Saasvelderbeek Totaal

Voor de gezamenlijke tak is duidelijk dat de aannames die gedaan zijn niet juist zijn. De afwijkingen tussen x=3300 en x=1100 zijn te groot. Dit komt door een te korte onderlinge damafstand. De dammen dienen dus opnieuw gemodelleerd te worden. Dit betekent dat ze op het stuk van x=3300 tot x=2000 een grotere onderlinge afstand moeten krijgen. Wellicht dat dit de problemen tussen x=2000 en x=1100 ook oplost.



# Afstudeeronderzoek naar hydraulische en morfologische effecten van maatregelen voor beekherstel.



# Spikkersbeek

In de Spikkersbeek loopt de bodem af in de tijd. Hier zou ook een betere afstemming van de dammen plaats moeten vinden. Het lijkt erop dat een kleinere onderlinge afstand nodig is. De grotere afvoer en bijbehorende waterdiepte zorgen er waarschijnlijk voor dat de gedane aannames niet goed zijn. Het beste kunnen de aangepaste dammen vanaf bovenstrooms opnieuw in de beek worden geïmplementeerd. Als de problemen bovenstrooms worden opgelost kan het zo zijn dat ze benedenstrooms ook worden opgelost.



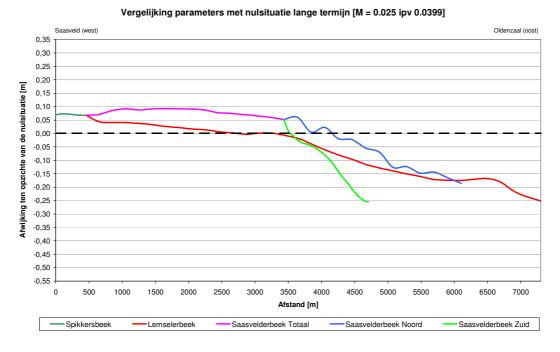
# Hoofdstuk 7. Resultaten gevoeligheidsanalyse

Zoals in § 4.6 staat beschreven worden de uitkomsten getest op hun gevoeligheid met betrekking tot enkele parameters. In dit hoofdstuk staat de afwijking van de veranderingen ten opzichte van de nulsituatie op de lange termijn zoals beschreven in voorgaande hoofdstukken. Om de beïnvloeding van de inputparameters op de output te bepalen worden de beginpunten (bronnen) en het eindpunt vergeleken met de nulsituatie.

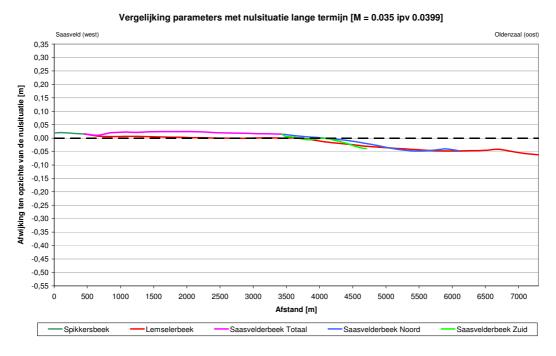
# § 7.1 Effect van Manning-coëfficiënt

In Figuur 44, Figuur 45 en Figuur 46 is voor verschillende waarden van de Manning-coëfficiënt de verandering ten opzichte van de nulsituatie te zien.

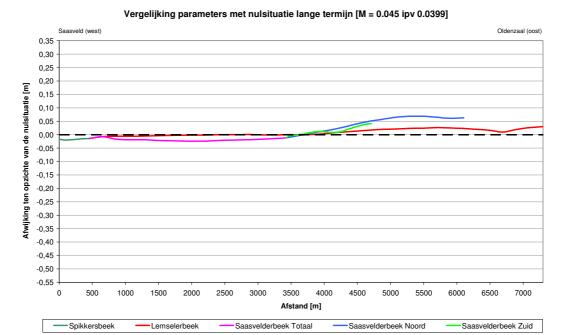
Figuur 44: Manning-coëfficiënt 0.025 in plaats van 0.0399



Figuur 45: Manning-coëfficiënt 0.035 in plaats van 0.0399



Figuur 46: Manning-coëfficiënt 0.045 in plaats van 0.0399



Een kleinere coëfficiënt (en dus een gladdere ondergrond) resulteert in een grotere hoeveelheid erosie bovenstrooms en een grotere hoeveelheid sedimentatie midden- en benedenstrooms dan bij de nulsituatie (met een coëfficiënt van 0.0399). Dit is ook te verwachten, aangezien de Manning-coëfficiënt wordt gebruikt voor het bepalen van de Chézy-waarde. Deze wordt op zijn beurt weer gebruikt voor het bepalen van de stroomsnelheid en daarmee het debiet en ook het zandtransport (voor de bijbehorende vergelijkingen zie Hoofdstuk 4).

De veranderingen die de aangepaste Manning-coëfficiënt levert zijn gepresenteerd in Tabel 9. De absolute veranderingen in de output zijn ten opzichte van de nulsituatie.

Tabel 9: Veranderde Manning-coëfficiënt en bijbehorende veranderde output

Manning-coëfficient	Nulsituatie	Gewijzigde waarde							
		Absoluut	%	Absoluut	%	Absoluut	%		
	0,0399	0,025	-37,3%	0,035	-12,3%	0,045	12,8%		
Lemselerbeek (Bron)	-2,05	-0,25	-12,2%	-0,06	-3,0%	0,03	1,5%		
Saasvelderbeek Noord (Bron)	-1,27	-0,19	-14,6%	-0,05	-3,7%	0,06	4,9%		
Saasvelderbeek Zuid (Bron)	-0,42	-0,25	-60,4%	-0,04	-9,2%	0,04	9,8%		
Spikkersbeek (Eind)	-0,05	0.07	148,3%	0.02	39.5%	-0.02	-35,1%		

Zoals te zien in de tabel levert een verkleining van de Manning-coëfficiënt naar 0.025 vooral grote veranderingen in de zuidelijke tak van de Saasvelderbeek en in de Spikkersbeek. Hier is de invloed van deze verandering groot. De veranderingen aan de Manning-coëfficiënt hebben in alle gevallen grote gevolgen voor het bodemniveau aan het einde van de Spikkersbeek. De invloed op de Lemselerbeek en Saasvelderbeek Noord is klein te noemen. De veranderingen aan input zijn namelijk groter dan de veranderingen die deze beken bij de output ondervinden. Dit is bij de Spikkersbeek precies andersom.

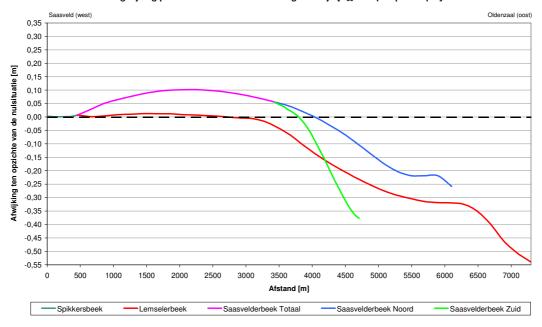
#### § 7.2 Effect van korrelgrootte

In Figuur 47 en Figuur 48 is voor verschillende waarden van de korrelgrootte de verandering ten opzichte van de nulsituatie te zien.



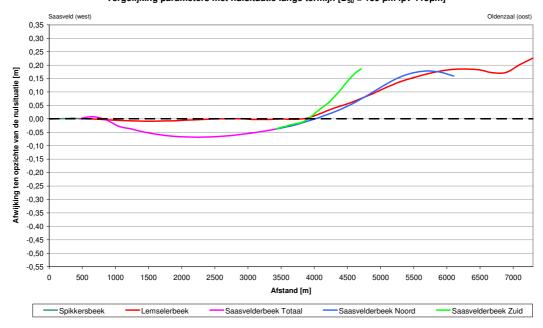
Figuur 47: Korrelgrootte 75  $\mu m$  in plaats van 115  $\mu m$ 





Figuur 48: Korrelgrootte 150  $\mu m$  in plaats van 115  $\mu m$ 

#### Vergelijking parameters met nulsituatie lange termijn [ $D_{50}$ = 150 $\mu$ m ipv 115 $\mu$ m]



De veranderingen van de aangepaste korrelgrootte zijn gepresenteerd in Tabel 10. De absolute veranderingen in de output zijn ten opzichte van de nulsituatie.

Tabel 10: Veranderde korrelgrootte en bijbehorende veranderde output

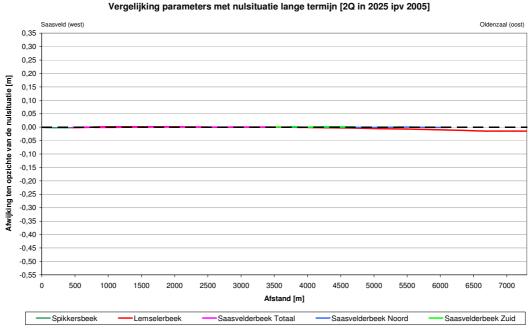
Tabel 10. Verander de Korreigi ootte en bijbenorende verander de output								
Korrelgrootte	Nulsituatie	Gewijzigde waarde						
		Absoluut % Absoluut %						
	115	75	-34,8%	150	30,4%			
Lemselerbeek (Bron)	-2,05	-0,54	-26,3%	0,23	11,0%			
Saasvelderbeek Noord (Bron)	-1,27	-0,26	-20,2%	0,16	12,5%			
Saasvelderbeek Zuid (Bron)	-0,42	-0,38	-89,4%	0,19	44,0%			
Spikkersbeek (Eind)	-0.05	0.00	6,7%	0.00	-2,4%			

In de tabel is goed te zien dat een verkleining van de korrelgrootte een groter effect heef top de output dan een vergroting. De verkleining en vergroting zijn relatief nagenoeg hetzelfde, de output daarentegen verschilt nogal. De verandering in korrelgrootte heeft vooral effect op de zuidelijke tak van de Saasvelderbeek. De output op deze tak heeft in beide gevallen relatief een grotere impact dan de relatieve verandering in de korrelgrootte. Dit heeft te maken met de kleine afvoer die hier plaatsvindt. In de nulsituatie is er vrijwel geen afvoer en daardoor ook een lage stroomsnelheid. Zodra de korrelgrootte echter kleiner wordt, kan het makkelijker opgepakt en wordt het sedimenttransport dus groter. Dit heeft verder weinig effect op het eindpunt bij de Spikkersbeek.

# § 7.3 Effect tijdstip 2Q-afvoer

In deze paragraaf wordt de invloed van het tijdstip van de 2Q-afvoer bekeken. Allereerst wordt de invloed van het tijdstip van de 2Q-afvoer veranderd en vergeleken met de nulsituatie. In Figuur 49 en Figuur 50 is voor verschillende tijdstippen van de extreme 2Q-afvoer de verandering ten opzichte van de nulsituatie te zien.

Figuur 49: 2Q-afvoer in 2025 in plaats van 2005

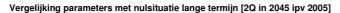


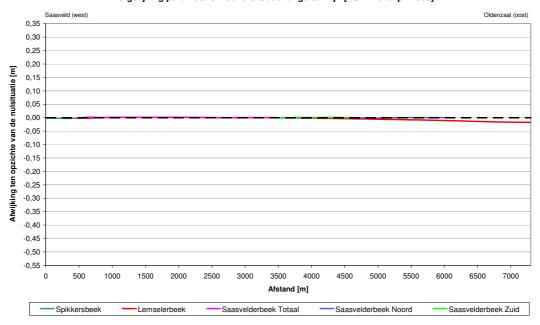
In eerste instantie was er gekozen voor een afvoer van ¼Q gedurende 50 jaar met daarin na 5 jaar 1 dag een 2Q afvoer (de simulatie start in 2000 en daardoor was in 2005 de 2Q afvoer). Voor de gevoeligheid is dit veranderd naar 1 dag 2Q in 2025 respectievelijk 2045. Zoals te zien in bovenstaande figuren heeft deze aanpassing zo goed als geen invloed op de eindsituatie. Alleen in de bovenloop van de Lemselerbeek is iets meer erosie, nog geen 2 cm. Op een totale erosie van ruim 2 meter in 50 jaar valt dit mee en kan er dus gesteld worden dat de huidige keuze voor de afvoer (2Q in 2005) vrijwel geen invloed heeft op de uitkomsten. Dit wordt nog eens extra aangetoond door de resultaten in Tabel 11. De absolute veranderingen in de output zijn ten opzichte van de nulsituatie.





Figuur 50: 2Q-afvoer in 2045 in plaats van 2005





Tabel 11: Veranderd tijdstip 2Q-afvoer en bijbehorende veranderde output

Afvoer - tijdstip 2Q	Nulsituatie	Gewijzigde waarde					
		Absoluut	%	Absoluut	%		
	2005	2025		2045			
Lemselerbeek (Bron)	-2,05	-0,01	-0,7%	-0,02	-0,8%		
Saasvelderbeek Noord (Bron)	-1,27	0,00	0,0%	0,00	0,0%		
Saasvelderbeek Zuid (Bron)	-0,42	0,00	0,2%	0,00	0,0%		
Spikkersbeek (Eind)	-0,05	0,00	-1,7%	0,00	-2,0%		

# § 7.4 Effect van ¼Q-afvoer

Om de invloed van de normale afvoer beter te bekijken wordt de ¼Q-afvoer veranderd. Deze wordt 25% vergroot en verkleind. Dit is in Figuur 51 en Figuur 52 gepresenteerd. Er is in deze gevallen geen 2Q-afvoer aanwezig en er is 50 jaar doorgerekend met ¼Q-afvoer.

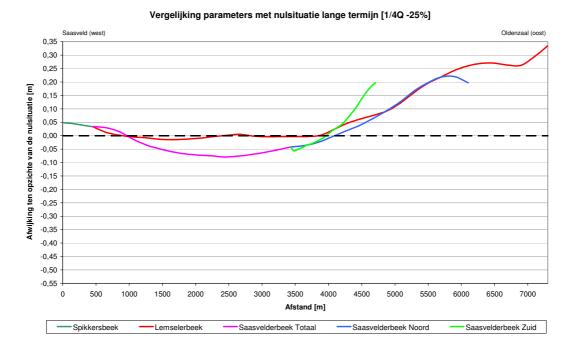
In Tabel 12 zijn de veranderingen van de aangepaste  $\frac{1}{4}$ Q-afvoer gepresenteerd. De absolute veranderingen in de output zijn ten opzichte van de nulsituatie.

Tabel 12: Veranderde ¼Q-afvoer en bijbehorende veranderde output

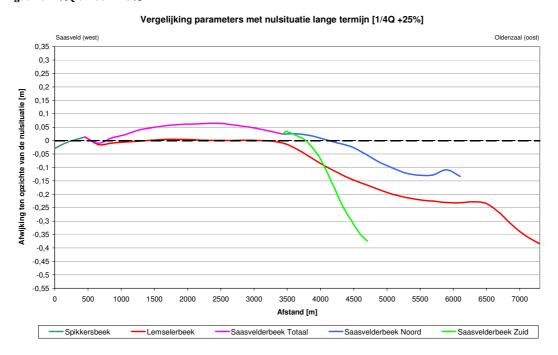
Afvoer - 1/4Q	Nulsituatie	Gewijzigde waarde					
		Absoluut	%				
	1/4Q		-25,0%		25,0%		
Lemselerbeek (Bron)	-2,05	0,33	16,3%	-0,38	-18,7%		
Saasvelderbeek Noord (Bron)	-1,27	0,20	15,5%	-0,13	-10,5%		
Saasvelderbeek Zuid (Bron)	-0,42	0,20	46,7%	-0,37	-88,7%		
Spikkersbeek (Eind)	-0,05	0,05	103,8%	-0,03	-63,0%		



Figuur 51: 4Q-afvoer -25%



Figuur 52: 4/Q-afvoer +25%



Zoals te zien in de tabel heeft een verkleining van de afvoer een groot effect op de Spikkersbeek en de Saasvelderbeek Zuid. De verandering aan de output is namelijk groter dan de verandering aan de input. Bij een vergroting van de input veranderen deze twee beektakken ook meer dan de input. De Lemselerbeek en de noordelijke tak van de Saasvelderbeek ondervinden veel minder last van veranderingen in afvoer.

# § 7.5 Samenvatting

In Tabel 13 zijn alle veranderde inputvariabelen nog eens onder elkaar gezet zodat de effecten van elke variabele overzichtelijk is te zien. De absolute veranderingen zijn ten opzichte van de nulsituatie.

Tabel 13: Veranderde inputvariabelen en bijbehorende veranderde output

Manning-coëfficient	Nulsituatie	Gewijzigde waarde						
		Absoluut	%	Absoluut	%	Absoluut	%	
	0,0399	0,025	-37,3%	0,035	-12,3%	0,045	12,8%	
Lemselerbeek (Bron)	-2,05	-0,25	-12,2%	-0,06	-3,0%	0,03	1,5%	
Saasvelderbeek Noord (Bron)	-1,27	-0,19	-14,6%	-0,05	-3,7%	0,06	4,9%	
Saasvelderbeek Zuid (Bron)	-0,42	-0,25	-60,4%	-0,04	-9,2%	0,04	9,8%	
Spikkersbeek (Eind)	-0,05	0,07	148,3%	0,02	39,5%	-0,02	-35,1%	

Korrelgrootte	Nulsituatie	Gewijzigde waarde				
		Absoluut	%	Absoluut	%	
	115	75	-34,8%	150	30,4%	
Lemselerbeek (Bron)	-2,05	-0,54	-26,3%	0,23	11,0%	
Saasvelderbeek Noord (Bron)	-1,27	-0,26	-20,2%	0,16	12,5%	
Saasvelderbeek Zuid (Bron)	-0,42	-0,38	-89,4%	0,19	44,0%	
Spikkersbeek (Eind)	-0,05	0,00	6,7%	0,00	-2,4%	

Afvoer - tijdstip 2Q	Nulsituatie	Gewijzigde waarde				
		Absoluut	%	Absoluut	%	
	2005	2025		2045		
Lemselerbeek (Bron)	-2,05	-0,01	-0,7%	-0,02	-0,8%	
Saasvelderbeek Noord (Bron)	-1,27	0,00	0,0%	0,00	0,0%	
Saasvelderbeek Zuid (Bron)	-0,42	0,00	0,2%	0,00	0,0%	
Spikkersbeek (Eind)	-0,05	0,00	-1,7%	0,00	-2,0%	

Afvoer - 1/4Q	Nulsituatie	Gewijzigde waarde				
		Absoluut	%	Absoluut	%	
	1/4Q		-25,0%		25,0%	
Lemselerbeek (Bron)	-2,05	0,33	16,3%	-0,38	-18,7%	
Saasvelderbeek Noord (Bron)	-1,27	0,20	15,5%	-0,13	-10,5%	
Saasvelderbeek Zuid (Bron)	-0,42	0,20	46,7%	-0,37	-88,7%	
Spikkersbeek (Eind)	-0,05	0,05	103,8%	-0,03	-63,0%	

Wat opvalt aan de output, is dat de veranderingen aan de inputvariabelen vooral invloed hebben op de Saasvelderbeek Zuid. De effecten op de Spikkersbeek zijn vrijwel altijd groter dan de relatieve verandering aan inputwaardes. Dit zal te maken hebben met de effecten op de zuidelijke tak van de Saasvelderbeek. Het sediment dat daar geërodeerd wordt, slaat neer bij de Spikkersbeek. Als er minder wordt geërodeerd, slaat er ook minder neer. De veranderingen aan input hebben in alle gevallen een kleine impact op de output van de Lemselerbeek en de Saasvelderbeek Noord.



### Hoofdstuk 8. Resultaten hoofdvariant

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van alle randvoorwaarden een ontwerp gemaakt. Vervolgens worden alternatieve oplossingen geboden.

#### § 8.1 Resultaten hoofdvariant

De randvoorwaarden zoals die zijn meegegeven zijn als volgt:

- GGOR
- Ontwerppeilen liggen vast
- Aanhouden van de ontwerpwaterstand ¼Q-afvoer, geleverd door het waterschap
- Maximaal +/- 15 cm verschil
- KRW
- O Stroomsnelheid bij ¼Q-afvoer is 0.2 0.4 m/s
- Ruimtelijke ordening
  - Traject ligt vast bij landbouwgedeeltes
  - Traject ligt vast bij natuurgedeeltes; hier is wel meer vrijheid mogelijk om het traject aan te passen om tot een beter ontwerp te komen, dit dient gemotiveerd te zijn
  - o 15 meter maximale breedte

Hierbij is het landgebruik volgens Tabel 14 ingedeeld. Op basis van de resultaten van de maatregelen wordt op elk gedeelte waar natuur de functie heeft, de maatregel meanderen geïmplementeerd. Daarnaast zijn in de Lemselerbeek keidammen geplaatst in de eerste 1500 meter. Dit is gedaan om de hevige mate van erosie, zoals die in de voorgaande hoofdstukken te zien was, tegen te gaan.

Tabel 14: Landgebruik langs de beken en maatregelen (Boven = Lemselerbeek, midden = Saasvelderbeek Noord en onder = Saasvelderbeek Zuid)

Afstand van [m]	Afstand tot [m]	Functie	Maatregel
7300	6130	Landbouw	Keidammen
6130	1600	Natuur	Meanderen
1600	1100	Landbouw	Keidammen indien nodig
1100	0	Stad	Keidammen indien nodig

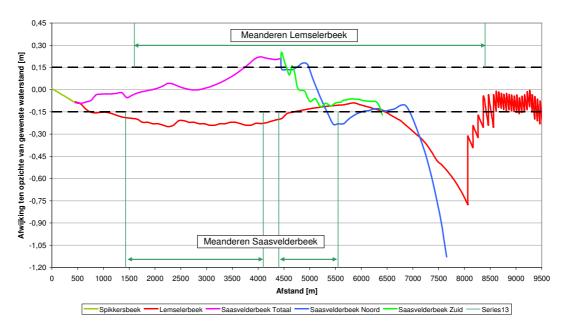
Afstand van [m]	Afstand tot [m]	Functie	Maatregel
6100	4300	Landbouw	Keidammen
4300	3830	Natuur	Meanderen
3830	3130	Landbouw	Keidammen indien nodig
3130	1430	Natuur	Meanderen
1430	0	Stad	Keidammen indien nodig

Afstand van [m]	Afstand tot [m]	Functie	Maatregel
4700	3430	Natuur	Meanderen
3430	3130	Landbouw	Keidammen indien nodig
3130	1430	Natuur	Meanderen
1430	0	Stad	Keidammen indien nodig

De resultaten hiervan zijn te vinden in onderstaande figuren. In Figuur 53 is aangegeven wat de afwijking van het ontwerp ten opzichte van de gewenste waterstand is. Figuur 54 geeft de stroomsnelheid weer. Dit is in beide gevallen de situatie na 50 jaar. In de figuren is aangegeven welke delen is gemeanderd. De zuidelijke tak kan totdat deze samenkomt met de noordelijke tak volledig meanderen. Dit staat echter niet aangegeven, omdat de figuur anders onduidelijk zou worden. Het stuk meanderen tussen x = 4400 en x = 5600 geldt dus alleen voor de noordelijke tak.

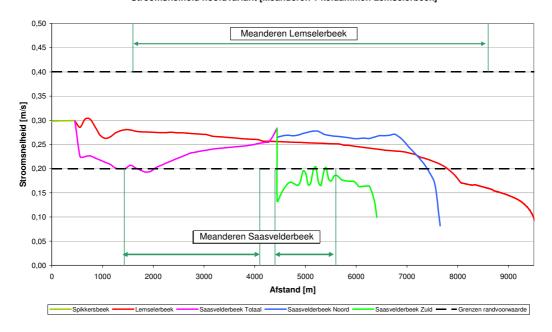
Figuur 53: Afwijking hoofdvariant ten opzichte gewenste waterstand

#### Hoofdvariant - meanderen + keidammen Lemselerbeek



Figuur 54: Stroomsnelheid hoofdvariant

#### Stroomsnelheid hoofdvariant [Meanderen + keidammen Lemselerbeek]



#### Lemselerbeek

Bij de afwijking van de waterstand ten opzichte van de gewenste waterstand is het effect van de dammen duidelijk te zien. Hierdoor blijft de waterstand binnen de grenzen van de randvoorwaarden. In de eerste kilometer zijn de dammen zo te zien goed gemodelleerd qua onderlinge afstand. De waterlijn blijft redelijk op zijn plaats. De dammen kunnen beter 10 cm hoger geplaatst worden, zodat de waterstand rond de nullijn blijft. De afwijking ligt dan dichter op de gewenste waterstand. Na deze kilometer zijn nog vijf dammen geplaatst, om de 100 m. De onderlinge afstand is hier minder goed aangezien de afwijking ten opzichte van gewenste waterstand steeds groter wordt. In het stuk dat volgt wordt weer gemeanderd. De waterstand gaat daar vervolgens richting de gewenste waterstand. Er is duidelijk te zien dat er een erosiekuil ontstaat vlak na de laatste dam. De sedimentvraag is hier groter dan de vraag en zorgt voor deze



# Afstudeeronderzoek naar hydraulische en morfologische effecten van maatregelen voor beekherstel.



erosie. De dammen eindigen in een zone waar gemeanderd is. Hier gaat de waterstand weer naar de gewenste waterstand toe en wordt de afwijking kleiner. Hierna blijft deze rond de onderste grens van de randvoorwaarde schommelen.

#### Saasvelderbeek Noord

In deze tak is alleen gemeanderd en zijn geen andere maatregelen getroffen. Dit is goed terug te vinden in de afwijking van de bovenloop. Hier treedt net zoveel erosie op als bij de nulsituatie te zien was. Het meandergedeelte dat volgt zorgt voor sedimentatie waardoor de waterstand hoger komt te liggen. Op moment van samenkomen stijgt de afwijking ten opzichte van de gewenste waterstand tot boven de bovengrens. De stroomsnelheid valt, op de eerste 200 m na, binnen de randvoorwaarden.

#### Saasvelderbeek Zuid

De kleine, zuidelijke tak wordt volledig meanderend. Dit heeft als resultaat dat de bodem niet daalt en de waterstand op ook niveau blijft. De oplossing hier is toereikend voor de waterstand. De stroomsnelheid ligt echter nog onder de ondergrens van de randvoorwaarde.

#### Saasvelderbeek Totaal

Waar de zuidelijke en de noordelijke tak bij elkaar komen heeft sedimentatie plaatsgevonden. Het stroomt vervolgens door een klein stuk landbouwgebied en mag daarna weer meanderen. Net als bij de maatregelen in vorige hoofdstukken is in dit geval ook te zien dat de afwijking daalt. Deze gaat naar de gewenste waterstand toe. Omdat de stroomsnelheid vertraagd zal er nauwelijks sedimenttransport zijn. Omdat de stroomsnelheid hier bijna te laag is, kan er gekeken worden naar oplossingen als vernauwde dwarsprofielen. Een mogelijke reactie is dan wel dat er erosie plaatsvindt op dit gedeelte. Het hangt daarom af van welke randvoorwaarde het meest belangrijk is.

#### Spikkersbeek

Het laatste stuk van de beek valt binnen alle randvoorwaarden, dit heeft te maken met de randvoorwaarde die in het model is gezet. Hierdoor zal de waterstand naar de gewenste waterstand toegaan.

#### § 8.2 Alternatieve oplossingen

Het meanderen lijkt een goede oplossing voor de problematiek omtrent insnijding in de Saasvelderbeken. Uit het model blijkt echter dat er dan in de bovenlopen nog steeds erosie plaatsvindt. Het is aan te raden te zoeken naar aanvullende maatregelen om dit tegen te gaan. Zoals blijkt is het aanbrengen van keidammen niet afdoende. Er zal daarom op een andere manier aan de vraag naar sediment tegemoet gekomen moeten worden. Dit kan door de stroomsnelheid voldoende te verlagen. Hiervoor is wel een ruimere interpretatie van de huidige randvoorwaarden nodig. Voor dit onderzoek geldt namelijk de eis dat de stroomsnelheid tussen de 0.2 en 0.4 m/s zit. Een andere oplossing is om in de bovenlopen extra onderhoud plaats te laten vinden. Dit kan bijvoorbeeld door meerjaarlijks de bodem op te hogen. Wat ook een goede oplossing kan zijn, is wellicht om zand dat door de beek wordt getransporteerd en benedenstrooms neerslaat, op te vangen en weer terug in het beeksysteem te brengen. Het sediment wordt momenteel afgevoerd en elders gebruikt, maar kan natuurlijk heel goed hergebruikt worden.

De bodemdaling in de bovenlopen kan wellicht ook worden tegengegaan door grover sediment te plaatsen. Bij sediment van een factor 10 groter is er bij de huidige stroomsnelheden nauwelijks sedimenttransport en dus ook geen bodemdaling. Daarnaast wordt ook extra ruwheid gecreëerd (dit is ook een oplossing om de stroomsnelheid naar beneden te krijgen). Nadeel is dat dit geen natuurlijke oplossing is, aangezien het hier een zandbeek en geen grindbeek betreft. Het is daarnaast ook goed mogelijk dat na het gedeelte met grover sediment wederom bodemdaling optreedt, omdat de sedimentvraag alleen is verplaatst. Dit kan dezelfde situatie opleveren als in de vorige paragraaf te zien is bij het overgaan van het beekdeel met keidammen naar het meanderende beekdeel (zie Figuur 53).



Wat ook een goede mogelijkheid is binnen de huidige gebruiksfunctie, is om de stuwen te laten staan. Deze werken immers goed om de bodem- en waterpeilen op hoogte te houden. De stuwen kunnen veel beter in de omgeving verwerkt worden om toch het idee van een natuurlijke beek over te houden. Een combinatie van een ven met (kleine) watervallen kan een natuurlijk uiterlijk op leveren. Er is dan ook meer beleving van de beek mogelijk. Vooral in de buurt van de stedelijke gebieden van Oldenzaal en Saasveld is dit een goede mogelijkheid. Het is weliswaar niet de bedoeling om nog stuwen in de beek te laten staan, maar een creatieve kijk hierop kan resulteren in een betere inpassing met een natuurijker aanzicht en meer belevingswaarde van de beek.

#### Meandering

In dit onderzoek is gerekend met één extreme van de formule voor de lengte van de meandergolf. Deze vergelijking is als volgt: L = 10-14 W (met W = oevervolle breedte). De extreme die is gebruikt is die van 10 maal de oevervolle breedte, omdat op die manier de grootste verlenging plaatsvindt. Op deze manier wordt het verhang dus het meest verkleind. Het is goed mogelijk dat de andere extreme (14 maal de oevervolle breedte) ook voldoende is, zeker voor de benedenstroomse delen. Een grotere meanderbocht aanbrengen zou ook een goede mogelijkheid kunnen zijn. Momenteel is gewerkt met een meanderbocht gekoppeld aan de oevervolle breedte. Bij een groter profiel zou ook een groter meanderpatroon horen en dat kan een nog kleiner verhang opleveren. Als de stroomsnelheid hiermee voldoende wordt verkleind kan het een goede oplossing zijn. Ook hier geldt dat de randvoorwaarden met betrekking tot de stroomsnelheid dan verruimd moeten worden.

#### *Horizontale morfologie*

Horizontale erosie en sedimentatie (het afkalven van oevers en afzetten van zand in de binnenbochten) is voor Dienst Landelijk Gebied wenselijk, mits dit binnen bepaalde grenzen blijft. Door de aanleg van meanders en het verlagen van de stroomsnelheden zullen deze processen naar verwachting laag blijven. Dankzij de aangelegde meanders ontstaat er naar verwachting een natuurlijk patroon waardoor de erosie en sedimentatie gerichter kan plaatsvinden. Mochten er kwetsbare gebieden zijn (zoals landbouwgebieden), dan is het een idee om de oevers hier en daar vast te leggen. Dit kan bijvoorbeeld door ze, vanuit cultuurhistorisch oogpunt, met behulp van elzen vast te leggen (Zonderwijk, Heijdeman & Jaarsma, 1988).



### Hoofdstuk 9. Discussie

In dit hoofdstuk worden de sterke en zwakke punten van het onderzoek weergegeven. Er worden kanttekeningen geplaatst bij de gebruikte input en het SOBEK-model, waardoor de betrouwbaarheid en de geldigheid van de resultaten kenbaar worden.

Er treden in een beek over een geringe afstand vaak grote verschillen in stroomsnelheid op. Ook de totale wateraanvoer varieert van dag tot dag, van maand tot maand en van jaar tot jaar. Hierdoor zijn sedimentatie en erosie lokaal niet exact te voorspellen. Het waterbeheer en het onderhoud, zoals dat in praktijk door alle waterbeheerders in Nederland wordt gevoerd, is gebaseerd op de kennis verkregen met behulp van modelstudies zoals SOBEK, 'expert judgement' van deskundige hydrologen. Dit wordt aangevuld met lokale kennis van het betreffende watersysteem (op basis van tientallen jaren ervaring en gebiedskennis van de medewerkers beheer en onderhoud). Daarbij spelen uiteraard de actuele waterafvoer en omgeving een belangrijke rol. Zoals in Hoofdstuk 7 te zien is, kan een verkeerde aanname of verandering van inputvariabelen soms grote gevolgen hebben voor de output. De resultaten in dit onderzoek dienen dan ook gebruikt te worden als richtlijn en niet als harde waarheid.

#### Afvoer

Het afvoerregime dat in dit onderzoek gebruikt is, is niet heel reëel. Er zijn maar twee afvoeren gebruikt. De normale voorjaarssituatie ( $^{1}\!4Q$ ) wordt statistisch 80 dagen per jaar bereikt of overschreden. Het effect dat in dit onderzoek is aangetoond zal in het echt dus kleiner zijn dan hier is aangetoond. Deze afvoer is sterk bepalend voor de erosie, zoals bij de gevoeligheidsanalyse is aangetoond. Als deze waarde is over- of onderschat, heeft dat veel effect op de verwachte bodemdaling. De reden voor het gebruik van deze waarden is omdat dit maatgevende afvoeren zijn waarmee het waterschap de waterlopen ontwerpt. Hierdoor is dit de enige informatie betreffende afvoerregimes die beschikbaar is. Het ontwerp dat gemaakt wordt zal dus met een beter afvoerregime doorgerekend moeten worden, anders worden de maatregelen naar verwachting overgedimensioneerd.

#### Stroomsnelheid

De verschillen die in stroomsnelheid te vinden zijn, kunnen bepalend zijn voor het feit dat de beken net wel of net niet binnen de randvoorwaarden zijn aangelegd. Zoals in voorgaande hoofdstukken is gebleken, zijn de gemiddelde stroomsnelheden niet altijd binnen de randvoorwaarde van 0,2 tot 0,4 m/s. Het maakt veel verschil of deze waarde aan de binnen- of buitenoever, op de bodem of in het midden van de beek gemeten wordt. In het midden heeft het water veel minder last van de ruwheid van bodem en oevers en stroomt het water dus harder. In de KRW staat niet beschreven bij welke afvoer, wanneer en hoe vaak deze stroomsnelheid gehaald dient te worden. De randvoorwaarde voor de stroomsnelheid is in dit onderzoek gegeven bij een afvoer van ¼Q. Bij een hogere afvoer wordt de vereiste stroomsnelheid makkelijker gehaald. Aangezien deze beken (gedeeltelijk) droog kunnen vallen, zal de vereiste snelheid niet gedurende het hele jaar gehaald worden.

#### Vegetatie

Modellen zijn ondergeschikt aan het oordeel van een deskundige, voornamelijk omdat nog niet bekend is hoe beken reageren. Vegetatie heeft een (veel) grotere invloed op de stroomsnelheid en de morfologie dan bij rivieren. Hoeveel deze invloed is, is niet bekend. Vegetatieruwheid is een vrij onbekende variabele. Momenteel wordt hier door professor Maarten Kleinhaus onderzoek naar gedaan op de Universiteit van Utrecht. Er is uiteraard wel een richting aan te geven wat er zou gebeuren als gevolg van vegetatie. Zoals bij de Gammelkerbeek (ligt ook in het landinrichtingsgebied Saasveld-Gammelke) te zien is, creëert de beek zijn eigen weg zodra er een boom in de stroomzone staat. Dit kan negatieve gevolgen hebben voor de omgeving. Als er weinig ruimte langs de beek is, zal een situatie als deze ervoor kunnen zorgen dat de beek teveel insnijdt in de oever, met teveel afkalving en verlies van land tot gevolg. Oevervegetatie daarentegen kan er juist voor zorgen dat het beekprofiel wordt vastgehouden en omringend land geen extra hinder ondervindt. Ook dit is in de Gammelkerbeek te zien, vlak bij de plek waar ook de boom in de beek staat (bovenstrooms, nabij het Hulsbeek). Vegetatie op de bodem zorgt voor extra weerstand. Hierdoor wordt namelijk een groot deel, zoniet alles, van het water beïnvloedt en



## Afstudeeronderzoek naar hydraulische en morfologische effecten van maatregelen voor beekherstel.



afgeremd. Dit kan tot gevolg hebben dat de stroomsnelheden dermate worden vertraagd dat de berekende waterstanden hoger komen te liggen. De bodem zal hierdoor ook beter worden vastgelegd en door de verlaagde stroomsnelheden ook minder eroderen.

#### **SOBEK**

Zowel de gebruikte formules als het modelleerprogramma SOBEK-RE rekenen met non-cohesief materiaal. Er is aangenomen dat dit de resultaten niet aantast, daar de hele beek wordt opgehoogd met (fijn) sediment. Er wordt dan ook vanuit gegaan dat dit aangebrachte sediment niet cohesief is.

Modellen hebben een beperkte mate van betrouwbaarheid. De gegevens en aannames worden immers ingevoerd op basis van aanwezige informatie. Er is veel mogelijk bij dit programma, maar ook in het programma zelf worden aannames gedaan en zijn formules geïmplementeerd die uitgaan van bepaalde eigenschappen en aannames. Hiernaast is het zo dat dit programma vooral gemaakt is voor rivieren. Beken kunnen anders reageren dan het programma voorschrijft. Daarom wordt betoogd dat de veranderingen in beken wel in programma's gemodelleerd kunnen worden, maar dat deze modellen ondergeschikt zijn aan het oordeel van een deskundige. Daarnaast is het vaak een euvel dat gegevens ontbreken en verkeerd worden ingevoerd in de modelleerprogramma's. Al met al, modellen zijn slechts gereedschap. Monitoren na afloop van implementatie van de maatregelen is daarom aan te raden. Zo kunnen de resultaten van het onderzoek worden getoetst aan de praktijksituatie.

De SOBEK-manual (2004) geeft ook al enkele notities wat betreft de betrouwbaarheid. Belangrijke punten waarop gelet moet worden zijn:

- De betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de beschikbare data;
- De gedane aannames in het onderliggende wiskundige model;
- De vaardigheid van de modelleur;
- De algehele nauwkeurigheid die nodig is;
- De nauwkeurigheid van de gebruikte numerieke modeltechnieken.

Ingevoerde dwarsprofielen kunnen een bron van onzekerheid vormen, daar dit altijd momentopnamen zijn en deze altijd onderhevig zijn aan morfologische veranderingen. Hierdoor verandert de natte omtrek, wat invloed heeft op de waterstand, wat weer invloed heeft op de bodem. Ingevoerde lateralen kunnen ook zorgen voor een verkeerde berekening van resultaten. Daarnaast kunnen de locaties en afvoeren anders zijn dan de natuurlijke situatie.



### Hoofdstuk 10. Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de centrale onderzoeksvraag en subvragen. Vervolgens worden aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek en verdere toepassing van het SOBEK-model.

#### **Conclusies**

Het doel van dit onderzoek was om hydraulische en morfologische effecten van maatregelen van beekherstel te onderzoeken. De randvoorwaarden waren gegeven om gericht te zoeken naar realistische oplossingen. In dit onderzoek is daarbij gebruik gemaakt van de casus van de Saasvelderbeken, welke in het landinrichtingsgebied Saasveld-Gammelke liggen. De onderzoeksvragen die in het begin van dit onderzoek staan vermeld, worden in dit hoofdstuk beantwoord.

Wat zijn hydraulische en morfologische effecten van de primaire maatregelen die getroffen gaan worden en is het van belang dat er aanvullende maatregelen geïmplementeerd worden?

Naar aanleiding van de hydraulische en morfologische resultaten uit Hoofdstuk 4, Hoofdstuk 5 en Hoofdstuk 6 kan gezegd worden dat de maatregelen die het waterschap voor ogen heeft, te weten het verwijderen van de stuwen en het verhogen van de bodem, niet afdoende zijn. Bovendien zijn de aannames van het waterschap met betrekking tot de te verwachten waterstanden ruw geschat. De bodem zal hoger moeten komen te liggen dan is beoogd in het ontwerp om in de initiële situatie (op t=0) de gewenste waterstanden te halen. Verder is te verwachten dat de bodem in de bovenlopen flink daalt. In het benedenstroomse deel zal zand neerslaan, waardoor de bodem en de waterstand omhoog komt. Hierdoor treedt verdroging op van het bovenstroomse deel en vernatting benedenstrooms. Dit is nu ook het geval en moet juist met behulp van de landinrichting teniet worden gedaan.

# Welke aanvullende maatregelen kunnen getroffen worden om de effecten van de primaire maatregelen te verminderen?

Zoals in hoofdstuk 3 beschreven staat, zijn er tal van maatregelen die getroffen kunnen worden om de stroomsnelheid te beïnvloeden. De stroomsnelheid heeft invloed op het sedimenttransport, de sedimentvraag en het sedimentaanbod. De maatregelen moeten ertoe bijdragen dat het totale sedimenttransport zo laag mogelijk blijft. Aanpassingen die de stroomsnelheid van beken beperkt, zijn maatregelen die de ruwheid van de beek vergroten, de waterdiepte verkleinen of het verhang verkleinen. Uit literatuuronderzoek en gesprekken met deskundigen van verschillende waterschappen (Veluwe, Velt & Vecht, Roer & Overmaas en Peel & Maasvallei) blijkt dat voor het vergroten van de ruwheid gedacht kan worden aan het veranderen van het dwarsprofiel, micromeandering, drempels, keidammen, vistrappen en vegetatie. Voor het verkleinen van de waterdiepte kan gedacht worden aan het verhogen van de bodem en het vergroten van het natte oppervlak. Voor het verkleinen van het verhang kan gedacht worden aan het vergroten van de lengte of het aanbrengen van stuwen.

Wat zijn hiervan potentieel kansrijke maatregelen om te implementeren in het inrichtingsgebied en wat zijn de hydraulische en morfologische effecten van deze onderzochte maatregelen?

De meest kansrijke maatregelen om binnen dit inrichtingsgebied te implementeren zijn de maatregelen meanderen en keidammen. Meanderen zou een goede mogelijkheid kunnen zijn in de natuurgebieden waar de beek doorheen stroomt. Keidammen kunnen als oplossing gelden in de agrarische delen.

De hydraulische effecten van de maatregel meanderen tonen aan dat de waterstand iets hoger komt te liggen dan zonder gebruik van deze maatregel. De stroomsnelheid zal hierbij dalen ten opzichte van de nulsituatie. De morfologische effecten zijn goed. De bodem zal in het bovenstroomse deel nog wel flink eroderen, maar dit is al veel minder. Dit is zowel in verticale

(diepte insnijding) als in horizontale (lengte insnijding) richting positiever dan in de nulsituatie het geval is. De erosie in de bovenloop is fors afgenomen. In de Lemselerbeek is deze twee tot drie keer zo klein geworden. De noordelijke tak van de Saasvelderbeek heeft slechts een tiende deel van de oorspronkelijke erosie tot gevolg en in de zuidelijke tak van de Saasvelderbeek is de erosie zelfs tot stoppen gebracht. Het midden- en benedenstroomse deel zijn door deze maatregel qua bodempeil stabiel, er vindt geen sedimentatie meer plaats. Oplossingen voor het bovenstroomse deel zullen nog gezocht moeten worden. Hierbij kan gekeken worden naar maatregelen als het implementeren van keidammen of het aanpassen van het dwarsprofiel. Voor het natuurlijk maken van beken kan meanderen als goede oplossing dienen om insnijding tegen te gaan. Hierbij dient wel gekeken te worden naar het complete beeksysteem. De steile bovenlopen hebben dan wel aanvullende maatregelen nodig. Daarnaast kost de maatregel meanderen extra ruimte, die wel beschikbaar moet zijn.

De andere onderzochte maatregel, keidammen, werkt goed om de bodem vast te leggen. Nadeel is wel dat het hele beeksysteem bestaat uit een 'trapjespatroon'. Over elke keidam is een verval in waterpeil. Hierdoor kan de waterstand flink fluctueren tussen voor en na de dam. Dit mag niet te groot zijn in verband met de vispasseerbaarheid. Ook voor de omliggende agrarische en natuurgebieden is fluctuatie in waterstanden niet gunstig. De bodem blijft overwegend goed op zijn oorspronkelijke peil liggen (en de waterstand daardoor ook). Als dit ontwerpbodempeil zó is aangelegd dat de waterstand in initiële situatie al op het gewenste peil ligt, dan zal dit op de lange termijn ook in de buurt van deze gewenste waterstand blijven.

# Kan het bekensysteem van de Lemseler- en Saasvelderbeek worden ingericht met behulp van de onderzochte aanvullende maatregelen en zo ja, hoe kan dat dan op de beste manier?

De resultaten van de onderzochte maatregelen zijn gebruikt om deze zo goed mogelijk binnen de toekomstige landgebruikfuncties in te passen. De resultaten van Hoofdstuk 8 tonen aan dat de hoofdvariant nog niet optimaal is ontwikkeld. In het eerste, agrarische deel zijn keidammen geplaatst. Daarna komt in het natuurgedeelte ruimte voor meandering. De bodem blijft goed liggen in het eerste deel, de dammen doen goed hun werk. Op de grens van het deel met dammen en het meanderende deel ontstaat echter een erosiekuil. De vraag naar sediment is nog aanwezig en feitelijk alleen maar verplaatst. De gewenste waterstand wordt hierdoor niet gehaald en de stroomsnelheid valt niet in zijn geheel binnen de grenzen van de randvoorwaarde. Het inpassen van deze maatregelen in de casus van de Saasvelderbeken binnen de gestelde randvoorwaarden is daardoor niet helemaal gelukt. De resultaten van dit onderzoek zijn echter hoopgevend. Het heeft er alle schijn van dat de beken met de maatregelen meanderen en keidammen ontworpen kunnen worden om binnen de grenzen van de gegeven randvoorwaarden te vallen.

Naar aanleiding van de bovenstaande antwoorden op de onderzoeksvragen kan gesteld worden dat het doel, om de hydraulische en morfologische effecten van maatregelen van beekherstel te onderzoeken, gehaald is. Er is meer bekend over de effectiviteit van de onderzochte maatregelen. De resultaten van dit onderzoek kunnen gebruikt worden bij beekherstel in Nederland en daarbuiten. Bij implementatie van maatregelen is het echter zaak om een goed monitoringsprogramma op te stellen, zodat de berekende effecten gecontroleerd en gecalibreerd kunnen worden. De resultaten daarvan kunnen dan gebruikt worden om herstel bij grotere waterwegen plaats te laten vinden. De grote waterwegen ondervinden grotendeels dezelfde problemen als de beken.

Beekherstel is een relatief nieuw onderdeel binnen de waterbeheerwereld. Er zijn nog veel lacunes en effecten van maatregelen en vegetatie zijn lang niet altijd duidelijk. Dit onderzoek tracht meer inzicht te geven over maatregelen die genomen kunnen worden om beekherstel uit te voeren. De resultaten hiervan kunnen niet alleen door waterschappen in Nederland worden gebruikt voor beekherstel, maar ook daarbuiten. De resultaten kunnen zelfs gebruikt worden voor de grote waterwegen. Hier gelden immers soortgelijke problemen. Binnen Nederland worden de mogelijkheden voor het aantakken van meanders op rivieren onderzocht. Een goede monitoring en calibratie van deze resultaten is dan belangrijk.

# Afstudeeronderzoek naar hydraulische en morfologische effecten van maatregelen voor beekherstel.

#### **Aanbevelingen**

Naar aanleiding van de resultaten en conclusies staan hieronder enkele aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

- Het is beter om een SOBEK-model zelf op te zetten. De aanname die in dit onderzoek is gedaan, dat het model van het waterschap eenvoudig overgezet kon worden, bleek onjuist. Hoewel in de komende jaren een geïntegreerd SOBEK-programma (met Rainfall-Runoff én morfologie) op de markt moet komen, zijn er momenteel nog verschillende versies. Deze communiceren niet of niet goed met elkaar. Daardoor is het niet eenvoudig een model van het ene type (in dit geval SOBEK 2.09) om te zetten in een ander type (in dit geval SOBEK-RE). Het zelf opzetten van een model geeft daarnaast ook veel meer inzicht in het watersysteem.
- Het blijkt in dit onderzoek dat meanderen goed werkt. Het zou voor de bevestiging hiervan goed zijn om een monitoringssysteem te koppelen aan een vervolgonderzoek en hier conclusies uit trekken. Dit kan uitgebreid worden met het onderzoeken van meanderen voor (grote) rivieren. Bij de grote rivieren in Nederland gelden weliswaar heel andere eisen, aangezien veiligheid en scheepvaart daar een veel groter aandeel heeft. Meanderen zou wellicht kunnen bijdragen aan oplossingen voor de waterbeheerproblematiek die nu en in de toekomst te verwachten zijn. Het past in ieder geval goed binnen het beleid van WB21, om water vertraagd af te voeren, en de KRW, om een beter ecologisch systeem te creëren.
- Het is van belang om meer gegevens ter beschikking te hebben over korrelgrootte, ruwheid en afvoerregimes. Deze waren in dit onderzoek niet volledig en kunnen erg bepalend zijn voor de uitkomsten. Goede, betrouwbare informatie is dan van belang om de risico's goed te kunnen schatten.
- Qua korrelgrootte is het wellicht beter om meer te weten over de schuifspanning dan over de grootte alleen. In dit onderzoek betrof het eolisch dekzand, wat door zijn rondere vorm wellicht een lagere schuifweerstand heeft dan ander zand met dezelfde korrelgrootte.
- Het onderzoeken van de effecten van het veranderen van de dwarsprofielen. Wellicht is het mogelijk om in de bovenlopen de profielen zo aan te passen dat een combinatie van deze nieuwe profielen met hermeandering afdoende is om erosie tegen te gaan.
- In dit onderzoek is gebruik gemaakt van een lengte voor een meandergolf van 10 maal de oevervolle breedte. Uit de formule die hiervoor gebruikt is, blijkt dat ook een meandergolf met een lengte van 14 maal de oevervolle breedte gebruikt kan worden. Dit is in dit onderzoek niet onderzocht, maar zou goed kunnen werken. Dit scheelt veel in het ruimtebeslag dat een meanderende beek opeist.
- Het afvoerregime dat in dit onderzoek is gebruikt, is niet reëel. Er is voornamelijk gerekend met een normale voorjaarssituatie. Deze waarde is het hele jaar door gebruikt, terwijl deze statistisch slechts 80 dagen per jaar wordt bereikt of overschreden. Een regime dat beter voldoet aan de daadwerkelijke regen- en afvoerpatronen heeft daarom de voorkeur.
- Momenteel wordt er onderzoek gedaan op de Universiteit Utrecht naar het effect van vegetatie op rivieren. Het effect van vegetatie op rivieren in het algemeen en beken in het bijzonder is echter een onbekend terrein. Er wordt aanbevolen om onderzoek hiernaar uit te breiden, zodat hier meer over bekend wordt.





#### Referenties

#### Literatuur

g.d. = geen datum

- Het Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie (2000). Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen. [Europese Kaderrichtlijn Water]
- Eysink, F., Verdonschot, P. & de Bonte, A. (2007). Springendal: Beekdalen in stuwwalgebieden [elektronische versie]. *Informatieblad gebruikersnetwerk*.
- Eysink, F. & Verdonschot, P. (2007). Beek moet in bomen hangen Verslag van beekherstel in stuwwalgebied, Veldwerkplaats Beekdalen in het Springendal op 10 juli 2007 [elektronische versie]. Zie www.beheerdersnetwerken.nl
- Federal Interagency Stream Restoration Working Group [FISRWG] (1998). *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices.* [electronic version]
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK) (2002). Fish passes dimensions, design and monitoring. Rome, Italië.
- Grobbe, H. & Bakker, M. (2005). *Ecohydrologische systeemanalyse Saasvelderbeken*. Royal Haskoning.
- Huijskes, H., Geerlink, H. & de Groot. L. (geen jaartal). *Voorbeeldenboek Waternood*. Provincie Overijssel & Dienst Landelijk Gebied.
- Janssen, P. H. M., Slob, W. & Rotmans, J. (1990). Gevoeligheidsanalyse en onzekerheidsanalyse: een inventarisatie van ideeën, methoden en technieken. Bilthoven.
- Knighton, D. (1998). Fluvial Forms and Processes. New York: Oxford University Press.
- Kwak, R. & Stortelder, A. (2006). *Beekherstel Leren van 15 jaar natuurontwikkeling langs beken in de Achterhoek*. Alterra in opdracht van waterschap Rijn en IJssel
- Landinrichtingscommissie Saasveld-Gammelke (1998). *Herinrichting Saasveld-Gammelke Landinrichtingsplan.* Zwolle: Hoekman BV.
- Medemblik, J., de Graaff, B. & Oosterhoff, C. (2008). Meanderende Regge. *H*<sub>2</sub>*O*, *21-2008*, 14-16.
- Mosselman, E., Barneveld, H. & de Vriend, H.(2008). Morfologie en herinrichting. WL Delft Hydraulics.
- Mosselman, E. (1993). Dynamica van beekmeandering. Landinrichting 1993/33, pagina 36-38.
- Projectgroep Waternood (1998). Grondwater als leidraad voor het oppervlaktewater: een op het grondwater georiënteerde aanpak voor inrichting en beheer van oppervlaktewatersystemen. Waternood rapport.
- Provincie Overijssel (2001). Waterhuishoudingsplan Overijssel 2000+.
- Runhaar, J., Jansen, P.C., Timmermans, H., Sival, F.P. & Knol, W.C. (2003). *Historische waterhuishouding en grondgebruik in het waterschap Regge en Dinkel.* Wageningen.
- Scheer, J. van der (2006). Memo maatregelen hydrologie. Waterschap Regge & Dinkel, Almelo.
- Scheer, J. van der & Veenen, B. van (2004). *Memo Pilot Waternood; beoordeling ontwerp Gammelkerbeek*. Waterschap Regge & Dinkel, Almelo.
- Schelhaas, H., Molenaar, B. & Dekkers, G. (1978). Rivieren en beken in Overijssel. Waanders, Zwolle.
- Schutte, J.H. (2006). Veilig hermeanderen in bestaand tracé Een speurtocht naar mogelijkheden Realisatie ontwerp Gammelkerbeek in de praktijk. Zwolle.
- SOBEK-RE Help Desk (2004). Technical Reference Manual Flow.
- SOBEK-RE Help Desk (2004). Technical Reference Manual Morphology and Sediment Transport.
- SOBEK-RE Help Desk (2004). User Manual Sobek River/Estuary.
- Stichting toegepast onderzoek waterbeheer [Stowa] (2005). Overzicht natuurlijke watertypen. Utrecht.
- Tielrooij, F., van Dijk, J., de Blécourt-Maas, J., van den Ende, A., Oosterbaan, G.A. & Overbeek, H.J. (2000). *Waterbeleid voor de 21e eeuw*. Advies van de Commissie Waterbeheer 21e eeuw.
- Tukker, M. (2007). Ontwikkelingen in Wanda. Delft



# Afstudeeronderzoek naar hydraulische en morfologische effecten van maatregelen voor beekherstel.



- Uitvoeringscommissie Saasveld-Gammelke (2008). Wijziging-inrichtingsplan Saasveld-Gammelke. Giethoorn: ten Brink.
- Vermont Agency of Natural Resources [VANR] (2004). Vermont Stream Geomorphic Assessment.
- Waterconservering 2° generatie (g.d.). Van stuw tot gronddam Vergelijkend onderzoek Project Waterconservering 2e generatie 2001 2004. Tilburg.
- Waterschap Regge & Dinkel (2007). *Actualisatie waterbeheersplan 2002-2005 →2008*. Haaksbergen: Hassink Drukkers.
- Waterschap Regge & Dinkel (2006). Wateratlas Twente.
- Waterschap Vallei & Eem i.s.m. provincie Utrecht & provincie Gelderland (2008). Inrichtingsbeelden Heelsumse & Renkumse Beek. Leusden.
- van Winden, A., Braakhekke, W., Overmars, W. & Kurstjens, G. (geen jaartal). Natuurpark Rodebach/Roode Beek Ontwikkelingsvisie voor grensoverschrijdende natuur en recreatie in de gemeenten Gangelt en Onderbanken. Stroming, bureau voor natuur- en landschapsontwikkeling b.v., Nijmegen.
- Zonderwijk, M., Heijdeman, B., Jaarsma, M. & Leemeijer, A. (1988). *Beken in Twente.* Dalfsen, Stichting Coördinatie Landschapsonderhoud Overijssel.

#### Kaarten

- Dienst Landelijk Gebied. Kaarten inrichtingsgebied Saasveld Gammelke.
- Oude kaart inrichtingsgebied 1848 http://ngz.watwaswaar.nl/#lU-Z6-4-eY-1v-1a----hRP Bezocht op 9 september 2008
- Waterschap Regge & Dinkel. Overzichtskaart beken inrichtingsgebied Saasveld-Gammelke.
- Waterdocumenten waterschap Regge & Dinkel http://waterdocumenten.esrinl.com/
- Waterschap Regge & Dinkel. SOBEK-model Saasvelderbeken.

#### **Internet**

• Definitie van een beek

http://www.vandale.nl/vandale/opzoeken/woordenboek/?zoekwoord=beek Bezocht op 3 februari 2009

• Dienst Landelijk Gebied

http://www.minlnv.nl/portal/page?\_pageid=120,1&\_dad=portal&\_schema=PORTAL

• Europese Kaderrichtlijn Water

http://www.kaderrichtlijnwater.nl/

• Formatie van Twente

http://nl.wikipedia.org/wiki/Formatie\_van\_Twente

Bezocht op 28 oktober 2008

• Handboek hydromorfologie:

http://www.helpdeskwater.nl/monitoring/hydromorfologie

• Informatieblad Springendal

www.beheerdersnetwerken.nl

Beheerdersnetwerken infoblad\_voorstel\_Springendal\_beekdalen2[1].pdf Bezocht op 20 september 2008

Korrelgrootte dekzand

http://team.bk.tudelft.nl/Publications/2002/Grondgebied % 2007% 20 Bodem.htm-http://deam.bk.tudelft.nl/Publications/2002/Grondgebied % 2007% 20 Bodem.htm-http://deam.htm-http

Hoofdstuk 1.d.3 Sedimenten

Bezocht op 20 oktober 2008

• Landinrichting Saasveld-Gammelke

http://www.saasveld-gammelke.nl/

• Ministerie van Landbouw, Natuur en Visserii

http://www.minlnv.nl/portal/page?\_pageid=116,1640949&\_dad=portal&\_schema=PORTAL& p\_document\_id=110237&p\_node\_id=1935044&p\_mode=BROWSE Bezocht op 22 december 2008

• Omrekenen van meter naar foot

http://nl.encarta.msn.com/encnet/refpages/RefMedia.aspx?refid=701500646



Bezocht op 6 januari 2009

- Omtrek Ellips http://www.wiswijzer.nl/pagina.asp?nummer=276 Bezocht op 19 januari 2009
- Stichting toegepast onderzoek waterbeheer http://www.stowa.nl/
- Stream Restoration Addenda en downloads http://www.usda.gov/stream\_restoration Bezocht op 19 september 2008
- Vermont Agency of Natural Resources http://www.anr.state.vt.us/



### Begrippenlijst

Afkorting	Staat voor	Betekenis
¼Q	Gemiddelde	Afvoer die ± 80 dagen per jaar wordt bereikt of
	'voorjaars' situatie	overschreden.
2Q	Maximaal debiet	Afvoer die 1 à 2 dagen per 50 tot 100 jaar wordt bereikt
		of overschreden.
DLG	Dienst Landelijk Gebied	De opdrachtgever voor dit onderzoek.
EVZ	Ecologische	Een verbinding tussen bestaande en/of nieuwe
	Verbindingszone	natuurgebieden.
g.d.	Geen datum	Staat soms bij referenties in de tekst
GGOR	Gewenst Grond- en	Ontwerpwaterstanden van oppervlaktewater welke
	Oppervlaktewater Regime	gekoppeld is aan gewenste grondwaterstanden.
KRW	Europese Kaderrichtlijn	Europese richtlijn met een resultaatverplichting voor de
	Water	verantwoordelijke overheid met als doel om de
		waterlopen ecologisch goed te maken.
NAP	Normaal Amsterdams Peil	Referentieniveau.
WB21	Waterbeleid 21e eeuw	Landelijk akkoord gesloten tussen de overheden om het
		watersysteem in Nederland verder duurzaam in te
		richten.
WRD	Waterschap Regge en Dinkel	Waterschap dat verantwoordelijk is voor het beheer van
		de Saasvelderbeken.

Begrip	Uitleg
Aquatische natuur	De natuur die aan het water of watersysteem gebonden is.
Beek	Een smal, ondiep, stromend water met een veranderende, kronkelende loop.
Blauwe maatregel	Op initiatief van de grondeigenaar wordt water vastgehouden en/of tijdelijk
	geborgen.
Corridor	Totale breedte van een rivier, inclusief bermstroken en uiterwaarden.
Debiet	Afvoer van een waterloop in m <sup>3</sup> /s.
Drooglegging	Verschil tussen maaiveld en waterstand.
Fauna	De totaliteit van diersoorten in een bepaald gebied.
Flora	De totaliteit van plantensoorten in een bepaald gebied.
Herverkavelen	Het opnieuw indelen of ruilen van kavels (stukken land).
Hydraulica	Toegepaste wetenschap die zich bezig houdt met het gedrag van stromende
	vloeistoffen (vloeistofdynamica).
Inundatie	Het onder water zetten van een gebied.
Meanderen	Het natuurlijk kronkelen van een beek of rivier.
Micromeandering	Het kunstmatig kronkelen van een beek of rivier binnen een kleinere corridor
	dan natuurlijk noodzakelijk is.
Morfologische	Verzamelterm voor natuurlijke erosie- en sedimentatieprocessen.
veranderingen/	
Morfodynamiek	
Natura2000-gebied	Natuurgebied met Europese beschermingsstatus (Habitatrichtlijn en/of
	Vogelrichtlijn). In Nederland geregeld in de Nederlandse
D 1	Natuurbeschermingswet.
Pool	Diep punt in de buitenbocht van een rivier. Ontstaat door spiraalstroming.
Retentie	Vasthouden van water.
Riffle	Punt in een rivier, het midden tussen twee buitenbochten, ondiepte.
Terrestische natuur	De natuur die aan het land of landsysteem gebonden is.
Verhang	Relatieve hoogteverschil van een waterloop [m/km].
Verval	Verschil in hoogte van de waterspiegel op twee punten in een rivier.





## **Appendices**





### Appendix A. Typering rivieren volgens KRW

Bron: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, 2005 Appendix Figuur 1: Droogvallende langzaamstromende bovenloop op zand (Saasvelderbeek)

### DROOGVALLENDE LANGZAAMSTROMENDE BOVENLOOP OP ZAND (R3)

### **ALGEMEEN:**

Droogvallende bovenlopen komen voor in bossen of open landschappen in de zandgebieden. Op de hogere zandgronden hebben twee op de drie beken een droogvallende bovenloop. Lokaal ook in de duinen. Watertoevoer in sterke mate bepaald door de regen. Droogvallen alleen 's zomers.

#### **BIOLOGIE:**

Droogvallen heeft overheersende invloed op de levensgemeenschap. Omdat er veel schaduw is, groeien er nauwelijks planten in het water. Vissen komen niet of slechts incidenteel voor.

#### Vegetatie

Fytobenthos: Op aangeslibde, rustig stromende tot stilstaande plekken bodemgebonden kiezelalgen. Na periodes van droogval kan op minerale substraten de kiezelalg *Achanthes minutissima* zeer talrijk zijn.

Macrofyten: Weinig soorten. Vroeg in het voorjaar ontwikkelen zich sterrekroossoorten, bronkruid, klimpowaterranonkel en goudveilsoorten maar met lage bedekking.

#### Macrofauna

Weinig divers. Vooral soorten die zich ingraven en van dood plantaardig materiaal leven (detrivoren). Belangrijpe groepen zijn wormen, vedermuggen, vliegen en kevers.

#### **AANTASTINGEN:**

- Regulatie en normalisatie van de afvoerende beek, omdat dit leidt tot eerder en langer droogvallen.
- Machinaal maaibeheer (werkt nivellerend voor soortenrijkdom).
- Kunstmatige opstuwing, waardoor het droogvallen uitblijft en de stroming stopt zodat dood plantaardig materiaal zich gaat ophopen op de bodem.

- Beïnvloeding van de waterkwaliteit in het inzijggebied.
- Vermindering van de kweldruk door een verbeterde afwatering van het inzijggebied.
- Directe lozingen.





Appendix Figuur 2: Permanent langzaamstromende bovenloop op zand (Lemselerbeek)

### PERMANENT LANGZAAMSTROMENDE BOVENLOOP OP ZAND (R4)

#### ALGEMEEN:

Meandert met korte bochten door het landschap, tot 2, plaatselijk 3 meter breed. Dwarsprofiel asymmetrisch met zandbanken en overhangende oevers. Ook rustig stromende plekken met plaatselijk stroomversnellingen en bankjes van fijn grind. In bossen of (half)open landschappen op de hogere zandgronden, lokaal ook in de duinen, waarbij het water landinwaarts stroomt.

Gevoed door de regen. Droogvallen alleen in de zomer.

Beiler- en Westerborkerstroom, Westerstukken (Midden-Drenthe), Bijsselsche- en Pangelerbeek (Veluwe).

#### **BIOLOGIE:**

Vooral soorten die leven op harde, stenige bodems en die goed tegen stromend water kunnen.

#### Vegetatie

Fytobenthos: Op aangeslibde, rustig stromende tot stilstaande plekken vooral aan de bodem vastzittende kiezelwieren. Draadalgen kunnen sterk toenemen wanneer het water iets voedselrijker wordt.

Macrofyten: Plaatselijk op oevers soorten zoals paarbladig goudveil, beekpunge, bittere veldkers, witte waterkers en slanke sleutelbloem. In de beekbovenloop haaksterrenkroos, kleine egelskop, groot bronkruid en grote waterranonkel.

#### Macrofauna

Vooral soorten die op sediment of harde substraten leven en van stroming houden.
Steenvliegen, kevers, vedermuggen en libellen zijn belangrijke groepen. In de wat zuurdere bovenlopen is de macrofauna matig divers met lage aantallen individuen. Opvallend is het sporadisch voorkomen of ontbreken van veel soorten haften, platwormen, slakken en

kreeftachtigen. De meeste soorten leven op of in het sediment en leven van dood organisch materiaal.

#### Vissen

Beperkt; meestal driedoornige en tiendoornige stekelbaars. Daarnaast plaatselijk bermpjes en/of riviergrondels. Bij eventuele grofzandof grindbanken kunnen ook beekprikken voorkomen. Paaitrek van elrits niet uitgesloten. Beekforel afwezig wegens het ontbreken van voldoende doorstroomde grindbanken.

#### **AANTASTINGEN:**

- Verdroging van brongebied leidt 's zomers tot afname van stroomsnelheid en waterdiepte, waardoor waterplanten worden verdrongen door moeras- en oeverplanten.
- Normalisatie van de beek leidt tot een versnelde afvoer van water uit het stroomgebied en een verlies aan habitats voor karakteristieke flora.
- Overdimensionering van de waterloop leidt tot een verschuiving van karakteristieke soorten van bovenlopen naar soorten die meer karakteristiek zijn voor middenlopen.
- Door emissie van nutriënten vanuit de landbouw, en door puntbronnen zoals rwzi's en riooloverstorten treedt eutrofiëring op, met als gevolg een nivellering van soorten.
- Kappen of snoeien van bomen kan ertoe leiden dat er geen schaduw meer op het water valt, waardoor karakteristieke halfschaduwsoorten verdwijnen en de beekloop te vol groeit met waterplanten.





Appendix Figuur 3: Langzaamstromende middenloop/benedenloop op zand (beide beken)

# LANGZAAMSTROMENDE MIDDENLOOP/ BENEDENLOOP OP ZAND (R5)

#### ALGEMEEN:

Kronkelende, meanderende beek met zandbanken, overhangende oevers, maar ook rustige plekken met bladpakketten, takken en boomstammen. Bomen hebben veel invloed op de ontwikkeling en vorming van de waterloop. Gevoed door snel of langzaamstromende bovenlopen.

Dinkel (Overijssel) en Hierdense beek (Veluwe).

#### BIOLOGIE:

Begroeiing redelijk ontwikkeld en aangepast aan stroming. Faunasamenstelling zeer divers. Vegetatie

Fytobenthos: Veel vastzittende kiezelwieren. Op stenen of takken midden in de stroom vooral draadalgen, waar zich vaak weer andere soorten op hebben vastgehecht.

Macrofyten: Zeer gevarieerd. Associaties van doorgroeid fonteinkruid, waterviolier en sterrekroos, teer vederkruid, vlottende waterranonkel, blauwe waterereprijs en waterpeper, alsook van egelskop en pijlkruid zijn kenmer-

kend voor dit type midden- en benedenloop.

#### Macrofauna

Vooral soorten van stromend zuurstofrijk water die leven op sediment en vaste substraten (zoals waterplanten). De kriebelmuggen Simulium erythrocephalum en Eusimulium angustipes, de napjesslak Ancylus fluviatilis en de haft Ephemerella ignita). Vrij in de waterkolom leeft onder andere de wants Aphelocheirus aestivalis en in de litorale zone de haft Caenis pseudorivulorum. Kenmerkend (en inmiddels tot dit watertype teruggedrongen door concurrentie van uitheemse rivierkreeften) is de inheemse rivierkreeft.

#### Vissen

Vooral de kleinere stroomminnende soorten zoals bermpje, serpeling, riviergrondel en rivierdonderpad. Op de stromingsluwe plekken ook snoek, vetje, kleine modderkruiper en tiendoornige stekelbaars.

#### **AANTASTINGEN:**

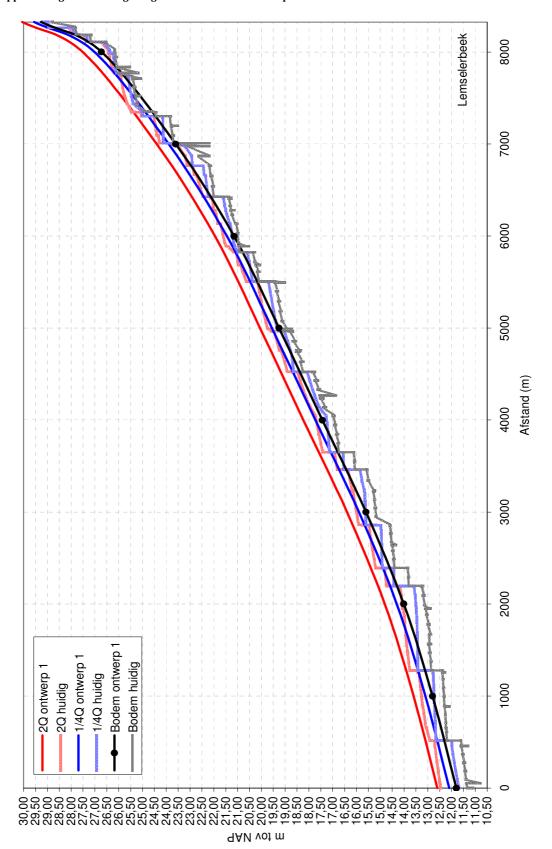
- Opstuwing verlaagt de gemiddelde stroomsnelheid.
- Normalisatie leidt tot een verlies aan habitats, vermindering van de natuurlijke dynamiek en erosie.
- Eutrofiëring door emissie vanuit de landbouw, en door puntbronnen zoals rwzi's en riooloverstorten.
- Verandering van de watersamenstelling door inlaat van gebiedsvreemd water.
- Aantastingen van de waterhuishouding in het stroomgebied leiden tot vermindering van de hoeveelheid kwelafhankelijke vegetatie.





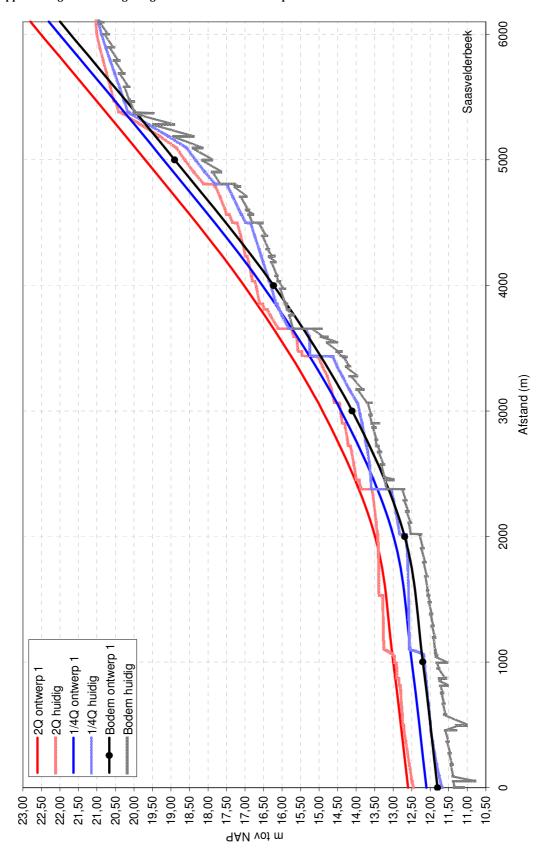
### Appendix B. Huidige en gewenste bodem- en waterpeilen

Bron: Waterschap Regge & Dinkel Appendix Figuur 4: Huidige en gewenste bodem- en waterpeilen Lemselerbeek





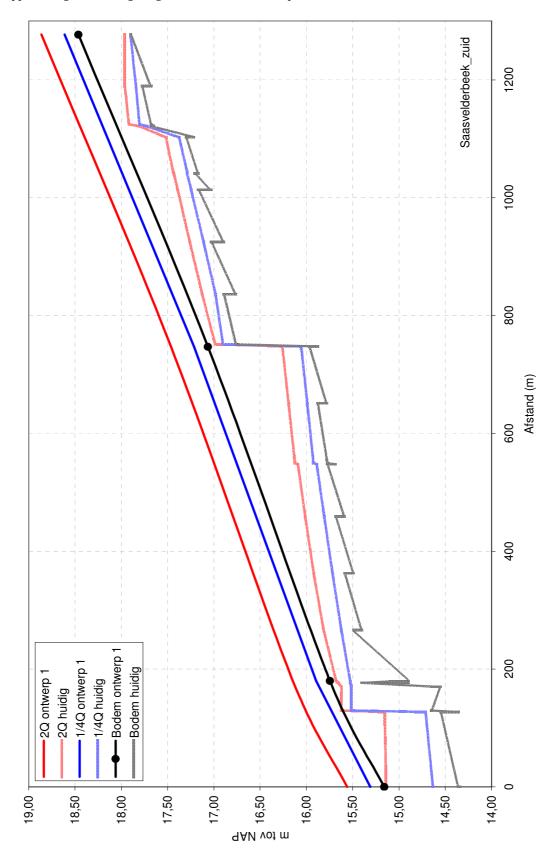
### Appendix Figuur 5: Huidige en gewenste bodem- en waterpeilen Saasvelderbeek







#### Appendix Figuur 6: Huidige en gewenste bodem- en waterpeilen Saasvelderbeek Zuidtak

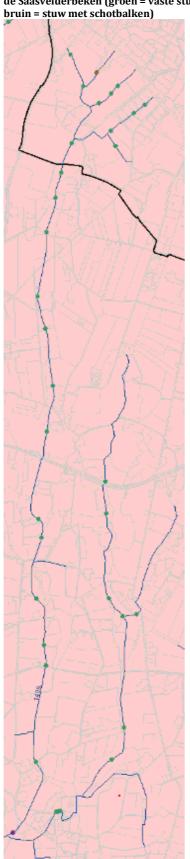


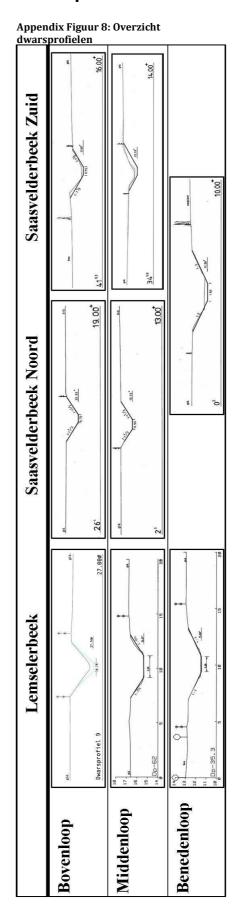




### Appendix C. Overzicht stuwen en dwarsprofielen

Appendix Figuur 7: Locaties van stuwen in de Saasvelderbeken (groen = vaste stuw,



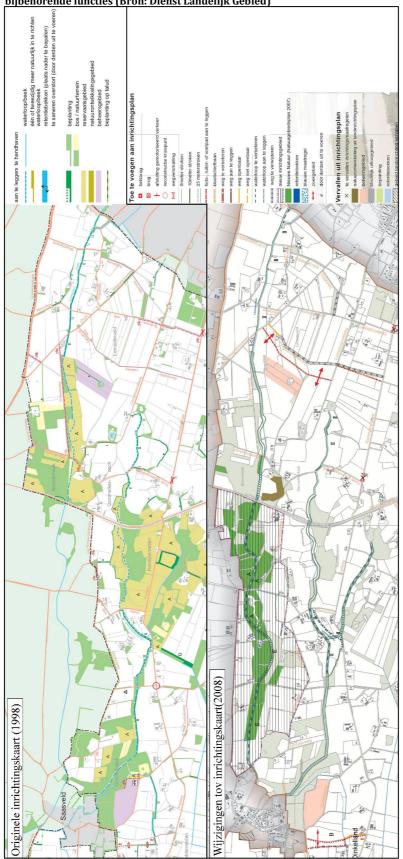






### Appendix D. Plankaart

Appendix Figuur 9: Originele plankaart van het inrichtingsgebied en de wijzigingen hierop met bijbehorende functies (Bron: Dienst Landelijk Gebied)





### Appendix E. Doel en uitkomsten workshop

Workshop Saasvelderbeken - Brainstormen en creëren randvoorwaarden Datum: 11 september 2008

#### E.1 Hoofdpunten voor de workshop

#### Doel workshop

Het idee is om te brainstormen over mogelijke maatregelen en oplossingen en hiermee vervolgens samen tot een aantal varianten te komen. Het is daarnaast de bedoeling om voor deze varianten duidelijke randvoorwaarden op te stellen, zodat ik die daarna kan uitwerken en verder onderzoeken.

Wat verwacht ik van de workshop?

Ik wil met deze workshop bereiken dat het duidelijk is voor alle partijen wat nu onderzocht gaat worden, op welke manier en wat de te verwachten resultaten zijn. Daarnaast is het mijns inziens goed om met zijn allen het probleem duidelijk voor ogen te hebben en daar over te kunnen discussiëren.

#### Wat zijn de uitkomsten?

Ik wil een drie- a viertal varianten als uitkomst hebben waarvan duidelijk is wat de randvoorwaarden zijn. Met deze randvoorwaarden is het voor mij vervolgens mogelijk om een maatregelenpakket samen te stellen dat past bij de gestelde eisen en randvoorwaarden. Het probleem wat momenteel aan de orde is, is dat de beken natuurlijker moeten worden, maar de mate van natuurlijkheid is niet duidelijk en hier kan veel in gevarieerd worden. Bij een variant zit ik te denken aan de volgende mogelijkheden, waarbij ingedeeld wordt op landgebruik:

- Optimaal voor (aquatische) natuur
  - Het gebied zo inrichten zoals het natuurlijk ook zou lopen, dus ook met overloopgebieden en moeras → kort gezegd: niets doen en kijken wat er gebeurt;
  - o Meanderen;
  - Weinig beheer;
  - Mogelijkheid voor (bepaalde) vissen om beek op te zwemmen;
  - o Mogelijkheid voor het ontstaan van bepaalde beplanting.
- Optimaal voor landbouw
  - o Huidige situatie voldoet hierin het best;
  - Slechts enkele gedeeltes (civieltechnisch) inrichten om waterpeilen zo optimaal mogelijk te houden voor de landbouw;
  - Het gebied natuurlijk inrichten met overloopgebieden, maar gecontroleerd, bijvoorbeeld met speciale stuwen die wel de peilen op orde houden, maar een natuurlijker uiterlijk hebben;
  - o Andere gedeeltes juist hun gang laten gaan en natuurlijk inrichten.

Er kan bijvoorbeeld aan de hand van een bepaalde mate van natuurlijkheid gekozen worden wat een bepaalde variant wordt, bijvoorbeeld varianten met 0-25-50-75-100% natuurlijkheid. Hier worden dan de gevolgen voor landgebruik aan gekoppeld.

Welke gebieden het beste op een bepaalde manier kunnen worden ingericht is dan te bepalen volgens:

- Stroomgebied
  - Het kan zo zijn dat het ene stroomgebied beter geschikt is om op een bepaalde manier in te richten dan de andere (de ene beek wel, de andere niet);
  - Bijv: Lemselerbeek op natuurgebruik onderzoeken, Saasvelderbeek op landbouwgebruik.
- Ruimtelijke ordening, gebied tussen kunstwerken aanpakken en dat verhang gebruiken
  - o Duikers
  - o Wegen
  - Andere kunstwerken

# Afstudeeronderzoek naar hydraulische en morfologische effecten van maatregelen voor beekherstel.



- Tijdschaal
  - Wat is er in een bepaalde tijd te realiseren;
  - o Ga je voor korte of lange termijn doelen?

Uitwerking van scenario's, hoe gaat dat in zijn werk?

Wat gaat er precies onderzocht worden en wat zijn de te verwachten resultaten daarvan? Het onderzoek richt zich voornamelijk op de morfologische effecten van het verwijderen van de stuwen en de (morfologische) effecten die maatregelen daarop hebben. Er zal tijdens de workshop een toetsingskader worden vastgesteld. Waar ga ik de scenario's op toetsen en waarom? Mogelijkheden hierin zijn:

- Morfologie: Zandtransport, locaties erosie en sedimentatie, hoeveelheid zandtransport;
- Stroomsnelheid (belangrijk voor zowel morfologie als flora en fauna);
- Mate van natuurlijkheid.

Wat is de inbreng van de aanwezigen?

Ik wil graag een actieve deelname, alle ideeën zijn wenselijk. Ik zal een en ander begeleiden om gezamenlijk tot een aantal varianten te komen. Uiteindelijk dienen de oplossingen uiteraard zowel te voldoen aan een voldoende wetenschappelijk niveau voor de UT als aan voldoende bruikbare kennis voor DLG.

Wie zijn naast mijzelf de aanwezigen?

- Namens de opdrachtgever Dienst Landelijk Gebied (DLG):
  - o Christina Oosterhoff
  - o Toine Tünnissen
- Namens waterschap Regge en Dinkel:
  - Jeroen van der Scheer
- Namens de begeleidende instantie waar de opdracht wordt uitgevoerd, Royal Haskoning:
  - Han Grobbe
- Namens de Universiteit Twente:
  - o Jan Ribberink
  - Marjolein Dohmen-Janssen

#### E.2 Resultaten workshop

Brainstorm - divergeren

Resultaten zijn onderverdeeld in onderstaande inrichtingscategorieën:

- Landgebruik
  - Grondgebruik volgt de beek
  - Inrichting volgt natuurdoel
- Ecologie
- Meanderen
- Grote biodiversiteit
- Grote vissen
- o Open systeem (met omgeving en de rest van het stroomgebied)
- Stromend water
- o Erodeerbare oever
- Variatie in flora/fauna van bovenstrooms naar benedenstrooms
- Onbeheerd
- Gevarieerde natuur
- Systeemeigen
- Goed voor flora + fauna (welke?)
- Dynamisch
- Landschappelijk/Esthetica
  - Stromend water
  - o Bronbeken herstellen
  - o Geen beton
  - o Ziet er 'mooi' uit

# Afstudeeronderzoek naar hydraulische en morfologische effecten van maatregelen voor beekherstel.



- Mooie stoot- en oeverwallen
- o Flauwe oevers (toegankelijkheid beek voor fauna)
- Natuurlijke aanblik (meanders, kunstwerken zo natuurlijk mogelijk)
- Vloeiweides
- Cultuurhistorie terug/zichtbaar
- Beekaanzicht/inrichting
  - Ongestuwd
  - Geen kunstwerken
  - o Bodems omhoog
  - Ondiep
  - o Flauwe oevers
  - Meanderen

Randvoorwaarde die hierbij nog naar voren kwam en niet in een categorie was in te delen: goed voor de landbouw.

#### Convergeren

Na de brainstorm is er gediscussieerd over een en ander, ideeën zijn meer geconcretiseerd en er is besloten om het bestemmingsplan te volgen, dus de beek op te delen in:

- Dat wat voor de landbouw is bestemd in te richten naar landbouwdoelen;
- Gedeeltes met Natura2000 volgens randvoorwaarden;
- Niet te bekrompen naar kijken, ook aanbevelingen doen om dit soort gebieden om te vormen tot nieuwe natuur;
- Dat wat voor natuur is bedoeld inrichten op die manier.

De ruimte daarin is verder vrij om te doen en laten, mits dit uiteraard wordt beargumenteerd

- Houdt rekening met randvoorwaarden als hieronder vastgesteld
- Houdt rekening met extra randvoorwaarden voor Natura200 gebieden;
- Kijk over de grens, wat voor problemen zijn er in Saasveld en verder benedenstrooms te verwachten;
- Kijk ook naar de mogelijkheid van visoptrek, is er benedenstrooms wel voldoende mogelijkheid of is dat vol met stuwen?
- Gebruik de vrijheid die je hebt, het onderzoek is bedoeld als leidraad voor DLG, zij willen voornamelijk meer kennis over dit vakgebied.

#### Afsluiten

Randvoorwaarden zoals die zijn meegegeven:

- Landgebruik
  - o Peilen liggen vast, voldoen aan GGOR;
  - Mag +/- 15 cm verschillen;
  - O Hier kan de ¼Q-lijn voor aangehouden worden.
- Ruimtelijke ordening
  - Het traject ligt vast voor het landbouwgedeelte;
  - o 15 meter maximale breedte:
  - Kan niet volledig worden gebruikt voor beek, rekening houden met onderhoudspad in het begin (later begroeid);
  - Bij de natuur ligt het niet zo hard vast, daar is mogelijkheid tot veranderen van de loop, 15 m ligt wel vast;
  - Hier kan dus makkelijker gemeanderd worden (hele profiel kan opgepakt en verplaatst worden).
- KRW
- Water moet stromend zijn, stroomsnelheid bij ¼Q is dan tussen 0.2 en 0.4 m/s;
- Zachte oevers.
- Overall:
- o Het moet binnen het systeem passen.





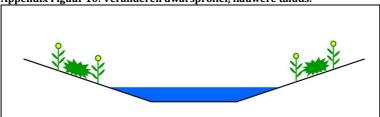
### Appendix F. Voorbeelden mogelijke maatregelen

Voor het bedenken van mogelijke maatregelen is allereerst uitgegaan van de theorie zoals staat beschreven in hoofdstuk 3. Daarnaast is aan verschillende waterschappen die bezig zijn (geweest) met herstel van waterlopen, gevraagd wat voor maatregelen zij hebben genomen en wat hun bevindingen daarbij zijn. Dit is verwerkt in de onderstaande voorbeelden

#### F.1 Veranderen dwarsprofiel

Het huidige natte profiel zou aangepast kunnen worden om te zorgen dat het water meer contact krijgt met de bodem en de oevers, zodat de weerstand op het water toeneemt en de stroomsnelheid lager wordt. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan het verflauwen van de taluds.

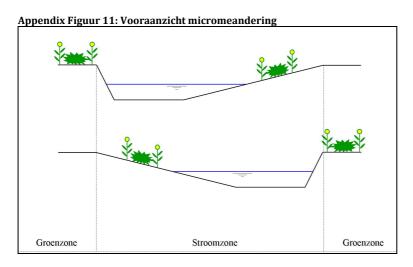




Een andere manier om het dwarsprofiel aan te passen is het verhogen van de bodem, zodat de waterstand ook omhoog gaat. Als hierdoor de breedte van de bodem toeneemt dan wordt de weerstand ook verhoogd en zal de snelheid weer afnemen. Wat ook een mogelijkheid is, is om één of beide taluds qua steilheid te variëren, bijvoorbeeld glooiend veranderen tussen 1:1 en 1:5. Zo zal de invloed van de oevers variëren van weinig tot veel, waardoor de stroomsnelheid van het water wordt beïnvloedt en de waterstanden ook iets zullen variëren. Een mogelijkheid die veel gebruikt wordt in rivierbeheer is het aanbrengen van een accoladeprofiel (smal zomerbed met een breed winterbed), dit is ook mogelijk bij beken. In het brede winterbed kan dan bijvoorbeeld natte natuur worden aangelegd.

#### F.2 Micromeandering

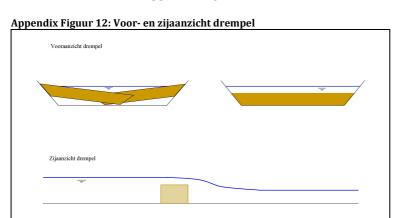
Micromeandering is het laten meanderen van de beek binnen zijn eigen profiel. Dat houdt in dat de beek als het ware meandert binnen zijn eigen stroomzone. Een voorbeeld hiervan is zichtbaar in Appendix Figuur 11. Beide situaties worden afwisselend toegepast om een meanderend karakter te krijgen (steile oever links, daarna steile oever rechts).





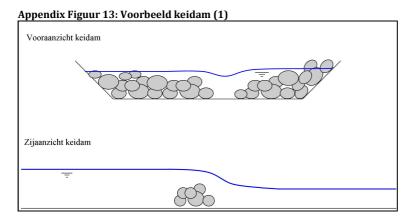
#### F.3 Drempels

Een andere mogelijkheid om de snelheid terug te brengen is om drempels aan te leggen. Ook hierdoor vindt enige opstuwing plaats. Hierbij dient rekening gehouden te worden met de mogelijkheid voor het passeren van vissen. Dit kan in de vorm van een betonnen of houten balk, zie voor een voorbeeld Appendix Figuur 12.

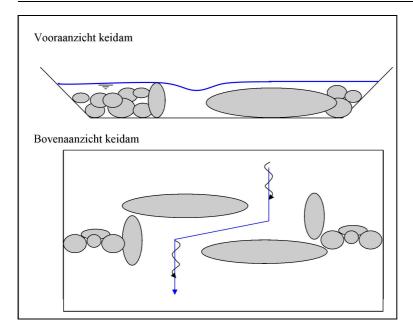


#### F.4 Keidammen

Het idee van keidammen is om snelheid uit het water te halen en water (licht) op te stuwen met lokale snelheidsversnellingen en -vertragingen. De opening kan variërend geplaatst worden, de ene keer wat meer naar de buitenkant en soms wat meer naar het midden. Dit resulteert in een variërende stroomsnelheid over de breedte en de lengte van de beek. Hieronder zijn enkele voorbeelden te zien hoe een keidam gemaakt kan worden.



Appendix Figuur 14: Voorbeeld keidam (2)



Appendix Figuur 15: Voorbeeld keidam in de Gammelkerbeek nabij het Hulsbeek



#### F.5 Vistrappen

Bij (grote) rivieren die gestuwd zijn, zijn oplossingen bedacht om vissen toch de stuw te laten passeren. Dit is gedaan met behulp van vistrappen, hieronder staan daar enkele voorbeelden van zoals die in rivieren en beken in Nederland zijn aangelegd (Appendix Figuur 16 tot en met Appendix Figuur 18). Het aanleggen van de vistrap in de Grote Beerze (Appendix Figuur 17) heeft een andere reden dan de andere twee, deze is niet zozeer aangelegd vanwege het omsluizen van vissen om een stuw heen, maar juist vanwege beekherstel. Het verwijderen van stuwen uit deze beek heeft het waterschap De Dommel ertoe aangezet om onder andere (grote) vistrappen te maken en zo het water (ietwat) op te stuwen en de stroomsnelheid te verminderen. In dit geval zijn stenen in een betonnen fundering gelegd om zo de stroomrichting en -snelheid van het water te sturen.

Appendix Figuur 16: Voorbeeld vistrap in de Regge nabij Hellendoorn



Appendix Figuur 17: Voorbeeld aanleg vistrap in de Beerze



Appendix Figuur 18: Voorbeeld vistrap in de Waal bij de stuw bij Driel



#### F.6 Vegetatie

Stuwen kunnen worden vervangen door een vegetatiestuw, deze opstuwing is vergelijkbaar met die van een (betonnen) stuw. Vegetatiestuwen kunnen niet geplaatst worden in een beschaduwde beek, er is immers zon nodig voor plantengroei. In een open gebied met veel lichtinval is het mogelijk uitbundige vegetaties aan te treffen, zeker als het voedselrijk water betreft, dit zou dan ook gebruikt kunnen worden als vegetatiestuw. Hierbij is het wel van belang dat er een goed monitorings- en beheerssysteem achter zit om te maaien mocht er overlast dreigen te ontstaan. Daarnaast moet een vegetatiestuw af en toe onderhouden worden, dit is niet wenselijk, want onderhoud is niet goed voor een beek, het hele bodemleven wordt immers omver





gewoeld. De vegetatie remt de stroomsnelheid af. Meestal kan een bepaalde ruwheidfactor aangegeven worden, waarmee de snelheidsverandering berekend kan worden. Vegetatie in een beek heeft een extra onzekerheid, omdat het een veel grotere rol speelt dan in een rivier, vanwege de geringe hoeveelheid water in een beek. Zeker is wel dat hoe meer vegetatie in de beek staat, hoe meer de snelheid geremd wordt en hoe beter de beek in bedwang gehouden kan worden. Door vegetatie is het ook mogelijk om veel steilere oevers aan te leggen of op den duur te verkrijgen, de wortels houden de bodem dan bij elkaar (zie Appendix Figuur 19).





Bij beken kan het ook voorkomen dat er een boom in het dwarsprofiel staat, de beek zal dan om de boom heen worden geleid (uiteraard afhankelijk van de grootte van de beek). Dit in plaats van dat de boom wordt meegesleurd, zoals bij een (grote) rivier zou kunnen gebeuren. Hieronder zijn daar twee voorbeelden van te zien.



Appendix Figuur 21: Gammelkerbeek wordt om boom heen geleid (2)



#### F.7 Hermeanderen

Een goede reden voor hermeandering is om het verval te verkleinen, doordat de lengte vergroot wordt. In het verleden zijn veel rivieren en beken juist gekanaliseerd en rechtgetrokken, met als gevolg een groter verhang, om het water zo snel mogelijk kwijt te raken. Soms zijn de oude bochten nog in de omgeving zichtbaar, deze zouden opnieuw gebruikt kunnen worden. Probleem in deze zou kunnen zijn dat de afwatering tegenwoordig zo groot is dat de piekafvoer niet meer in het profiel past. In een dergelijk geval kan ook het (natte) dwarsprofiel van de oude meanders aangepast worden. Het probleem bij de Lemseler- en Saasvelderbeek is dat er geen oude meanders te zien zijn, daarnaast is het eerste gedeelte dermate steil dat het water waarschijnlijk te veel snelheid had om te meanderen. In het benedenstroomse deel zou meandering mogelijk kunnen zijn, maar daar is in de omgeving niets meer van terug te vinden. Op oude kaarten is het ook niet goed te zien, het zou wel kunnen dat er enige meandering heeft plaatsgevonden, maar waarschijnlijk is dit niet veel. Aangezien het gebied rondom Gammelke een kwelzone betreft, zou het goed mogelijk zijn dat hier vroeger niet zozeer een beek liep, maar dat een groot stuk land onder water liep na een regenbui.

Het is wel mogelijk nieuwe meanders te graven, vooral in de nieuwe en huidige natuurgebieden is het mogelijk de loop van de beek flink aan te passen en eventueel de beek helemaal vrij zijn gang te laten gaan, dit zou dan eventueel gepaard kunnen gaan met een retentiegebied.

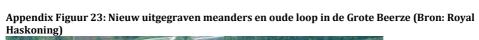
In Appendix Figuur 22 is een oude meander van de Regge tussen Hellendoorn en Ommen te zien. Deze meanders zijn ondertussen al uitgegraven in het kader van het Regge herstelproject (Bron: Waterschap Regge & Dinkel). In dit project was het goed mogelijk de oude meanders opnieuw uit te graven en weer terug te geven aan de rivier. In Appendix Figuur 23 is een nieuw uitgegraven meander te zien in de Grote Beerze in Brabant (Royal Haskoning).





Appendix Figuur 22: Opnieuw uitgraven oude meanders van de Regge nabij Hellendoorn (Bron: maps.google.nl)











### Appendix G. Modellering Saasvelderbeken

#### G.1 Invoer dwarsprofielen

Appendix Figuur 24: Ingevoerde waterlopen met bijbehorende dwarsprofielen, lengtes en hoogtes

(1/2).		Length	Length						
Branch New	Branch Old	Old	Cum	CS Name Old	Name New	Place Old	Place New	Level Old	Level New
Lemselerbeek	V140504/20	293,77	293,77	BOV140504/20	L1,1	2,94	2,94	23.86	24,54
Van node:				BEN140504/20	L1,2	290,83	290,83	23.69	23,60
K140504/20	V140504/30	31,96	325,73	BOV140504/30	L2,1	0,32	294,09	23.69	23,55
tot node:				BEN140504/30	L2,2	31,65	325,42	22.19	23,48
K140503/150	V140504/35	212,85	538,58	BOV140504/35	L3,1	2,13	365,00	23.08	23,38
				BEN140504/35	L3,2	210,72	536,45	22.19	23,07
	V140504/40	336,19	874,77	BOV140504/40'	L4,1	3,36	541,94	22.19	23,00
				BEN140504/40	L4,2	332,83	871,41	22	22,16
	V140504/50	295,36	1170,13	BOV140504/50	L5,1	2,95	877,72	21.38	22,15
	*********	200.67	1.470.00	BEN140504/50	L5,2	292,41	1167,18	21.2	21,44
	V140504/60	309,67	1479,80	BOV140504/60	L6,1	3,10	1173,23	21.07	21,43
	X/1.40504/70	215.05	1705 65	BEN140504/60	L6,2	306,58	1476,71	20.91	20,81
	V140504/70	315,85	1/95,65	BOV140504/70	L7,1	3,16	1482,96 1792,49	20.37 20.09	20,80
	V140504/80	541,46	2227 11	BEN140504/70 BOV140504/80	L7,2 L8,1	312,69 5,41	1792,49	19.44	20,21 20,22
	V 140304/80	341,40	2337,11	BEN140504/80	L8,1 L8,2	536,05	2331,70	19.44	19,18
	V140504/90	439,81	2776.02	BOV140504/90	L9,1	4,40	2341,51	18.82	19,18
	V 140304/30	439,01	2110,92	BEN140504/90	L9,1 L9,2	435,42	2772,53	18.23	18,42
	V140504/100	480,45	3257 37	BOV140504/100		4,80	2781,72	17.86	18,41
	V 140304/100	400,43	3231,31	BEN140504/100		475,65	3252,57	17.28	17,50
	V140504/120	393,69	3651.06	BOV140504/120		3,94	3261,31	16.99	17,49
		,		BEN140504/120		389,75	3647,12	16.73	16,74
	V140504/130	186,85	3837.91	BOV140504/130		1,87	3652,93	16.12	16,73
		,	, .	BEN140504/130		184,98	3836,04	16.07	16,38
	V140504/140	237,81	4075,72	BOV140504/140		2,38	3840,29	15.58	16,37
				BEN140504/140	L13,2	235,43	4073,34	15.48	16,00
	V1405/10	364,35	4440,07	BOV1405/10	L14,1	3,64	4079,36	15.3	15,99
				BEN1405/10	L14,2	360,71	4436,43	15.15	15,32
	V1405/20	467,59	4907,66	BOV1405/20	L15,1	4,67	4444,74	14.61	15,31
				BEN1405/20	L15,2	462,92	4831,00	14.4	14,77
	V1405/30	195,58	5103,24	BOV1405/30	L16,1	1,96	4909,62	13.86	14,63
				BEN1405/30	L16,2	193,63	5067,00	13.8	14,40
	V1405/40	629,42	5732,66	BOV1405/40	L17,1	6,29	5109,53	13.27	14,30
				BEN1405/40	L17,2	623,13	5726,37	12.87	13,49
	V1405/50	288,72	6021,38	BOV1405/50	L18,1	2,89	5735,55	12.97	13,47
	111 105 160	760.72	(702.11	BEN1405/50	L18,2	285,84	6018,50	12.85	13,16
	V1405/60	760,73	6/82,11	BOV1405/60	L19,1	7,61 753,12	6028,99	12.4 12.2	13,10
	V1405/70	58,81	6840.02	BEN1405/60 BOV1405/70	L19,2 L20,1	0,59	6774,50 6782,70	11.62	12,32 12,31
	V 1403/70	30,01	0040,92	BEN1405/70	L20,1 L20,2	58,23	6840,34	11.62	12,31
Saasbeek Noord	V140505/10	724.42	734.43			7,34		20.95	22.00
	V 140505/10	734,43	134,43	BOV140505/10	SN1.1	-	7,34		,
Van node:	X/1.40505/00	277.54	1011.07	BEN140505/10	SN1.2	727,09	727,09	20	19,95
K140505/10	V140505/20	277,54	1011,97	BOV140505/20	SN2.1	2,78	737,21	20	19,92
tot node:	X/1.40505/20	206.56	1200.52	BEN140505/20	SN2.2	274,77	1009,20	18.4	19,16
K140503/60	V140505/30	286,56	1298,53	BOV140505/30 BEN140505/30	SN3.1 SN3.2	2,87 283,69	1014,84	18.4 17.65	19,14
	V140505/40	308,60	1607 12	BOV140505/40	SN3.2 SN4,1	3,09	1295,66 1301,62	17.63	18,38 18,36
	v 140202/40	300,00	1007,13	BEN140505/40	SN4,1 SN4,2	305,51	1604,04	16.8	17,55
	V140505/50	843,49	2450.62	BOV140505/50	SN4,2 SN5,1	8,44	1615,57	16.65	17,53
	* 1 <del>+</del> 0505/50	073,47	2730,02	BEN140505/50	SN5,1 SN5,2	835,06	2442,19	15.7	17,32
	V140505/60	214,66	2665 28	BOV140505/60	SN6,1	2,15	2452,77	15.16	15,49
	. 1 10303/00	217,00	2000,20	BEN140505/60	SN6,2	212,52	2663,14	13.10	15,04
	V140505/70	5,77	2671.05	BOV140505/70	SN7,1	0,06	2665,34	14.4	15,03
		-,.,		BEN140505/70	SN7,2	5,71	2670,99	14.4	15,02
				PERTI-02021 10	D111,4	3,71	2070,99	14.4	13,02





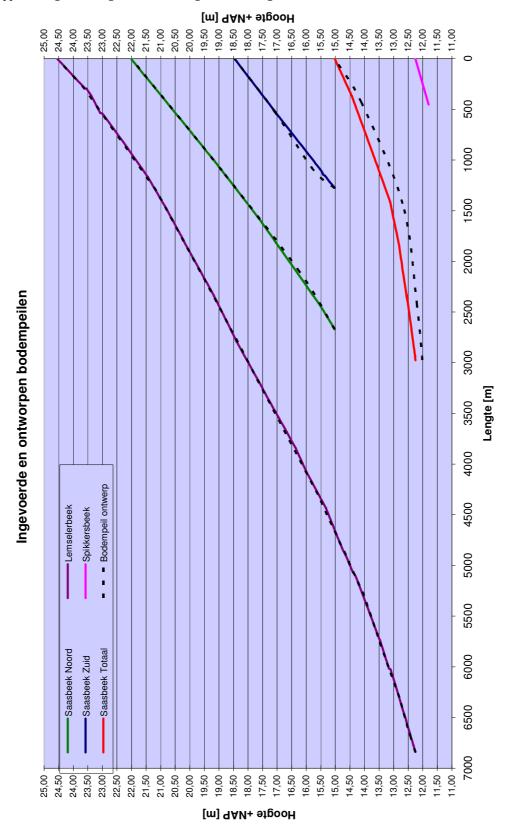
Appendix Figuur 25: Ingevoerde waterlopen met bijbehorende dwarsprofielen, lengtes en hoogtes (2/2)

		Length	Length					l	
Branch New	Branch Old	Old	Cum	CS Name Old	Name New	Place Old	Place New	Level Old	Level New
Saasbeek Totaal	V140503/60	156,61	156,61	BOV140503/60	ST1.1	1,57	1,57	14.36	15,02
Van node:				BEN140503/60	ST1.2	155,01	155,01	14.17	14,78
K140503/60	V140503/70	211,11	367,72	BOV140503/70	ST2.1	2,11	158,72	14.17	14,77
tot node:				BEN140503/70	ST2.2	208,75	365,36	13.8	14,44
K140503/150	V140503/80	687,29	1055,01	BOV140503/80	ST3.1	6,87	374,59	13.7	14,43
				BEN140503/80	ST3.2	680,43	1048,15	13.18	13,57
	V140503/90	358,61	1413,62	BOV140503/90	ST4,1	3,59			13,56
				BEN140503/90	ST4,2	355,03	1410,04	12.52	13,12
	V140503/100	447,98	1861,60	BOV140503/100		4,48			13,11
				BEN140503/100		443,01	1856,63	12.08	12,80
	V140503/110	469,57	2331,17	BOV140503/110		4,70	,		12,80
				BEN140503/110	,	464,88	2326,48	11.87	12,56
	V140503/120	4,83	2336,00	BOV140503/120		0,05	2331,22	11.87	12,56
	******	<b>.</b>		BEN140503/120		4,78	2335,95	11.87	12,56
	V140503/121	5,08	2341,08	BOV140503/121		0,05	2336,05	11.87	12,56
	¥41.40.502.41.22	5.04	2246.12	BEN140503/121		5,03	2341,03	11.87	12,55
	V140503/122	5,04	2346,12	BOV140503/122		0,05	2341,13	11.87	12,55
	X/140502/122	5.12	0251.05	BEN140503/122		4,99		11.87	12,55
	V140503/123	5,13	2351,25	BOV140503/123		0,05	2346,17	11.87	12,55
	3/140502/124	5 17	2256 42	BEN140503/123		5,09	2351,21	11.86 11.86	12,55
	V140503/124	5,17	2330,42	BOV140503/124		0,05	2351,30		12,55
	V140503/125	4,89	2261.21	BEN140503/124 BOV140503/125		5,13 0,05	2356,38 2356,47	11.86 11.86	12,54 12,54
	V 140303/123	4,69	2301,31	BEN140503/125		4,84	2361,26		12,54
	V140503/126	4,94	2266.25	BOV140503/126		0,05	2361,26	11.86	12,54
	V 140303/120	4,94	2300,23	BEN140503/126		4,89	2366,20		12,54
	V140503/127	4,89	2371 14	BOV140503/127		0,05			12,54
	V 140303/12/	4,07	23/1,14	BEN140503/127		4,84	2371,09	11.85	12,54
	V140503/128	17,15	2388 29	BOV140503/128		0,17	2371,31	11.85	12,54
	. 1 . 02 02/120	17,10	2500,27	BEN140503/128	,	16,98		11.84	12,53
	V140503/130	290,26	2678,55	BOV140503/130		2,90		11.84	12,52
		, .	,	BEN140503/130		287,37	2675,66		12,39
	V140503/140	258,87	2937,42	BOV140503/140	,	2,59		11.7	12,38
				BEN140503/140	ST17,2	256,28	2934,83	11.58	12,27
	V140503/1501	38,30	2975,72	BOV140503/1501	ST18,1	0,40	2937,82	11.3	12,26
				BEN140503/1501	ST18,2	38,00	2975,42	11.26	12,25
Saasbeek Zuid	V140503/10	174,48	174,48	BOV140503/10	SZ1.1	1,74	1,74	17.9	18,46
Van node:				BEN140503/10	SZ1.2	172,74	172,74	17.65	18,00
K140503/10	V140503/20	354,88	529,36	BOV140503/20	SZ2.1	3,55		17.3	17,99
tot node:			,	BEN140503/20	SZ2.2	351,33		16.76	17,06
K140503/60	V140503/30	577,19	1106,55	BOV140503/30	SZ3.1	5,77		15.97	17,04
			,	BEN140503/30	SZ3.2	571,43		15.4	15,70
	V140503/401	42,05	1148,60	BEN140503/401	SZ4,1	0,40		14.65	15,55
				BOV140503/401		42,00		14.55	15,45
	V140503/50	127,14	1275,74	BOV140503/50	SZ5,1	1,27	1216,00	14.55	15,30
				BEN140503/50	SZ5,2	125,88	1274,48	14.36	15,03
Spikkersbeek	V1405/80	457,24	457,24	BOV1405/80	SB1	4,57	4,57	11.6	12,25
Van node: K140503/150 tot node: K1405/90			,	BEN1405/80	SB2	452,67		11.35	11,80



#### G.2 Invoer bodempeilen

Appendix Figuur 26: Ingevoerde en beoogde bodemhoogtes







#### G.3 Locatie en grootte lateraalafvoeren

Appendix Figuur 27: Locatie en absolute en relatieve grootte lateraalafvoeren

Locatie afvoeren	G	1/4	_	20	)
		,	verschil	Q <sub>lat</sub> met Q	
	Locatie	absoluut	%	absoluut	%
Lemselerbeek					
Startpunt - randvoorwaarde	1405/90	0,065		0,60	
	875	0,010	15%	0,09	15%
	1796	0,015	19%	0,10	14%
	2777	0,010	12%	0,11	14%
	3838	0,015	15%	0,12	14%
	4440	0,015	13%	0,13	13%
	4908	0,009	7%	0,00	0%
	5733	0,010	8%	0,10	8%
	6021	0,011	7%	0,06	5%
	6841	0,000	0%	0,03	2%
Saasvelderbeek Noord					
Startpunt - randvoorwaarde	K140505/10	0,030		0,25	
	600	0,005	17%	0,05	20%
	1200	0,007	20%	0,06	20%
	1800	0,008	19%	0,07	19%
	2400	0,010	20%	0,09	20%
Saasvelderbeek Zuid					
Startpunt - randvoorwaarde	K140503/10	0,010		0,07	
	250	0,002	20%	0,02	21%
	500	0,002	17%	0,02	24%
	750	0,002	14%	0,03	24%
	1000	0,003	19%	0,03	22%
Saasvelderbeek Totaal	100	0,003	0%	0,03	0%
	1055	0,012	14%	0,05	7%
	2331	0,010	11%	0,08	11%
	2336	0,020	19%	0,12	14%
	2937	0,025	20%	0,20	21%
	2976	0,012	8%	0,14	12%



### G.4 Manning-coëfficiënt

Appendix Figuur 28: Ondergrond met bijbehorende Manning-coëfficiënten (FISRWG, 1998)

Boundary	Manning Roughness, <i>n</i> Coefficient
Smooth concrete	0.012
Ordinary concrete lining	0.013
Vitrified clay	0.015
Shot concrete, untroweled, and earth channels in best condition	0.017
Straight unlined earth canals in good condition	0.020
Rivers and earth canals in fair condition—some growth	0.025
Winding natural streams and canals in poor condition—considerable moss growth	0.035
Mountain streams with rocky beds and rivers with variable sections and some vegetation along banks	0.040-0.050

Hieronder is de vergelijking weergegeven om vanuit de Manning-coëfficiënt de Chézy-waarde te berekenen.

Vergelijking 13: Berekening Chézy-waarde aan de hand van Manning-coëfficiënt

$$C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n_m}$$

Met C Chézy-waarde [m½/s]

R natte omtrek [m]

 $n_m$  Manning-coëfficiënt  $[m^{1/6}]$ 

Hierbij wordt steeds de natte omtrek gebruikt van de laatste iteratie. Deze kan veranderen in de tijd als de water- of bodemstand verandert.





## Appendix H. Invoer modellering meandering

#### H.1 Invoer dwarsprofielen meandering

 $Appendix\ Figuur\ 29:\ Dwarsprofielen\ voor\ maatregel\ meanderen\ met\ bijbehorende\ gegevens$ 

oevervolle breedte, locatie en meandergolf

Dwarsprofielen   Neamberring   Neamberring						UII	i illeanuei gi	breedte, locatie er	
Mean Branch   Coevervol   Fill   F		1	Meander			Broodto	Locatio	ofielen	Dwarspr
Naam   Branch	atie DP	Nieuwe loc		Golf [m]	Meander			ing	Meander
Lemselerbeek	14		breedle [iii]			(Gevervor) [iii]	oud [iii]		
12   Lemselerbeek   328   3.1   41   58   21   518	4		19			2.3	3		
L4	396	-		-			_		
L4   Lemselerbeek	449								
L6	737					· ·			
L6	1199			-					
L7	1587								
Lamselerbeek	2011								
L9	2467								
L10 Lemselerbeek 3261 4,3 34 47 17 5089 L12 Lemselerbeek 3261 4,3 34 47 17 5089 L12 Lemselerbeek 3653 4,5 45 63 23 5801 L13 Lemselerbeek 4079 4,5 37 52 18 6401 L15 Lemselerbeek 4079 4,5 37 52 18 6401 L15 Lemselerbeek 4445 4,5 4,5 45 63 23 7057 L16 Lemselerbeek 4445 4,5 4,5 45 63 23 7057 L16 Lemselerbeek 4445 4,5 4,5 45 63 23 7057 L16 Lemselerbeek 5110 4,9 49 69 26 8162 L17 Lemselerbeek 5110 4,9 49 69 26 8162 L18 Lemselerbeek 6029 4,7 47 66 20 9049 L20 Lemselerbeek 6783 4,9 49 68 25 10829 L21 Lemselerbeek 6840 4,9 49 68 25 10829 L21 L21 L2	3184								
L11 Lemselerbeek 3261 4,3 34 47 17 5089 L12 Lemselerbeek 3653 4,5 45 63 23 5801 L13 Lemselerbeek 3840 4,4 44 61 22 6087 L14 Lemselerbeek 4479 4,5 37 52 18 6401 L15 Lemselerbeek 4445 4,5 45 63 23 7057 L16 Lemselerbeek 4445 4,5 45 63 23 7055 L16 Lemselerbeek 4910 4,6 46 64 23 7805 L17 Lemselerbeek 5110 4,9 49 69 26 8162 L17 Lemselerbeek 5110 4,9 49 69 26 8162 L18 Lemselerbeek 5736 4,0 40 56 20 9049 L19 Lemselerbeek 6029 4,7 47 66 24 9604 L20 Lemselerbeek 6783 4,9 49 68 25 10829 L21 Lemselerbeek 6840 4,9 49 68 25 10829 L21 Lemselerbeek 6840 4,9 49 68 25 10920 Total Lemselerbeek 6840 4,9 49 68 25 10920 SN1 SaasbeekNoord 7 1,0 10 14 4 11 SN2 SaasbeekNoord 737 1,5 15 21 7 1098 SN3 SaasbeekNoord 1302 3,2 32 45 16 2025 SN5 SaasbeekNoord 1302 3,2 32 45 16 2025 SN5 SaasbeekNoord 2453 3,7 37 52 18 3849 SN7 SaasbeekNoord 2453 3,7 37 52 18 3849 SN7 SaasbeekNoord 2665 4,1 41 57 21 4210 SN7,2 SaasbeekNoord 2661 4,1 41 57 21 4219 SN7,2 SaasbeekNoord 2661 4,1 41 57 21 4219 SN7,2 SaasbeekNoord 2671 Gem vergroting; 1,58 1,37 4219 SN3 SaasbeekNoord 2665 5,1 1 4,1 1 57 21 4219 SN7,2 SaasbeekNoord 2665 5,1 1 4,1 1 57 21 4219 SN7,2 SaasbeekNoord 2665 5,1 1 4,1 1 57 21 4219 SN7,2 SaasbeekNoord 2665 5,1 1 4,1 1 57 21 4219 SN7,2 SaasbeekNoord 2665 5,1 1 4,1 1 57 21 4219 SN7,2 SaasbeekNoord 2665 5,1 1 4,1 1 57 21 4219 SN7,2 SaasbeekNoord 2665 5,1 1 4,1 1 57 21 4219 SN7,2 SaasbeekNoord 2665 5,1 1 5,5 1,5 1,5 1,5 1,5 1,5 1,5 1,5	3806					,			
L12 Lemselerbeek 3863 4.5 45 63 23 5801 L13 Lemselerbeek 4079 4.5 37 52 18 6401 L14 Lemselerbeek 4079 4.5 37 52 18 6401 L15 Lemselerbeek 4475 4.5 45 63 23 7057 L16 Lemselerbeek 4910 4.6 46 64 23 7805 L17 Lemselerbeek 5110 4.9 49 69 26 8162 L18 Lemselerbeek 5736 4.0 40 56 20 9049 L19 Lemselerbeek 6029 4.7 47 66 24 9604 L20 Lemselerbeek 6783 4.9 49 68 25 10829 L21 Lemselerbeek 6840 4.9 49 68 25 10829 L21 Lemselerbeek 6840 4.9 49 68 25 10829 L21 Lemselerbeek 6840 4.9 49 68 25 10829 SN1 SaasbeekNoord 737 1.5 15 21 7 1098 SN3 SaasbeekNoord 737 1.5 15 21 7 1098 SN3 SaasbeekNoord 1015 1.9 19 26 9 1531 SN4 SaasbeekNoord 1015 1.9 19 26 9 1531 SN5 SaasbeekNoord 1616 3.0 30 41 14 2503 SN6 SaasbeekNoord 2453 3.7 37 52 18 3849 SN7 SaasbeekNoord 2453 3.7 37 52 18 3849 SN7 SaasbeekNoord 2661 4.1 41 57 21 4210 SN7.2 SaasbeekNoord 2661 4.1 41 57 21 4210 SN7.2 SaasbeekNoord 2661 4.1 41 57 21 4219 Total SaasbeekNoord 2671 Gem vergroting: 1.58 1.37 4219 ST3 SAASBEEKNOORD 2665 4.1 41 57 21 4219 ST3 SAASBEEKNOORD 2665 5.1 5.8 1.3 15 24 5 5 2 5 2 5 2 5 2 5 2 5 2 5 2 5 2 5	4432								
L13 Lemselerbeek	5023								
L14 Lemselerbeek 4079 4,5 37 52 18 6401 L15 Lemselerbeek 4445 4,5 45 63 23 7057 L16 Lemselerbeek 4910 4,6 46 64 23 7805 L17 Lemselerbeek 5110 4,9 49 69 26 8162 L18 Lemselerbeek 5736 4,0 40 56 20 9049 L19 Lemselerbeek 6029 4,7 47 66 24 9604 L20 Lemselerbeek 6783 4,9 49 68 25 10829 L21 Lemselerbeek 6840 4,9 49 68 25 10920  Total Lemselerbeek 6841 Gem vergroting: 1,60 1,38 10922  SN1 SaasbeekNoord 7 1,0 10 14 4 11 SN2 SaasbeekNoord 737 1,5 15 21 7 1098 SN3 SaasbeekNoord 1015 1,9 19 26 9 1531 SN4 SaasbeekNoord 1302 3,2 32 45 16 2025 SN5 SaasbeekNoord 2453 3,7 37 52 18 3849 SN7 SaasbeekNoord 2665 4,1 41 57 21 4210 SN7,2 SaasbeekNoord 2665 4,1 41 57 21 4219  ST1 SaasbeekNoord 2665 4,1 41 57 21 4219  ST1 SaasbeekTotaal 2 3,2 32 44 15 22 ST2 SaasbeekNoord 2671 4,1 41 57 21 4219  ST1 SaasbeekTotaal 159 3,1 31 43 15 246 ST3 SaasbeekTotaal 166 5,1 51 72 27 2988 ST4 SaasbeekTotaal 166 5,1 51 72 27 2988 ST5 SaasbeekTotaal 2981 5,5 55 77 29 4311 ST18 SaasbeekTotaal 2981 5,5 55 77 29 4311 ST18 SaasbeekTotaal 2981 5,5 55 77 29 4311 ST18 SaasbeekTotaal 2981 5,6 56 78 29 3751 ST19 SaasbeekTotaal 2981 5,6 56 78 29 3751 ST19 SaasbeekTotaal 2981 7,1 71 100 38 4864 Total SaasbeekTotaal 2981 7,1 71 100 38 4864 Total SaasbeekTotaal 2981 7,1 71 100 38 4864 Total SaasbeekZuid 178 1,4 14 20 6 265 SZ3 SaasbeekZuid 178 1,4 14 20 6 265 SZ3 SaasbeekZuid 178 1,4 14 20 6 265 SZ3 SaasbeekZuid 176 Gem vergroting: 1,58 1,37 2011	5274					· ·			
L15 Lemselerbeek	5564								
L16 Lemselerbeek	6111								
L17 Lemselerbeek 5110 4,9 49 69 26 8162 L18 Lemselerbeek 5736 4,0 40 56 20 9049 L19 Lemselerbeek 6029 4,7 47 66 24 9604 L20 Lemselerbeek 6783 4,9 49 68 25 10829 L21 Lemselerbeek 6840 4,9 49 68 25 10920  **Total Lemselerbeek 6841 **Gem vergroting:** 1,60 1,38 10922  SN1 SaasbeekNoord 7 1,0 10 14 4 11 SN2 SaasbeekNoord 737 1,5 15 21 7 1098 SN3 SaasbeekNoord 1015 1,9 19 26 9 1531 SN4 SaasbeekNoord 1016 3,0 30 41 14 2503 SN6 SaasbeekNoord 1616 3,0 30 41 14 2503 SN6 SaasbeekNoord 2453 3,7 37 52 18 3849 SN7 SaasbeekNoord 2665 4,1 41 57 21 4210 SN7,2 SaasbeekNoord 2671 **Gem vergroting:** 1,58 1,37 4219  **Total SaasbeekTotaal 2 3,2 3,2 34 44 15 2 ST2 SaasbeekTotaal 159 3,1 31 43 15 246 ST3 SaasbeekTotaal 159 3,1 31 43 15 246 ST3 SaasbeekTotaal 159 3,1 31 43 15 246 ST3 SaasbeekTotaal 1059 4,4 44 61 22 1679 ST4 SaasbeekTotaal 1059 4,4 44 61 22 1679 ST5 SaasbeekTotaal 1866 5,1 51 72 27 2988 ST7 SaasbeekTotaal 2331 5,6 56 78 29 3751 ST18 SaasbeekTotaal 2938 7,1 71 100 38 4803 ST18,2 SaasbeekTotaal 2976 **Gem vergroting:** 1,63 1,40 4865  SZ1 SaasbeekTotaal 2976 **Gem vergroting:** 1,63 1,40 4865  SZ1 SaasbeekZuid 178 1,4 14 20 6 265 SZ3 SaasbeekZuid 177 4,0 40 56 20 1745 SZ5,2 SaasbeekZuid 1150 4,0 40 56 20 1745 SZ5,2 SaasbeekZuid 1150 4,0 40 56 20 1745 SZ5,2 SaasbeekZuid 1150 4,0 40 56 20 2009  **Total SaasbeekZuid 1274 4,0 40 56 20 2009  **Total SaasbeekZuid 1274 4,0 40 56 20 2009	6756								
L18 Lemselerbeek	7055			-					
L19 Lemselerbeek 6029 4,7 47 66 24 9604 L20 Lemselerbeek 6783 4,9 49 68 25 10829 L21 Lemselerbeek 6840 4,9 49 68 25 10920 Total Lemselerbeek 6840 4,9 49 68 25 10920 Total Lemselerbeek 6840 4,9 49 68 25 10920 L21 Lemselerbeek 6841 Gem vergroting: 1,60 1,38 10922 L2 L21 Lemselerbeek 6841 Gem vergroting: 1,60 1,38 10922 L2 L	7055 7852								
L20         Lemselerbeek         6783         4,9         49         68         25         10829           L21         Lemselerbeek         6840         4,9         49         68         25         10920           Total Lemselerbeek         6841         Gem vergroting:         1,60         1,38         10922           SN1         SaasbeekNoord         7         1,0         10         14         4         11           SN2         SaasbeekNoord         1015         1,9         19         26         9         1531           SN4         SaasbeekNoord         1302         3,2         32         45         16         2025           SN5         SaasbeekNoord         1616         3,0         30         41         14         2503           SN6         SaasbeekNoord         2453         3,7         37         52         18         3849           SN7,2         SaasbeekNoord         2665         4,1         41         57         21         4219           Total SaasbeekNoord         2671         Gem vergroting:         1,58         1,37         4219           Total SaasbeekNoord         2671         Gem vergrot						· ·			
L21         Lemselerbeek         6840         4,9         49         68         25         10920           Total Lemselerbeek         6841         Gem vergroting:         1,60         1,38         10922           SN1         SaasbeekNoord         7         1,0         10         14         4         11           SN2         SaasbeekNoord         1015         1,9         19         26         9         1531           SN4         SaasbeekNoord         1302         3,2         32         45         16         2025           SN5         SaasbeekNoord         1616         3,0         30         41         14         2503           SN6         SaasbeekNoord         2453         3,7         37         52         18         3849           SN7, 2         SaasbeekNoord         2665         4,1         41         57         21         4210           SN7, 2         SaasbeekNoord         2671         Gem vergroting:         1,58         1,37         4219           ST1         SaasbeekNoord         2671         Gem vergroting:         1,58         1,37         4219           ST1         SaasbeekTotaal         2         3,2 <t< td=""><td>8308 9361</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></t<>	8308 9361								
Total Lemselerbeek   6841   Gem vergroting:   1,60   1,38   10922									
SN1   SaasbeekNoord   7	9440	10920	25	08	49	4,9	6840	Lemselerbeek	LZ I
SN2         SaasbeekNoord         737         1,5         15         21         7         1098           SN3         SaasbeekNoord         1015         1,9         19         26         9         1531           SN4         SaasbeekNoord         1302         3,2         32         45         16         2025           SN5         SaasbeekNoord         1616         3,0         30         41         14         2503           SN6         SaasbeekNoord         2453         3,7         37         52         18         3849           SN7         SaasbeekNoord         2665         4,1         41         57         21         4210           SN7,2         SaasbeekNoord         2671         Gem vergroting:         1,58         1,37         4219           Total SaasbeekNoord         2671         Gem vergroting:         1,58         1,37         4219           ST1         SaasbeekNoord         2671         Gem vergroting:         1,58         1,37         4219           ST1         SaasbeekNoord         2671         Gem vergroting:         1,58         1,37         4219           ST1         SaasbeekTotaal         159         3,1	9441	10922		1,38	1,60	Gem vergroting:	6841	Lemselerbeek	Total
SN2         SaasbeekNoord         737         1,5         15         21         7         1098           SN3         SaasbeekNoord         1015         1,9         19         26         9         1531           SN4         SaasbeekNoord         1302         3,2         32         45         16         2025           SN5         SaasbeekNoord         1616         3,0         30         41         14         2503           SN6         SaasbeekNoord         2453         3,7         37         52         18         3849           SN7         SaasbeekNoord         2665         4,1         41         57         21         4210           SN7,2         SaasbeekNoord         2671         Gem vergroting:         1,58         1,37         4219           Total SaasbeekNoord         2671         Gem vergroting:         1,58         1,37         4219           ST1         SaasbeekNoord         2671         Gem vergroting:         1,58         1,37         4219           ST1         SaasbeekNoord         2671         Gem vergroting:         1,58         1,37         4219           ST1         SaasbeekTotaal         159         3,1		1							
SN3         SaasbeekNoord         1015         1,9         19         26         9         1531           SN4         SaasbeekNoord         1302         3,2         32         45         16         2025           SN5         SaasbeekNoord         1616         3,0         30         41         14         2503           SN6         SaasbeekNoord         2665         4,1         41         57         21         4210           SN7,2         SaasbeekNoord         2671         4,1         41         57         21         4210           SN7,2         SaasbeekNoord         2671         Gem vergroting:         1,58         1,37         4219           Total SaasbeekTotaal         2         3,2         32         44         15         2           ST2         SaasbeekTotaal         159         3,1         31         43         15         246           ST3         SaasbeekTotaal         375         3,8         38         53         19         589           ST4         SaasbeekTotaal         1059         4,4         44         61         22         1679           ST5         SaasbeekTotaal         1866 <t< td=""><td>10</td><td>11</td><td>4</td><td>14</td><td>10</td><td>1,0</td><td>7</td><td>SaasbeekNoord</td><td>SN1</td></t<>	10	11	4	14	10	1,0	7	SaasbeekNoord	SN1
SN4         SaasbeekNoord         1302         3,2         32         45         16         2025           SN5         SaasbeekNoord         1616         3,0         30         41         14         2503           SN6         SaasbeekNoord         2665         4,1         41         57         21         4210           SN7,2         SaasbeekNoord         2665         4,1         41         57         21         4210           SN7,2         SaasbeekNoord         2671         4,1         41         57         21         4219           Total SaasbeekNoord         2671         Gem vergroting:         1,58         1,37         4219           Total SaasbeekTotaal         2         3,2         32         44         15         2           ST2         SaasbeekTotaal         375         3,8         38         53         19         589           ST4         SaasbeekTotaal         1059         4,4         44         61         22         1679           ST5         SaasbeekTotaal         1418         4,6         46         64         24         2255           ST6         SaasbeekTotaal         2331 <t< td=""><td>971</td><td>1098</td><td>7</td><td>21</td><td>15</td><td>1,5</td><td>737</td><td>SaasbeekNoord</td><td>SN2</td></t<>	971	1098	7	21	15	1,5	737	SaasbeekNoord	SN2
SN5         SaasbeekNoord         1616         3,0         30         41         14         2503           SN6         SaasbeekNoord         2453         3,7         37         52         18         3849           SN7         SaasbeekNoord         2665         4,1         41         57         21         4210           SN7,2         SaasbeekNoord         2671         4,1         41         57         21         4219           Total SaasbeekNoord         2671         Gem vergroting:         1,58         1,37         4219           Total SaasbeekTotaal         2         3,2         32         44         15         2           ST2         SaasbeekTotaal         159         3,1         31         43         15         246           ST3         SaasbeekTotaal         375         3,8         38         53         19         589           ST4         SaasbeekTotaal         1059         4,4         44         61         22         1679           ST5         SaasbeekTotaal         1418         4,6         46         64         24         2255           ST6         SaasbeekTotaal         2331         5	1348	1531	9	26	19	1,9	1015	SaasbeekNoord	SN3
SN6         SaasbeekNoord         2453         3,7         37         52         18         3849           SN7         SaasbeekNoord         2665         4,1         41         57         21         4210           SN7,2         SaasbeekNoord         2671         4,1         41         57         21         4219           Total SaasbeekNoord         2671         Gem vergroting:         1,58         1,37         4219           ST1         SaasbeekTotaal         2         3,2         32         44         15         2           ST2         SaasbeekTotaal         159         3,1         31         43         15         246           ST3         SaasbeekTotaal         375         3,8         38         53         19         589           ST4         SaasbeekTotaal         1059         4,4         44         61         22         1679           ST5         SaasbeekTotaal         1059         4,4         44         61         22         1679           ST5         SaasbeekTotaal         1866         5,1         51         72         27         2988           ST7         SaasbeekTotaal         2331 <td>1765</td> <td>2025</td> <td>16</td> <td>45</td> <td>32</td> <td>3,2</td> <td>1302</td> <td>SaasbeekNoord</td> <td>SN4</td>	1765	2025	16	45	32	3,2	1302	SaasbeekNoord	SN4
SN7         SaasbeekNoord         2665         4,1         41         57         21         4210           SN7,2         SaasbeekNoord         2671         4,1         41         57         21         4219           Total SaasbeekNoord         2671         Gem vergroting:         1,58         1,37         4219           ST1         SaasbeekTotaal         2         3,2         32         44         15         2           ST2         SaasbeekTotaal         159         3,1         31         43         15         246           ST3         SaasbeekTotaal         375         3,8         38         53         19         589           ST4         SaasbeekTotaal         1059         4,4         44         61         22         1679           ST5         SaasbeekTotaal         1418         4,6         46         64         24         2255           ST6         SaasbeekTotaal         1866         5,1         51         72         27         2988           ST7         SaasbeekTotaal         2331         5,6         56         78         29         3751           ST18         SaasbeekTotaal         2938	2185	2503	14	41	30	3,0	1616	SaasbeekNoord	SN5
SN7,2         SaasbeekNoord         2671         4,1         41         57         21         4219           Total SaasbeekNoord         2671         Gem vergroting:         1,58         1,37         4219           ST1         SaasbeekTotaal         2         3,2         32         44         15         2           ST2         SaasbeekTotaal         159         3,1         31         43         15         246           ST3         SaasbeekTotaal         1059         4,4         44         61         22         1679           ST5         SaasbeekTotaal         1059         4,4         44         61         22         1679           ST5         SaasbeekTotaal         1418         4,6         46         64         24         2255           ST6         SaasbeekTotaal         1866         5,1         51         72         27         2988           ST7         SaasbeekTotaal         2331         5,6         56         78         29         3751           ST18         SaasbeekTotaal         2938         7,1         71         100         38         4803           ST18,2         SaasbeekTotaal         2975	3346	3849	18	52	37	3,7	2453	SaasbeekNoord	SN6
Total SaasbeekNoord         2671         Gem vergroting:         1,58         1,37         4219           ST1         SaasbeekTotaal         2         3,2         32         44         15         2           ST2         SaasbeekTotaal         159         3,1         31         43         15         246           ST3         SaasbeekTotaal         1059         4,4         44         61         22         1679           ST5         SaasbeekTotaal         1418         4,6         46         64         24         2255           ST6         SaasbeekTotaal         1866         5,1         51         72         27         2988           ST7         SaasbeekTotaal         2331         5,6         56         78         29         3751           ST17         SaasbeekTotaal         2681         5,5         55         77         29         4311           ST18         SaasbeekTotaal         2938         7,1         71         100         38         4803           ST18,2         SaasbeekTotaal         2976         Gem vergroting:         1,63         1,40         4865           SZ1         SaasbeekZuid         178         1,4 <td>3652</td> <td>4210</td> <td>21</td> <td>57</td> <td>41</td> <td>4,1</td> <td>2665</td> <td>SaasbeekNoord</td> <td>SN7</td>	3652	4210	21	57	41	4,1	2665	SaasbeekNoord	SN7
ST1         SaasbeekTotaal         2         3,2         32         44         15         2           ST2         SaasbeekTotaal         159         3,1         31         43         15         246           ST3         SaasbeekTotaal         375         3,8         38         53         19         589           ST4         SaasbeekTotaal         1059         4,4         44         61         22         1679           ST5         SaasbeekTotaal         1418         4,6         46         64         24         2255           ST6         SaasbeekTotaal         1866         5,1         51         72         27         2988           ST7         SaasbeekTotaal         2331         5,6         56         78         29         3751           ST17         SaasbeekTotaal         2681         5,5         55         77         29         4311           ST18         SaasbeekTotaal         2938         7,1         71         100         38         4803           ST18,2         SaasbeekTotaal         2976         Gem vergroting:         1,63         1,40         4865           SZ1         SaasbeekZuid         178	3659	4219	21	57	41	4,1	2671	SaasbeekNoord	SN7,2
ST1         SaasbeekTotaal         2         3,2         32         44         15         2           ST2         SaasbeekTotaal         159         3,1         31         43         15         246           ST3         SaasbeekTotaal         375         3,8         38         53         19         589           ST4         SaasbeekTotaal         1059         4,4         44         61         22         1679           ST5         SaasbeekTotaal         1418         4,6         46         64         24         2255           ST6         SaasbeekTotaal         1866         5,1         51         72         27         2988           ST7         SaasbeekTotaal         2331         5,6         56         78         29         3751           ST17         SaasbeekTotaal         2681         5,5         55         77         29         4311           ST18         SaasbeekTotaal         2938         7,1         71         100         38         4803           ST18,2         SaasbeekTotaal         2976         Gem vergroting:         1,63         1,40         4865           SZ1         SaasbeekZuid         178	3659	1219		1 37	1 58	Gem verarotina:	2671	SaasheekNoord	Total
ST2         SaasbeekTotaal         159         3,1         31         43         15         246           ST3         SaasbeekTotaal         375         3,8         38         53         19         589           ST4         SaasbeekTotaal         1059         4,4         44         61         22         1679           ST5         SaasbeekTotaal         1418         4,6         46         64         24         2255           ST6         SaasbeekTotaal         1866         5,1         51         72         27         2988           ST7         SaasbeekTotaal         2331         5,6         56         78         29         3751           ST17         SaasbeekTotaal         2681         5,5         55         77         29         4311           ST18,2         SaasbeekTotaal         2938         7,1         71         100         38         4803           ST18,2         SaasbeekTotaal         2975         7,1         71         100         38         4864           Total SaasbeekZuid         2         0,9         9         13         4         3           SZ2         SaasbeekZuid         178	0000	7213		1,07	1,50	dem vergroung.	2071	Odd3DCCKI VOOTU	rotar
ST2         SaasbeekTotaal         159         3,1         31         43         15         246           ST3         SaasbeekTotaal         375         3,8         38         53         19         589           ST4         SaasbeekTotaal         1059         4,4         44         61         22         1679           ST5         SaasbeekTotaal         1418         4,6         46         64         24         2255           ST6         SaasbeekTotaal         1866         5,1         51         72         27         2988           ST7         SaasbeekTotaal         2331         5,6         56         78         29         3751           ST17         SaasbeekTotaal         2681         5,5         55         77         29         4311           ST18,2         SaasbeekTotaal         2938         7,1         71         100         38         4803           ST18,2         SaasbeekTotaal         2975         7,1         71         100         38         4864           Total SaasbeekZuid         2         0,9         9         13         4         3           SZ2         SaasbeekZuid         178	2	2	15	44	32	3.2	2	SaasheekTotaal	ST1
ST3         SaasbeekTotaal         375         3,8         38         53         19         589           ST4         SaasbeekTotaal         1059         4,4         44         61         22         1679           ST5         SaasbeekTotaal         1418         4,6         46         64         24         2255           ST6         SaasbeekTotaal         1866         5,1         51         72         27         2988           ST7         SaasbeekTotaal         2331         5,6         56         78         29         3751           ST17         SaasbeekTotaal         2681         5,5         55         77         29         4311           ST18         SaasbeekTotaal         2938         7,1         71         100         38         4803           ST18,2         SaasbeekTotaal         2975         7,1         71         100         38         4864           Total SaasbeekTotaal         2976         Gem vergroting:         1,63         1,40         4865           SZ1         SaasbeekZuid         178         1,4         14         20         6         265           SZ3         SaasbeekZuid         1107 <td< td=""><td>215</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></td<>	215								
ST4         SaasbeekTotaal         1059         4,4         44         61         22         1679           ST5         SaasbeekTotaal         1418         4,6         46         64         24         2255           ST6         SaasbeekTotaal         1866         5,1         51         72         27         2988           ST7         SaasbeekTotaal         2331         5,6         56         78         29         3751           ST17         SaasbeekTotaal         2681         5,5         55         77         29         4311           ST18         SaasbeekTotaal         2938         7,1         71         100         38         4803           ST18,2         SaasbeekTotaal         2975         7,1         71         100         38         4864           Total SaasbeekTotaal         2976         Gem vergroting:         1,63         1,40         4865           SZ1         SaasbeekZuid         2         0,9         9         13         4         3           SZ2         SaasbeekZuid         178         1,4         14         20         6         265           SZ3         SaasbeekZuid         1107         4,0 <td>512</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>	512								
ST5         SaasbeekTotaal         1418         4,6         46         64         24         2255           ST6         SaasbeekTotaal         1866         5,1         51         72         27         2988           ST7         SaasbeekTotaal         2331         5,6         56         78         29         3751           ST17         SaasbeekTotaal         2681         5,5         55         77         29         4311           ST18         SaasbeekTotaal         2938         7,1         71         100         38         4803           ST18,2         SaasbeekTotaal         2975         7,1         71         100         38         4864           Total SaasbeekTotaal         2976         Gem vergroting:         1,63         1,40         4865           SZ1         SaasbeekZuid         2         0,9         9         13         4         3           SZ2         SaasbeekZuid         178         1,4         14         20         6         265           SZ3         SaasbeekZuid         1107         4,0         40         56         20         1745           SZ5         SaasbeekZuid         1150         4,0	1454								
ST6         SaasbeekTotaal         1866         5,1         51         72         27         2988           ST7         SaasbeekTotaal         2331         5,6         56         78         29         3751           ST17         SaasbeekTotaal         2681         5,5         55         77         29         4311           ST18         SaasbeekTotaal         2938         7,1         71         100         38         4803           ST18,2         SaasbeekTotaal         2975         7,1         71         100         38         4864           Total SaasbeekTotaal         2976         Gem vergroting:         1,63         1,40         4865           SZ1         SaasbeekZuid         2         0,9         9         13         4         3           SZ2         SaasbeekZuid         178         1,4         14         20         6         265           SZ3         SaasbeekZuid         535         1,6         16         23         7         801           SZ4         SaasbeekZuid         1107         4,0         40         56         20         1745           SZ5         SaasbeekZuid         1150         4,	1952					· ·			
ST7         SaasbeekTotaal         2331         5,6         56         78         29         3751           ST17         SaasbeekTotaal         2681         5,5         55         77         29         4311           ST18         SaasbeekTotaal         2938         7,1         71         100         38         4803           ST18,2         SaasbeekTotaal         2975         7,1         71         100         38         4864           Total SaasbeekTotaal         2976         Gem vergroting:         1,63         1,40         4865           SZ1         SaasbeekZuid         2         0,9         9         13         4         3           SZ2         SaasbeekZuid         178         1,4         14         20         6         265           SZ3         SaasbeekZuid         535         1,6         16         23         7         801           SZ4         SaasbeekZuid         1107         4,0         40         56         20         1745           SZ5         SaasbeekZuid         1150         4,0         40         56         20         1812           SZ5,2         SaasbeekZuid         1274         4,	2581			-					
ST17         SaasbeekTotaal         2681         5,5         55         77         29         4311           ST18         SaasbeekTotaal         2938         7,1         71         100         38         4803           ST18,2         SaasbeekTotaal         2975         7,1         71         100         38         4864           Total SaasbeekTotaal         2976         Gem vergroting:         1,63         1,40         4865           SZ1         SaasbeekZuid         2         0,9         9         13         4         3           SZ2         SaasbeekZuid         178         1,4         14         20         6         265           SZ3         SaasbeekZuid         535         1,6         16         23         7         801           SZ4         SaasbeekZuid         1107         4,0         40         56         20         1745           SZ5         SaasbeekZuid         1150         4,0         40         56         20         1812           SZ5,2         SaasbeekZuid         1274         4,0         40         56         20         2009           Total SaasbeekZuid         1276         Gem ver	3235					· ·			
ST18         SaasbeekTotaal         2938         7,1         71         100         38         4803           ST18,2         SaasbeekTotaal         2975         7,1         71         100         38         4864           Total SaasbeekTotaal         2976         Gem vergroting:         1,63         1,40         4865           SZ1         SaasbeekZuid         2         0,9         9         13         4         3           SZ2         SaasbeekZuid         178         1,4         14         20         6         265           SZ3         SaasbeekZuid         535         1,6         16         23         7         801           SZ4         SaasbeekZuid         1107         4,0         40         56         20         1745           SZ5         SaasbeekZuid         1150         4,0         40         56         20         1812           SZ5,2         SaasbeekZuid         1274         4,0         40         56         20         2009           Total SaasbeekZuid         1276         Gem vergroting:         1,58         1,37         2011	3718								
ST18,2         SaasbeekTotaal         2975         7,1         71         100         38         4864           Total SaasbeekTotaal         2976         Gem vergroting:         1,63         1,40         4865           SZ1         SaasbeekZuid         2         0,9         9         13         4         3           SZ2         SaasbeekZuid         178         1,4         14         20         6         265           SZ3         SaasbeekZuid         535         1,6         16         23         7         801           SZ4         SaasbeekZuid         1107         4,0         40         56         20         1745           SZ5         SaasbeekZuid         1150         4,0         40         56         20         1812           SZ5,2         SaasbeekZuid         1274         4,0         40         56         20         2009           Total SaasbeekZuid         1276         Gem vergroting:         1,58         1,37         2011	4121								
Total SaasbeekTotaal         2976         Gem vergroting:         1,63         1,40         4865           SZ1         SaasbeekZuid         2         0,9         9         13         4         3           SZ2         SaasbeekZuid         178         1,4         14         20         6         265           SZ3         SaasbeekZuid         535         1,6         16         23         7         801           SZ4         SaasbeekZuid         1107         4,0         40         56         20         1745           SZ5         SaasbeekZuid         1150         4,0         40         56         20         1812           SZ5,2         SaasbeekZuid         1274         4,0         40         56         20         2009           Total SaasbeekZuid         1276         Gem vergroting:         1,58         1,37         2011	4174					,			
SZ1         SaasbeekZuid         2         0,9         9         13         4         3           SZ2         SaasbeekZuid         178         1,4         14         20         6         265           SZ3         SaasbeekZuid         535         1,6         16         23         7         801           SZ4         SaasbeekZuid         1107         4,0         40         56         20         1745           SZ5         SaasbeekZuid         1150         4,0         40         56         20         1812           SZ5,2         SaasbeekZuid         1274         4,0         40         56         20         2009           Total SaasbeekZuid         1276         Gem vergroting:         1,58         1,37         2011			36						
SZ2     SaasbeekZuid     178     1,4     14     20     6     265       SZ3     SaasbeekZuid     535     1,6     16     23     7     801       SZ4     SaasbeekZuid     1107     4,0     40     56     20     1745       SZ5     SaasbeekZuid     1150     4,0     40     56     20     1812       SZ5,2     SaasbeekZuid     1274     4,0     40     56     20     2009       Total SaasbeekZuid     1276     Gem vergroting:     1,58     1,37     2011	4174	4865		1,40	1,63	Gem vergroting:	2976	SaasbeekTotaal	Total
SZ2     SaasbeekZuid     178     1,4     14     20     6     265       SZ3     SaasbeekZuid     535     1,6     16     23     7     801       SZ4     SaasbeekZuid     1107     4,0     40     56     20     1745       SZ5     SaasbeekZuid     1150     4,0     40     56     20     1812       SZ5,2     SaasbeekZuid     1274     4,0     40     56     20     2009       Total SaasbeekZuid     1276     Gem vergroting:     1,58     1,37     2011		I							
SZ3     SaasbeekZuid     535     1,6     16     23     7     801       SZ4     SaasbeekZuid     1107     4,0     40     56     20     1745       SZ5     SaasbeekZuid     1150     4,0     40     56     20     1812       SZ5,2     SaasbeekZuid     1274     4,0     40     56     20     2009       Total SaasbeekZuid     1276     Gem vergroting:     1,58     1,37     2011	2								
SZ4       SaasbeekZuid       1107       4,0       40       56       20       1745         SZ5       SaasbeekZuid       1150       4,0       40       56       20       1812         SZ5,2       SaasbeekZuid       1274       4,0       40       56       20       2009         Total SaasbeekZuid       1276       Gem vergroting:       1,58       1,37       2011	234								
SZ5       SaasbeekZuid       1150       4,0       40       56       20       1812         SZ5,2       SaasbeekZuid       1274       4,0       40       56       20       2009         Total SaasbeekZuid       1276       Gem vergroting:       1,58       1,37       2011	708					· ·			
SZ5,2         SaasbeekZuid         1274         4,0         40         56         20         2009           Total SaasbeekZuid         1276         Gem vergroting:         1,58         1,37         2011	1514		20	56	40	· ·			SZ4
Total SaasbeekZuid 1276 Gem vergroting: 1,58 1,37 2011	1573		20		40				
	1744	2009	20	56	40	4,0	1274	SaasbeekZuid	SZ5,2
	1745	2011		1.37	1.58	Gem verarotina:	1276	Saasbeek7uid	Total
	1770	2011		1,07	1,00	John Vorgroung.	12/0	CaabboonZuid	Total
SB Spikkersbeek 5 7,4 74 103 40 7	6	7	40	103	74	7,4	5	Spikkersbeek	SB
Total Spikkersbeek 457 Gem vergroting: 1,64 1,40 749	642	749		1,40	1,64	Gem vergroting:	457	Spikkersbeek	Total





### H.2 Invoer locaties lateraalafvoeren meandering

Appendix Figuur 30: Locatie lateralen na meandering

Input lateralen	Oud punt	Nieuw punt
Lemselerbeek	K140504/20	
	875	1397
	1796	2867
	2777	4433
	3838	6127
	4440	7089
	4908	7835
	5733	9152
	6021	9613
	6841	10922
Saasvelderbeek Noord	K140505/10	
	600	948
	1200	1895
	1800	2843
	2400	3791
Saasvelderbeek Zuid	K140503/10	
	250	394
	500	788
	750	1182
	1000	1576
Saasvelderbeek Totaal	100	163
	1055	1725
	2331	3811
	2336	3819
	2937	4802
	2976	4865





## Appendix I. Invoer modellering dammen

Appendix Figuur 31: Aantal dammen en onderlinge afstand per beekgedeelte

					Afstand tussen	Dammen per	Totaal aantal
Beek	Van [m]	Tot [m]	Verhang [-]	Verhang [1:x]	dammen [m]	beekgedeelte	dammen
Lemselerbeek	0	500	0,0029	350	52	9	
	500	1000	0,0025	408	61	8	
	1000	1500	0,0022	449	67	7	
	1500	2000	0,0019	529	79	6	
	2000	2500	0,0019	536	80	6	
	2500	3000	0,0018	546	82	6	
	3000	3500	0,0018	546	82	6	
	3500	4000	0,0018	546	82	6	
	4000	4500	0,0017	577	87	6	
	4500	5000	0,0016	629	94	5	
	5000	5500	0,0014	699	105	5	
	5500	6000	0,0012	843	126	4	
	6000	6500	0,0011	879	132	4	
	6500	6844	0,0010	957	144	2	81
Saasvelderbeek Noord	0	1101	0,0028	355	53	20	
	1101	2101	0,0027	375	56	18	
	2101	2671	0,0021	472	71	8	46
Saasvelderbeek Zuid	0	530	0,0026	379	57	9	
	530	1097	0,0023	433	65	9	
	1097	1277	0,0040	250	38	5	23
Saasvelderbeek Totaal	0	430	0,0016	631	95	5	
	430	1430	0,0012	806	121	8	
	1430	2430	0,0006	1667	250	4	
	2430	2973	0,0005	2148	322	2	18
Spikkersbeek	0	457	0,0010	1001	150	3	3
Totaal						172	172





### Appendix J. Resultaten Hydraulica

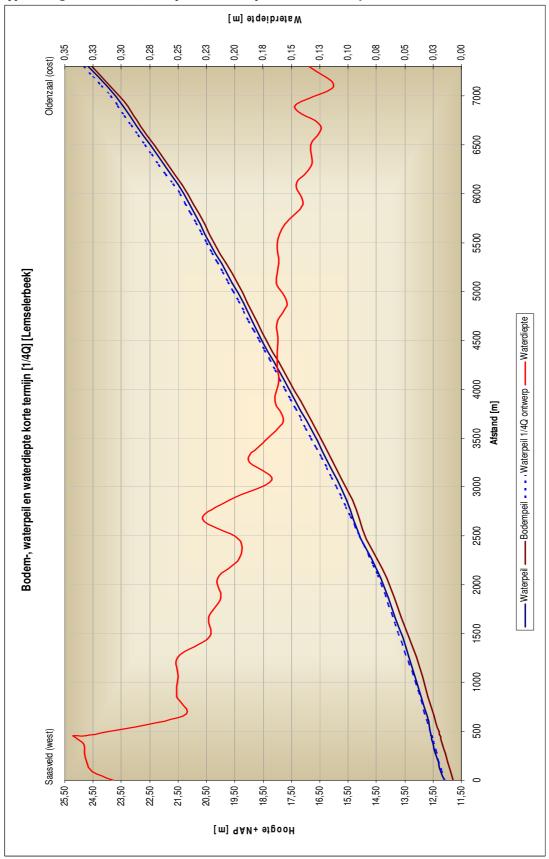
In deze resultaten is het lengteprofiel voor de drie beken (Lemselerbeek, Saasvelderbeek Noord en Zuid) gepresenteerd. Dit is steeds gedaan van bron tot aan het einde van de Spikkersbeek. De laatste 460 meter zijn daarom voor alle beken hetzelfde. Voor de noordelijke en zuidelijke tak zijn dit de laatste 3430 meter. De resultaten op deze gedeeltes zijn voor de beken dus hetzelfde. Het is op deze manier gepresenteerd, omdat (plotselinge) verschillen in bodem- en waterstanden dan goed worden waargenomen. Voor de nulsituatie zijn de waterdieptes ook gegeven, zo kan gezien worden wat het effect van de grootte van de afvoer. In de bovenlopen is bij een kleine afvoer ook een kleine waterdiepte en benedenstrooms een grotere diepte door een grotere afvoer. Het betreft hier de korte termijnresultaten. Dit zijn de initiële bodem- en waterstanden.



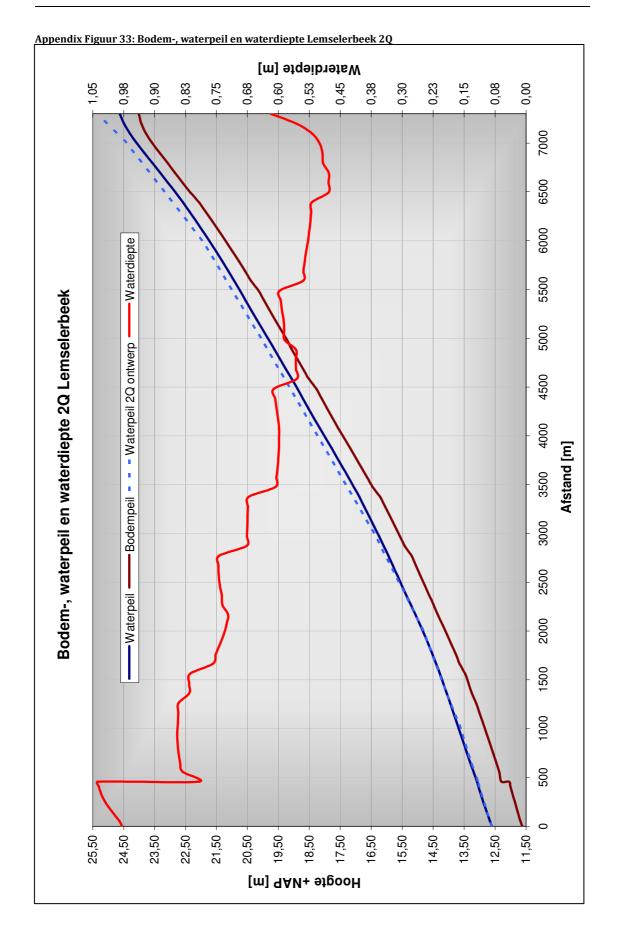


#### J.1 Korte termijnresultaten nulsituatie

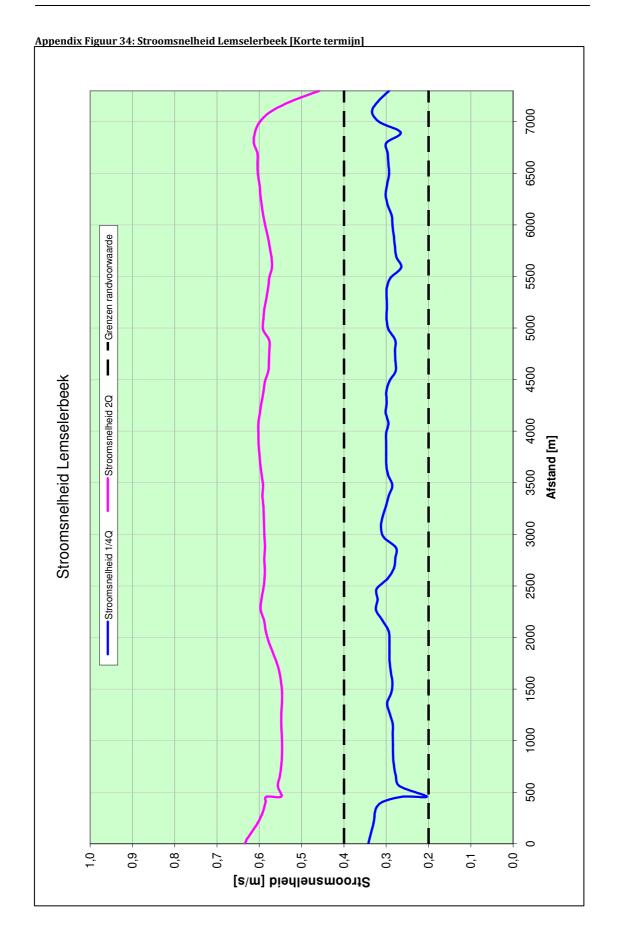
Appendix Figuur 32: Bodem-, waterpeil en waterdiepte Lemselerbeek ¼Q







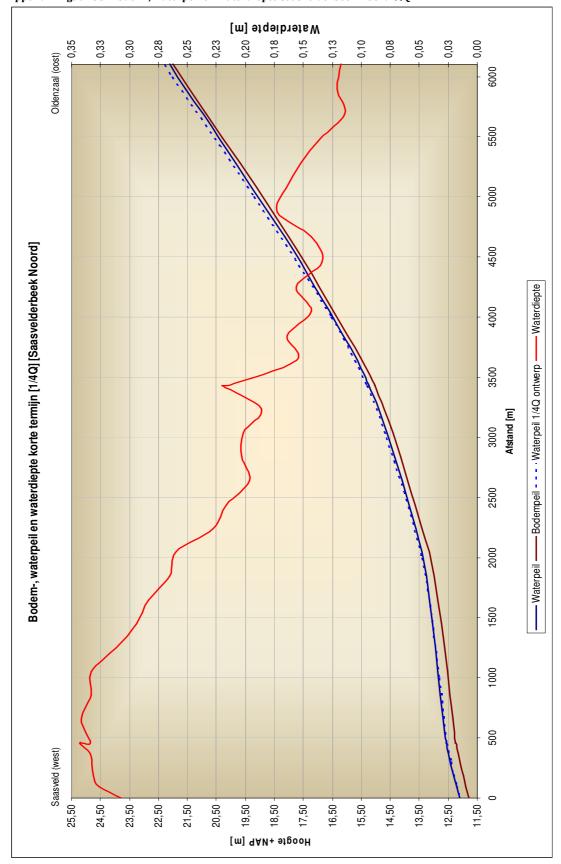




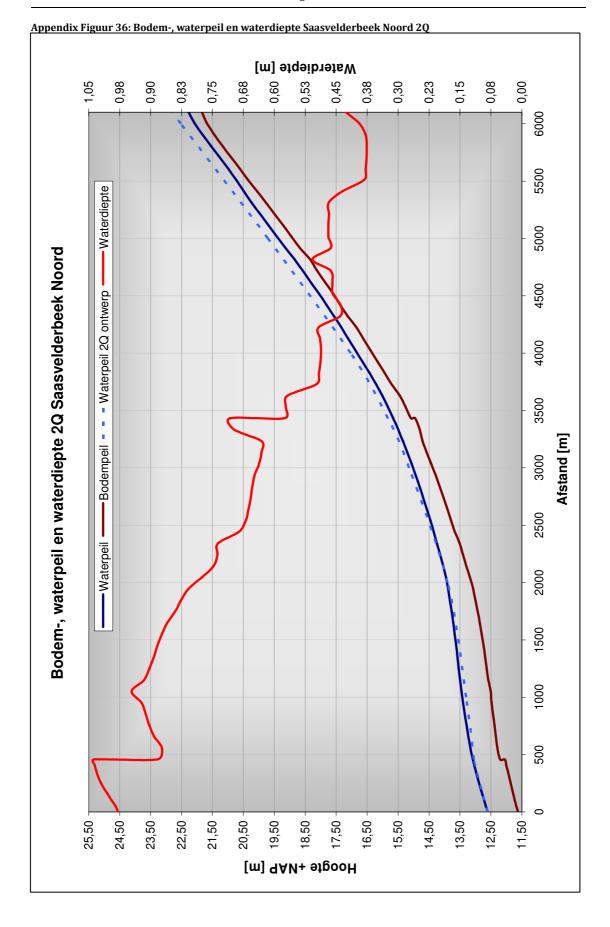




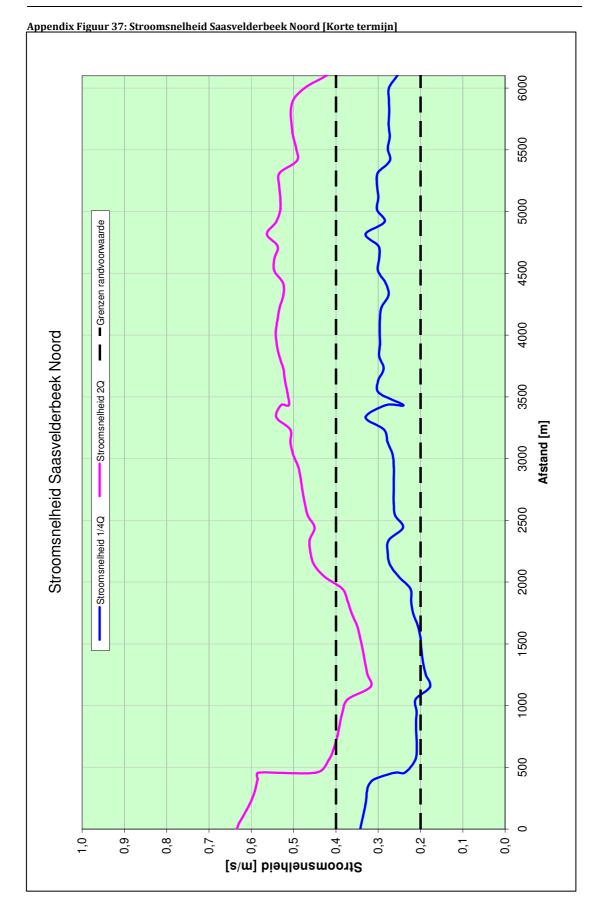
Appendix Figuur 35: Bodem-, waterpeil en waterdiepte Saasvelderbeek Noord ¼Q







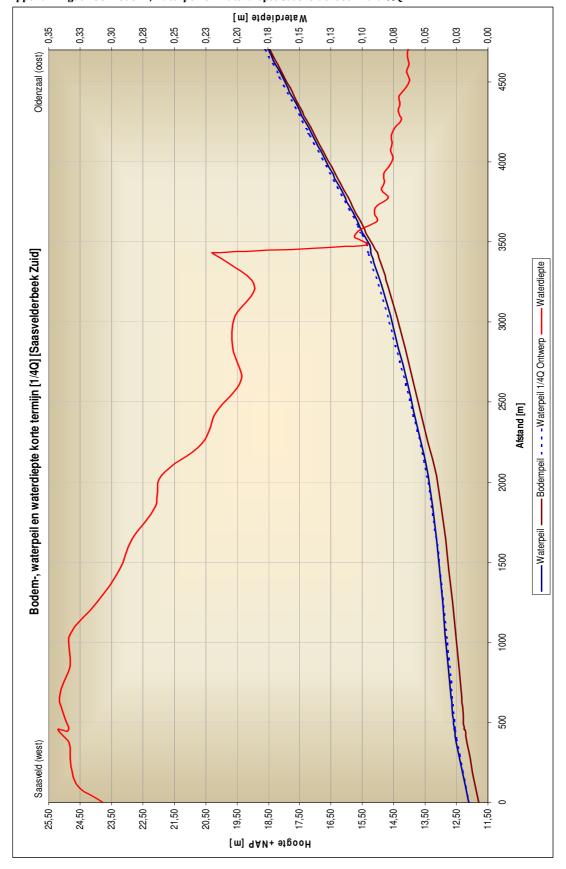






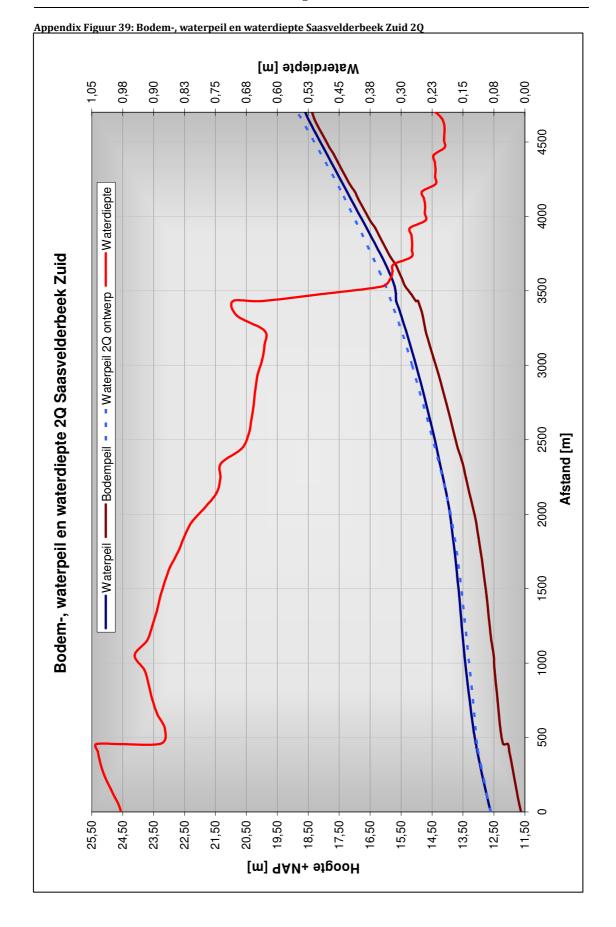


Appendix Figuur 38: Bodem-, waterpeil en waterdiepte Saasvelderbeek Zuid ¼Q



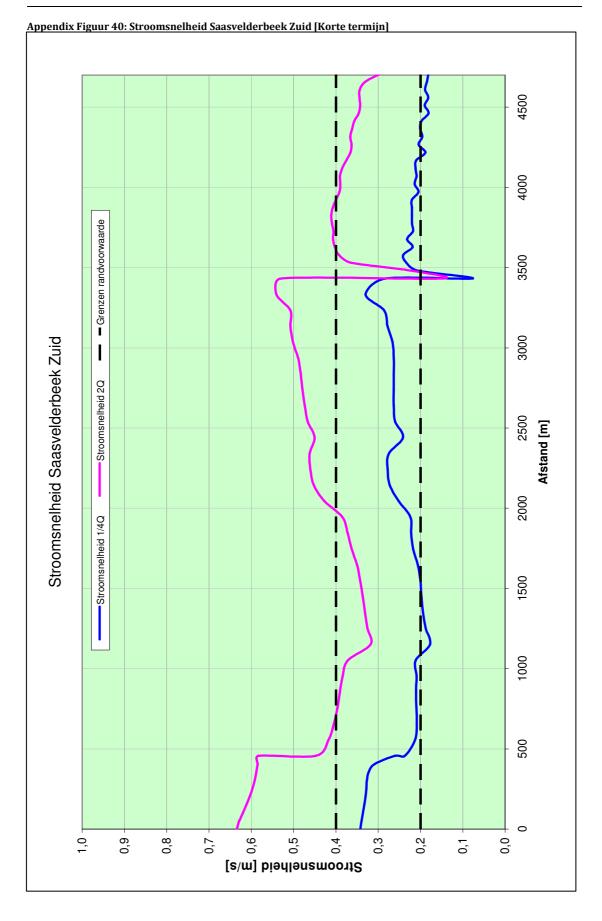






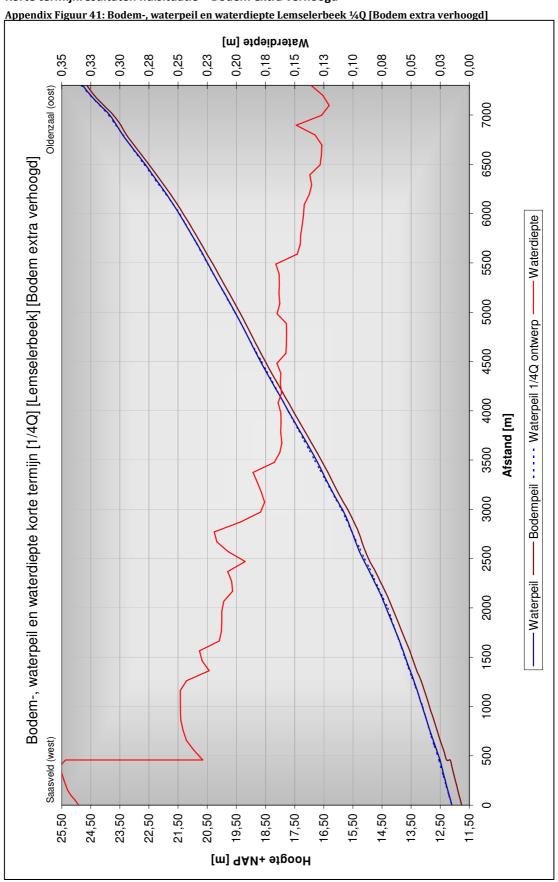








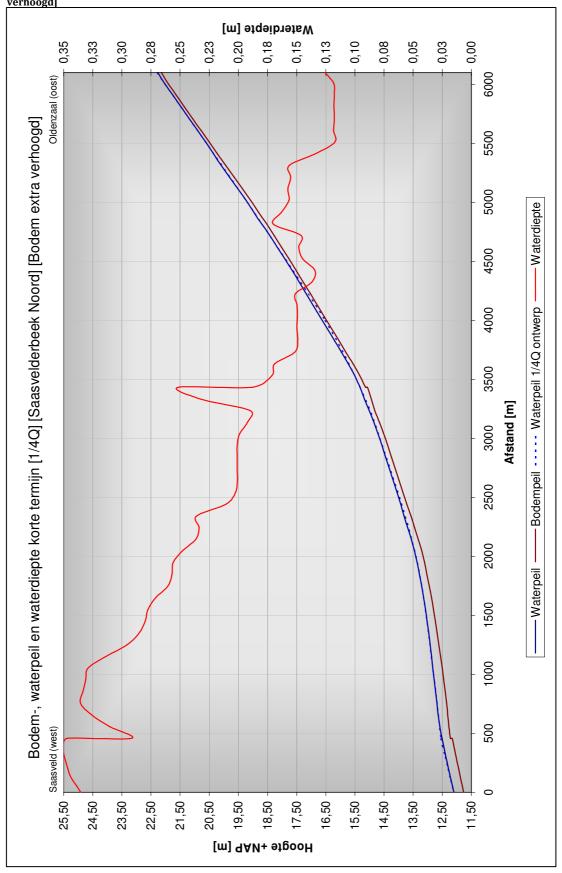
### J.2 Korte termijnresultaten nulsituatie – Bodem extra verhoogd





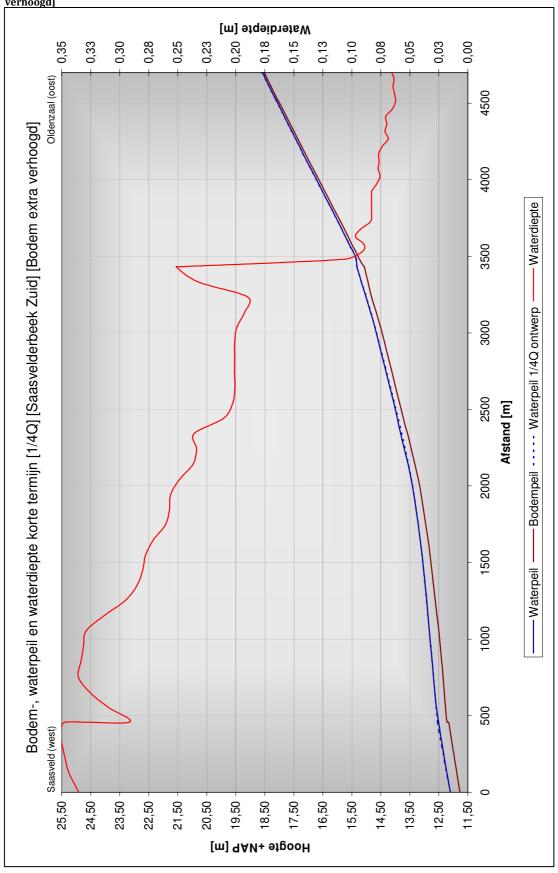


Appendix Figuur 42: Bodem-, waterpeil en waterdiepte Saasvelderbeek Noord ¼Q [Bodem extra





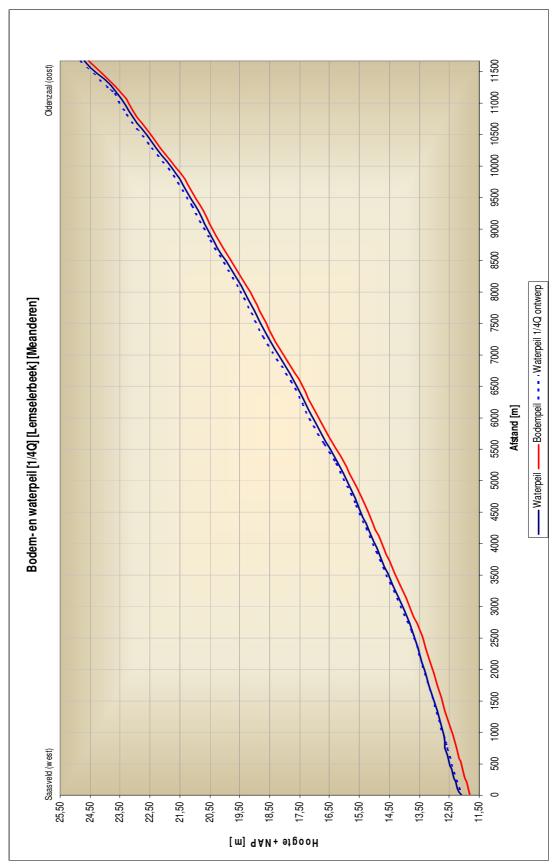
Appendix Figuur 43: Bodem-, waterpeil en waterdiepte Saasvelderbeek Zuid ¼Q [Bodem extra



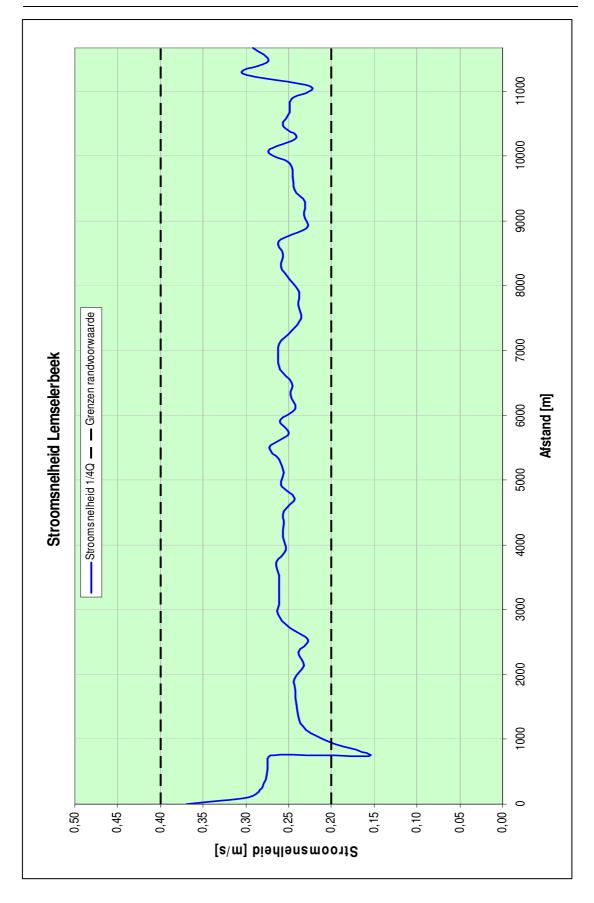




### J.3 Korte termijnresultaten maatregel meanderen

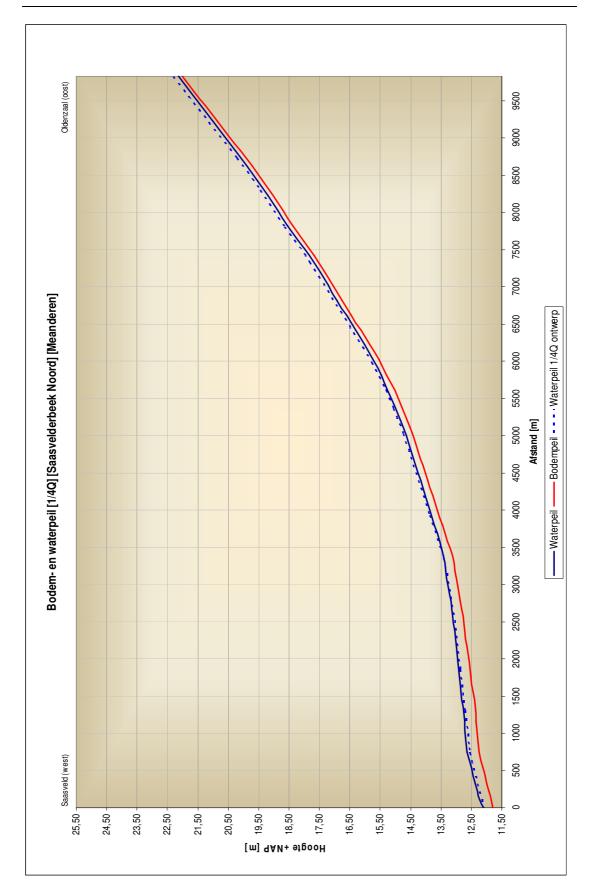




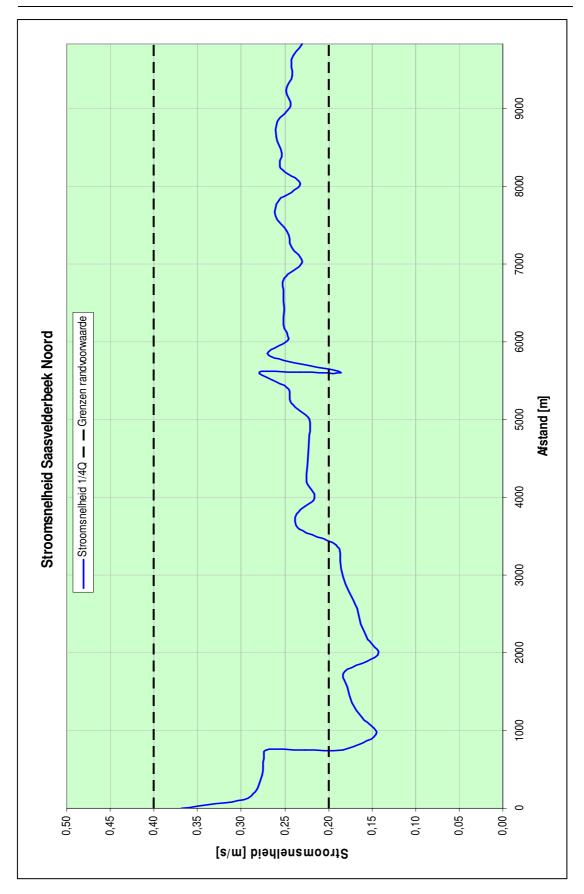






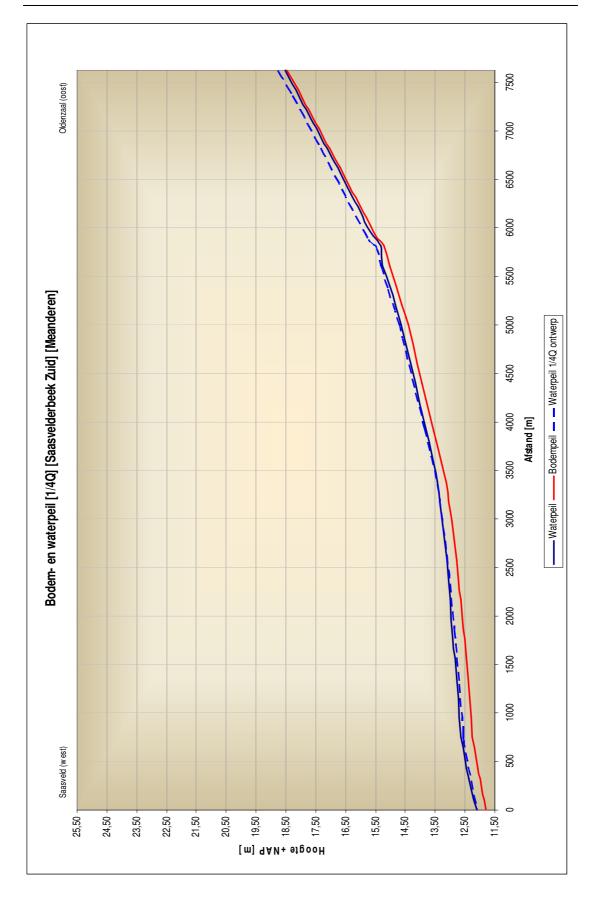




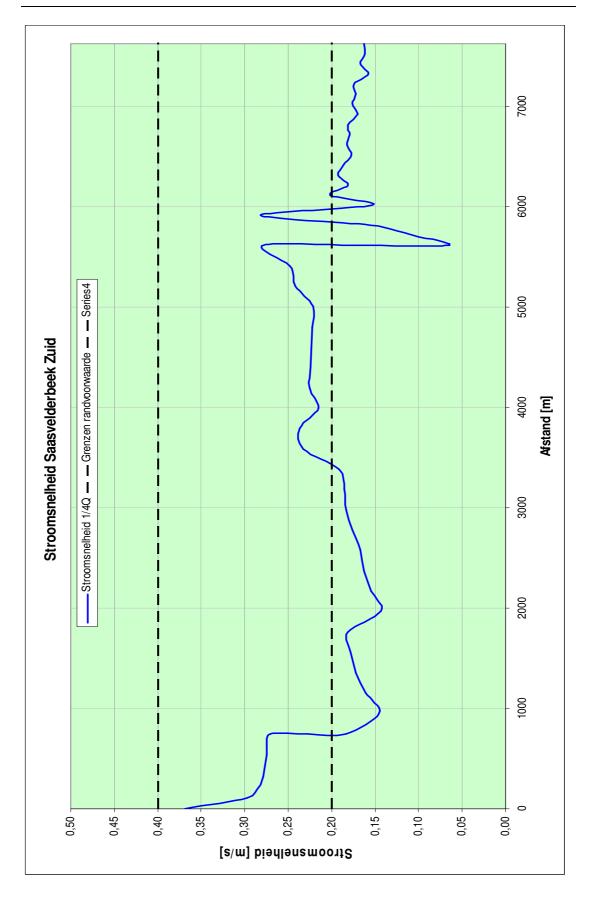








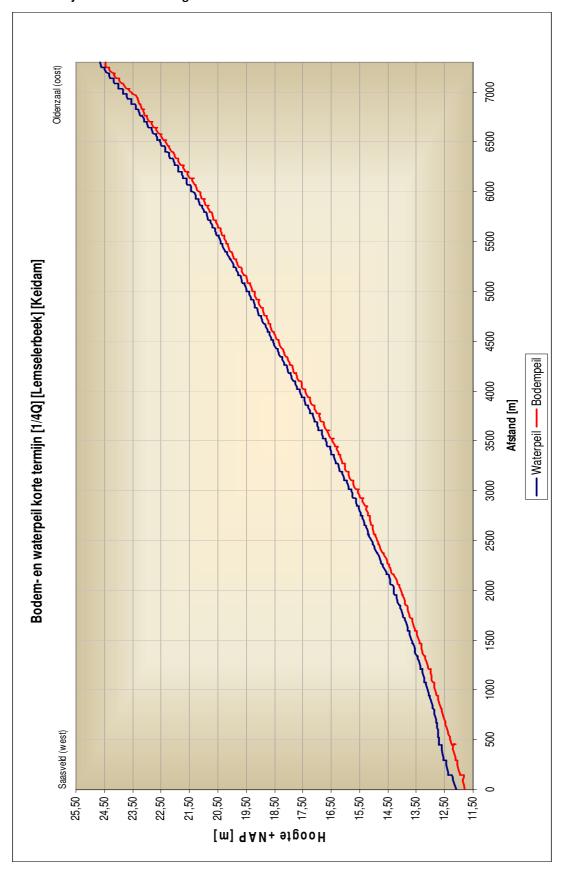




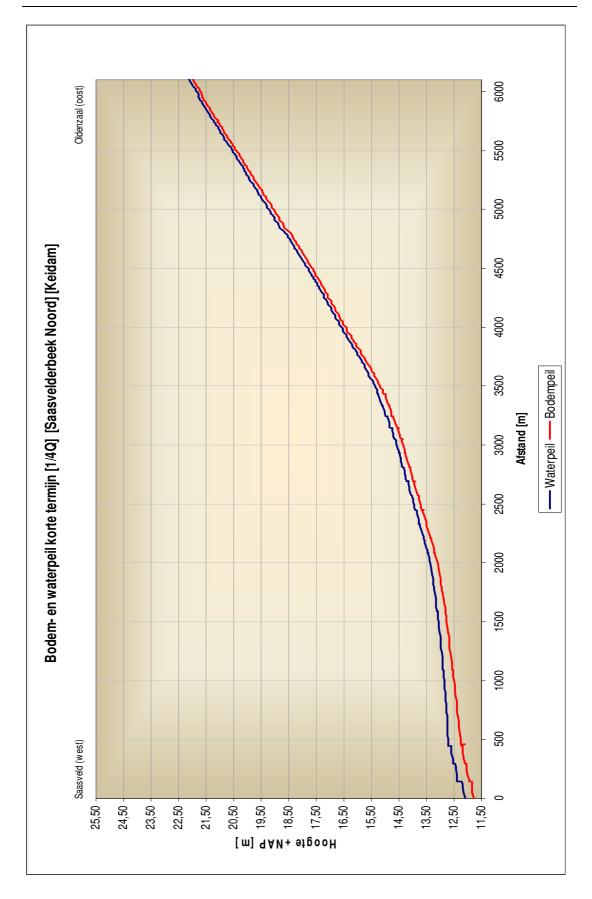




### J.4 Korte termijnresultaten maatregel keidam

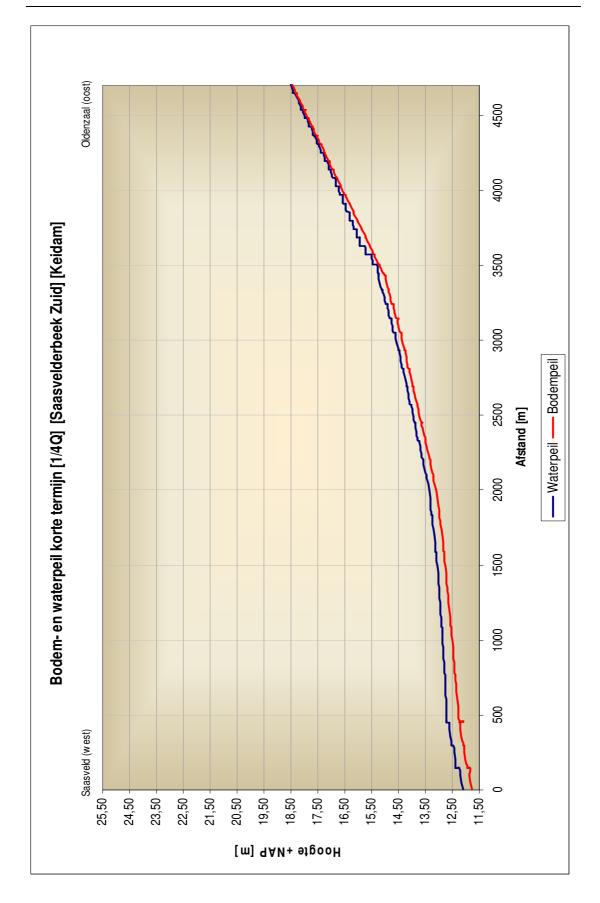










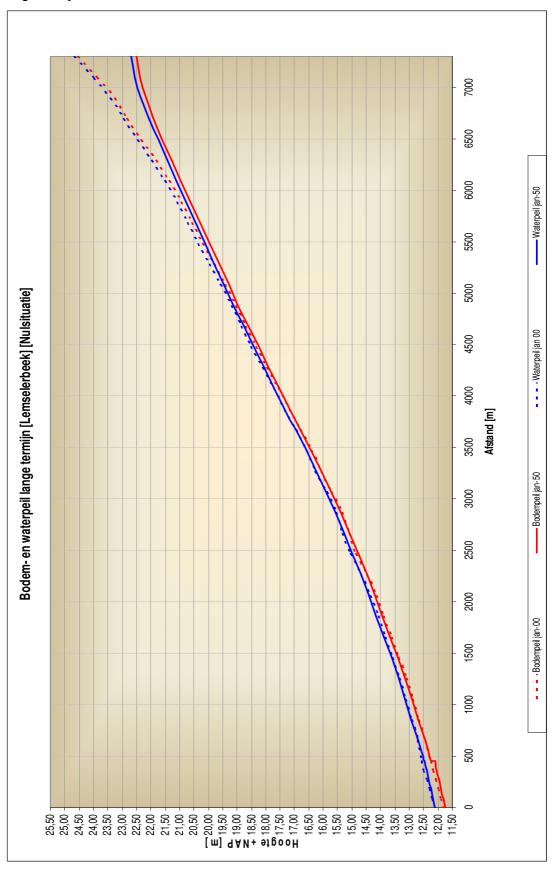




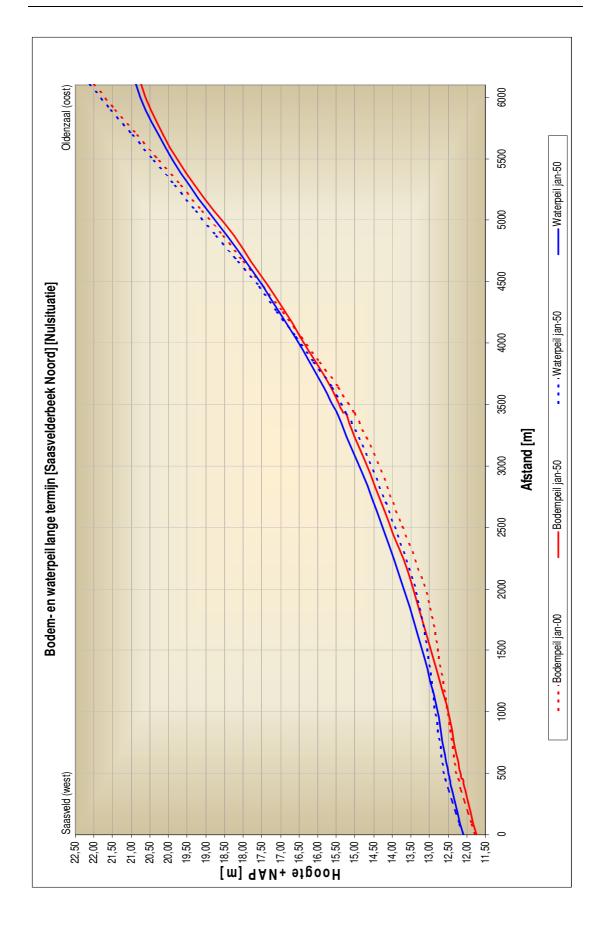


### Appendix K. Morfologische resultaten

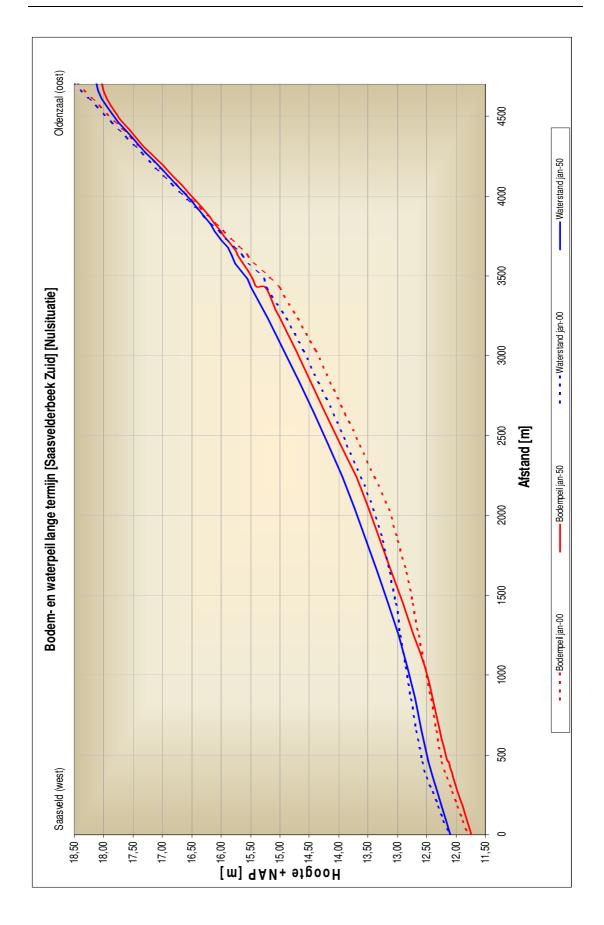
### K.1 Lange termijnresultaten Nulsituatie







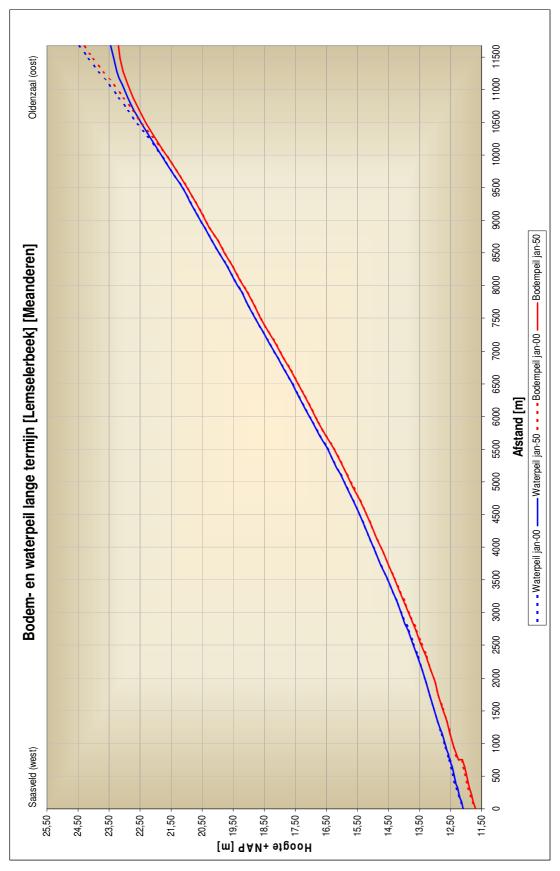




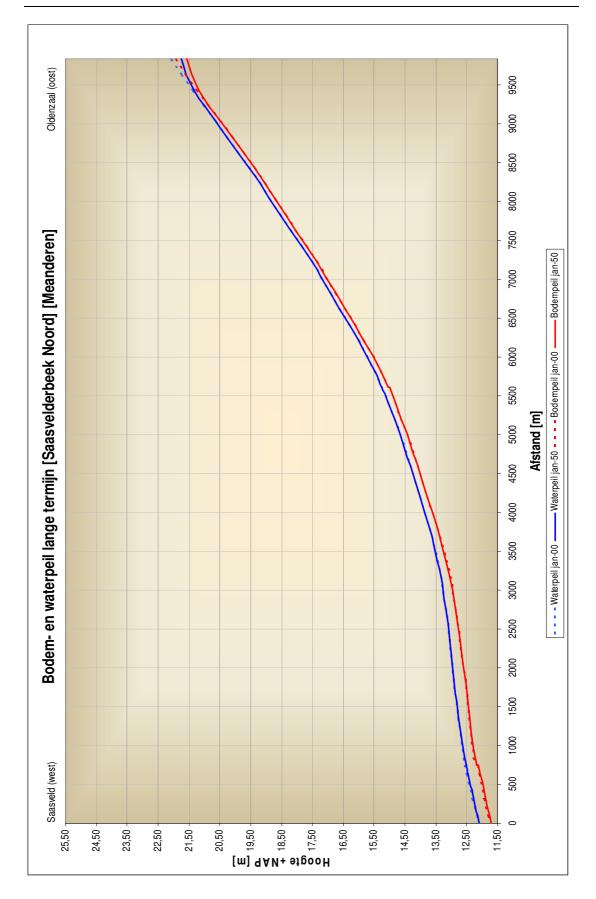




### K.2 Lange termijnresultaten maatregel meanderen

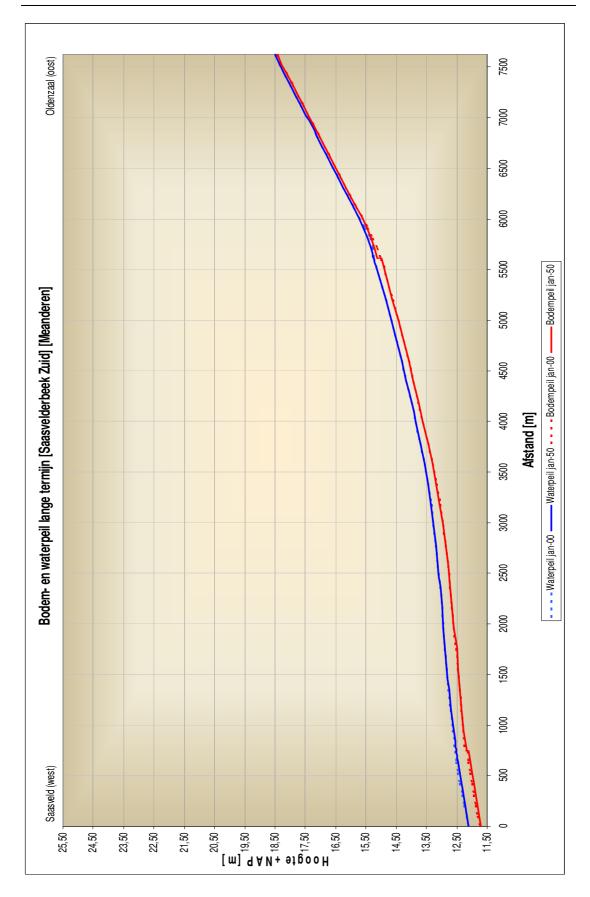








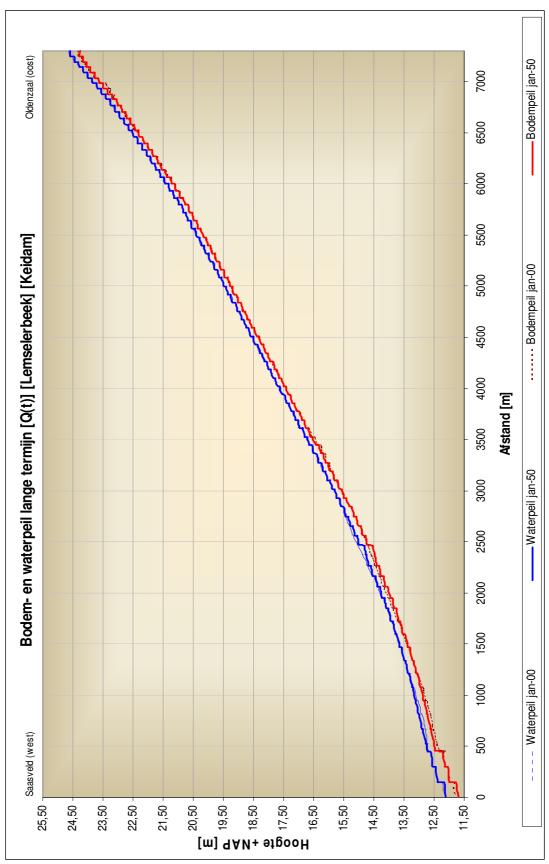




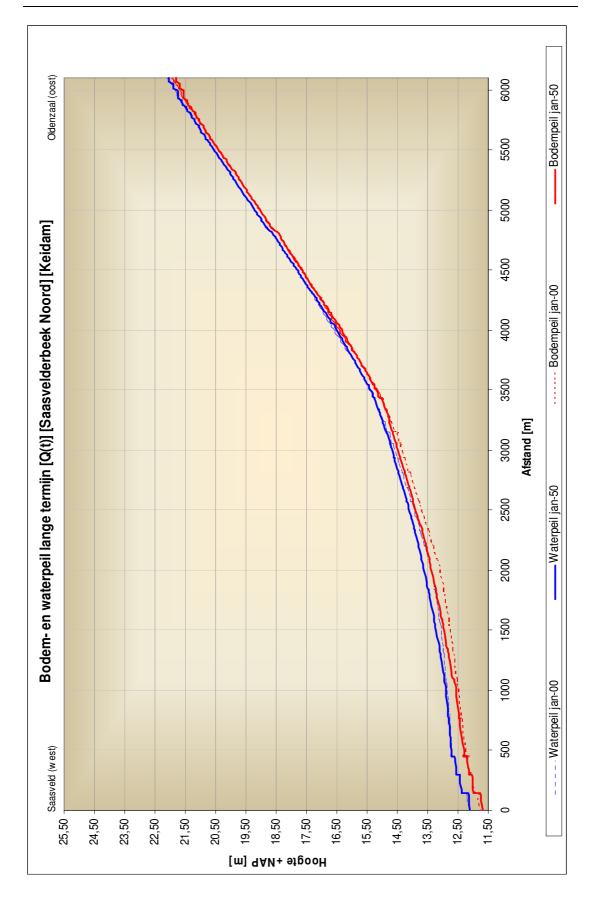




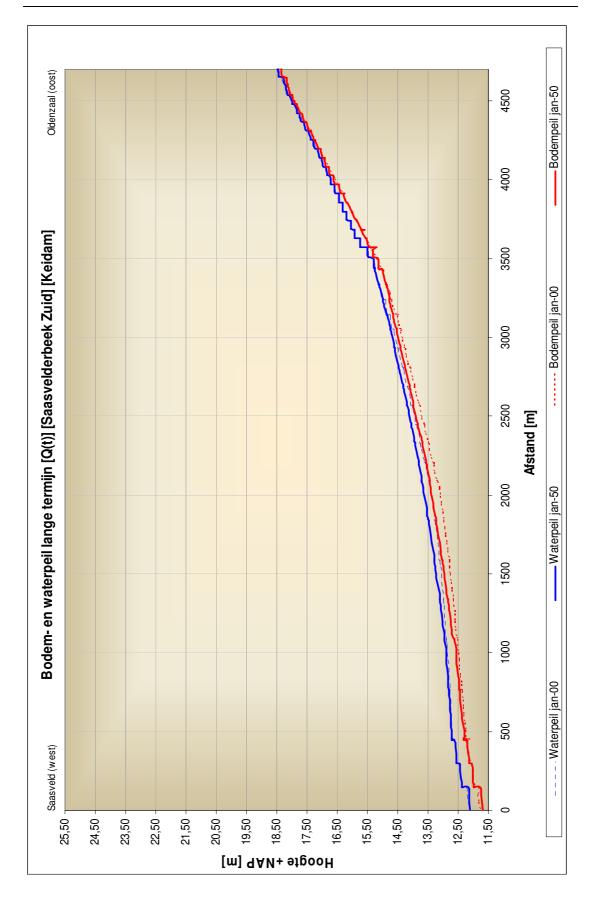
### K.3 Lange termijnresultaten maatregel keidam















### K.4 Verschil nulsituatie en maatregelen met ontwerpbodem (lange termijn)

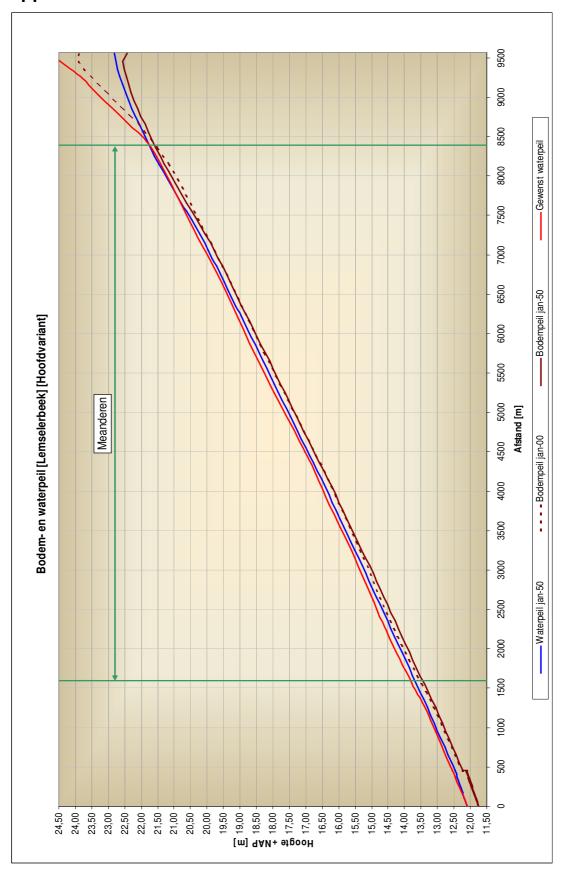
Appendix Figuur 44: Bodemverandering per situatie en locatie in meter

Verschil met ontwerpbodem									
Afstand	Nulsituatie	Meanderen	Keidam	Afstand		Nulsituatie	Meanderen	Keidam	
Lemselerbeek				Saasvelde	erbee	k Noord			
7300	-2,05	-1,09	-0,22	6	100	-1,26	-0,36		-0,17
7100	-1,52	-0,65	0,03		900	-0,96			-0,08
6900	-1,10	-0,46	0,06		700	-0,70			-0,02
6700	-0,94	-0,23	-0,09		500	-0,51			0,00
6500	-0,73	-0,15	-0,02		300	-0,39			-0,03
6300	-0,56	-0,02	-0,02		100	-0,32			-0,01
6100	-0,40	0,00	0,02		1900	-0,30			-0,01
5900	-0,31	0,00	-0,02		700	-0,21	0,00		0,00
5700	-0,26	0,00	-0,04		500	-0,12			0,01
5500	-0,26	0,00	-0,03		300	-0,08			-0,02
5300	-0,18	0,00	-0,05		100	0,01			-0,06
5100	-0,12	0,00	-0,02		900	0,10			-0,09
4900	-0,08	0,00	0,00		3700	0,19			-0,01
4700	-0,08	0,00	0,00		3500	0,28			0,03
4500	-0,10	0,00	-0,04		300	0,23	0,00		0,03
4300	-0,06	0,00		Saasvelde					
4100	-0,02	0,00	0,01		700	-0,42			-0,09
3900	0,00	0,00	0,02		500	-0,15			0,01
3700	0,01	0,00	0,05		1300	-0,09			-0,02
3500	0,02	0,00	0,04		100	-0,09			0,02
3300	-0,03	0,00	-0,01		3900	-0,05			-0,02
3100	0,01	0,00	0,00		3700	0,10			0,00
2900	0,06	0,00	-0,01		3500	0,29			-0,05
2700	-0,02	0,00	-0,09		300	0,23	0,00		0,03
2500	-0,08	0,00		Saasvelde					
2300	-0,01	0,00	-0,11		300	0,23			0,03
2100	0,07	0,01	-0,06		3100	0,30			0,10
1900	0,06	0,01	-0,07		2900	0,33			0,13
1700	0,06	0,03	-0,05		2700	0,32			0,14
1500	0,04	0,02	-0,02		2500	0,32			0,17
1300	0,05	0,01	-0,02		2300	0,33			0,18
1100	0,03	0,00	0,04		2100	0,31			0,23
900	0,01	0,00	0,08		900	0,34			0,26
700	0,00	0,00	0,12		700	0,30			0,23
500	-0,12	-0,03	0,20		500	0,24			0,19
Spikkersbeek					300	0,17			0,15
500	-0,12	-0,03	0,20		100	0,09			0,12
400	-0,12	-0,04	0,00		900	0,00			0,06
300	-0,10	-0,05	0,04		700	-0,06			0,06
200	-0,08	-0,06	-0,01		500	-0,12	-0,03		0,20
100	-0,07	-0,05	-0,11						
0	-0,05	-0,03	-0,08						





### Appendix L. Resultaten hoofdvariant

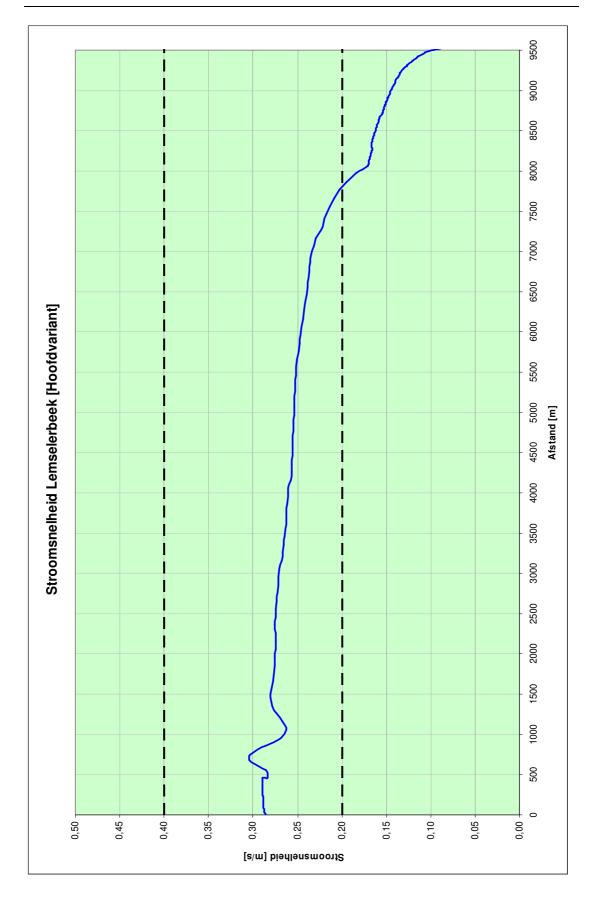






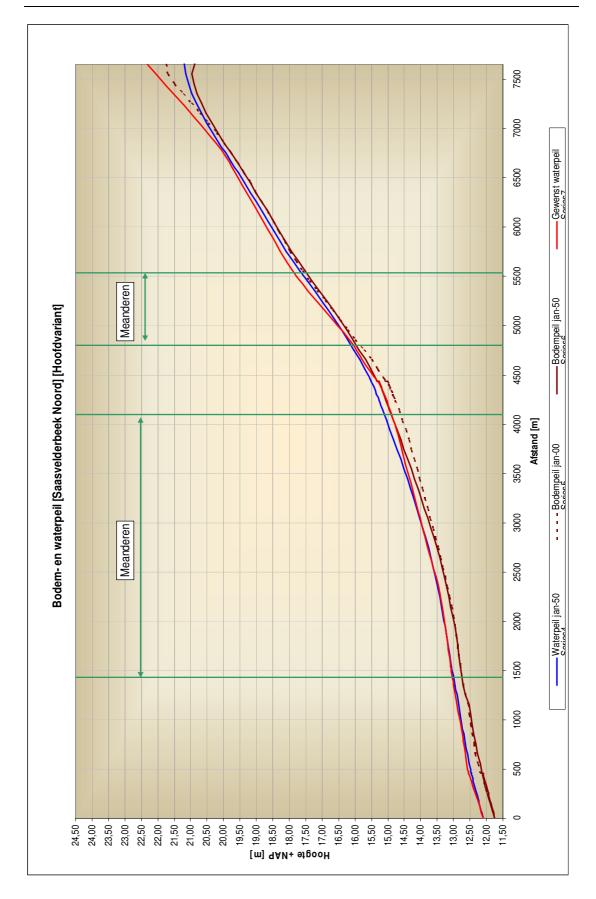


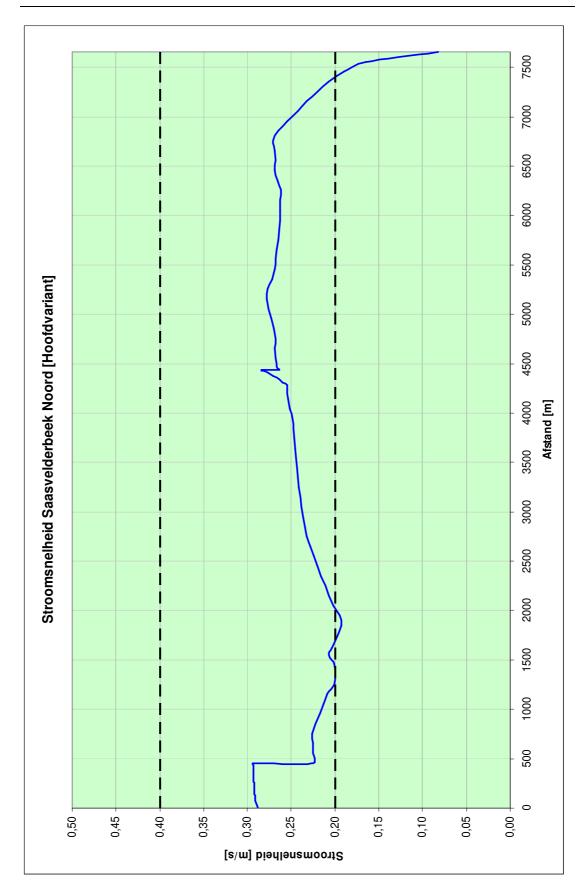






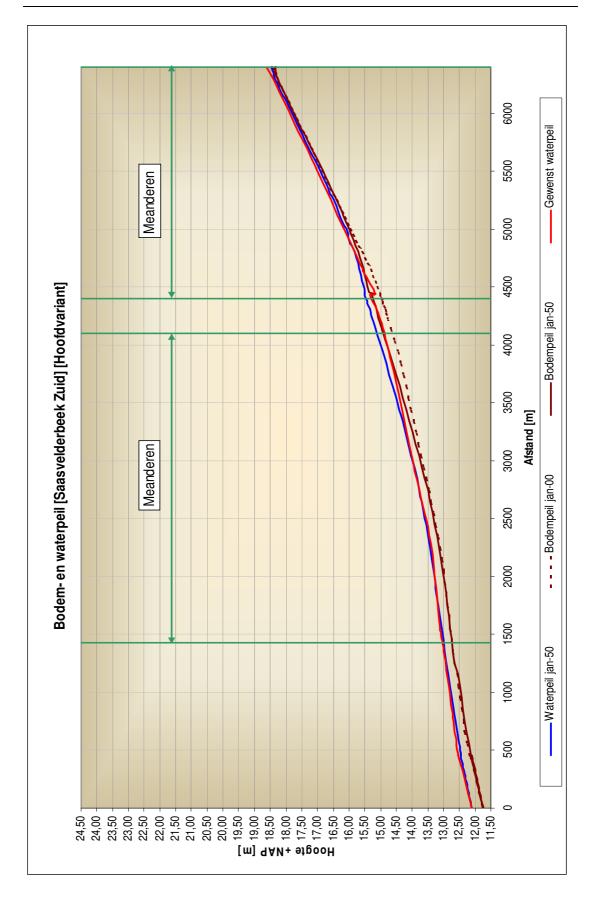




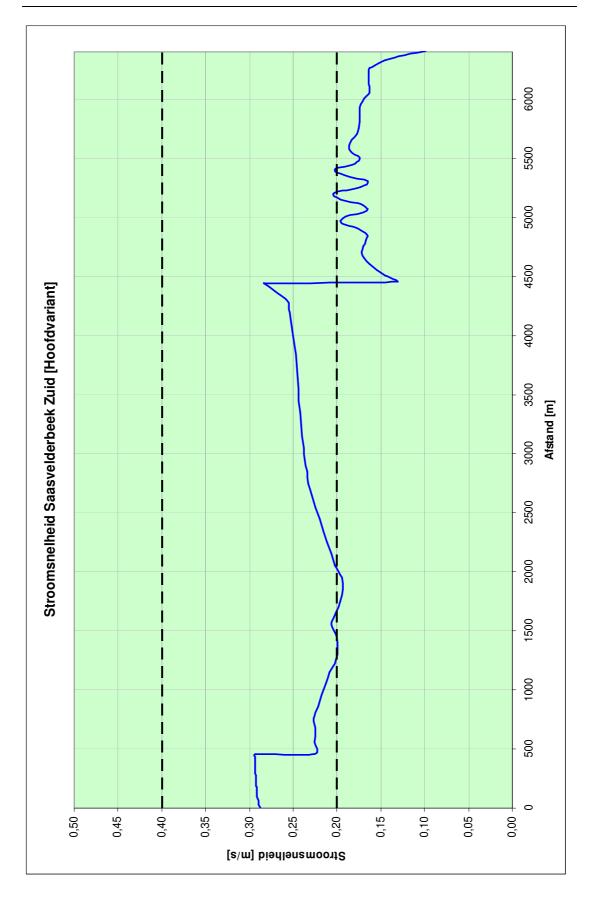












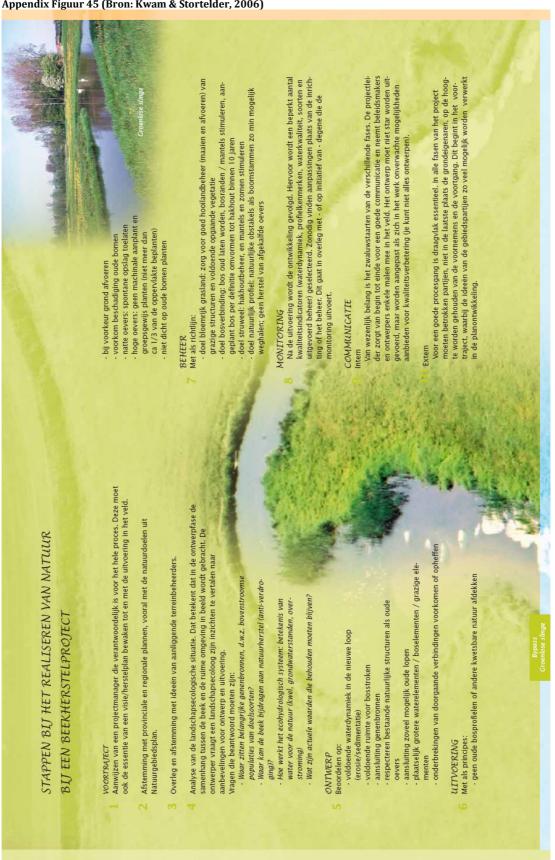




#### Appendix M. Tips voor beekherstel

#### Stappen bij een beekherstelproject

Appendix Figuur 45 (Bron: Kwam & Stortelder, 2006)







#### M.2 Aanbevelingen voor beekherstel

Naar aanleiding van dit onderzoek ben ik veel informatie tegen gekomen over beekherstel. Dit zijn vaak tips van waterschappen en andere beheerders hoe het probleem bij hen is aangepakt en opgelost. Hieronder staan enkele adviezen waar op gelet kan worden bij beekherstel.

- Het is beter om vaker een kleine ingreep te doen dan soms een grote. Daarnaast dient het opschonen van beken gefaseerd te worden in tijd en ruimte. Door regelmatig (jaarlijks) te onderzoeken waar spoelgaten kunnen voorkomen, kan vroegtijdig worden ingegrepen. Hierdoor is het mogelijk om het meanderen te sturen en schade te voorkomen. Voor de inrichting van de beek is het aan te bevelen om in rechtere stukken in bodembreedte en taluds te variëren. Hierbij is het mogelijk om poelen in oeverhoeken te creeren, dit zorgt voor variatie in de oevers en bos of ruigte komt erbij. Verder zijn plasdrasbermen aan te bevelen, zeer flauwe oevers die net onder water staan. Hierdoor ontstaat een moeras waarbij de verlandingsvegetatie niet of weinig gemaaid dient te worden. Eventueel moeten duikers en bruggen voor fauna worden aangepast. Als de stroomsnelheid hoog genoeg dient te zijn, is het aan te raden om een grindbed aan te leggen, dit zorgt voor paaiplaatsen voor vissen, gecombineerd met zwerfkeien dient het als uitvalsbasis voor vissen om voedsel te zoeken (Zonderwijk et al, 1988).
- Bij het natuurlijk maken van de (omgeving van de) beken is het goed om te realiseren wat voor natuurlijke situatie men wil creëren. Aquatische natuurdoelen hebben vaak heel andere randvoorwaarden voor (grond)waterstanden dan terrestische natuurdoelen. Voor een kansrijk ontwerp is het daarom van belang dat de landschapsecologische situatie van het hele beeksysteem in beeld is gebracht.
- Beekherstel is optimaal als het stroomgebied van boven naar beneden wordt aangepakt. De waterkwaliteit, die sterk bepalend is voor het natuurresultaat, is dan optimaal te reguleren. In de bovenlopen van de liggen goede mogelijkheden voor het ontwikkelen van fraaie bronbossen, waarin kwelwater aan het maaiveld uittreedt en dan kleine kronkelende stroompjes vormt. Het creëren van brongebieden vereist vernatting van een wat groter waterconserveringsgebied (van enkele tot enkele tientallen hectares) dat meer gelijkmatig en langduriger water levert aan het beeksysteem (Kwak & Stortelder, 2006). Een stappenplan voor beekherstel is weergegeven in Appendix M.
- Wat verder ook van belang is voor natuurontwikkeling is variatie in het dwarsprofiel en een grote samenhang over de gehele lengte van de beekloop. Planten en dieren moeten de mogelijkheid hebben zich te vestigen. De natuur verplaatst zich deels alleen stroomafwaarts (zaden) en deels beide kanten op. Voor succesvol beekherstel is het van belang dat bovenstrooms kwalitatief goed ontwikkelde natuur (bijvoorbeeld oude beekbegeleidende bossen) op het beeksysteem is aangesloten. Vissen en andere waterfauna moeten ook stroomopwaarts kunnen trekken, niet gehinderd door barrières, bijvoorbeeld voor de voortplanting en voor hervestiging in de bovenlopen na perioden van droogte.
- Een manier om de beek in te richten dit is al gerealiseerd in de Springendalse Beek is om de beekoevers te verstevigen met bomen. In de beekoevers kunnen elzen kiemen. Zij houden de oevers stevig en laten de beek in de bomen 'hangen'. Beschaduwing bevordert bovendien het voortbestaan van koud water minnende beekfauna. Een afwisseling van bos en open plekken houdt daarnaast de temperatuur van het beekwater op orde en bevordert de diversiteit van flora en fauna (Eysink, Verdonschot & de Bonte, 2007).
- Beekherstel wordt meer en meer uitgevoerd, niet alleen in Nederland maar ook in de rest van de wereld. Langzamerhand komen daar ook meer publicaties over. Een advies van onderzoekers en beheerders bij de Springendalse Beek is als volgt (Bron: Eysink & Verdonschot, 2007):
  - Streef bij het beheer steeds kwaliteit in het ecosysteem na en benader het volgens de vijf s-sen: zorg voor een natuurlijk systeem, let op stroming, op stoffen zoals nutriënten en op structuren van planten- en diersoorten die door het beeksysteem worden aangetrokken.

# Afstudeeronderzoek naar hydraulische en morfologische effecten van maatregelen voor beekherstel.



- Benader het beekdal als geheel, zie een beek als een watersysteem met bijbehorende beekdalen, niet als één van de twee.
- Heb geduld met genomen maatregelen, sommige maatregelen hebben een lange tijd nodig om tot uiting te komen.
- Elke maatregel die men neemt heeft consequenties voor anderen en kan een keten van effecten veroorzaken. Ga het gesprek aan met stakeholders en leg uit wat er moet gebeuren, leg ook de ingeschatte consequenties uit, onderzoek of de oorzaak van veronderstelde schade ook daadwerkelijk door de maatregelen komt. Hoor de wensen van de omliggende eigenaren aan, zoek oplossingen en zorg dat de stemming op orde blijft. Landbouw, recreatie, andere nijverheid en omwonenden hebben serieuze wensen. Neem ook de cultuurhistorische waarde in ogenschouw.
- Ecologische verbindingen zijn niet altijd gewenst. Soms is het beter een systeem te isoleren. Bufferzones zijn dan wel noodzakelijk, zij hebben zowel een beschermende als een verrijkende rol.
- Het is nuttig wetenschappelijke publicaties te raadplegen, maar voor een optimaal beheer is het zinvol er deskundigen bij te betrekken.

Verschillende waterschappen hebben ook nog enkele tips gegeven, deze zijn als volgt:

- Ieder project is maatwerk;
- Er is (veel) ruimte nodig, zonder ruimte is beekherstel onbegonnen werk, een extra strook van 5-10 meter is te weinig, wachten tot meer ruimte beschikbaar is heeft dan de voorkeur;
- Zoek het vroegere traject en bedenk hoe je dat kunt herstellen of nabootsen;
- Stuwwalbeken zouden voor 80 % beschaduwd moeten zijn, beplanting of spontane ontwikkeling van de oeverstroken (5-15 m breed) behoort ook bij herstel;
- In een open gebied met veel lichtinval, zeker bij voedselrijkere wateren, kun je uitbundige vegetaties aantreffen die je kunt gebruiken als natuurlijke stuwen, mits je een goed systeem er achter hebt zitten om te maaien zodra er overlast dreigt te ontstaan.