

32/446 (560)  
2<sup>e</sup> ex

## **Monitoring beekherstel**

**Ontwikkeling van de beekmorfologie en het aquatisch-ecologisch herstel in de beekherstelprojecten de Aa, Keersop-Gagelvelden en Tongelreep-Achelse Kluis**

**A.J.M. Koomen  
G.J. Maas  
H.P. Wolfert  
C.N. Beljaars**

**BIBLIOTHEEK "DE HAARF"  
Droevendaalsesteeg 3a  
6708 PB Wageningen**

**Rapport 560**

**DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1998**

955972

## REFERAAT

Koomen, A.J.M., G.J. Maas, H.P. Wolfert en C.N. Beljaars, 1998 *Monitoring beekherstel; ontwikkeling van de beekmorfologie en het aquatisch ecologisch herstel in de beekherstelprojecten de Aa, Keersop-Gagelvelden en Tongelreep-Achelse Kluis*, Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 560; 132 blz.; 44 fig.; 6 tab.; 12 ref.; 10 aanh..

Beekherstel in Nederland vindt op vele locaties met diverse methoden plaats. De kennis over deze beeksystemen is echter beperkt. Daarom is in gezamenlijk overleg tussen de Provincie Noord-Brabant, waterschap De Aa, waterschap De Dommel en DLO-Staring Centrum besloten tot het uitvoeren van een monitoringsproject van drie beekherstelprojecten (De Aa bij Helmond, Keersop-Gagelvelden en Tongelreep-Achelse Kluis) gedurende een periode van twee jaar. De monitoring werd gericht op ontwikkelingen in geomorfologie en macrofauna na hermeandering. Er blijken grote verschillen te zijn tussen de beken onderling; niet alleen verschilt de dynamiek, ook het verschil in bodemtype blijkt een grote rol te spelen.

Trefwoorden: geomorfologie, laaglandbeken, macrofauna, monitoring, substraat

ISSN 0927-4499

© 1998 DLO Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO),  
Postbus 125, NL-6700 AC Wageningen.  
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: [postkamer@sc.dlo.nl](mailto:postkamer@sc.dlo.nl)

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum.

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

## **Inhoud**

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Achtergronden	11
1.2 Doelstelling	12
1.3 Opzet van het rapport	12
2 Landschappelijke setting en methode	15
2.1 Landschappelijke setting van de beken	15
2.1.1 De Aa	15
2.1.2 Keersop	18
2.1.3 Tongelreep	21
2.1.4 Onderlinge vergelijking van de landschappelijke setting	24
2.2 Wijze van hermeandering	24
2.2.1 De Aa	25
2.2.2 Keersop	25
2.2.3 Tongelreep	26
2.3 Werkwijze monitoringsonderzoek	27
2.3.1 Selectie meetmeander	27
2.3.2 Hydrologische monitoring	27
2.3.3 Geomorfologische kartering van beekstructuren	28
2.3.4 Dwarsprofielen	30
2.3.5 Macrofauna	31
2.3.6 Overzicht monitoringsactiviteiten	31
3 Resultaten van de monitoring bij de Aa	33
3.1 Water in de Aa	33
3.1.1 Debietsgegevens	33
3.1.2 Grondwaterstanden	34
3.2 Ontwikkeling beekmorfologie	34
3.2.1 Oevers	34
3.2.2 Bedding	35
3.3 Ontwikkeling van erosie en sedimentatie	36
3.4 Macrofauna	38
3.5 Samenvatting en conclusies monitoring de Aa	39
4 Resultaten van de monitoring bij Keersop-Gagelvelden	41
4.1 Water in de Keersop	41
4.1.1 Debietsgegevens	41
4.1.2 Grondwaterstanden	41
4.2 Ontwikkeling beekmorfologie	42
4.2.1 Oevers	42
4.2.2 Bedding	44
4.3 Ontwikkeling van erosie en sedimentatie	52

4.3.1	Erosie en sedimentatie in de zandvang	52
4.3.2	Erosie en sedimentatie in de meetmeander	53
4.4	Macrofauna	55
4.5	Samenvatting en conclusies monitoring Keersop	57
5	Resultaten van de monitoring bij Tongelreep-Achelse Kluis	59
5.1	Water in de Tongelreep	59
5.1.1	Debietsgegevens	59
5.1.2	Grondwaterstanden	59
5.2	Ontwikkeling beekmorfologie	60
5.2.1	Oevers	60
5.2.2	Bedding	61
5.3	Ontwikkeling erosie en sedimentatie	73
5.3.1	Erosie en sedimentatie in de zandvang	73
5.3.2	Erosie en sedimentatie in de meetmeander	75
5.4	Macrofauna	77
5.5	Samenvatting en conclusies monitoring Tongelreep	78
6	Discussie en conclusie	79
6.1	De methoden	79
6.1.1	Hydrologie	79
6.1.2	Geomorfologie	80
6.1.3	Macrofauna	81
6.2	Vergelijking van de beken onderling	81
6.2.1	Beekmorfologie	82
6.2.2	Erosie en sedimentatie	83
6.2.3	Macrofauna	84
6.3	Eindoordeel	85
6.3.1	Methoden	85
6.3.2	Doelstelling	86
7	Aanbevelingen	89
7.1	Aanbevelingen voor beekherstel	89
7.1.1	Aanbevelingen voor de Aa, Keersop en Tongelreep	89
7.1.2	Aanbevelingen voor toekomstige beekherstelprojecten	90
7.2	Aanbevelingen voor verder onderzoek	95
	Literatuur	97

## Woord vooraf

In opdracht van de Provincie Noord-Brabant heeft DLO-Staring Centrum in samenwerking met waterschap De Aa en waterschap De Dommel een monitoringsonderzoek uitgevoerd naar de effecten van beekherstelmaatregelen op drie beken in Oost-Brabant (de Aa, Keersop, Tongelreep-Achelse Kluis) gedurende een periode van minimaal twee jaar aansluitend op de herstelmaatregelen (de Aa 1995-1996, Keersop 1994-1997 en Tongelreep 1995-1997). Hierbij is gekeken naar ontwikkelingen in de geomorfologie en de aquatische ecologie. De methode en de resultaten van dit onderzoek worden in dit rapport gepresenteerd.

Het onderzoek bestond uit een aantal onderdelen, waarbij de coördinatie bij DLO-Staring Centrum berustte. Geomorfologische karteringen zijn uitgevoerd door A.J.M. Koomen en G.J. Maas, beiden van DLO-Staring Centrum. Dwarsprofielmetingen, afvoermetingen en stroomsnelheidsmetingen waren bij het waterschap De Aa in handen van W. Velthuijs. Bij waterschap De Dommel coördineerde M. van de Wouw deze werkzaamheden. Macrofauna-onderzoek voor alle beken werd uitgevoerd door M. Farhani-Nooyen en gecoördineerd door C. Beljaars van de GTD-Oost-Brabant. C. Beljaars is tevens auteur van de delen van het rapport die over de macrofauna handelen. Grondwaterstandsmetingen zijn gedaan door Staatsbosbeheer (Tongelreep) en Natuurmonumenten (Keersop). Bodembeschrijvingen zijn gemaakt door E. Bakker (stage) en G.J. Maas.

Uitwerking en analyse van de gegevens is uitgevoerd door A.J.M. Koomen, G.J. Maas en H.P. Wolfert, allen van DLO-Staring Centrum.

Bij het monitoringsonderzoek functioneerde een begeleidingsgroep, bestaande uit:

- M. Brand (Dienst Landelijk Gebied)
- J. Elemans (Waterschap De Dommel)
- J. Hemelraad (Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost-Brabant)
- A. Mol (Provincie Noord-Brabant)
- P. Promes (Waterschap De Aa)
- A. Scheffer (Provincie Noord-Brabant)
- G. Schouten (Dienst Landelijk Gebied)
- J. van Rijen (Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Viserij; NBLF)
- H. Wolfert (DLO-Staring Centrum).



*Aa (boven), Keersop (midden) en Tongelreep (onder) kort na aanvang van de monitoringsactiviteiten*

## Samenvatting

Beekherstel in Nederland wordt op vele locaties en met verschillende maatregelen toegepast. De kennis over de fysische/geomorfologische aspecten van laaglandbeken is echter beperkt. Een beter inzicht in deze beeksystemen kan een hulpmiddel zijn bij beekherstel. Daarom is in gezamenlijk overleg tussen de provincie Noord-Brabant, waterschap De Aa, waterschap De Dommel en DLO-Staring Centrum besloten om drie beekherstelprojecten (De Aa bij Helmond, Keersop-Gagelvelden, en Tongelreep-Achelse Kluis) in Noord-Brabant na herstelmaatregelen (hermeandering) te monitoren. Ontwikkelingen in geomorfologie en macrofauna zijn over een periode van minimaal twee jaar aansluitend op herstel gevolgd.

Er zijn drie doelstellingen geformuleerd. Het onderzoek moet inzicht opleveren in de grootte van het zandtransport in de beken na de herstelmaatregelen. Voorts worden de geomorfologische ontwikkelingen en processen gevolgd en beschreven. Tenslotte moet het herstel (ten opzichte van de referentie-situatie; voor herstel) van aquatisch-ecologische waarden worden gevolgd.

Om aan bovenstaande doelen te beantwoorden is een uitgebreide serie metingen opgezet. De metingen vallen uiteen in drie categorieën: water, morfologie en ecologie. Metingen met betrekking tot water omvatten afvoer, stroomsnelheid en grondwaterstanden. De geomorfologische metingen bestaan uit karteringen van bedding en oevers en het meten van dwarsprofielen. Voor de aquatisch-ecologische monitoring wordt de macrofauna bemonsterd en beschreven. De metingen verschillen in frequentie.

De resultaten zijn zowel kwantitatief als kwalitatief beschreven. De Tongelreep blijkt de meest dynamische beek te zijn. Het zandtransport is hier omvangrijk. Diversiteit van het substraat in de bedding is na herstel toegenomen. De slechte waterkwaliteit maakt herstel van aquatisch-ecologische waarden vooralsnog onmogelijk. De Aa valt te omschrijven als een weinig dynamische beek. Ontwikkelingen in morfologie zijn hier klein. De bron van de Aa is een inlaatpunt aan de Zuid-Willemsvaart. Hierdoor krijgt de Aa geen piekafvoeren te verwerken, essentieel voor de morfologische ontwikkeling. Het ontbreken van een bovenstroomse tak maakt ook de stroomafwaartse migratie van macrofauna soorten onmogelijk. Hierdoor blijft het aquatisch-ecologisch herstel eveneens achterwege. Qua dynamiek zit de Keersop tussen de Aa en de Tongelreep in. De Keersop heeft tijdens de monitoringsperiode positieve ontwikkelingen laten zien, zowel vanuit de morfologie (sterke toename in diversiteit aan substraten) als vanuit de aquatische-ecologie (meer en meer waardevolle soorten). Hiermee is de Keersop het meest succesvolle herstelproject van de drie.

Uit dit monitoringsproject blijkt dat een aangesloten bovenstrooms gedeelte van een beek van belang is voor zowel de morfologische ontwikkeling (piekafvoeren) als de aquatisch-ecologische ontwikkeling (stroomafwaartse migratie van macrofauna-soorten). Ook blijkt het ontwerp een grote invloed te kunnen hebben. Het meenemen

van historische informatie over dimensies en dynamiek bij de planvorming kan een waardevolle aanvulling zijn. Informatie over bodemopbouw en materialen is van belang want deze bepaalt in hoge mate de gevoeligheid voor erosie. Migratie van meanders blijkt zelfs bij de meest dynamische beek (Tongelreep) gering te zijn. Het aankopen van grote arealen land om de beek ruimte te geven blijkt niet noodzakelijk. Wel is een buffer aan weerszijden van de beek, waar deze zich ongestoord kan ontwikkelen een positieve factor. Tenslotte blijkt de waterkwaliteit essentieel te zijn voor de mogelijkheden van herstel voor de macrofauna.



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergronden

De beken in Nederland zijn in het verleden op grote schaal genormaliseerd. Reden hiervoor was vaak ontwatering ten behoeve van de landbouw. Hierbij werden meanders afgesneden om een snellere afwatering te garanderen. Het plaatsen van stuwen maakte dat het peil kon worden gestuurd. Dit ingrijpen in beeksystemen had tot gevolg dat de mogelijkheden voor een divers systeem, zowel vanuit de geomorfologie als de ecologie, in de rechtgetrokken beken sterk afnam. Bovendien werd door de intensivering van de landbouw de corridorfunctie van beekdalen aangetast. Beekdalen lenen zich uitstekend als verbinding tussen leefgebieden voor plant en dier. In de Ecologische HoofdStructuur (EHS) spelen beekdalen dan ook een belangrijke rol.

In verschillende plannen van de verschillende overheden en waterschappen (Natuurbeleidsplan, 1990; Waterhuishoudingsplan provincie Noord-Brabant, 1991 en in waterbeheerplannen van waterschappen) is en wordt herstelbeleid voor de in het verleden genormaliseerde beken geformuleerd. Hoe dit beekherstel in de praktijk moet worden gerealiseerd is de volgende stap. Hiervoor zijn verschillende aanpakken denkbaar. Maatregelen voor herstel kunnen variëren van aanzetten tot meandering door middel van het plaatsen van driehoekskribben en het licht vergraven van het lengteprofiel, tot het volledig opnieuw graven van een hermeanderingstraject, al dan niet gelegen in de oude loop. Een meanderende beek kent meer variatie in zowel geomorfologie alsmede in ecologie (waarbij de factor waterkwaliteit belangrijk is) dan een genormaliseerde. De variatie van de geomorfologie (verschillende vormen en materialen in de bedding) in een beekdal is de basis voor de variatie in de ecologie (diverse habitats).

Herstelmaatregelen leiden niet onder alle omstandigheden tot een toename in diversiteit (Wolfert, 1991). Uit metingen bij natuurlijke beeksystemen is gebleken dat de veranderingen in beeksystemen zich maar langzaam voltrekken. Het is ook niet zo dat het hergraven van de meanders in een beek een garantie is voor het terugkeren van natuurlijke processen (Wolfert, 1991). Een en ander hangt af van lokale omstandigheden zoals het bodemmateriaal, maar vooral van de verhouding tussen het debiet en het natte profiel.

Er is in Nederland relatief weinig ervaring opgedaan met de wijze waarop hermeandering effectief kan worden uitgevoerd. Met name de kennis op geomorfologisch gebied met betrekking tot beekherstel is gering. De te verwachten effecten na herstelmaatregelen zijn daarom moeilijk in te schatten. In gezamenlijk overleg tussen de betrokken instanties is daarom besloten een monitoringsonderzoek uit te voeren bij drie herstelprojecten (de Aa, Keersop-Gagelvelden en Tongelreep-Achelse Kluis), om een evaluatie van de effecten bij de herstelprojecten mogelijk te maken.

Veel plannen voor het herstel van beken in Nederland zullen in de nabije toekomst ten uitvoer worden gebracht. Ook op het gebied van de planvorming zal nog veel werk worden verzet. Deze toekomstige projecten zullen gebruik kunnen maken van de in dit monitoringsproject verkregen inzichten en kennis.

## **1.2 Doelstelling**

De monitoring van de beekmorfologie en het ecologisch herstel richt zich bij dit onderzoek op:

1. De ontwikkeling van de beekmorfologie
2. Inzicht in de omvang van erosie en sedimentatie
3. Het aquatisch-ecologisch herstel

ad 1) Hoe ontwikkelen zich de processen van erosie en sedimentatie, en de migratie van meanders in de tijd? Wat zijn de effecten van de seizoenen op de beekmorfologie? Kennis over deze zaken is van belang voor het waterbeheer, maar ook bijvoorbeeld bij planvorming voor de inrichting van terreinen en de aankoop ervan bij andere herstelprojecten.

ad 2) Vaak worden er voorwaarden aan beekherstelprojecten gesteld vanwege eventueel te verwachten problemen bij overmatig sedimentatie benedenstrooms van het hermeanderingstraject. Door metingen aan zandvangen is een indruk gekregen van de omvang van het zandtransport en welke factoren daarbij een rol spelen. Voorts kunnen de effecten van erosie en sedimentatie kwalitatief en kwantitatief (bij de dwarsprofielen) worden beschreven.

ad 3) Verwacht wordt dat na de periode van monitoring het herstel van levensgemeenschappen in de beek nog niet voltooid zal zijn. Wellicht kunnen de eerste voorzichtige tekenen worden waargenomen.

Naar verwachting leveren de gecombineerde resultaten voor elk van de drie projecten een vrij compleet beeld van wat er te verwachten is bij herstel van het meanderende karakter van beken van dit formaat in Midden-Brabant en overeenkomstige gebieden. Er wordt naar gestreefd om kwalitatief en/of kwantitatief de effecten van de wijze van hermeandering en die van piekafvoeren op de beekmorfologie, het sedimenttransport en de habitatfunctie op momenten en ontwikkelingen in de tijd te beschrijven.

## **1.3 Opzet van het rapport**

De herstelprojecten en de methoden van onderzoek worden besproken in hoofdstuk 2. Allereerst zal de ligging, hydrologische en bodemkundige setting en de wijze van hermeandering worden besproken. Daarna de kartering, het meten van dwarsprofielen, het meten van afvoermetingen, stroomsnelheden, grondwaterstanden en het onderzoek naar de macrofauna kort worden besproken.

In hoofdstuk 3, 4 en 5 worden de resultaten besproken voor achtereenvolgens de Aa, Keersop en Tongelreep. Deze hoofdstukken vallen uiteen in een deel over de hydrologie (afvoer en grondwaterstanden) en in een deel waarin de ontwikkelingen

van het betreffende beekstelsysteem wordt besproken (kwalitatief: de ontwikkeling van de beekmorfologie; kwantitatief: erosie en sedimentatie). Ook zullen de resultaten van het macrofauna-onderzoek worden beschreven. Aan het einde van de hoofdstukken 3, 4 en 5 een korte samenvatting van de resultaten voor de betreffende beek worden gegeven.

Conclusies over het beekherstelproject, de methode en de vergelijking van de beken onderling zullen in hoofdstuk 6 worden gepresenteerd. In hoofdstuk 7 zullen aanbevelingen voor toekomstige beekherstelprojecten in het algemeen worden gedaan op basis van de resultaten uit dit project.

In de aanhangsels achterin dit rapport zijn alle gegevens opgenomen van het onderzoek betreffende afvoeren, stroomsnelheden, grondwaterstanden, oeverontwikkeling, habitat-ontwikkeling, dwarsprofielen, en macrofauna.

## 2 Landschappelijke setting en methode

Bij het monitoringsproject zijn drie beken betrokken. De Aa bij Helmond, Keersop-Gagelvelden en Tongelreep-Achelse Kluis. In het vervolg van het rapport zullen de beken worden aangeduid met respectievelijk de Aa, Keersop en Tongelreep. De volgorde waarin de beken staan genoemd is gebaseerd op verschillen in dynamiek. De dynamiek bij de Aa is het laagst, terwijl die bij de Tongelreep het grootst van de drie is. Alle drie beken zijn door middel van hermeandering aangepast om natuurlijke processen weer een kans te geven. Naast deze natuurlijke processen speelt ook het kunnen handhaven van een minimum waterpeil een rol om verdroging te kunnen tegengaan. Het ontwerp van de hermeandering is een resultaat van de combinatie tussen historisch kaartmateriaal enerzijds en een aantal randvoorwaarden (met name voor mogelijke overstromingen) anderzijds.

In het vervolg van dit rapport zullen de gedeelten van de beken die door hermeandering zijn hersteld, worden aangeduid met de term *hermeanderingstraject*. Het geselecteerde gedeelte hierbinnen waar het onderzoek zich op toespitst zal worden aangeduid met de term *meetmeander*. In andere gevallen waar een gedeelte van het hermeanderingstraject buiten de meetmeander wordt bedoeld zal de term *deeltraject* worden gebruikt.

Allereerst zal voor de Aa, Keersop en Tongelreep de landschappelijke setting (ligging, hydrologie en bodem) worden besproken, daarna de wijze van hermeandering (paragraaf 2.2). In de laatste paragraaf zal worden ingegaan op de methode van het monitoringsonderzoek (paragraaf 2.3).

### 2.1 Landschappelijke setting van de beken

Om inzicht te krijgen in het type beken dat bij het onderzoek betrokken is, worden in deze paragraaf de ligging, de hydrologie en de bodem kort beschreven.

#### 2.1.1 De Aa

##### *Ligging*

De loop van de Aa (vroeger Oude Aa of Bakelse Aa) is door de aanleg van een omleidingskanaal van de Zuid-Willemsvaart in twee stukken gedeeld. Het eerste stuk mondt uit in het omleidingskanaal, het tweede stuk begint direct aan de overkant van het omleidingskanaal. Deze locatie ligt juist ten noorden van Helmond. Het hersteltraject bevindt zich in de bovenloop van het tweede gedeelte (fig. 1).

##### *Bodem*

De bodem van het hersteltraject bij de Aa wordt gedomineerd door veen en matig fijn zand (fig. 2). In profiel 1 is een veenkom van 3 meter diep aanwezig. Waarschijnlijk een opvulling van een oude loop. Een dekzandrug die noordoost-zuidwest verloopt

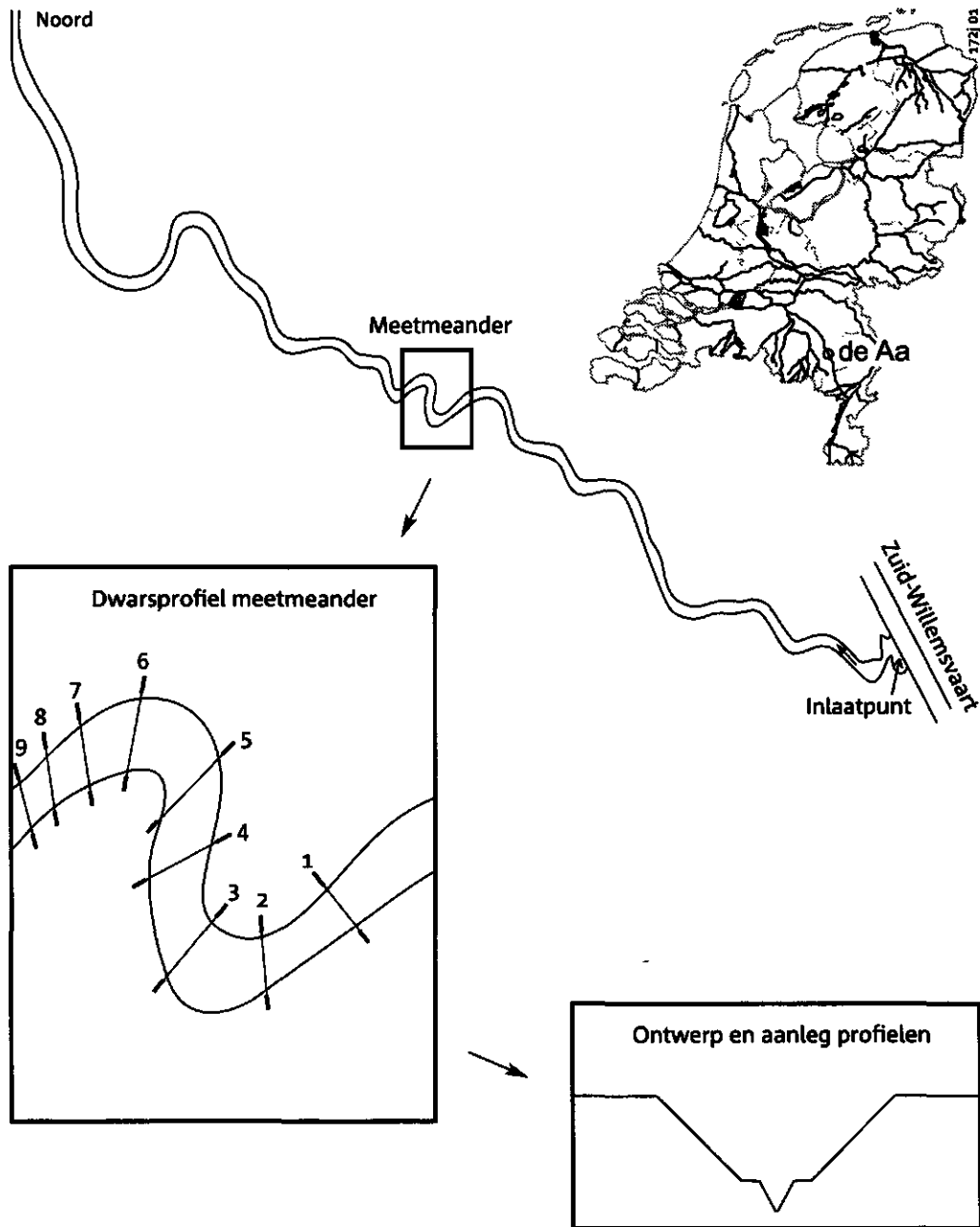


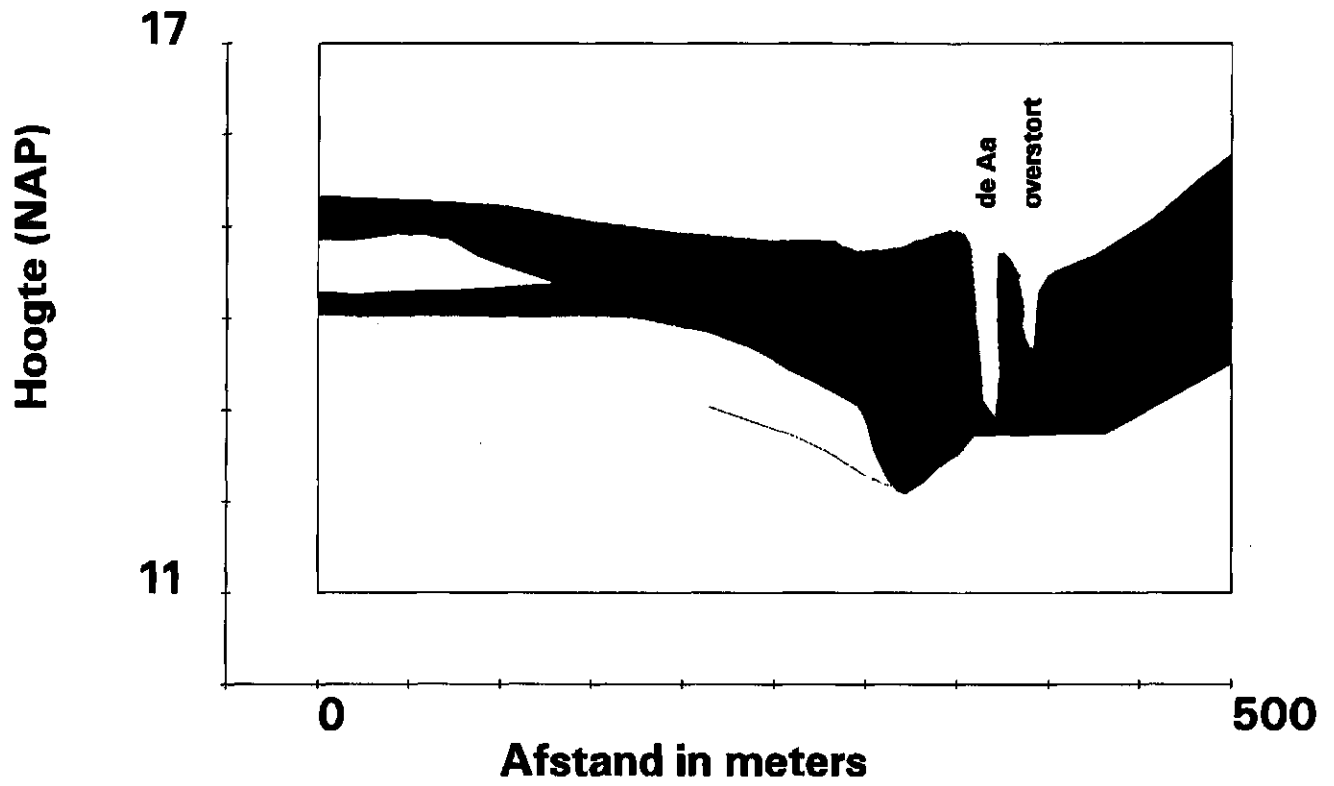
Fig. 1 Ligging en ontwerp hermeanderingsproject de Aa

heeft in het verleden een stagnerende werking gehad op de waterafvoer van het gebied waardoor veengroei op gang kwam (Rijks Geologische Dienst, 1973). Naast dekzand komt sterk lemig zand voor. Op een aantal locaties komt ijzeroer voor.

### Hydrologie

De hermeanderende Aa is niet meer aangesloten op zijn bovenloop omdat de omlegging van de Zuid-Willemsvaart de hermeanderende Aa van zijn brongebied scheidt. De hermeanderende Aa wordt nu met water uit de Zuid-Willemsvaart gevoed. Regionale diepe kwel speelde in het beekdal een belangrijke rol, waarbij

### Bodemprofiel 1



### Bodemprofiel 2

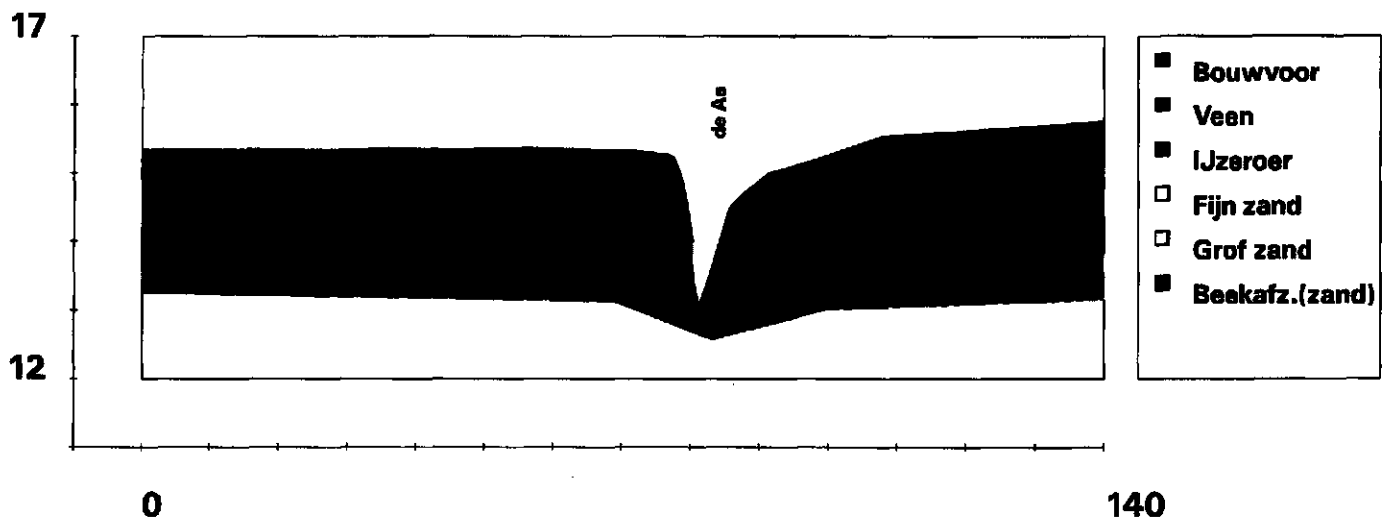


Fig. 2 Bodemopbouw van de Aa, profiel 1 en 2 (West-Oost)

kalkrijk water werd aangevoerd. Sinds de aanleg van het omleggingskanaal is de betekenis van deze diepe regionale kwel afgenomen. Locale kwel als gevolg van het hogere peil in het kanaal is wel aanwezig. Dit is van belang voor het gebied tussen het kanaal en de Aa in waar een vochtminnende vegetatie aanwezig is.

De waterkwaliteit in de Aa is matig. Het water dat via het kanaal wordt ingelaten is voedselrijk te noemen. Andere verontreinigingen zoals zware metalen en sporen van afvalwater komen in het water van de Aa niet voor.

### **2.1.2 Keersop**

#### ***Ligging***

Keersop-Gagelvelden ligt net iets ten zuiden van Veldhoven. Het beekdal van de Keersop wordt hier aan de westzijde begrensd door de Keersopperdreef (lokale weg die op de beekdalgrens loopt). Aan de oostzijde bevindt zich het dal van de Dommel. Het hermeanderingstraject is het laatste gedeelte van het benedenstroomse gedeelte van de Keersop voordat deze uitmondt in de Dommel. Hierbinnen bevindt zich de meetmeander (fig. 3).

#### ***Bodem***

Dwars op het beekdal van de Keersop zijn een tweetal profielen uitgeboord (fig. 4). Uit deze profielen blijkt dat de voorkomende afzettingen aan het oppervlak in dit gebied van laat-pleistoceen en holocene ouderdom zijn. De grove, grindrijke zanden onderin de profielen zijn in het verleden afgezet door de Maas (Formatie van sterksel).

In beide profielen zijn diepe veenkommen te zien. Deze veenkommen komen ook voor in het dal van de Dommel. Hier worden deze diepe insnijdingen toegeschreven aan een Laat-Pleistocene fase van verwilderde beken en kleine rivieren. De veenkommen in de profielen bij de Keersop zijn vergelijkbaar met die bij de Dommel. Samen met het feit dat de Keersop tegen het dal van de Dommel aanligt maakt het aannemelijk dat de veenkommen in de Keersop dezelfde ouderdom hebben als die in het dal van de Dommel.

De Brabantse leem (Formatie van Nuenen) werd door de wind afgezet in meren en vochtige depressies. De lemige zanden (Formatie van Nuenen) zijn van fluvio-periglaciale oorsprong, en zijn in een verwilderd rivierpatroon afgezet (Rijks Geologische Dienst, 1985). Waarschijnlijk komen ze in ouderdom overeen met het ontstaan van de diepe veenkommen. De laag met sterk lemig zand en veel ijzer is het gevolg van stagnerend grondwater op de leembanken. Hierdoor is het ijzer gaan oxideren en heeft ijzerbanken gevormd (oerbanken).

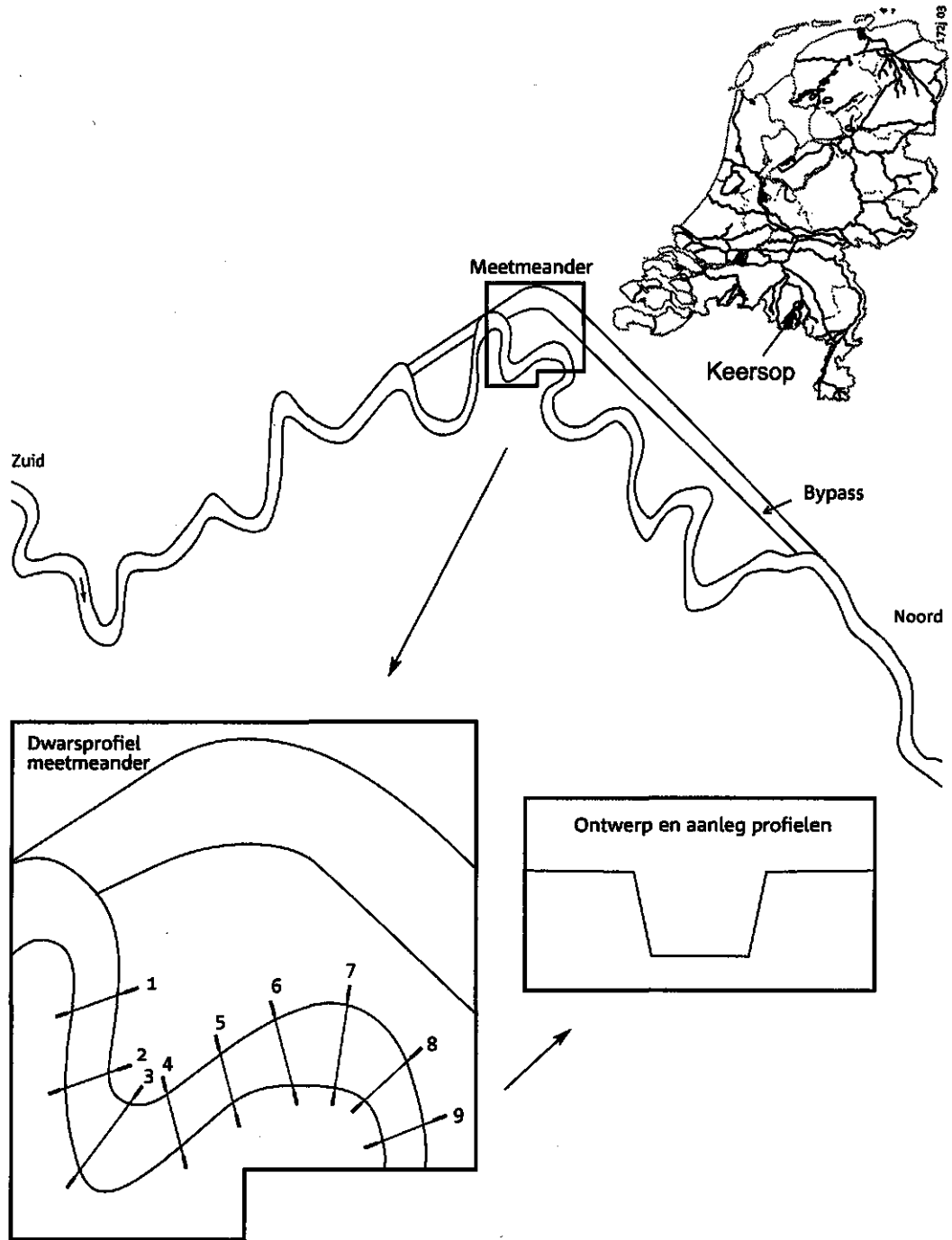


Fig. 3 Ligging en ontwerp hermeanderingsproject Keersop-Gagelvelden



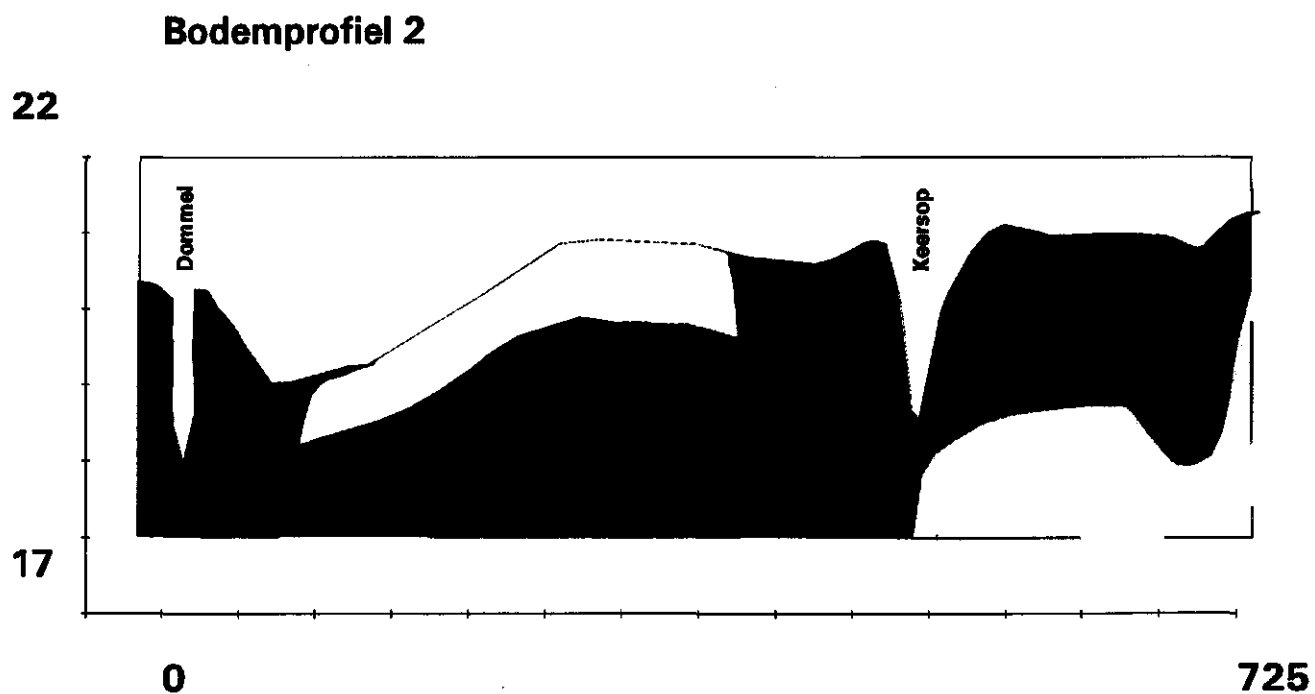
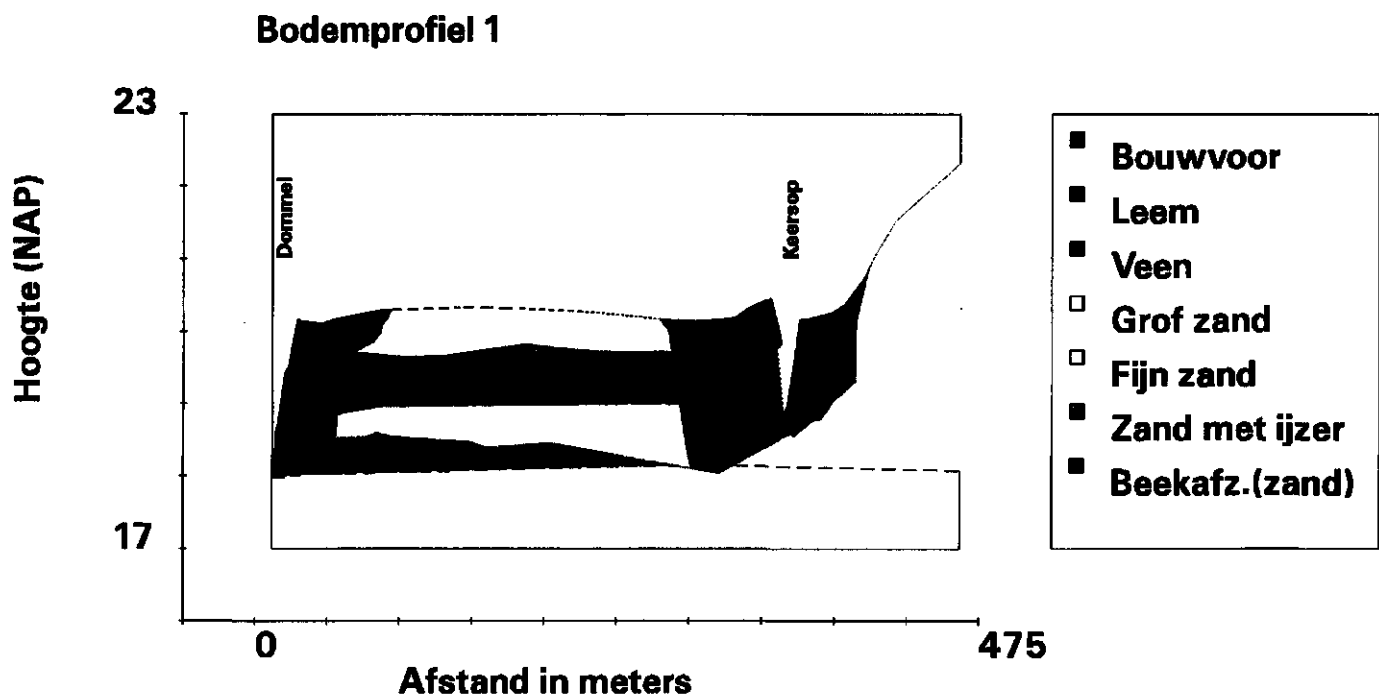


Fig. 4 Bodemopbouw Keersop, profiel 1 en 2 (Oost-West)

Dekzandruggen komen in het gebied veelvuldig voor. In profiel 1 is te zien dat het beekdal hier wordt afgegrensd door een dekzandrug. De reeds eerder genoemde Keersopperdreef ligt bovenop deze rug.

Het beekdal wordt gekruisd door de Feldbisstoring. Deze geologische breuk is in het landschap op deze locatie niet zichtbaar. De exacte ligging en de invloed daarvan op de beek zijn daarom moeilijk te bepalen. Op basis van geologische kaarten blijkt dat de breuk het beekdal ongeveer ter hoogte van het begin van de meetmeander kruist. Bewegingen langs de breuk kunnen leiden tot veranderingen in het lokale verval van de Keersop.

### ***Hydrologie***

De Keersop is een zijbeek van de Dommel. Na het effluentiepunt van de Elzenloop en de Boschwijerloop ten oosten van Luyksgestel krijgt het de naam Keersop. Ten zuiden van Westerhoven mondt de Beekloop uit in de Keersop.

De stromingsrichting is tot voorbij Westerhoven zuidwest-noordoost. Daarna loopt de beek parallel aan de Feldbisstoring (zuid-noord); op de grens van het Kempisch Plateau en de Centrale Slenk. Direct na het passeren van deze breuk mondt de Keersop uit in de Dommel.

In het beekdal van de Keersop is sprake van lokale en regionale kwel. De lokale kwel treedt in het beekdal uit, nadat het in de naburige dekzandruggen is geïnfiltreerd. Regionale kwel is oorspronkelijk in het Kempisch plateau geïnfiltreerd, en komt in het beekdal omhoog.

## **2.1.3 Tongelreep**

### ***Ligging***

Het gedeelte van de Tongelreep dat is betrokken bij de herstelwerkzaamheden ligt direct ten noorden van het klooster Achelse Kluis. Het hermeanderingstraject heeft een lengte van ongeveer 2 kilometer en ligt geheel in het natuurontwikkelingsgebied Achelse Kluis. Het is direct naast gegraven de oude gekanaliseerde loop aangelegd. In figuur 5 is de ligging van het herstelproject aangegeven.

### ***Bodem***

Het beekdal van de Tongelreep wordt in het hersteltraject aan zowel de west als de oostzijde begrensd door dekzanden met direct daaronder fluvio-periglaciale zanden of Brabantse leem. Onder de oude bouwvoor komen diverse lagen voor, waarvan de meeste afkomstig zijn van een beekstelsysteem. Lokaal bevinden zich hierin platen van Brabantse leem. Om de opbouw van de bodem in het hersteltraject te achterhalen zijn twee dwarsdoorsneden gemaakt (fig. 6).

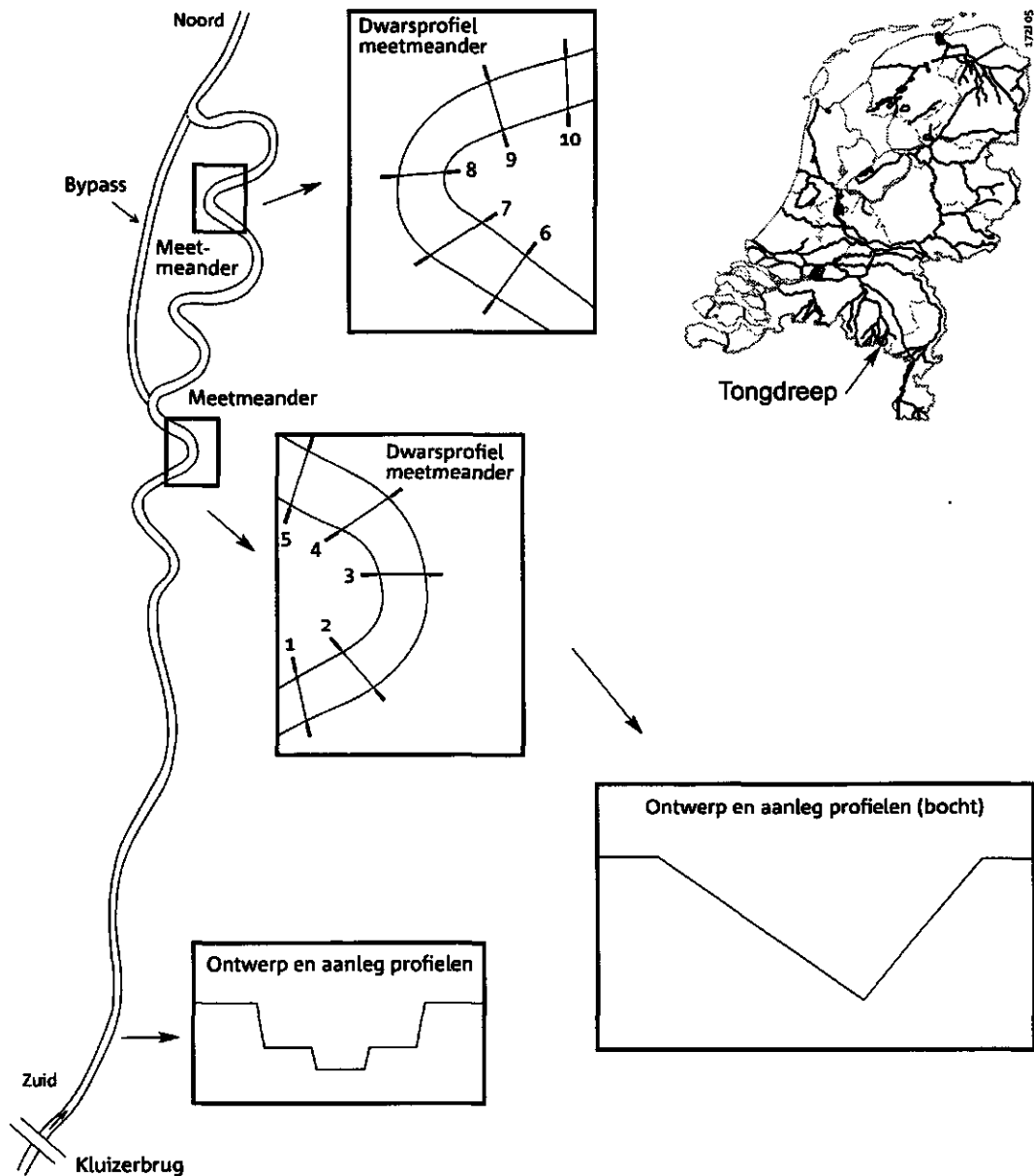


Fig. 5 Ligging en ontwerp hermeanderingsproject Tongelreep-Achelse Kluis

In figuur 6 (profiel 1) bevindt zich onder de bouwvoor een fijnzandige laag met enkele grindjes. Daaronder ligt een grofzandige laag met houtresten en grind. Vervolgens ligt er een pakket beekleem onder de grofzandige laag. Het is een zandige leem met hout- en plantenresten. Hieronder bevindt zich een laag met sterk lemig zand. De opbouw van profiel 2 komt grotendeels overeen met de opbouw in profiel 1. De lemige materialen ontbreken echter in profiel 2. Achter wat waarschijnlijk een oude oeverwal is, ligt in dit profiel een kom met veen.

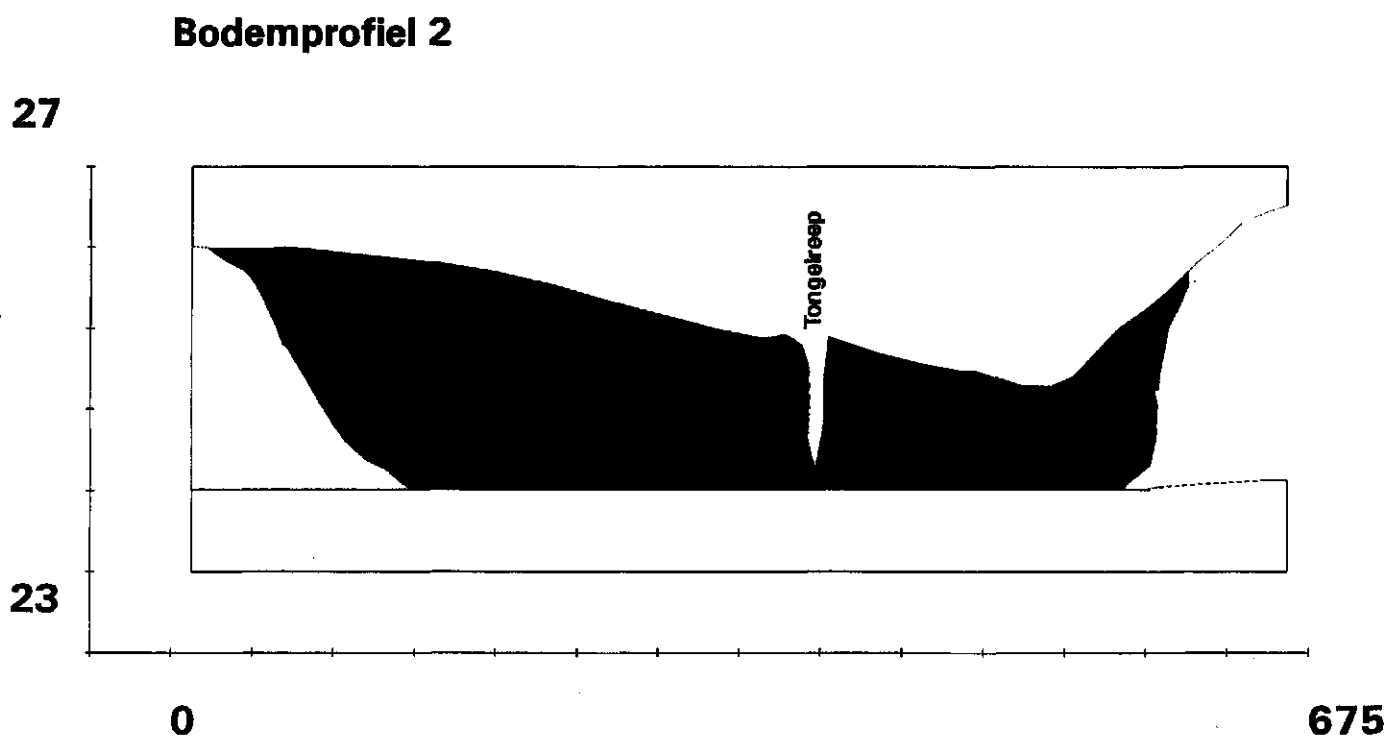
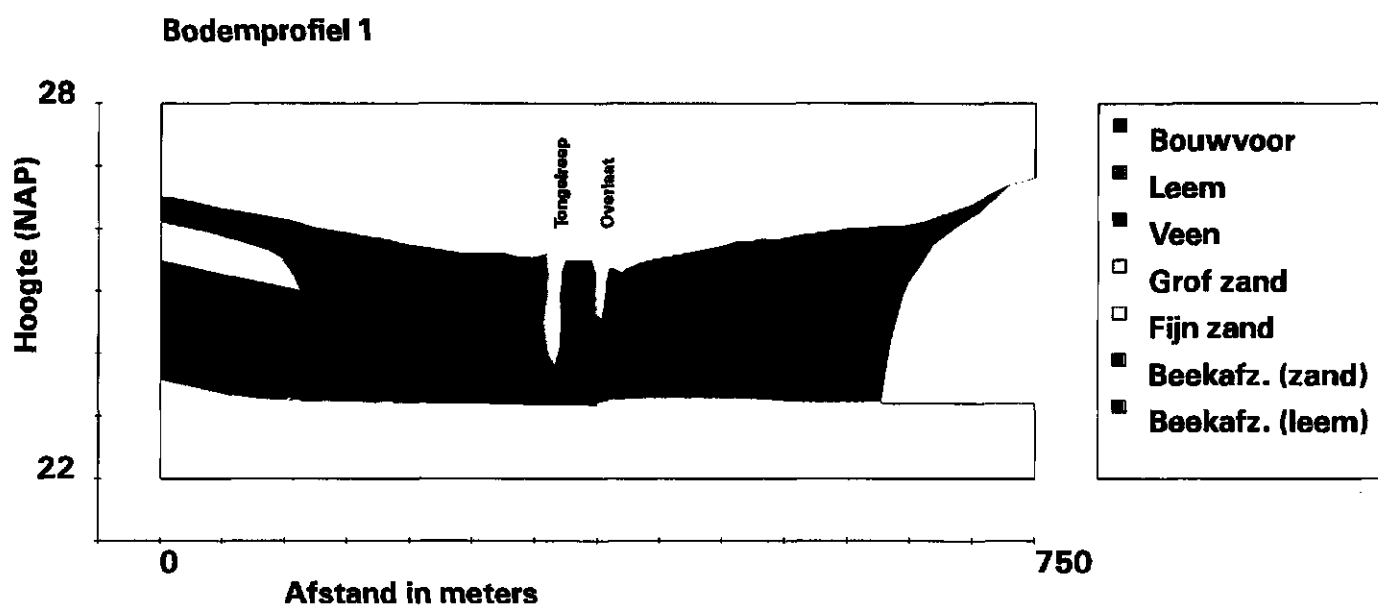


Fig. 6 Bodemopbouw Tongelreep, profiel 1 en 2 (Oost–West)

### **Hydrologie**

De Tongelreep heeft zijn oorsprong in België. Voordat de beek de grens met Nederland passeert monden drie zijbeekjes uit in de Warmbeek, zoals de Tongelreep in België wordt genoemd. De totale lengte van de Warmbeek en de Tongelreep bedraagt 23 kilometer. De stromingsrichting van de Tongelreep is zuid-noord; evenwijdig aan de hellingsrichting van de Centrale Slenk.

Kwel speelt een rol in het beekdal. Lokaal grondwater dat als regenwater in de omgeving is geïnfiltreerd treedt in het beekdal uit. Het zuidelijk deel van het beekdal staat onder invloed van kalkhoudend kwelwater dat in het Kempisch plateau is geïnfiltreerd.

De waterkwaliteit in de Tongelreep is slecht. De bodem in het gebied tot ongeveer 1970 zwaar belast met de input van zware metalen zoals zink en cadmium door de zinkverwerkende industrie. De grootste bijdrage aan de slechte waterkwaliteit is afkomstig van de gemeente Achel (België) die het huishoudelijk afvalwater direct in de Tongelreep loost vlak voordat het door het hersteltraject stroomt. Een afvalwaterzuiveringsinstallatie is in aanbouw en zal hopelijk enige verbetering van de waterkwaliteit tot stand brengen.

#### **2.1.4 Onderlinge vergelijking van de landschappelijke setting**

In tabel 1 staan een aantal feiten voor de drie beken naast elkaar weergegeven. Hieruit valt op te maken dat de Aa de minst dynamische beek is met een gering verhang ten opzichte van de Keersop en de Tongelreep. De Keersop en de Tongelreep ontlopen elkaar niet veel. De gemiddelde afvoer is in deze tabel gelijkgesteld aan de ontwerp-afvoer.

*Tabel 1: Gegevens over de beekherstelprojecten*

Project	Meander Ontwerp	Afvoer Ontwerp	Water-Kwaliteit	Gem. Afvoer m <sup>3</sup> /sec	Maatg. Afvoer m <sup>3</sup> /sec	Verhang m/km	Bodem
De Aa	Nieuwe loop	Kunstmatig debiet	Matig	1,2	4	0,41	Veen en fijn zand
Keer-Sop	Herstel oude loop	Overlaat	Goed	1,2	6	0,95	Fijn zand, veen op grof zand
Tongel-Reep	Nieuwe loop	Overlaat	Slecht	0,8	4	0,80	Fijn zand, grof zand en leem

#### **2.2 Wijze van hermeandering**

De drie beken die zijn hersteld verschillen in ontwerp. Niet alleen verschillen de dwarsprofielen in aanleg, ook de wijze van meandering (het meanderpatroon) is voor elk van de drie beken anders. Het verschil in ontwerp van het profiel tussen de beken heeft als reden dat de verschillende ontwerpen (fig. 1, 3 en 5) in de praktijk moeten voldoen aan verschillende randvoorwaarden (sediment, wateroverlast). Verschillen in

meanderstraal en meanderdichtheid (fig. 1, 3 en 5) zijn toegepast vanuit dezelfde optiek. Naast het profielontwerp is ook gebruik gemaakt van overlaten om inudaties te voorkomen (Keersop en Tongelreep).

### **2.2.1 De Aa**

Het feit dat de maximale afvoer in de hermeanderende Aa nagenoeg gelijk kan zijn aan die van de vroegere Aa (maximaal 4 m<sup>3</sup>/s) deed het idee ontstaan om de Aa weer te laten meanderen, waarbij het landschappelijke effect voorop stond. Het project bij de Aa onderscheidt zich onder andere van de andere twee doordat het water in deze beek kunstmatig, via een inlaat bij de Zuid-Willemsvaart, de beek instroomt. De Aa heeft dus geen bovenstrooms gedeelte, wat verwachtingen vanuit de ecologie gering maakt.

De hermeanderingswerkzaamheden bij de Aa zijn in november 1994 afgerond. Bij de aanleg van De Aa is gebruik gemaakt van het V-profiel (fig. 1), waarbij de helling 1:3,5 bedraagt. Dit geldt voor de rechte gedeelten van de beek. In de bochten verschuift deze helling naar een steilere (1:1) of een flauwere helling (1:6) afhankelijk van het feit of het een binnen- dan wel buitenbocht is. De binnenbochten zijn langer en flauwer, bij de buitenbochten is dit precies omgekeerd.

Het hermeanderende traject van de Aa kan in drie trajecten worden opgedeeld. Het eerste traject, direct na het inlaatpunt, is een licht meanderend deeltraject. In het tweede traject is de meanderdichtheid groter en zijn de meanderstralen kleiner (overeenkomstig met de vroegere natuurlijke situatie). Het laatste deeltraject laat een geringere meanderdichtheid zien met grotere meanderstralen (fig. 1). Bij de Aa zijn geen zandvangen aangelegd. Evenmin kent het hermeanderingstraject overlaten.

Bij de uitvoering van de herstelmaatregelen is beperkt rekening gehouden met de oude beekloop. Naast het raadplegen van oude kaarten zijn ook luchtfoto's gebruikt. In het tweede traject is de nieuwe loop overeenkomstig met de oude loop zoals die op de luchtfoto's zichtbaar was. Het overige hermeanderingstraject is geheel opnieuw gegraven.

### **2.2.2 Keersop**

Hermeandering bij de Keersop is gericht op herstel van hydrologische en geomorfologische kenmerken om zo de mogelijkheden te scheppen voor verdere ontwikkeling van natuurwaarden in het beekdal. De werkzaamheden zijn in mei 1994 gereed gekomen.

Bij de aanleg van het hermeanderingstraject is voor het profiel het trapeziumtype geselecteerd. Dit profiel wordt gekenmerkt door oevers met een helling van 45° aan weerszijden. De bedding ligt als een horizontale lijn tussen de oevers in (fig. 3). In de bochten is een geringe aanpassing aan het profiel gedaan door de binnenbochten iets minder steil aan te leggen.

Het herstelwerk bij de Keersop is gebaseerd op de oude natuurlijke loop. In het beekdal waren nog oude verlande meanders aanwezig. Het hermeanderingstraject loopt gedeeltelijk door deze oude meanders. De meanderdichtheid en de meanderstralen van bochten zijn overeenkomstig met de vroegere situatie en hebben dezelfde dimensies (fig. 3). De bedding van de genormaliseerde loop is opgehoogd zodat deze bij een afvoer groter dan 3 m<sup>3</sup>/s als overloop gaat fungeren. Bij lagere waterstanden stroomt het water dus volledig door het hermeanderingstraject. De overlopen bij de Keersop zorgen ervoor dat eventuele wateroverlast (inudaties) bij in het beekdal gelegen agrarisch land wordt voorkomen.

Bovenstrooms en benedenstrooms van het monitoringsproject zijn zandvangen aangelegd. De bovenstroomse wordt door middel van dwarsprofielmetingen gevolgd om inzicht te krijgen in het sedimenttransport.

### **2.2.3 Tongelreep**

Bij de Tongelreep is de hermeandering gericht op het realiseren van een zo goed mogelijke abiotische uitgangssituatie voor verdere ontwikkeling van natuurwaarden. De waterkwaliteit laat een ontwikkeling van een interessante macrofaunagemeenschap vooralsnog niet toe. Na de planvorming (Heidemij, 1991 en Oranjewoud, 1992) zijn de graafwerkzaamheden als gevolg van vertragingen (wettelijke procedures) pas in september 1995 afgerond.

De meanderende beekloop van de Tongelreep is nieuw gegraven in het bestaande beekdal. De genormaliseerde loop is geheel gedempt. De nieuwe loop ligt iets meer naar het westen, precies in het oude beekdal van voor de normalisatie. Lokaal doorsnijdt de nieuwe meanderende Tongelreep profielen van de oude. Met meanderdichtheid en/of meanderstralen van de oude loop is geen rekening gehouden bij de aanleg van het hermeanderingstraject, waarbij een aantal verschillende ontwerpen zijn toegepast. De randvoorwaarden dat de beek niet buiten zijn oevers mag treden en dat de zandlast benedenstrooms van het hermeanderingstraject niet mag toenemen liggen hieraan ten grondslag. In totaal kunnen vier deeltrajecten worden onderscheiden. Het eerste stuk heeft een lichte meandering in combinatie met een accoladeprofiel (fig. 5). Dit profiel kan piekafvoeren verwerken zonder dat dat tot overstromingen leidt. Het tweede deeltraject heeft een grove meandering en een bochtprofiel (fig. 5). Ook dit deeltraject krijgt piekafvoeren te verwerken. Het derde stuk heeft ook een grove meandering met een bochtprofiel. Piekafvoeren worden hier via een omleidingssloot afgevoerd. Het laatste deeltraject is met een trapeziumprofiel gegraven waarbij de beek licht meanderd. Inudatie wordt nergens toegelaten in verband met de slechte waterkwaliteit. Om het sedimentbudget van het hermeanderingstraject te kunnen bepalen zijn er boven- en benedenstrooms zandvangen aangelegd.

## **2.3 Werkwijze monitoringsonderzoek**

### **2.3.1 Selectie meetmeander**

Er is voor gekozen het monitoren van de beken te beperken tot de meetmeander. Door één volledige meanderbocht te selecteren voor de geomorfologische kartering en de meting van dwarsprofielen kunnen processen en patronen met een grote mate van detail worden gevolgd. In dit meetmeandertraject moeten de kenmerken van de beek zo representatief mogelijk zijn. De kenmerken van een beek worden bepaald door de afvoer, de terreinhelling, het sedimenttransport, het bodemmateriaal en de vegetatie. Wanneer deze factoren constant zijn binnen een deeltraject zullen de structuren een patroon laten zien dat zich in opeenvolgende meanders zal herhalen.

In elk van de drie herstelde beken is een meetmeander geselecteerd. Hiervoor zijn een aantal criteria opgesteld om op basis hiervan tot een keuze te kunnen komen. Deze criteria zijn:

1. De meetmeander moet bij voorkeur een volledige meander bevatten (dus twee opeenvolgende bochten). Dit geeft informatie over zowel bochten alsmede over de rechte gedeelten tussen de bochten.
2. Het bodemprofiel van de te selecteren meetmeander moet zoveel mogelijk ongestoord zijn. Dit geeft processen van erosie en sedimentatie een natuurlijke kans.
3. De meetmeander moet representatief zijn voor het ontwerp van het herstelproject zoals dat tot uiting komt in bochtstralen, dwarsprofielen en eventuele overlaten.

Bij de Aa en de Keersop heeft dit geleid tot een keuze voor een gehele meander. Bij Tongelreep is gekozen voor twee, los van elkaar liggende, bochten. Reden hiervoor was het feit dat het herstelproject een grote overlaat bevat. Om de eventuele effecten van deze overlaat mee te nemen is er een bocht bovenstrooms en één benedenstrooms van de ingang van de overlaat geselecteerd. Beide bochten hebben een 'extra' recht stuk direct voor en na de bocht, om ook de ontwikkeling in de rechte stukken van de beek te kunnen volgen.

### **2.3.2 Hydrologische monitoring**

#### ***Afvoergegevens***

Gegevens over de hoeveelheid water die door de beekdalen stroomt zijn van groot belang. Veranderingen in de geomorfologie van het beekdal, zowel in de bedding als aan de oevers, kunnen dan worden gerelateerd aan het debiet. Een piekafvoer in de zomer als gevolg van een zware bui kan uit deze gegevens worden afgeleid, evenals een zeer natte periode in de winter. Wat de effecten hiervan op de beek zijn kan aan de hand van dwarsprofielen en/of geomorfologische karteringen worden bepaald.

Bij de Tongelreep worden de afvoergegevens door middel van dagelijkse aflezing van het waterpeil bepaald. Een automatische aflezing was hier in verband met de extreme depositie van slib niet mogelijk. De afvoergegevens worden bij de Keersop automatisch geregistreerd. Bij de Aa is het debiet gelijk aan de hoeveelheid water die



wordt ingelaten vanuit de Zuid-Willemsvaart. Deze wordt eveneens automatisch geregistreerd.

### ***Grondwaterstanden***

Bij de herstelprojecten Keersop-Gagelvelden en Tongelreep-Achelse Kluis zijn peilbuizen geplaatst voor grondwaterstandsmetingen. Bij de Keersop zijn in totaal 6 buizen geplaatst (een diepe en een ondiepe op 3 locaties), bij de Tongelreep 2 (diepe). Aflezing van de standen in de peilbuizen gebeurt in principe standaard elke twee weken.

Een reden voor het meten van grondwaterstanden is om te bepalen of de oevers van een beek gevoeliger zijn voor erosie als gevolg van kweldruk. De pakking van de korrels in de bodem is minder stevig wanneer hier water tussendoor kwelt.

Door te onderzoeken wat het effect van hermeandering op de grondwaterstand is, kan worden bepaald of een natuurlijk meanderende beek verdroging van het omliggende gebied kan tegengaan. Genormaliseerde beken voeren het water sneller af, waardoor verdroging van het gebied optreedt. Voor het bepalen van laatstgenoemde effect is de meetperiode van twee jaar van deze buizen te kort om hier uitspraken over te doen.

### ***Stroomsnelheden***

De meting van stroomsnelheden in de beek heeft twee doelen. Ten eerste om een beeld te krijgen van de verschillende stroomsnelheden in een laaglandbeek bij een hoge en een lage afvoer. Door de stroomsnelheden te meten op basis van de met de geomorfologische kartering verkregen habitats kan eveneens een indruk worden gekregen van de relatie tussen stroomsnelheid en habitat. Komen stroomribbels in zand bijvoorbeeld alleen daar voor waar de stroomsnelheid binnen een bepaalde grens valt?

Een tweede doel hangt samen met de macrofauna. Deze is gevoelig voor de stroomsnelheid. Wanneer er een relatie kan worden gelegd tussen de stroomsnelheid en de habitats enerzijds en tussen macrofauna levensgemeenschappen en habitats anderzijds, dan moet het mogelijk zijn de relatie macrofauna-stroomsnelheid enigzins te duiden. Dit tweede doel valt buiten het kader van dit project. Hiervoor zijn ook veel meer metingen bij verschillende beken nodig.

De stroomsnelheid wordt in principe bij elk van de drie beken twee keer gemeten. Een keer bij hoog en een keer bij laag water, waarbij er gemeten wordt op basis van de substraten van de geomorfologische kaart.

## **2.3.3 Geomorfologische kartering van beekstructuren**

Het karteren van abiotische structuren is binnen de geomorfologie een reeds lang beproefde onderzoeksmethode. Door het in kaart brengen van vorm en substraat van verschillende terreinvormen ontstaat een beeld over hun samenhang in een patroon. Juist dit levert veel informatie over ontwikkeling en de werking van geomorfologische processen. Geomorfologische kaarten worden veel gebruikt voor de

reconstructie van de landschapsgenese, en bij het inschatten van risico's voor erosie, hellingprocessen, etc. Daarnaast wordt de informatie gebruikt bij de analyse van ecosystemen en de evaluatie van toekomstige ontwikkelingen daarin. De toepassing van een gedetailleerde geomorfologische kartering bij beken is echter nieuw.

Bij de geomorfologische kartering van beken worden de vormen van de bedding en oevers in kaart gebracht. Bij de bedding wordt vooral gekeken naar vorm (poelen, geulen, banken, hellingen) en materiaal (zand, grind, etc.). Bij de oevers wordt gekeken naar de verschillende voorkomende typen helling (fig. 7), hoogteverschillen en hellingshoeken (type 1: hellingknik; type 2: kleine steilrand; type 3: grote steilrand; type 4: ondergraven oever). De legenda van de kaart (aanhangsel 1) is zo opgesteld dat zoveel mogelijk informatie wordt verkregen over de werking van geomorfologische processen die actief zijn in de bedding en langs oevers. Daartoe behoren afkalving van de oevers en de processen van erosie en depositie in de bedding.

De legenda-eenheden van de bedding zijn mede afgestemd op de habitats voor macrofauna, zodat de kaart informatie geeft over potentiële geschiktheid voor levensgemeenschappen in de beek. Legenda en karteringen zijn als aanhangsels achterin dit rapport opgenomen (aanhangsels 1 en 5, 6 en 7).

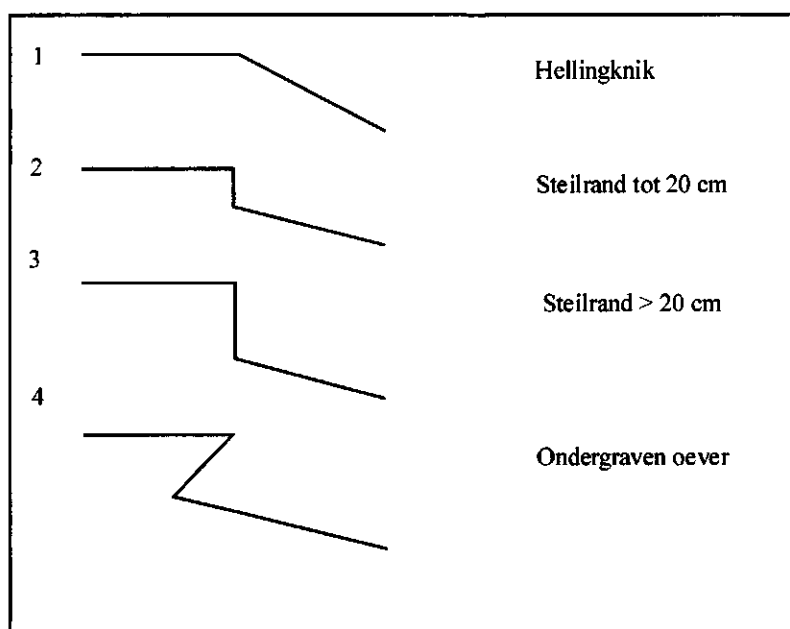


Fig. 7 Oeverhellingtypen

Begrenzings van eenheden worden vanaf de oever ingemeten met behulp van een meetnet van piketpaaltjes. Om de twee meter staan deze opgesteld aan weerszijden van de beek. Dit meetnet is gekoppeld aan de locaties van de dwarsprofielen, zodat de coördinaten van de piketpaaltjes bekend zijn. Op deze wijze kunnen de verschillende opnames in de tijd met elkaar worden vergeleken. Om veranderingen in beekstructuren te kunnen detecteren is een zeer gedetailleerde kaartschaal nood-

zakelijk. Uit ervaringen bij andere beekkarteringen is gebleken dat een schaal 1 : 100 geschikt is voor monitoring.

De karteringen worden driemaal per jaar uitgevoerd om seizoensinvloeden op de bedding te kunnen signaleren. In het voorjaar is het mogelijk om de effecten van de winterperiode (met mogelijke hoge afvoeren) te bepalen. In de zomer vinden de kleinste afvoeren plaats, en kan de watervegetatie maximale invloed uitoefenen op de stroming en de beddingmorfologie. In het najaar kunnen de effecten van zomerse onweersbuien op de beekmorfologie worden gemeten.

#### **2.3.4 Dwarsprofielen**

Dwarsprofielen zijn gemeten als aanvulling op de geomorfologische kartering. De dwarsprofielen leveren waardevolle informatie over de processen van erosie en sedimentatie, die uit de geomorfologische kartering niet naar voren komt. Omgekeerd levert de geomorfologische kaart informatie over de habitats ter hoogte van de dwarsprofielen. Deze combinatie maakt het mogelijk om op een gedetailleerd niveau ontwikkelingen in de beekbedding te observeren.

In de geselecteerde meetmeanderen van de drie beken zijn dwarsprofielen loodrecht op de oevers ingemeten. Bij de Aa en de Keersop zijn een negental profielen geïnstalleerd verdeeld over een volledige meander. Bij Tongelreep zijn in totaal 10 dwarsprofielen geplaatst, 5 in elk van de twee bochten. Voor alle drie de beken geldt dat de dichtheid van de dwarsprofielen in de bochten groter is dan die in de rechte gedeelten van de beek. Dit is gedaan vanuit de verwachting dat de grootste variatie (in materiaal en vorm) van de bedding zich in de bochten zal ontwikkelen. Door de profielen steeds op exact dezelfde locatie te meten wordt informatie verkregen over erosie en sedimentatie. Deze processen bepalen ook of de beek zich verdiept of verbreedt. Per profiel kan in m<sup>2</sup> worden bijgehouden hoe de beek zich op die locatie ontwikkelt. Alle profielen samen geven een beeld van de ontwikkeling in de meetmeander.

Bij Keersop-Gagelvelden en Tongelreep-Achelse Kluis zijn ook dwarsprofielen geïnstalleerd bij zandvangen om een idee te krijgen van de grootte van het sedimenttransport. Bij de Keersop zijn in totaal 5 profielen geplaatst, alle in de zandvang die bovenstrooms van de meetmeander ligt. In de benedenstroomse zandvang zijn geen profielen geplaatst. Bij de Tongelreep zijn 5 profielen in de bovenstroomse zandvang geplaatst en 4 in de benedenstroomse.

De dwarsprofielen (bedding en zandvang) worden driemaal per jaar (maart, juli en november) gemeten aansluitend op de geomorfologische kartering. Dit omdat de metingen in de bedding enige (weliswaar tijdelijke) verstoringen met zich meebrengen voor de kartering.

### **2.3.5 Macrofauna**

Om de ontwikkelingen in de macrofauna te volgen wordt deze bemonsterd en geanalyseerd. De bemonstering van de macrofauna vindt plaats in het voorjaar en de zomer. Zoveel mogelijk verschillende substraten worden bemonsterd. De monsters worden vervolgens samengevoegd tot een zg. mengmonster. Verwerking van de monsters per substraat is in verband met de keuze voor de mengmonsters niet uitgevoerd.

De monsters worden geanalyseerd in het laboratorium en de uitkomsten geven een beeld van het leven in de beek. De resultaten worden vergeleken met de kensoortenlijst voor Brabantse laaglandbeken (GTD Oost-Brabant, 1993). In deze soortenlijst zijn naast kensoorten (kenmerkende soorten) ook aandachtsoorten (soorten die achteruit gaan) en bijzondere aandachtsoorten (sterk bedreigde soorten) opgenomen. Met behulp van een score-tabel wordt een cijfer van 1 (slecht) tot en met 10 (uitmuntend) toegekend aan de natuurwaarde van de bemonsterde macrofauna ten opzichte van de kensoortenlijst.

Deze analyse wordt niet ieder jaar uitgevoerd. In ieder geval is voor elke beek de referentiesituatie vastgelegd door voor de uitvoering van herstelwerkzaamheden de macrofauna te bemonsteren. Na de hermeandering is de Aa twee keer bemonsterd, evenals de Keersop. De Tongelreep is slechts een keer bemonsterd in verband met de slechte waterkwaliteit. Naar verwachting zal de macrofauna zich in de verschillende beken tijdens de monitoringsperiode van twee jaar niet geheel kunnen herstellen. Hiervoor is waarschijnlijk meer tijd nodig.

### **2.3.6 Overzicht monitoringsactiviteiten**

Direct aansluitend op de herstelgrepen begint het monitoren van het geselecteerde meetmeander. In principe wordt elke beek voor een periode van twee jaar gevolgd. Oorspronkelijk zouden de drie herstelprojecten gelijktijdig gereed zijn, zodat de monitoring bij alle drie beken in dezelfde periode onder gelijke klimatologische omstandigheden kon gebeuren, maar als gevolg van vertragingen is dit niet gelukt. De herstelwerkzaamheden bij de Aa zijn in november 1994 gereedgekomen. Het project Keersop-Gagelvelden was in mei 1994 klaar. De werkzaamheden bij Tongelreep-Achelse Kluis zijn in september 1995 afgerond. De laatste opnamen derhalve hebben in juli 1997 plaatsgevonden, waarmee alle projecten voor een minimale periode van twee jaar zijn gevolgd. Tijdens de monitoringsperiode zijn vele verschillende facetten meegenomen. Een overzicht hiervan, met hun meetfrequentie, is in tabel 2 af te lezen.

Tabel 2: Metingen uitgevoerd bij het monitoringsproject. De codes in de tabel staan voor A= de Aa, K = Keersop en T = Tongelreep

	05/94	07/94	11/94	03/95	07/95	11/95	03/96	07/96	11/96	03/97	07/97
debiet	AKT	AKT	AKT	AKT	AKT	AKT	AKT	AKT	AKT	AKT	AKT
grondwater			K	K	K	KT	KT	KT	KT	KT	KT
stroomsnelheid					K		K	T		T	
geom. kaart		K	K	AK	AK	T	AKT	AKT	T	KT	T
dwarsprofiel	K	K	AK	AK	AK	AKT	AKT	AKT	T	KT	T
macrofauna		K		K	AKT		T			K	

Voor de macrofauna zijn ook de referentiesituaties vastgelegd door bemonsteringen vóór de hermeanderingen uit te voeren. Voor de Aa, Keersop en Tongelreep is deze referentie in 1993 vastgelegd. Bovendien is er voor de Keersop ook nog een bemonstering in het voorjaar van 1994 uitgevoerd.

### 3 Resultaten van de monitoring bij de Aa

#### 3.1 Water in de Aa

##### 3.1.1 Debietsgegevens

De afvoer bij de Aa is automatisch geregistreerd en is gelijk aan de hoeveelheid water die de Aa binnenkomt vanuit het kanaal (fig. 8). De gemiddelde afvoer over de periode van 1 november 1994 tot en met 31 juli 1996 bedraagt 0,83 m<sup>3</sup>/s. Maximaal bedroeg de afvoer 3,0 m<sup>3</sup>/s op 30 januari 1995. De minimale afvoer bedroeg 0 m<sup>3</sup>/s, wanneer de inlaat gesloten was. Een aantal keren is dit gedaan om de kartering van de beek te vergemakkelijken. Ook direct na de hoogste afvoer van 30 januari 1995 is de inlaat gesloten in verband met wateroverlast benedenstrooms. In maart-april 1997 is de inlaat gesloten om reparatie van een stuw benedenstrooms mogelijk te maken.

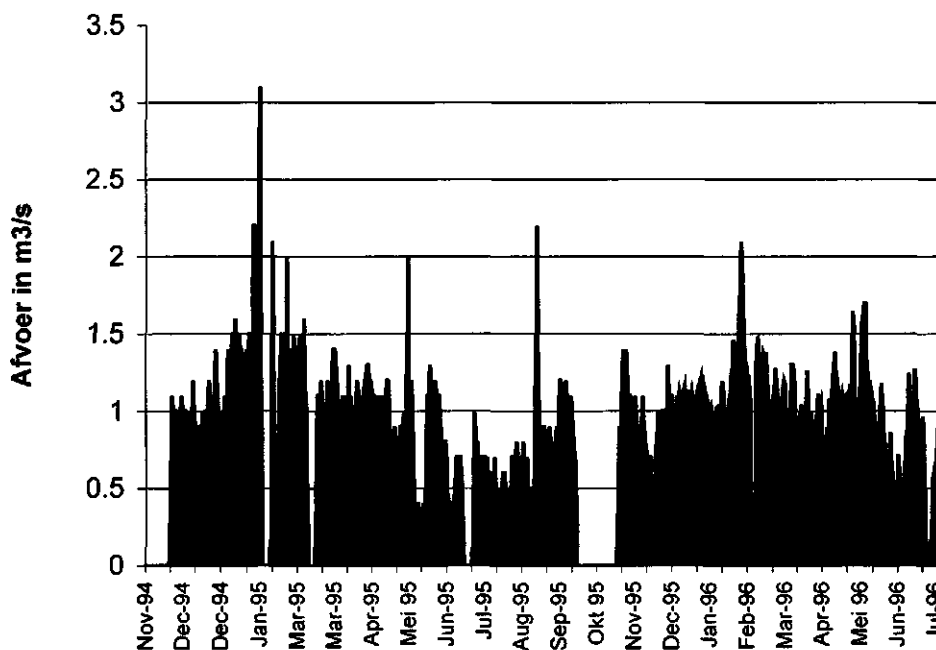


Fig. 8 Afvoeren van de Aa tijdens de monitoringsperiode

Als gevolg van de kunstmatige toevoer van water uit de Zuid-Willemsvaart komen piekafvoeren (en eventuele bankfull afvoeren) bijna niet voor. De gemiddelde afvoer over de monitoringsperiode ligt met 0,83 m<sup>3</sup>/s ( de dagen waarop de inlaat gesloten was niet meegenomen) beneden de ontwerp-afvoer van 1,2 m<sup>3</sup>/s.

### 3.1.2 Grondwaterstanden

Bij de Aa zijn geen nieuwe peilbuizen geplaatst. Gegevens over grondwaterstanden zijn aanwezig voor de omgeving van de Aa. Helaas liggen deze buizen allen te ver van het beekdal om daar informatie uit te putten. Tijdens veldwerk in natte perioden bleek kweldruk duidelijk aanwezig te zijn. Dit kwelwater trad in de oevers van de Aa uit. Direct na de graafwerkzaamheden en voordat het water door de Aa heen stroomde werd tijdens een veldbezoek ook de aanwezigheid van kwel geconstateerd. Door de lage waterstand in de beek zakten de oevers onder invloed van kwel enigzins uit.

## 3.2 Ontwikkeling beekmorfologie

### 3.2.1 Oevers

Ontwikkelingen aan de oevers langs de Aa zijn minimaal (fig. 9). De oeverhellingtypen (fig. 7, paragraaf 2.3.3) 2, 3 en 4 nemen in de tijd af. Ondergraven oevers komen alleen voor in de opname van maart 1995. Hellingknikken (type 1) nemen van maart 1995 tot juli 1995 iets toe. Daarna zijn de veranderingen klein. De afname in type 2, 3 en 4 geven aan dat de oeverhellingen geleidelijk flauwer en eentoniger worden. Deze nivellering is waarschijnlijk gedeeltelijk toe te schrijven aan de effecten van kwel. Tijdens de voorjaarskarteringen (maart 1995 en maart 1996) is uittredend kwelwater in de oevers duidelijk en op een aantal locaties in de meetmeander waargenomen.

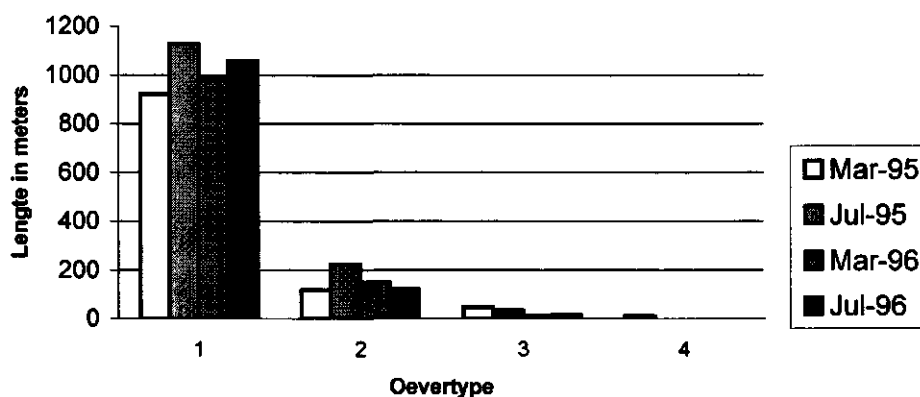


Fig. 9 Ontwikkeling oeverhellingen de Aa

Met het kwelwater spoelen fijne bodemdeeltjes uit waardoor de oeverhellingen geleidelijk uitzakken. Dit is vooral van invloed op de kleine steilranden (type 2).

Ook de depositie van slib op de oevers heeft bijgedragen aan de nivellering van de oevers langs de Aa. Vrijwel overal langs de meetmeander was een dunne laag slib onderaan de oevers (tot aan de waterlijn) afgezet. Lokaal was deze sliblaag ruim 10 centimeter dik (fig. 10). Deze depositie van slib langs de oevers heeft op het niveau



*Fig. 10 Slibafzetting op de oevers van de Aa*

van de waterlijn een terras van slib en organisch materiaal doen ontstaan waar riet en lisdodde zich binnen een jaar na herstel wisten te vestigen. Tussen deze vegetatie neemt de stroomsnelheid af, en zal de sedimentatie van slib toenemen. Dit proces draagt ook bij tot een nivellering van de oeverhellingen langs de Aa.

### **3.2.2 Bedding**

Tijdens het onderzoek is het niet mogelijk gebleken een opname van de bedding van de Aa te maken. Een combinatie van diepte met troebel water en niet reflecterend slib op de bodem maakte het doorzicht minimaal. De beschrijving van de ontwikkeling van de bedding van de Aa beperkt zich dan ook tot een aantal locaties in de bedding die wel zichtbaar waren en zich onderaan de oeverhellingen bevinden.

In de eerste binnenbocht van het gekarteerde gedeelte heeft zich een gestroomlijnde smalle bank (point-bar) ontwikkeld, opgebouwd door een geleidelijke accumulatie van grof organisch materiaal en slib. Enige pitrus-vegetatie heeft sterk bijgedragen aan dit proces doordat de stroomsnelheid direct achter de pitrus-vegetatie veel lager is, waardoor de sedimentatie van slib toeneemt. In het algemeen worden deze point-bars bij hoog water gevormd uit zand. Dit is bij de Aa niet mogelijk doordat zand in de meetmeander vrijwel niet aanwezig is.

Tussen de twee meanderbochten in heeft zich langs de rechteroever (stroomafwaarts gezien) een slibterras ontwikkeld. Hier heeft zich riet gevestigd, waardoor de



sedimentatie van slib nog eens werd versneld. Een ontwikkeling als deze geeft aan dat de beek hier of te breed is in relatie tot de afvoer en het sedimenttransport, of dat de stroomsnelheid te laag is. De geschatte stroomsnelheid (deze zijn bij de Aa niet gemeten) bedraagt 0,15 - 0,20 m/s. Bij een hogere stroomsnelheid (en/of een smallere beek) zal riet geen kans zien zich hier te vestigen. Tijdens het monitoringsproject heeft zich in deze zone reeds een verlandingsvegetatie met lisdodde gevestigd.

Het algemene beeld van de bedding van De Aa geeft aan dat de ontwikkelingen vooral betrekking hebben sedimentatie van slib (met lokaal enige erosie aan het afgezette slib). De gegraven bedding ligt vrijwel onaangetast onder de sliblaag. Het verschil in substraat van de bedding beperkt zich tot het verschil in dikte van de aanwezige sliblaag. Deze sliblaag heeft over het algemeen een dikte van 10-20 cm, maar lokaal kan deze oplopen tot maximaal 50 cm slib.

### **3.3 Ontwikkeling van erosie en sedimentatie**

Ontwikkelingen in erosie en sedimentatie zijn bij de Aa aan het gegraven profiel gedurende de periode van monitoring minimaal geweest. Wel speelde slib een grote rol, waarover in deze paragraaf later meer. Erosie aan de oevers was minimaal, de pakketten veen (en klei) waaruit de oevers zijn opgebouwd zijn resistent. Lokaal bevinden zich laagjes zand in dit pakket. Erosie van de zandlaagjes heeft enig zandtransport tot gevolg, maar te weinig om de bedding een zandig karakter te geven. Dit zandtransport is tijdens het monitoringsproject beperkt gebleven tot het bovenstroomse gedeelte van het hermeanderingstraject, waar de stroomsnelheid hoog genoeg is voor enig zandtransport. Het zand sedimenteert hier langs de binnenbochten, en vormt zandige banken. Transport van zand verder stroomafwaarts is zeer beperkt. Waarschijnlijk heeft de sterkere meandering in combinatie met een grotere breedte een afname van de stroomsnelheid in het middenste deeltraject tot gevolg, waardoor zandtransport in dit gedeelte van de beek, bij de heersende afvoeren, niet of nauwelijks mogelijk is.

Slechts één type materiaal werd op grote schaal vervoerd in de meetmeander: slib. De herkomst van dit slib is waarschijnlijk het inlaatpunt, waar slib wordt opgewerveld door het instromende water. Dit slib wordt vervolgens in suspensie vervoerd door het eerste deeltraject, waarna het sedimenteert in het tweede deeltraject waar de beek sterker gaat meanderen en de stroomsnelheid afneemt (zie fig. 1, paragraaf 2.1.1). De dikte van de afgezette sliblaag kan in de meetmeander oplopen tot 50 cm in de bedding en 10 cm op de oevers. Erosie van de oevers (leem en veen) stroomopwaarts vormt ook een bron van slib. Het instromende kanaalwater bevat ook slib, maar niet de hoeveelheden die nodig zijn om slibafzettingen van deze dikte te sedimenteren. De aanwezigheid van een riooloverstort speelt geen rol in de slibtoevoer, omdat dit water benedenstrooms van de meetmeander uitmondt in de Aa.

De dikte van de sliblaag is een accumulerend proces geweest; deze is gedurende de monitoring blijven toenemen (fig. 11). In slechts twee dwarsprofielen (3 en 8) blijkt dat deze ook weer wordt geërodeerd.

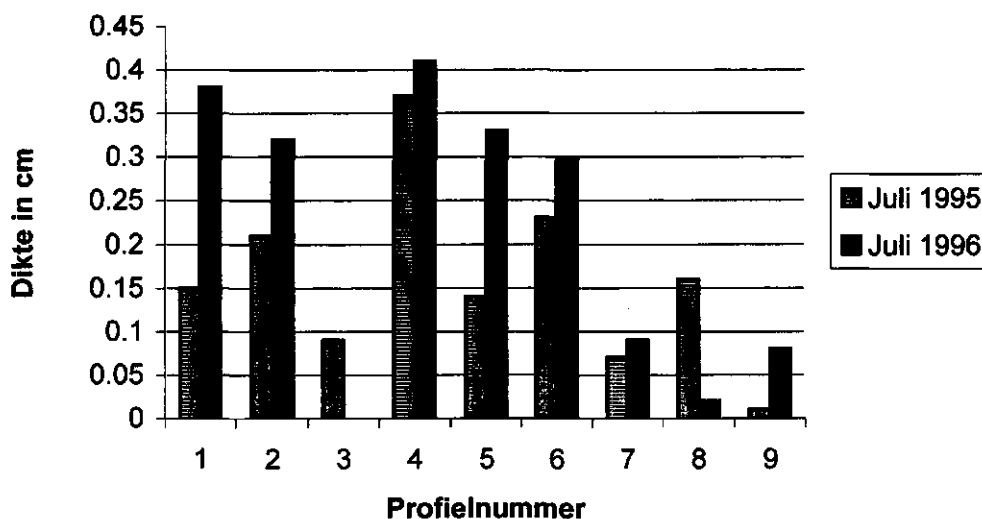


Fig. 11 Dikte van de sliblaag bij de Aa bij de verschillende dwarsprofielen in juli '95 en juli '96

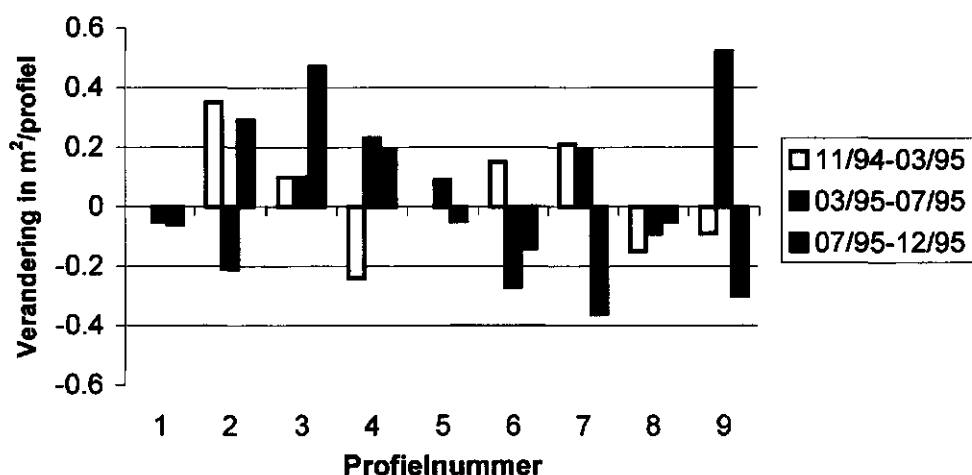


Fig. 12 Erosie en depositie bij de negen dwarsprofielen van de Aa

Erosie en sedimentatie zijn gekwantificeerd voor de negen dwarsprofielen, en gevolgd in de tijd (fig. 12). Voor de gegevens over erosie en depositie is gebruik gemaakt van de gegevens over de vaste bodem van de profielen (gegevens over slib zitten hier dus niet in). De veranderingen in de vaste bodem van de dwarsprofielen zijn klein ten opzichte van de aanwezige sliblaag. Gelijke verhoudingen gelden ook voor de profielen 2, 4, 5 en 6. In de profielen 7 en 9 speelt slib een minder grote rol. In profiel 3 (einde eerste meanderbocht) en 8 (rechte stuk na tweede meanderbocht) is

er zelfs vrijwel geen slib aanwezig. Blijkbaar is de stroomssnelheid hier voldoende hoog om sterke depositie van slib tegen te houden.

Erosie en depositie van de vaste bodem onder de sliblaag is onmogelijk. Kleine veranderingen komen echter toch voor, maar zijn hoogstwaarschijnlijk het gevolg van kleine meetfouten als gevolg van de sliblaag. Veranderingen in de profielen hebben vooral betrekking op een zeer geringe erosie van de oevers. In de periode december 1995 tot juli 1996 komen relatief grote veranderingen voor. Met name valt op dat oevers aan de ene kant sterke erosie en aan de andere kant sterke depositie laten zien. Dit moet worden toegeschreven aan het opnieuw inmeten van een aantal vaste profielpalen die als gevolg van maaiwerkzaamheden waren verdwenen. Vandaar dat alleen de periode november 1994 tot december 1995 vergelijkbare en dus bruikbare metingen geeft.

### 3.4 Macrofauna

De bemonstering van de macrofauna bij de Aa heeft plaatsgevonden in 1993 (voorjaar en zomer) en 1995 (voorjaar en zomer). De situatie van 1993 is die van voor de herstelmaatregelen en geldt derhalve als referentie. De opname van 1995 is na de herstelmaatregelen uitgevoerd.

In 1993 (referentie) en 1995 (na herstel) zijn respectievelijk 81 en 88 macrofauna-soorten aangetroffen. In 1993 werden geen kensoorten aangetroffen. Vier kensoorten, waaronder 1 aandachtsoort kwamen in de bemonstering van 1995 voor. Ondanks deze licht positieve ontwikkeling blijft de score voor de natuurwaarde op basis van de macrofauna de laagst mogelijke: 1 (tabel 3).

Tabel 3: Macrofauna in de Aa

Jaar	Aantal soorten	Ken-soorten	Aandacht-soorten	Bijzondere Aandachtsoort	Score
1993	81	0	0	0	1
1995	88	4	1	0	1

In de monsters van 1995 waren een aantal soorten te vinden die niet in de monsters van 1993 voorkwamen. Het gaat om de volgende groepen (aantal soorten):

- Libellenlarve (1)
- Kokerjuffer (1)
- Waterkever (1)
- Tweevleugeligen (9)

Deze soorten verlangen een redelijke tot goede zuurstofvoorziening. Dit duidt op een verbeterde zuurstofvoorziening in de Aa na de herstelmaatregelen. Hiervoor kan het inlaatpunt, waar het water een korte vrije val maakt van ongeveer 1,5 meter een verklaring zijn.

### 3.5 Samenvatting en conclusies monitoring de Aa

Over de ontwikkeling van de Aa na de herstelmaatregelen:

1. Ontwikkelingen in de beekmorfologie van de Aa, zowel aan de oevers als in de bedding, zijn gering. De meetmeander wordt gekenmerkt door sedimentatie van slib en lokale verlanding. De oevers zijn vooral als gevolg van kwel uitgezakt, waardoor deze enigzins uniformer zijn geworden.
2. Het sedimenttransport in de meetmeander bij de Aa is beperkt tot slib. Stroomopwaarts vindt lokaal erosie van zandige lagen plaats, waardoor enig zandtransport plaatsvindt. Dit zandtransport is beperkt tot het stroomopwaartse gedeelte wat flauw meandert.  
In het middenste deeltraject waar de meandering sterker wordt (grotere bochtstralen in combinatie met een bredere bedding) neemt de stroomsnelheid af, waardoor transport van zand onmogelijk wordt. In dit gedeelte worden de processen van erosie en depositie gedomineerd door slib.
3. In vergelijking met de referentiesituatie is de macrofauna na de herstelmaatregelen nauwelijks veranderd. Wel is er een lichte toename in soorten die hogere eisen stellen aan de zuurstofvoorziening. Dit duidt op een verbeterde zuurstofvoorziening van het water in de Aa na herstelmaatregelen.

Op basis van bovenstaande punten kunnen een aantal conclusies worden geformuleerd. Uit een vergelijking van het bovenstroomse deeltraject met het middenste deeltraject kan het volgende worden geconcludeerd:

- a) De breedte-diepteverhouding van het middenste deeltraject (waarbinnen de meetmeander zich bevindt) is bij het huidige debiet te groot. De stroomsnelheid in het middenste deeltraject wordt zo laag dat slib sedimenteert. Lokale verlanding is het gevolg. Wanneer deze verlanding ongestoord verder kan gaan zal de beek uiteindelijk smaller worden. Deze smallere beek zal waarschijnlijk meer mogelijkheden bieden voor natuurlijke geomorfologische processen.
- b) De meandering in het middenste deeltraject (waar de meetmeander ligt) voor het huidige debiet is te sterk, waardoor de stroomsnelheid hier sterk afneemt met als gevolg dat de depositie van slib de hoofdrol gaat spelen.
- c) De hoeveelheid water die wordt ingelaten is structureel te laag voor het middenste deeltraject (en meetmeander). Bij een hoger debiet (met piekafvoeren) en stroomsnelheid zullen oevererosie en zandtransport meer kans krijgen, en zal slib in ieder geval gedeeltelijk kunnen worden afgevoerd.

Omdat (a) en (b) niet meer kunnen worden aangepast, lijkt het zinvol om met behulp van (c) het debiet en de daaraan gekoppelde de stroomsnelheid structureel te verhogen. Vooral ook omdat tijdens de monitoring is gebleken dat de afvoer structureel lager is geweest dan de ontwerp afvoer. Ook piekafvoeren horen hier bij. Wellicht dat de Aa zich dan alsnog kan ontwikkelen tot een beekstelsysteem met variatie in morfologie en substraten. Een bedding die geheel uit slib bestaat biedt vanuit het perspectief van de geomorfologie weinig kansen voor ontwikkeling.

Bij het bovenstaande dient overigens de kanttekening te worden geplaatst dat de Aa een weinig dynamisch systeem is. Dit blijkt bijvoorbeeld uit het verhang (0,41 m/km), dat veel lager is dan bij de Keersop (0,95) en de Tongelreep (0,80). Ook de

bodemmaterialen bij de Aa lenen zich maar matig voor processen van erosie en depositie. Toch is het verhang van de Aa karakteristiek voor Brabantse laaglandbeken. Bovendien heeft de Aa in het verleden wel een waardevolle macrofauna gehuisvest. Wellicht heeft de Aa meer tijd nodig.

## 4 Resultaten van de monitoring bij Keersop-Gagelvelden

### 4.1 Water in de Keersop

#### 4.1.1 Debietsgegevens

Gegevens over het debiet zijn automatisch geregistreerd bij de Keersop (fig. 13). De gemiddelde afvoer over de periode van 1 mei 1994 tot en met 31 juli 1997 bedroeg  $0,77 \text{ m}^3/\text{sec}$ . De hoogste afvoer bedroeg  $5,8 \text{ m}^3/\text{sec}$  op 30 januari 1995, en de laagste afvoer  $0,06 \text{ m}^3/\text{sec}$  op 24 juli 1994. Deze hoogste afvoer valt op dezelfde dag als die bij de Aa. Dit past in het zeer natte beeld van de winter van 1995.

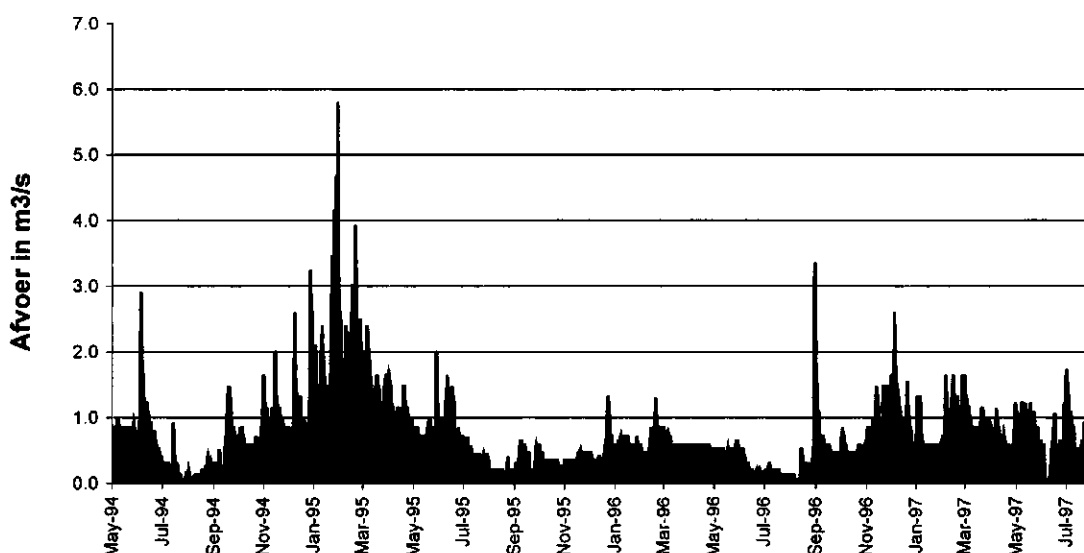


Fig. 13 Afvoeren van de Keersop tijdens de monitoringsperiode

Met een gemiddelde afvoer van  $0,77 \text{ m}^3/\text{sec}$  ligt de waarde voor de Keersop onder de ontwerp afvoer van  $1,2 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Het voorkomen van hoge piekafvoeren blijkt duidelijk uit figuur 13 (winter van 1995 en eind augustus 1996).

#### 4.1.2 Grondwaterstanden

In de omgeving van de meetmeander zijn in totaal op drie locaties peilbuizen geplaatst (een diepe en een ondiepe) om de ontwikkeling in grondwaterstanden te kunnen volgen. De locaties liggen op een raai loodrecht op het beekdal. Uit buis 51DP780101 en 51DP780102 op een locatie dichtbij de beek blijkt dat er, naast een seizoensgebonden fluctuatie, sprake is van enige kweldruk. De stand in de diepe buis (51DP780101) is hoger dan die in de ondiepe buis (51DP780102). De buizen 51DP780201 (diep) en 51DP780202 (ondiep) laten een geringe kweldruk zien (fig. 14). De locatie van de buizen 51DP780301 (diep) en 51DP780302 (ondiep) ligt op

enige afstand van de beek (ruim 20 meter vanaf de eerste locatie). Hier is de situatie omgekeerd ten opzichte van de eerste buis; de stand in de ondiepe buis is hoger dan die in de diepe. Waarschijnlijk fungeert een aanwezige leemlaag hier als ondoorlatende bodemlaag.

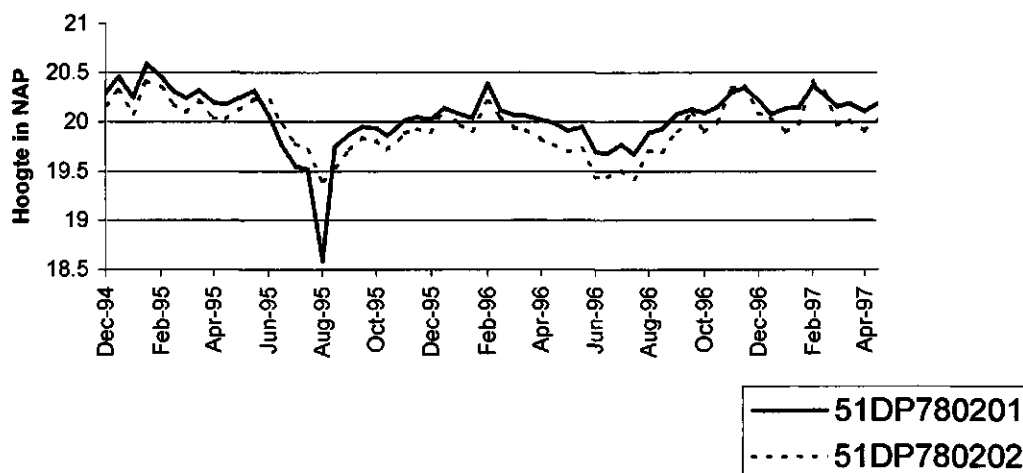


Fig. 14 Grondwaterstanden in buis 51DP7802 met een diep (01) en ondiep (02) filter

Aan de westzijde van het beekdal, vlak voor de eerste meetmeander-bocht, is kwel duidelijk aanwezig. Hier treedt kwelwater uit dat is geïnfiltrerd op de hogere gronden ten zuidoosten van de Feldbissbreuk.

## 4.2 Ontwikkeling beekmorfologie

### 4.2.1 Oevers

Een in het begin sterke, en verder geleidelijke, toename van ondergraven oevers in de meetmeander bij de Keersop is de belangrijkste ontwikkeling geweest. In het eerste jaar na herstel neemt de totale lengte van oeverhellingen toe. De hellingknikken (oevertype 1) nemen af en veranderen in kleine steilranden (oevertype 2). (Voor nadere uitleg over oeverhellingtypen zie fig. 7).

In maart 1996 was de totale lengte van de oeverhellingen gelijk aan die vlak na de herstellingrepen. De verdeling van de verschillende oevertypen is wel veranderd. Het percentage ondergraven oevers is van 5% in juli 1994 toegenomen naar 19% van het totaal aan oeverhellingen in maart 1996 (zie tabel 11, aanhangsel 3). De opname van maart 1996 is tevens de laatste voor wat betreft de opname van de oevers. De vegetatie op de oevers van pitrus en braam was inmiddels zo dicht geworden dat een opname niet meer goed uitvoerbaar was. Bovendien kan worden aangenomen dat de ontwikkelingen in de oeverhellingen bij een dichte begroeiing minimaal zullen zijn, behalve op locaties waar de oever zo sterk is ondergraven dat instorting mogelijk is.

Bij een dergelijke gebeurtenis verandert de oever uiteraard volledig. In figuur 15 zijn de ontwikkelingen in de oevers gedurende het eerste jaar na herstel weergegeven.

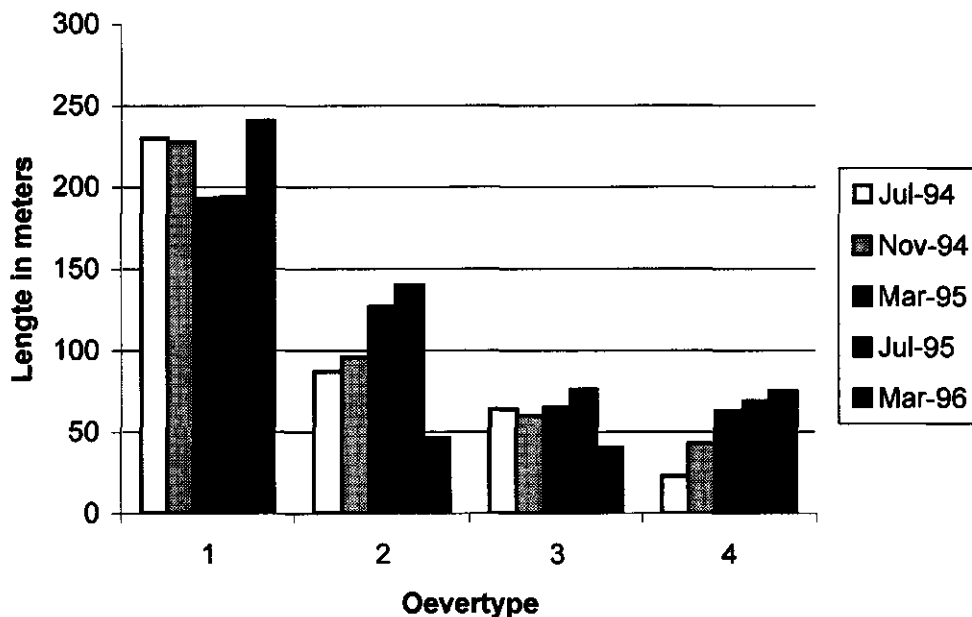


Fig. 15 Ontwikkelingen in de oeverhellingen van de Keersop

De oorzaken van de ontwikkelingen in de oevers zijn naast het water in de beek ook (locaal) het gevolg van uittredend kwelwater. Tijdens opnamen in natte situaties waren de gevolgen van kwelwater zichtbaar. Onderaan de oeverhellingen waren kleine komvormige laagten ontstaan waar het oevermateriaal was afgevoerd (maart 1995). Kwelwater kan dus een versterkte erosie van de oevers tot gevolg hebben. In het geval van de Keersop, waar zandlaagjes tussen de veenlagen voorkomen, kunnen deze zandlagen ook door kwel worden afgevoerd, waardoor de oevers instabiel kan worden. Dit kan mede de aanzet zijn tot een (geringe) migratie van de beek.

De migratie van de Keersop is bepaald door het totale oppervlak van bedding en oevers te bepalen voor de verschillende opnamen. Omdat de oevers voor het laatst in juli 1995 konden worden opgenomen, is de laatste meting van de totale oppervlakte van de beek ook van deze opname. Uit de bepalingen komt naar voren dat de Keersop in het eerste jaar na herstel een geringe migratie heeft ondergaan. Op een tweetal identieke locaties, in het tweede gedeelte van de beide buitenbochten, zijn de oevers zeer sterk ondergraven. In het eerste jaar na herstel heeft dit in de tweede bocht tot een daadwerkelijke migratie geleid. De totale oppervlakte van de bedding en oevers nam als gevolg van instortende oevers toe van 532 m<sup>2</sup> naar 538 m<sup>2</sup> wat overeenkomt met 1%. De sterk ondergraven oevers in de eerste bocht hebben pas na de monitoringsperiode geleid tot instortende oevers. Getallen hierover ontbreken maar liggen in dezelfde orde van grootte als die van de tweede bocht, waar instorting van oevers al tijdens de monitoring voorkwam.



## 4.2.2 Bedding

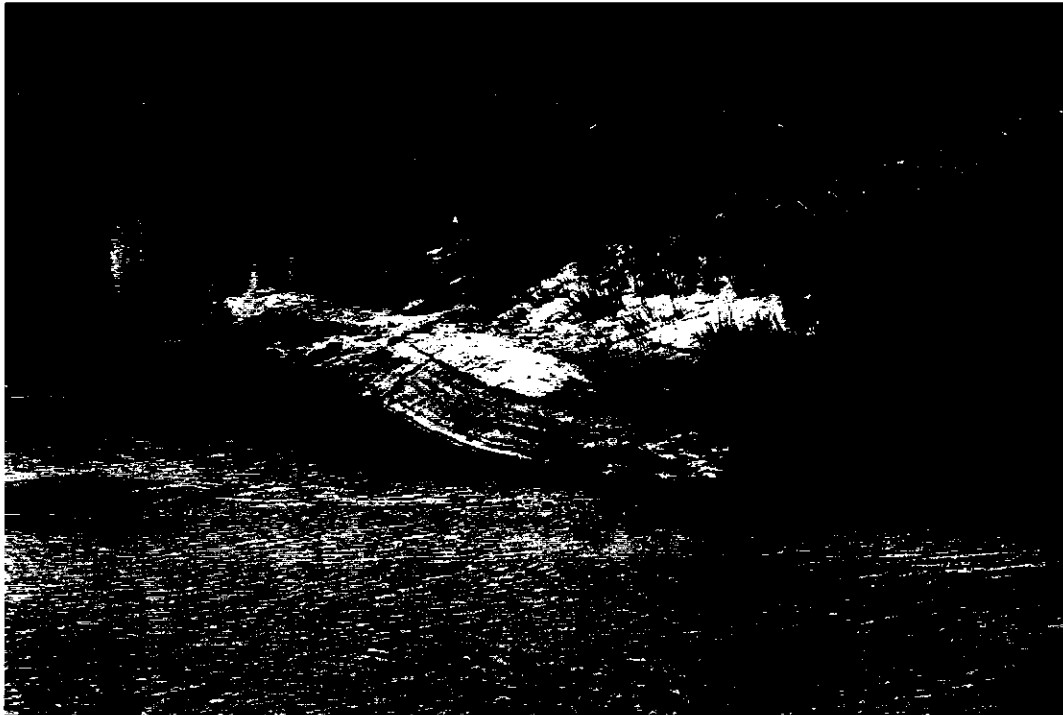
Voor de herstelwerkzaamheden bestond de bedding van de Keersop voornamelijk uit zand. Stroomribbels bepaalden het aanzien van de bedding, en verschillen in diepte waren minimaal. Op een aantal plekken in de bedding was een kleine hoeveelheid grind aanwezig. Dit beeld is nog steeds van toepassing op de gekanaliseerde gedeelten tussen de nieuwe hermeanderende loop in. De bedding van de meanderende loop is echter volledig veranderd.

De ontwikkeling van de morfologie van de bedding is een resultante van een aantal factoren waaronder het debiet een van de belangrijkste is. Met name hoge afvoeren hebben een grote invloed op de beekmorfologie (fig. 16). Zowel hoge afvoeren in een natte wintersituatie alsmede piekafvoeren als gevolg van (zomerse) onweersbuien zijn van belang. Naast de afvoer spelen natuurlijk ook andere factoren een rol. De bodemopbouw bepaalt in grote mate de mogelijkheden voor dynamiek van de beek. In zomersituaties kan de aquatische vegetatie eveneens een grote invloed uitoefenen op de morfologie van de bedding. De ontwikkeling van de beddingmorfologie is weergegeven in figuur 17.

De eerste beddingopname van juli 1994 laat een tamelijk divers beeld zien (fig. 18). Naast zand komt ook grind en veen voor in de bedding. Op de luwe locaties heeft detritus zich geconcentreerd. Een jaar later is de diversiteit nog verder toegenomen (fig. 18). Bestond in juli 1994 nog 57% van de bedding uit zandige substraten, in juli 1995 was dit gedaald naar ruim 32%. De bedding laat een meer diverse verdeling van substraten zien.

In maart 1996 is het percentage zand weer sterk toegenomen. In juli van hetzelfde jaar is het zand sterk afgenomen ten gunste van grindige substraten (fig. 18). In de opname van juli 1996 speelt de aquatische vegetatie een grote rol. Bijna 44% van de bedding is bedekt met waterplanten. In figuur 19 is de ontwikkeling van de aquatische vegetatie in de tijd zichtbaar gemaakt. In de opnamen voor juli 1996 was het nog mogelijk de substraten onder de waterplanten te bepalen; dit was in juli 1996 niet meer goed mogelijk als gevolg van de zeer dichte watervegetatie. De waterplanten bepaalden in deze opname de beekmorfologie. De smalle open geulen tussen de planten in waren grindig met een relatief hoge stroomsnelheid. Net zoals in juli 1995 waren lokaal zandbanken in de bedding ontstaan in de luwte achter grote waterplanten.

In de bedding van de Keersop hebben zich in de monitoringsperiode op een aantal locaties diepten kunnen ontwikkelen. De buitenbochten zijn per definitie dieper dan de binnenbochten. Hier hebben zich zogenaamde pools kunnen ontwikkelen (fig. 17). Deze pools zijn diepere gaten in de bedding en ze ontstaan vaak op die plaatsen waar de hoogste stroomsnelheden voorkomen. Dit is veelal aan het einde van de buitenbocht. Hier vindt ook de sterkste oevererosie plaats. Op een tweetal locaties in de bedding heeft dit geleid tot instortende oevers. In het algemeen vormen zich aan de stootoever ondergraven oevers. Blijkbaar is de aanwezigheid van pools een katalysator waarbij het proces van ondergraving zo sterk wordt dat oevers instabiel kunnen worden en instorten.



*Fig. 16 Effecten van de piekafvoer van januari 1995: point-bar in de bedding van de Keersop*

De pool in de eerste meanderbocht van de meetmeander is ten opzichte van de andere omvangrijker en dieper. De stroming aan het oppervlak laat hier ook duidelijk een cirkelvormige omkering van de stromingsrichting zien. Direct voor de pool, aan de buitenbocht, bevindt zich als gevolg hiervan een zone met vrijwel stilstaand water.

Hier sedimenteert veel slib, en bovendien hebben zich op deze locatie planten gevestigd die als verlandingsvegetatie kunnen worden aangemerkt (lisdodde, riet). De oorzaak van het ontstaan van deze pool (en de afgeleide effecten) heeft waarschijnlijk te maken met de scherpe bocht die voor de eerste meanderbocht van de meetmeander ligt. Deze is zo scherp dat de hoofdstroomrichting in de eerste monitoringsbocht direct langs de binnenbocht is gericht (wat aan deze binnenbocht ook tot erosie heeft geleid). Doordat de stroomsnelheid langs de buitenbocht veel kleiner is, maakt het water hier een cirkelvormige beweging. Bij hogere afvoeren leidt dit tot extra turbulentie, wat wellicht de diepte en omvang van de pool en het ontstaan van het slibterras verklaart (fig. 20).

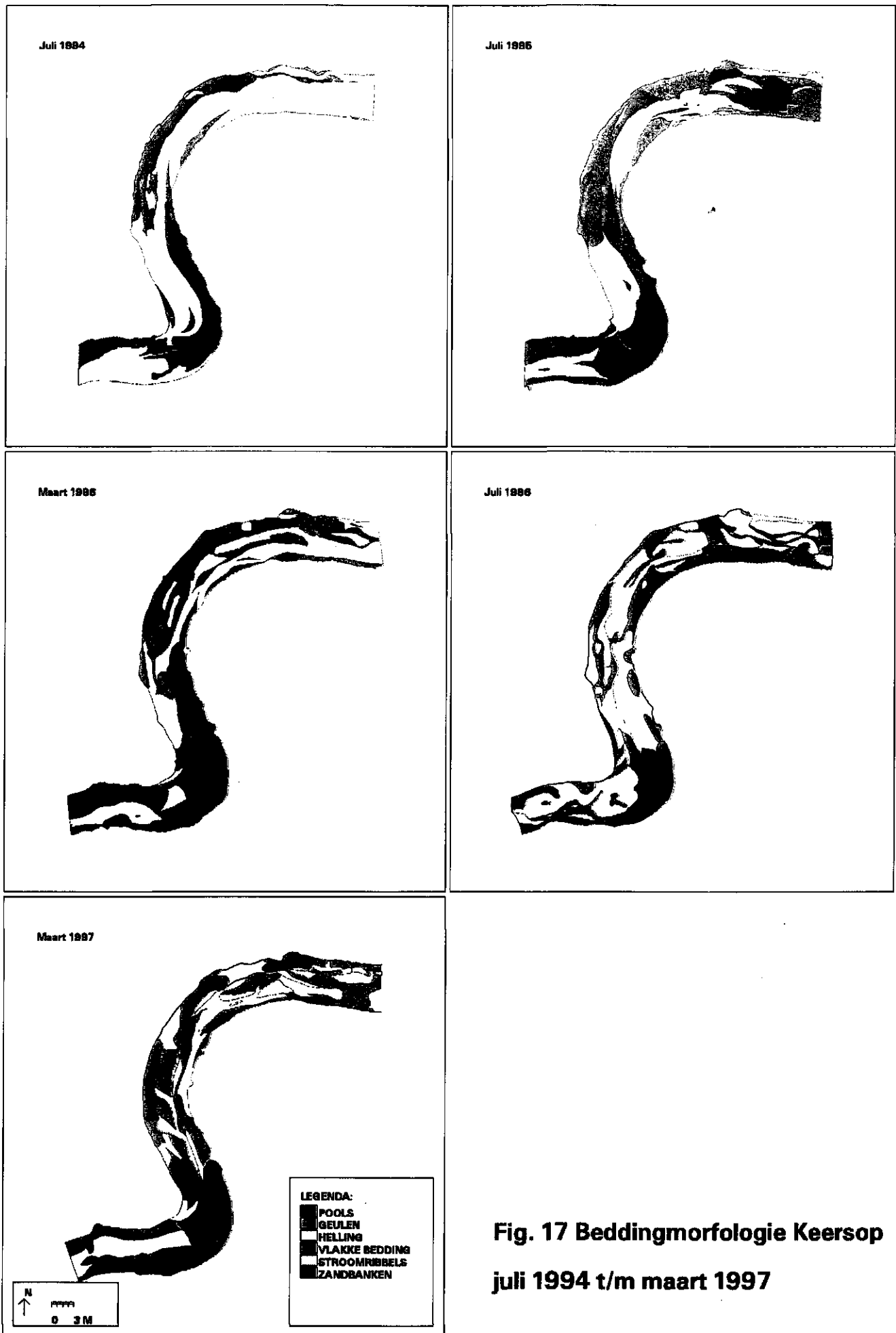
In de laatste opname van maart 1997 lijkt de bedding van de Keersop weer sterk op de kartering van maart 1996. Zand is het dominante substraat in de bedding. In fig. 21 is het percentage zand in de bedding in de tijd weergegeven.

Uit fig. 21 blijkt dat er een cyclische beweging van het percentage zand in de Keerop aanwezig is. De percentages zijn (met uitzondering van de opname direct na de herstelwerkzaamheden) in de zomer laag en aan het einde van de winter hoog. De afvoeren in de winterperiode liggen normaal hoger dan die in de rest van het jaar. Deze hogere afvoeren hebben meer erosieve kracht en kunnen bovendien meer zand transporteren. In de winterperiode bestaat er naast een verhoogde input van zand door erosie ook een grotere transportcapaciteit. Zand wordt afgezet op locaties waar de stroomsnelheid voldoende laag is; dit is vooral het geval in binnenbochten. In buitenbochten zal erosie kunnen optreden. Dit mechanisme is geïllustreerd aan de hand van de dwarsprofielen in fig. 22.

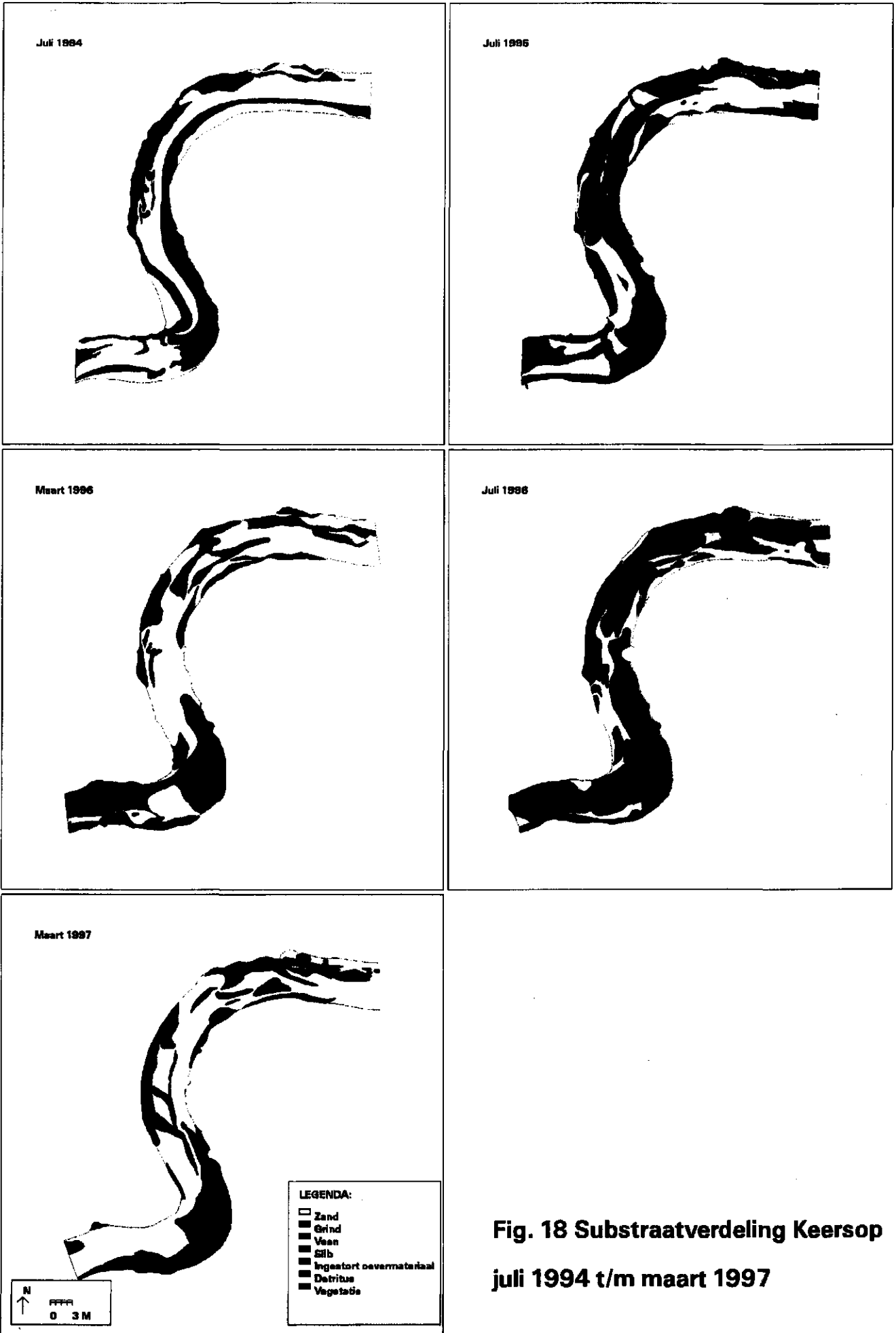
Een indicatie van de heersende gemiddelde stroomsnelheden op een aantal substraten in juli 1995 en april 1996 is weergegeven in fig. 23. De stroomsnelheden zijn duidelijk lager in juli 1996, toen de afvoer veel lager was dan in april 1996. De stroomsnelheid in de hoofdstroomgeul is op beide opnamedata gelijk.

In de zomer, bij lage afvoeren, zal de input van zand als gevolg van erosie sterk afnemen evenals de transportcapaciteit. Zandtransport vindt wel plaats maar heeft vooral betrekking op het reeds in de bedding aanwezige zand. Een herverdeling van zand vindt plaats, waarbij het in de winterperiode geaccumuleerde zand in de binnenbochten stroomafwaarts wordt verplaatst. Op een aantal plaatsen komt grind, maar ook veen, onder het zand tevoorschijn. Door dit proces neemt het totale percentage zand in de bedding af.

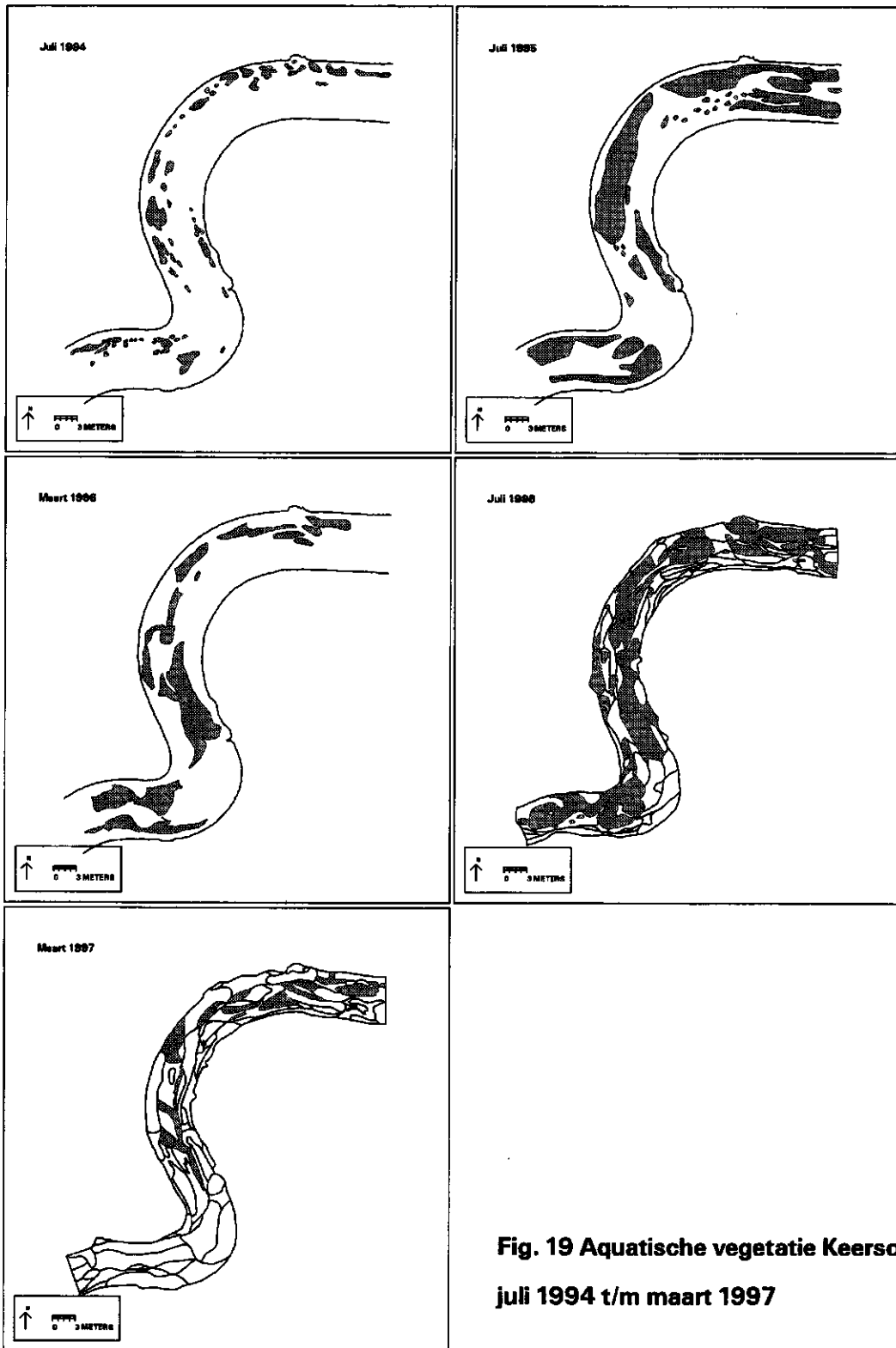
Het beschreven mechanisme kan in de zomer ruw worden verstoord door extreme onweersbuien waardoor de bedding een korte heftige piekafvoer te verwerken krijgt. Wanneer de oevers nog onbegroeid zijn kan dit grote impact op de oevers en bedding hebben. Een sterke input en locale depositie van zand is dan het gevolg. Bij begroeide oevers zal zand dat al aanwezig is in de bedding in transport komen.



**Fig. 17 Beddingmorfologie Keersop  
juli 1994 t/m maart 1997**



**Fig. 18 Substraatverdeling Keersop  
juli 1994 t/m maart 1997**



**Fig. 19 Aquatische vegetatie Keersop  
juli 1994 t/m maart 1997**

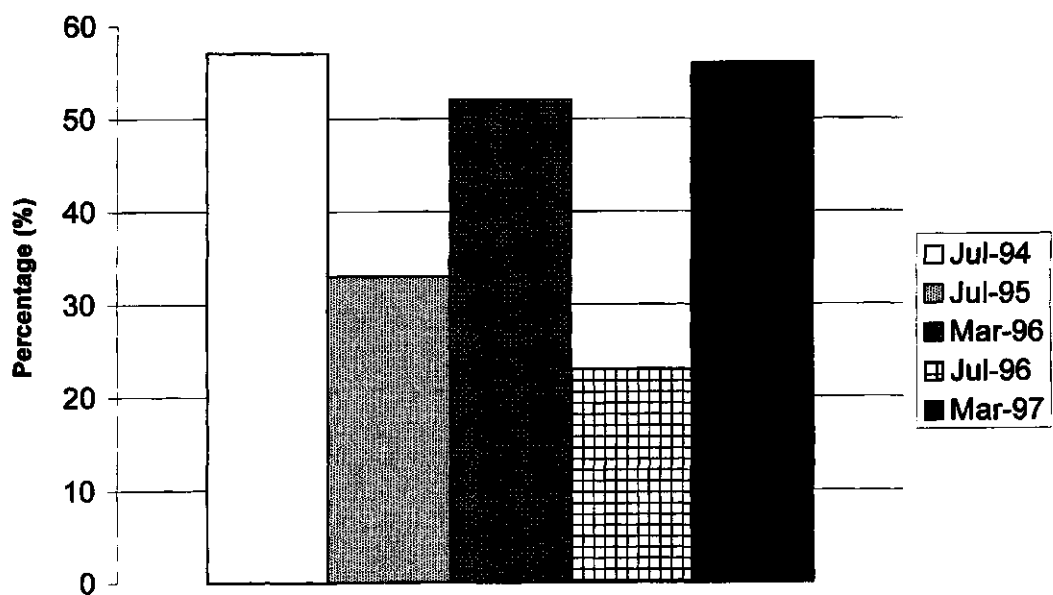


Fig. 20 De cyclische beweging van zand in de bedding over de seizoenen

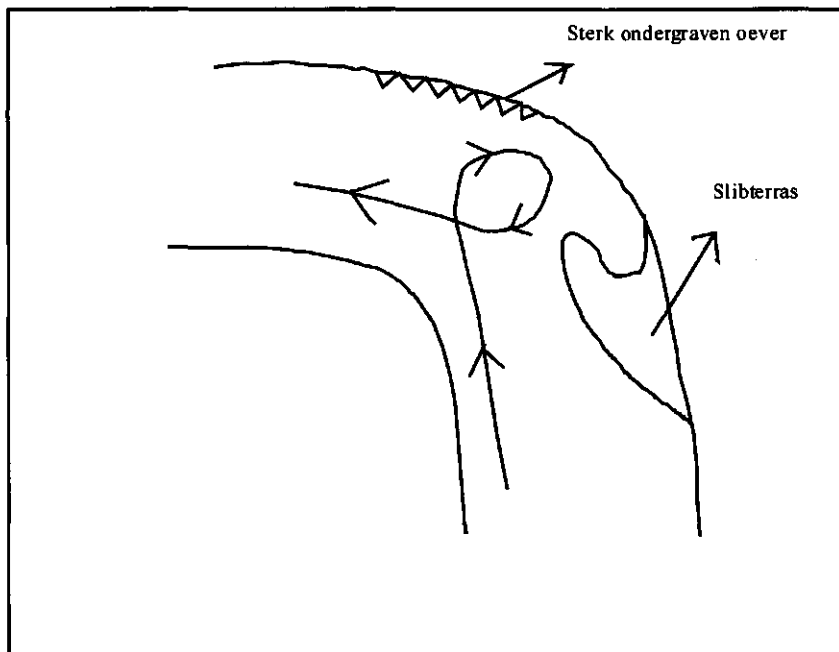
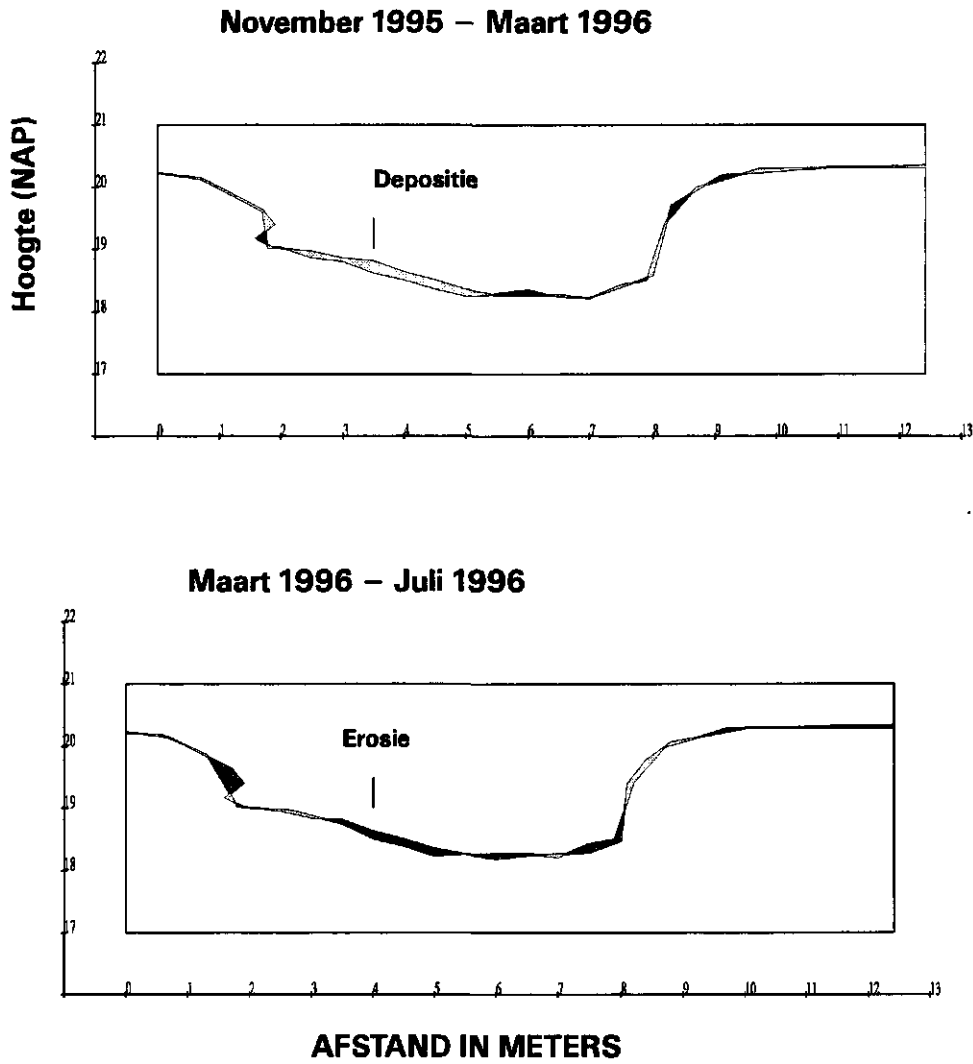


Fig. 21 Stromingspatroon in de eerste bocht van de Keersop



**Fig. 22 Mechanisme van de cyclische beweging van zand in de binnenbocht van dwarsprofiel 3 van de Keersop**



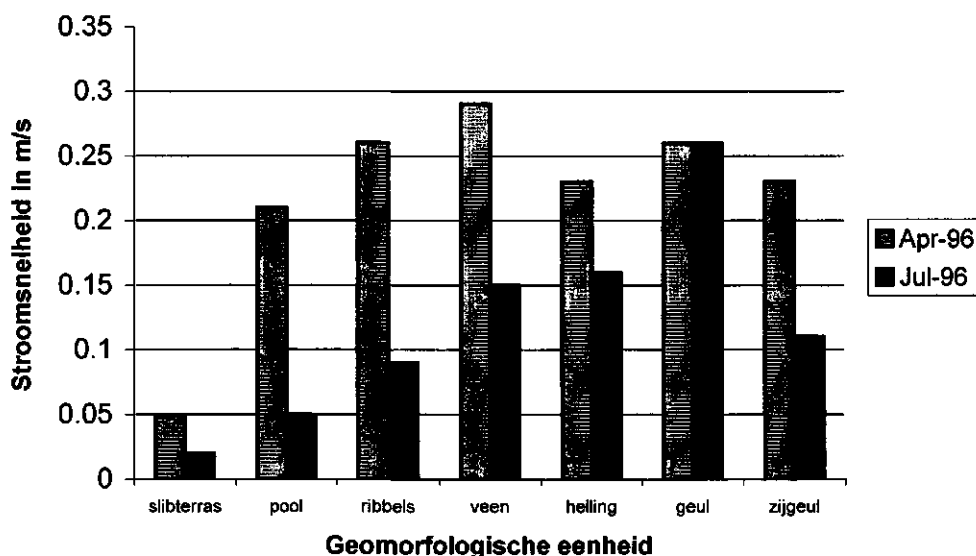


Fig. 23 Gemiddelde stroomsnelheden in de Keersop op een aantal substraten in de zomer van 1995 en het voorjaar van 1996

## 4.3 Ontwikkeling van erosie en sedimentatie

### 4.3.1 Erosie en sedimentatie in de zandvang

Het proces van sedimentatie is logischerwijs dominant in de bovenstroomse zandvang. Toch blijkt erosie ook voor te komen. Uit fig. 24 blijkt dat het sedimenttransport in het eerste jaar (mei 1994 tot maart 1995) sterk is. Na de herstelmaatregelen moest er een nieuw evenwicht worden ingesteld, waarbij een herverdeling van materialen in de bedding heeft plaatsgevonden. Bovendien gaven de nog onbegroeide oevers mogelijkheden voor sterke erosie bij hoge afvoeren, waardoor relatief veel zand beschikbaar is voor transport.

In het tweede jaar is de depositie minder sterk, en het zwaartepunt van de sterkste depositie verschuift naar de profielen 3 en 4. In de periode maart 1995 tot maart 1996 is de depositie relatief gering. In deze periode waren de waterstanden over het algemeen laag en kwamen extreme piekafvoeren niet voor.

In de laatste periode van maart 1996 tot mei 1997 is de depositie sterk. De profielen 3 en 4 laten wederom de sterkste depositie zien. Deze sterke input van materiaal is voor een groot gedeelte toe te schrijven aan een extreme onweersbui in augustus 96 in de regio Eindhoven. De piekafvoer in de Keersop bedroeg 3,4 m<sup>3</sup>/s tegenover 0,2-0,3 m<sup>3</sup>/s in de periode voor de bui. Een overzicht van erosie en depositie in de zandvang per profiel en per periode is te vinden in aanhangsel 3, tabel 9.

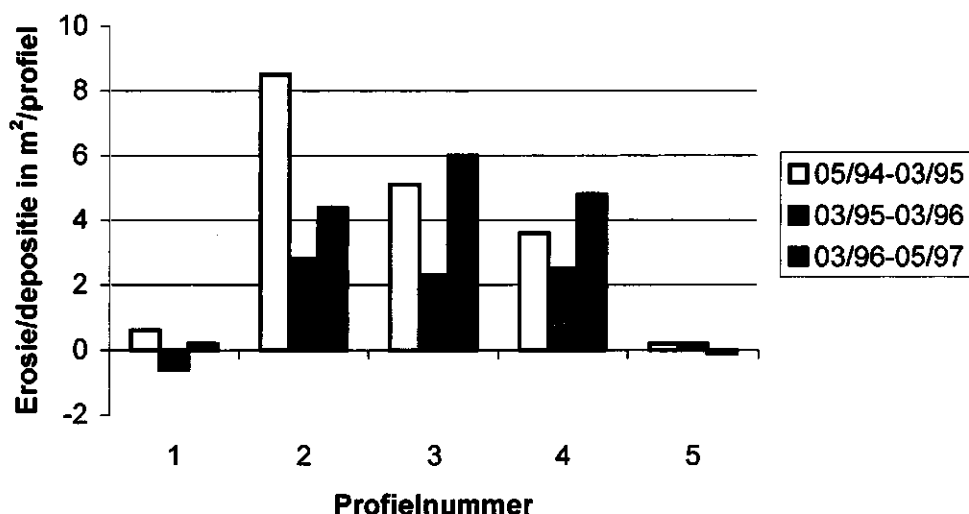


Fig 24 Depositie (en erosie) in de bovenstroomse zandvang van de Keersop

De totalen per profiel geven aan dat de profielen 2, 3 en 4 een sterke depositie kennen. De zandvang ter hoogte van dwarsprofiel 2 ligt nu vrijwel vol, wat af te leiden valt uit het dwarsprofiel.

Dit verklaart ook het feit dat de sterke depositie is verschoven naar de profielen 3 en 4. De dwarsprofielen 1 en 5 laten nauwelijks veranderingen zien. Deze profielen vormen respectievelijk de in- en uitgang van de zandvang en zijn qua breedte en diepte niet in staat tot het op grote schaal herbergen van materialen.

Uit globale berekeningen blijkt dat de totale hoeveelheid afgezet materiaal in de zandvang iets minder dan 650 m<sup>3</sup> bedraagt. Hiervan is ongeveer de helft afgezet in de eerste periode van mei 1994 tot maart 1995. In het tweede jaar (juli 1995 tot juli 1996) is de sedimentatie relatief gering. In de laatste periode van maart 1996 tot mei 1997 is de tweede helft van het totaal afgezet, met het zwaartepunt bij de profielen 3 en 4. Totaal kan de zandvang ongeveer 850 m<sup>3</sup> bergen (ruwe schatting).

In de eerste en laatste periode komen duidelijke aanwijsbare piekafvoeren voor (respectievelijk januari 1995 en augustus 1996, zie fig. 13) die in de periode maart 1995 tot maart 1996 ontbreken. Depositie in de zandvang is een continu proces, maar het voorkomen van piekafvoeren zorgt voor een sterke depositie in een korte periode.

#### 4.3.2 Erosie en sedimentatie in de meetmeander

Uit de gegevens over de dwarsprofielen van de meetmeander bij Keersop-Gagelvelden blijkt dat deze zich in een duidelijke richting hebben ontwikkelt (fig. 25). Erosie blijkt het dominante proces te zijn. Vooral in het eerste jaar na herstel (juli 1995 tot juli 1996) heeft erosie plaatsgevonden. De sterke erosie in de periode november 1994 tot maart 1995 correspondeert met piekafvoeren van eind januari 1995. Erosie blijft ook in het tweede jaar doorgaan, maar met een geringere intensiteit.

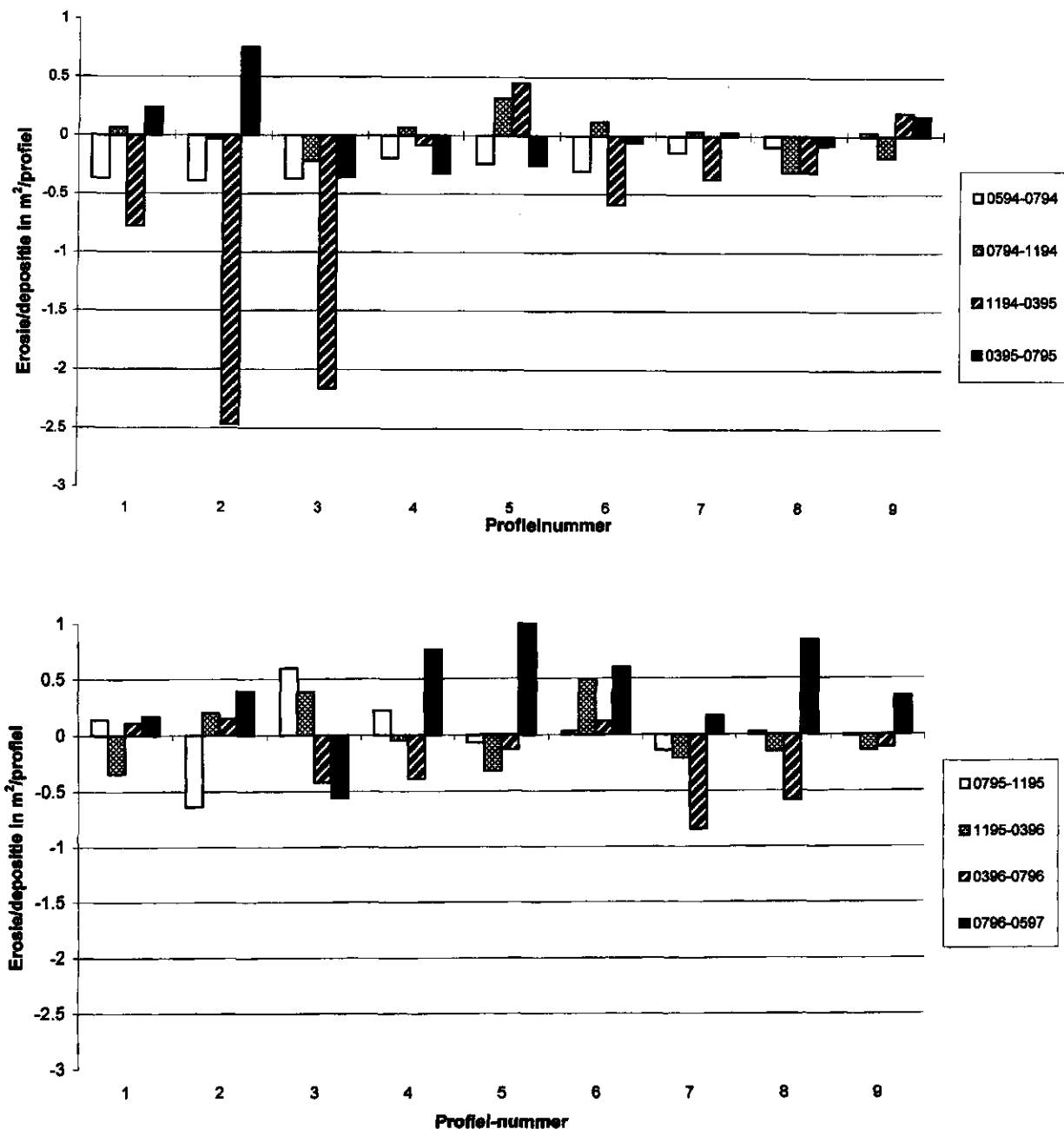


Fig. 25 Erosie en depositie in de dwarsprofielen van de Keersop per monitoringsperiode

In de periode maart 1996 tot juli 1996 is de erosie waarschijnlijk voor een groot gedeelte toe te schrijven aan de effecten van vegetatie in de stroombedding. Hierdoor schuren geulen tussen de vegetatie extra diep uit, wat de voorkomende erosie waarschijnlijk grotendeels verklaart. In de periode maart 1995 tot maart 1996 zijn de veranderingen klein. Dit hangt samen met de lage afvoeren die in deze periode voorkwamen. In de laatste periode (juli 1996 tot mei 1997) is sprake van duidelijke depositie bij, op één na, alle profielen. Waarschijnlijk is tijdens de piekafvoer van augustus 1996 (onweersbui) veel sediment vrijgekomen door erosie. Dit sediment is vooral in de binnenbocht van de meetmeander afgezet.

Wanneer de ontwikkelingen per profiel worden bekeken valt op dat een aantal profielen sterke erosie laten zien, terwijl andere een marginale erosie kennen. De profielen in de bochten (profielen 2 en 3 respectievelijk profielen 7 en 8) eroderen sterker dan die in de rechte gedeelten. In beide meanderbochten van de meetmeander zijn relatief diepe gaten (pools) ontstaan en heeft oevererosie plaatsgevonden (meer hierover in paragraaf 4.2.2).

De overheersende erosie in de meetmeander bij Keersop-Gagelvelden komt ook tot uiting wanneer de diepst gelegen punten per profiel worden gevolgd in de tijd. In fig. 26 zijn de zogenaamde Thalweg-profielen over de negen dwarsprofielen in de tijd weergegeven. Uit dit figuur blijkt dat de beek zich na de herstelwerkzaamheden licht is gaan insnijden (wat vooral tot uiting komt in diepere buitenbochten ) op zoek naar een nieuw evenwicht.

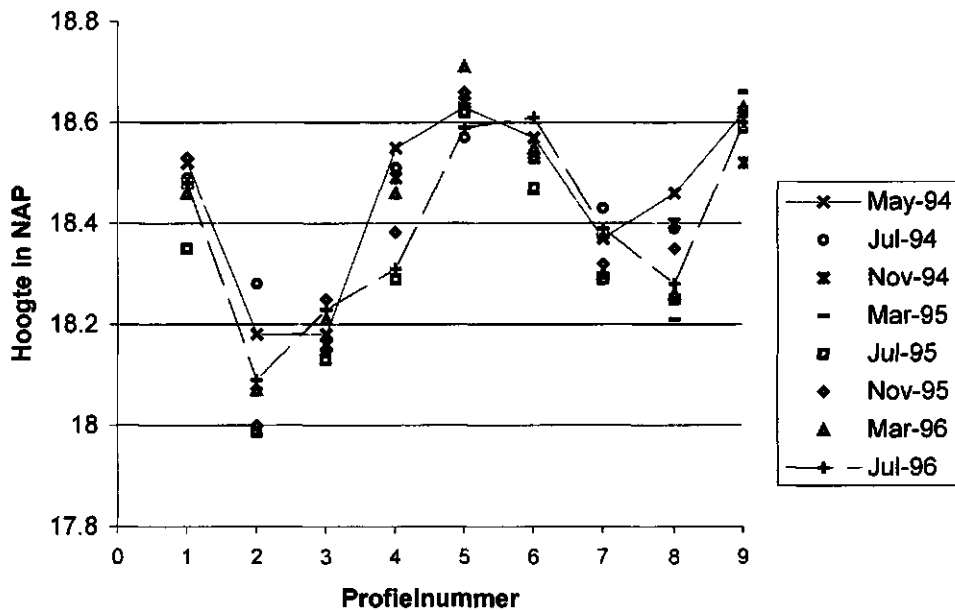


Fig. 26 Thalweg-profielen voor de dwarsprofielen van de Keersop

#### 4.4 Macrofauna

De bemonstering van de macrofauna bij de Keersop heeft plaatsgevonden in 1993 (referentie), 1994 (na herstel) en 1995. In 1997 is een bemonstering per substraat uitgevoerd. Eerst zullen de resultaten van het macrofauna-onderzoek van 1993 tot 1997 worden besproken. Daarna zal de bemonstering per substraat aan bod komen.

Zowel in 1993, 1994, 1995 en 1997 resulteert het macrofauna-onderzoek bij de Keersop in een lange soortenlijst, waarmee alle inventarisaties soortenrijk te noemen zijn. De Keersop was voor de herstelwerkzaamheden vanuit aquatische-ecologisch standpunt al een waardevolle beek. Het blijkt dat de nieuwe gedeelten snel door macrofauna-soorten herbevolkt zijn. In 1994, direct na herstel, bevinden zich reeds

meer aandachtsoorten in de monsters dan in 1993. Ook in 1995 neemt het aantal aandachtsoorten toe. In 1997 neemt het aantal aandachtsoorten af.

Tabel 4: Macrofauna in de Keersop

Jaar	Aantal Soorten	Kensoorten	Aandachtsoorten	Bijzondere aandachtsoort	Score
1993	119	37	13	4	8
1994	128	40	17	2	8
1995	122	38	21	1	9
1997	96	35	16	3	8

In de bemonsteringen van 1994 en 1995 worden ook een aantal kenmerkende soorten aangetroffen die niet in de kensoortenlijst zijn opgenomen. Dit betekent dat het aantal kensoorten in deze jaren feitelijk iets hoger ligt dan in tabel 4 aangegeven.

Bij het macrofauna-onderzoek in 1994 en 1995 is gekeken naar de hermeanderings-trajecten en de ertussenin gelegen oude gedeelten. Hieruit blijkt dat in 1994 iets minder soorten voorkomen in de nieuwe dan in de oude gedeelten. In 1995 is dit verschil teniet gedaan. Illusterend hiervoor is de wants *Velia caprai* die een voorkeur heeft voor holle oevers. Deze komt in 1994 nog niet voor in de nieuwe gedeelten. In 1995 wordt deze wants ook in de nieuwe gedeelten aangetroffen.

In 1997 is in principe op dezelfde wijze bemonsterd als in de voorafgaande jaren, maar de submonsters van verschillende substraattypen zijn daarbij apart geanalyseerd. Hierbij moet opgemerkt worden dat het aandeel van de verschillende substraattypen in het totale monster iets anders ligt dan in de andere onderzoeksjaren. Vanwege het kwalitatieve karakter van de methode is het totaalmonster naar verwachting desalniettemin vergelijkbaar met de monsters van andere jaren. In het voorjaar blijkt het vegetatiemonster het meest soortenrijk te zijn, in de zomer is dat een monster uit een geul met grind en zand. In de submonsters uit vegetatie en detritus komen diverse soorten voor die typerend zijn voor die habitats. Een groot deel van deze soorten komen echter ook verspreid over andere habitats voor. In de submonsters van de overige habitats worden soorten aangetroffen die typerend zijn voor allerlei habitats. Wel is in sommige zand- of grindmonsters de min of meer bodemgebonden leefwijze van sommige soorten herkenbaar. Voor het verkrijgen van meer gedetailleerde informatie met betrekking tot de verdeling van soorten over habitats, is naar verwachting een bemonstering met meer gespecialiseerde instrumenten nodig.

Opvallend is dat in de groep haftelarven een toename te zien is. Het aantal kensoorten in deze groep bedroeg in 1993, 1994 en 1995 respectievelijk 2, 6 en 7. Een aantal soorten haftelarven wordt alleen na de hermeandering aangetroffen. Het betreft hier soorten die vooral leven op depositie-substraten. Dit type substraat komt in een meanderende beek meer voor. Een ander soort haftelarve die een voorkeur heeft voor erosie-habitats werd alleen in 1994 en 1995 gevangen in de door de hermeandering ontstane grindbanken. In 1997 zijn voor wat betreft de haftelarven slechts 3 kensoorten gevangen. De toename van het aantal waargenomen haftelarvesoorten is daarmee vrijwel geheel teniet gedaan.

Het totaalbeeld laat kort na hermeandering (1994 en 1995) een positieve ontwikkeling van de macrofauna zien. Het aantal aandachtsoorten neemt toe. De toename in haftelarven met voorkeur voor substraten die behoren bij een natuurlijk meanderende beek is een reflectie van de toegenomen diversiteit aan substraten.

De bemonsteringen van 1997 laten echter een afname van het aantal aandachtsoorten en ook een afname van kenmerkende haftelarven zien. Een verklaring hiervoor wordt gevonden in de zeer sterke toename van de bedekking met waterplanten in de loop van de jaren na de hermeandering. Deze massale ontwikkeling van waterplanten werkt verarmend op de variatie in geschikte habitats voor macrofauna. De toename van de waterplanten is mogelijk geworden door de verwijdering van de beekbescha-duwing in de vorm van kap van bomen voor de graafwerkzaamheden. Op termijn zal dit effect teniet gedaan worden, doordat op de oevers de achtergebleven stobben opnieuw tot bomen en dus beschaduwing van de beekbedding uitgroeien.

#### **4.5 Samenvatting en conclusies monitoring Keersop**

De conclusies over de ontwikkeling van de Keersop na de herstelmaatregelen:

1. Ontwikkelingen in de beekmorfologie bij de Keersop zijn vrij groot. De oevers hebben zich, waar mogelijk, ontwikkeld tot ondergraven oevers. Lokaal is zelfs sprake van een geringe migratie als gevolg van oevererosie. In de bedding wisselen erosie en sedimentatie elkaar af waarbij een cyclisch proces van een meer zandige bedding in de winter naar een meer diverse en zandarme bedding in de zomer een rol speelt. Voorts hebben zich natuurlijke beddingvormen kunnen ontwikkelen zoals zandbanken en pools. De aquatische vegetatie bedekt in de zomer ruim de helft van de bedding en heeft behalve een opstuwende werking ook een sturende invloed op de beekmorfologie. De Keersop heeft zich voornamelijk in de (buiten)bochten verdiept ten opzichte van de beginsituatie. De substraat-verdeling in de bedding heeft zich in de richting van een grotere diversiteit ontwikkelt.
2. Het transport van sediment in de Keersop betreft detritus en zand. Het zand-transport is met name in het eerste jaar na herstel, en in de laatste periode (juli 96 tot mei 97) als gevolg van een extreme afvoer na een zware onweersbui in augustus 96 groot geweest. Het lijkt bij normale afvoeren tot evenwicht te zijn gekomen, waarbij onder extreme lage waterstanden zelfszand uit de zandvang wordt opgenomen. De zandvang is na ruim drie jaar voor ongeveer driekwart opgevuld. Het leeghalen ervan is dus niet noodzakelijk. Mede gezien het feit dat de oevers geheel zijn begroeid is de verwachting dat het zandtransport bij normale afvoeren gestabiliseerd is. Bij extreem hoge afvoeren zullen hoge sediment-fluxen mogelijk blijven.
3. Het hermeanderingstraject is na de graafwerkzaamheden snel herbevolkt met macrofauna. In de eerste jaren na herstel komt de toegenomen diversiteit in habitats in de bedding in beperkte mate tot uiting in de macrofauna. De natuurwaarde op basis van de macrofauna is in die periode toegenomen ten opzichte van de al goede referentie-situatie. In de loop van de jaren na hermeandering neemt door de toegenomen bezonning de waterplantenmassa

enorm toe. De daarmee gepaard gaande afname van variatie in habitats heeft naar verwachting geleid tot een afname van de natuurwaarde op basis van de macrofauna in 1997. Op lange termijn zal dit effect teniet worden gedaan door de hergroei van bomen langs de oevers.

Op basis van bovenstaande conclusies kan worden opgemaakt dat de uitvoering van de hermeandering van de Keersop heeft geleid tot een succesvol herstel van geomorfologische en natuurlijke waarden. Het toegepaste trapezium-ontwerp bij de Keersop, met geringe differentiatie in binnen-en buitenbochten, heeft ontwikkelingen in de bedding niet in de weg gestaan. De Keersop blijkt voldoende dynamiek te bevatten om het trapezium-profiel op eigen kracht te transformeren in een natuurlijk beekprofiel met ondiepe binnenbochten en diepere buitenbochten. Ook de meanderdichtheid van het hermeanderingstraject, gebaseerd op de historische loop, blijkt goed te passen bij de ontwikkelingen in de morfologie van de beek. De positieve ontwikkelingen in de beekmorfologie uit zich in eerste instantie in de macrofauna door een toename van de ecologische waarde. Een bijkomende nadelige ontwikkeling (merkbaar in 1997) is de toename van de waterplantenmassa die is ontstaan door het wegnemen van de beschaduwing (houtkap bij de uitvoering van de graafwerkzaamheden). Dit effect zal op korte termijn teniet worden gedaan door de hergroei van bomen langs de oevers.

## 5 Resultaten van de monitoring bij Tongelreep-Achelse Kluis

### 5.1 Water in de Tongelreep

#### 5.1.1 Debietsgegevens

Aanvankelijk was het de bedoeling dat het debiet bij de Tongelreep ook automatisch geregistreerd zou gaan worden. Dit is in verband met sliboverlast op de meetlocatie direct stroomopwaarts van de bovenstroomse zandvang niet doorgegaan. Wel zijn gegevens beschikbaar over gemiddelde dagelijkse afvoeren (fig. 27). De gemiddelde afvoer over de periode van 28/11/95 tot en met 09/07/97 bedroeg  $0,58 \text{ m}^3/\text{s}$ . De hoogste afvoer bedroeg  $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$  op 29/08/96. Deze hoogste afvoer valt toe te schrijven aan een zware onweersbui in de regio Eindhoven.

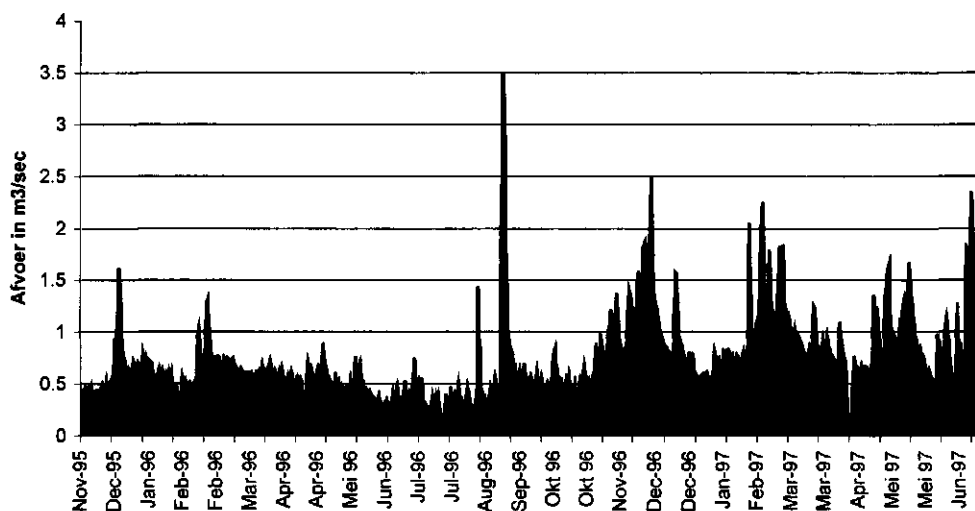


Fig. 27 Afvoeren Tongelreep in de monitoringsperiode

Met een gemiddelde afvoer van  $0,58 \text{ m}^3/\text{s}$  ligt de waarde voor de Tongelreep onder, maar redelijk in de buurt van de ontwerp-afvoer van  $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Evenals bij de Keersop komen ook bij de Tongelreep duidelijke piekafvoeren voor

#### 5.1.2 Grondwaterstanden

Tijdens veldwerk bij de Tongelreep was uittredend kwelwater aan de oostkant van de beek duidelijk waarneembaar. Dit kwelwater is hoogstwaarschijnlijk afkomstig van de direct naast het beekdal gelegen dekzandrug. De zone tussen de dekzandrug en het beekdal is hierdoor zeer nat. In deze zone bevindt zich ook een peilbuis waarbij tijdens een aantal veldbezoeken water uit de top van de buis stroomde.



## 5.2 Ontwikkeling beekmorfologie

### 5.2.1 Oevers

De ontwikkelingen in de oevers (voor uitleg over oeverhellingtypen zie paragraaf 2.3.3, fig. 7) bij monitoringsbocht 1 zijn weergegeven in fig. 28. In eerste instantie neemt oevertype 1 tussen november 1995 en maart 1996 sterk toe. De totale lengte in hellingknikken wordt zelfs verdubbeld. Oevertype 3 en 4 nemen eveneens toe. Oevertype 2 wordt in totale lengte gehalveerd. Dit is het gevolg van oevererosie wat een toename van de typen 3 en 4 tot gevolg heeft. Ditzelfde proces, maar dan in een geringere intensiteit, leidt in juli 1996 tot een toename in oevertype 1 en 2. Oevertype 3 neemt licht af, terwijl type 4 licht toeneemt. Na juli 1996 nemen de ondergraven oevers flink toe, terwijl de overige een geleidelijke afname laten zien. Uitzondering hierop is de meting van november 1996, waarbij oevertype 2 sterk is afgenomen. Dit is het gevolg van een hoge piekafvoer (onweersbui) waarbij een gedeelte van de buitenbocht werd weggeslagen. Dit komt tot uiting in de afname van type 2 en een verdubbeling van de lengte van de ondergraven oevers.

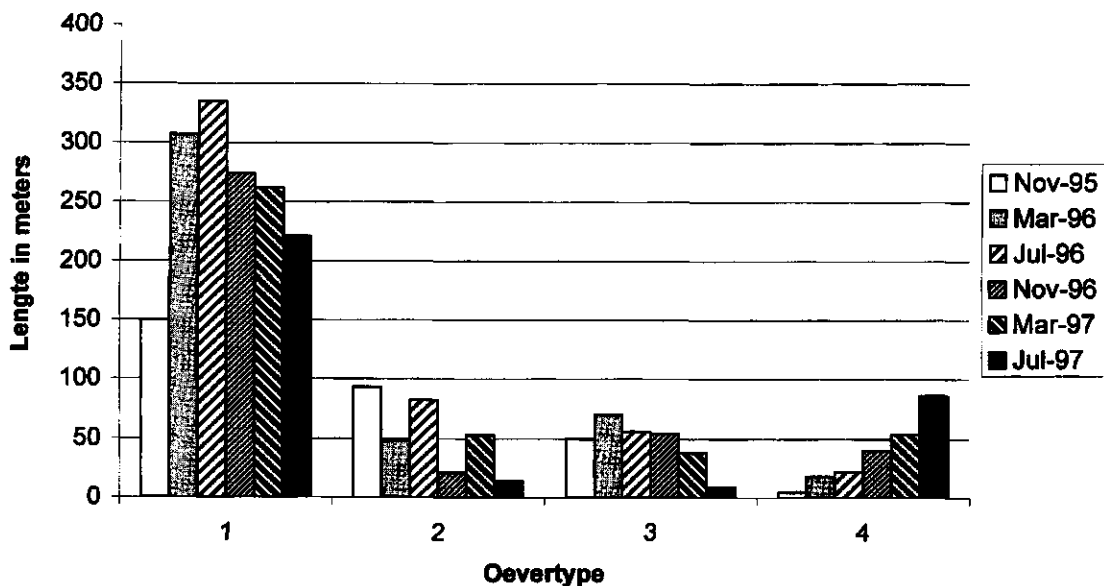


Fig 28 Ontwikkeling oeverhellingen bocht 1 Tongelreep

Lokale kwel speelt een rol. Onder natte omstandigheden zakt het zand uit waardoor 'kwelkommetjes' ontstaan. Dit is vooral tijdens de opname van maart 1997 waargenomen.

In bocht 2 zijn de ontwikkelingen grilliger zoals is te zien in fig. 29. Het meest in het oog springt de enorme toename van oevertype 2 in juli 1996, en de daarop volgende sterke afname in november 1996. De oevers in bocht 2 zijn veel steviger dan die in bocht 1, naast zand komt veel klei en leem voor in de oevers. Vaak bevindt zich onder de klei en het leem een laag zand die makkelijk erodeerbaar is. Blijkbaar heeft dit

tussen maart 96 en juli 96 een grote invloed gehad op het ontstaan van kleine steilranden. De piekafvoer van augustus 96 heeft veel zandig materiaal kunnen eroderen. Hierdoor zijn de gedeelten van de oevers met klei en leem instabiel geworden en op een aantal locaties ingestort. Als gevolg hiervan is oevertype 2 sterk afgenomen. Ook effecten van kwel kunnen hierbij een rol hebben gespeeld. Net zoals bij bocht 1 nemen de ondergraven oevers in de tijd geleidelijk toe.

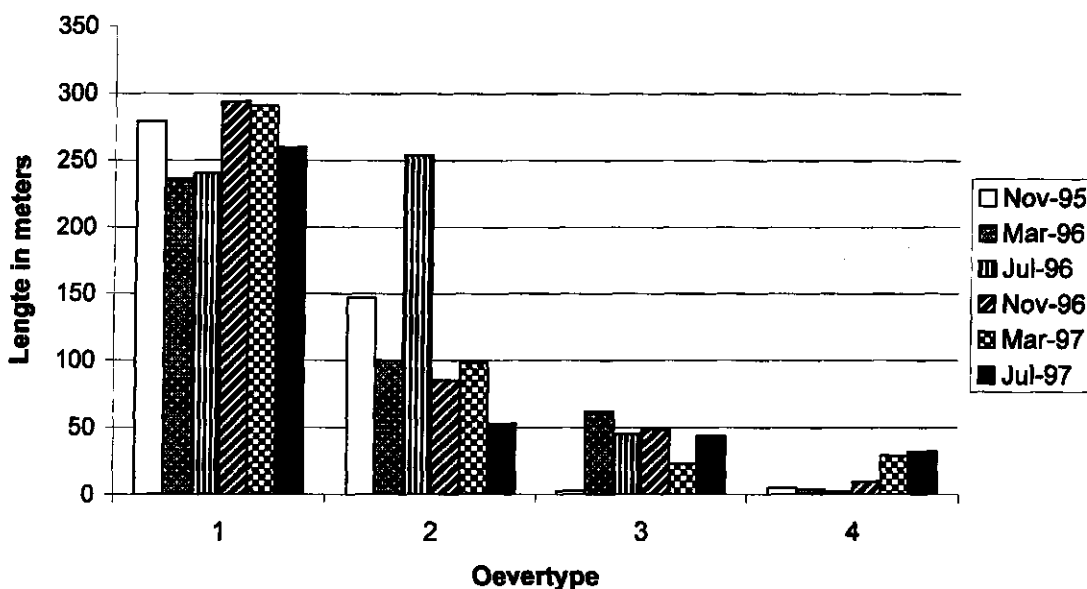


Fig. 29 Ontwikkeling oeverhellingen bocht 2 Tongelreep

### 5.2.2 Bedding

De situatie bij de Tongelreep van voor de herstelwerkzaamheden was een sterk gereguleerde loop. Dit zal een geringe variatie tot gevolg hebben gehad, waarbij stroomribbels en zand vrijwel de gehele beekbedding bedekten. In de nieuwe hermeanderende situatie speelt zand over het algemeen nog steeds een grote rol. Toch biedt de nieuwe situatie ook ruimte voor andere substraten.

De ontwikkeling van de morfologie van de bedding bij de Tongelreep is het resultaat van vooral het debiet en de lokale bodemgesteldheid. In tegenstelling tot de Keersop speelt aquatische vegetatie tot de laatste opname van juli 1997 geen grote rol.

De eerste kartering van de twee bochten bij de Tongelreep is uitgevoerd in november 1995, twee maanden na oplevering van de graafwerkzaamheden. De laatste kartering is uitgevoerd in juli 1997. Eerst zal de ontwikkeling van de bedding in bocht 1 worden besproken, daarna zal bocht 2 aan bod komen.

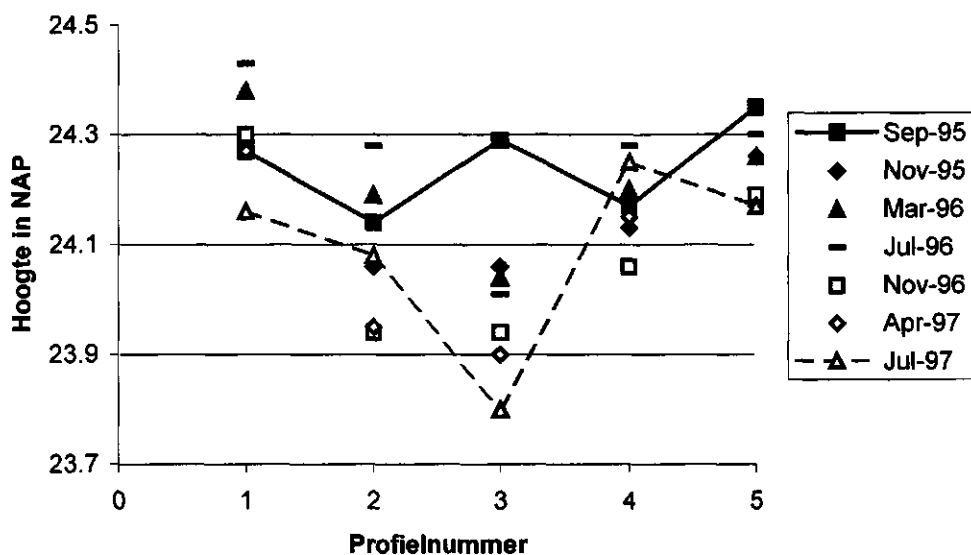


Fig. 31 Thalweg bocht 1. Met name in profiel 3 is goed te zien dat de bedding een diepere ligging heeft gekregen. Dit is het gevolg van het dieper worden van de geul langs de buitenbocht.

### Bocht 1

Tijdens de eerste opname van bocht in november 1995 gaf de bedding een kale indruk. Veel hard substraat was zichtbaar, soms bedekt met een dunne laag zand of silt (fig. 30). Het peil in de beek was laag, waardoor het weinig aanwezige zand stroomafwaarts werd verplaatst en geen nieuw zand door oever of beddingerosie in de beek terechtkwam.

De aanwezigheid van leem in bedding betekent dat verticale erosie niet of nauwelijks mogelijk is. Dit blijkt ogenschijnlijk niet uit het Thalweg-profiel voor bocht 1 (fig. 31). Hierin is te zien dat bocht dieper is geworden in de monitoringsperiode. Dit beperkt zich echter alleen tot de geul in de buitenbocht, op andere locaties voorkomt leem dat de bedding zich verder verdiept. Ook in de ontwikkelingen van de beddingmorfologie is merkbaar dat leem een belangrijke rol speelt (fig. 32). Ontwikkeling van pools is marginaal, en erosie grijpt dan ook vooral aan op de oevers.

Tijdens de opname van maart 1996 is het beeld qua substraten geheel anders. Zand is nu het dominante substraat in de bedding. Het grootste gedeelte van de bedding is bedekt met stroomribbels. Het verschil in diepte tussen de binnen-en de buitenbocht is groter geworden; de stroomribbels liggen vooral in de binnenbocht, terwijl de geul in de buitenbocht grotendeels zandvrij is gebleven.

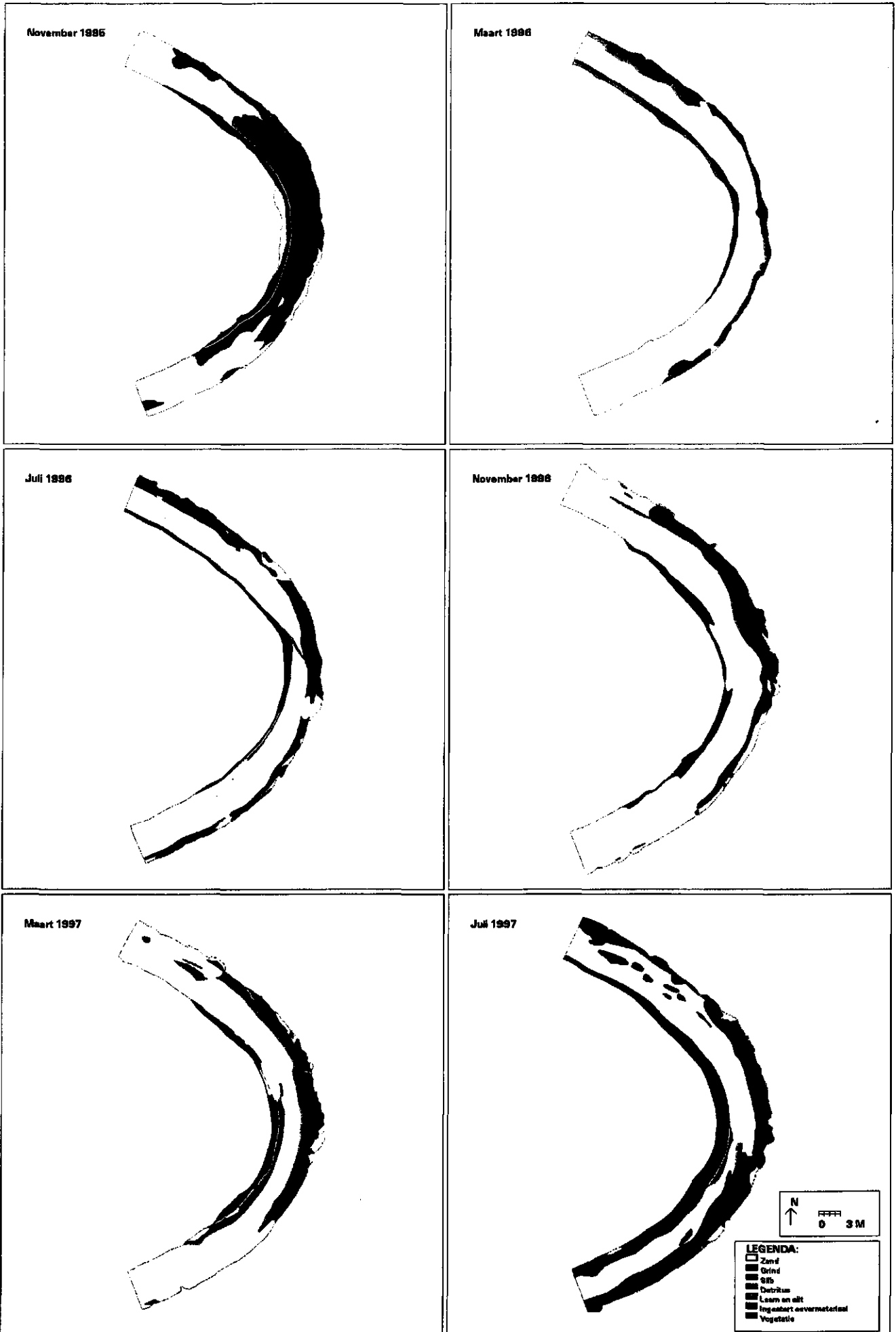


Fig. 30 Substraatverdeling Tongelreep bocht 1

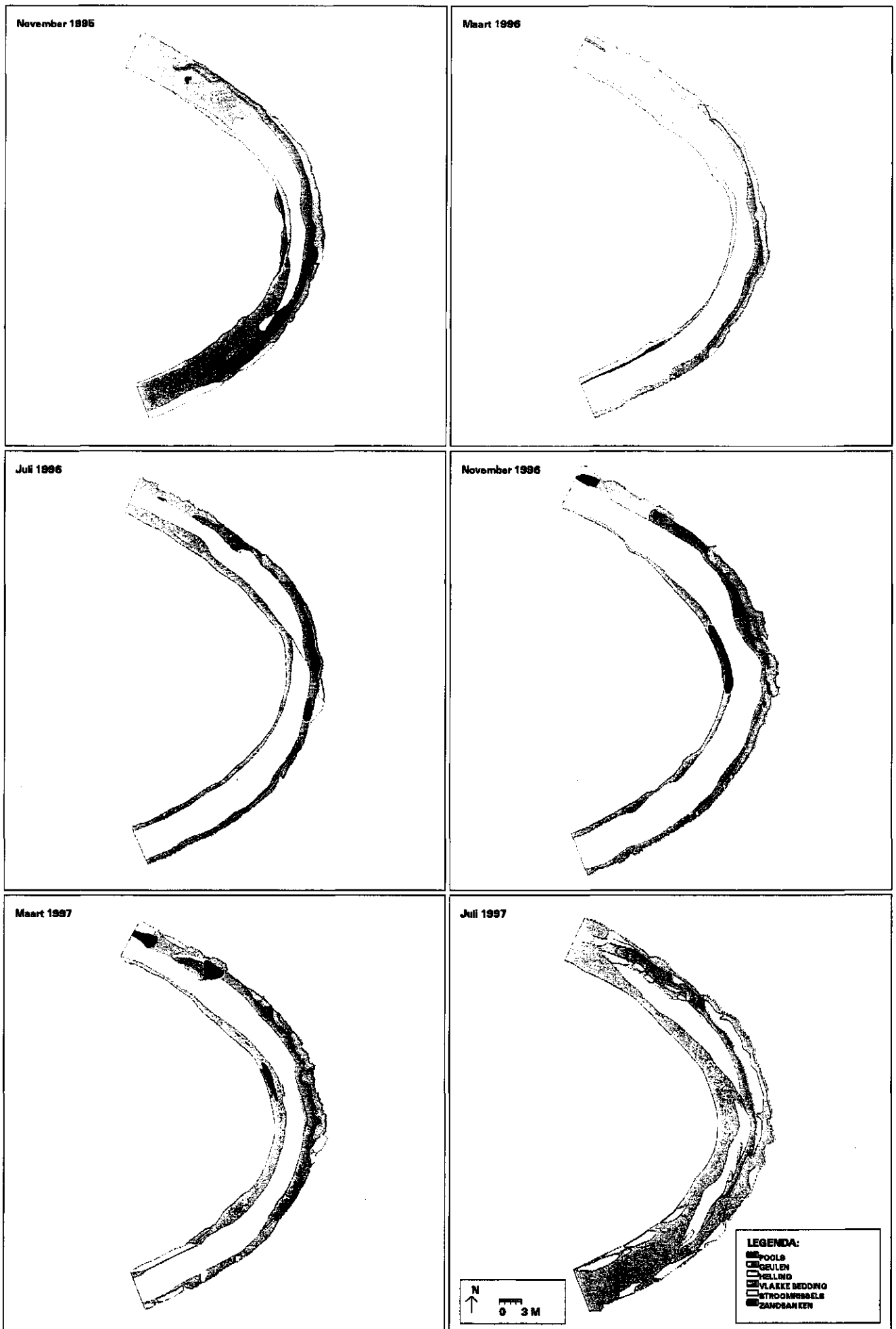
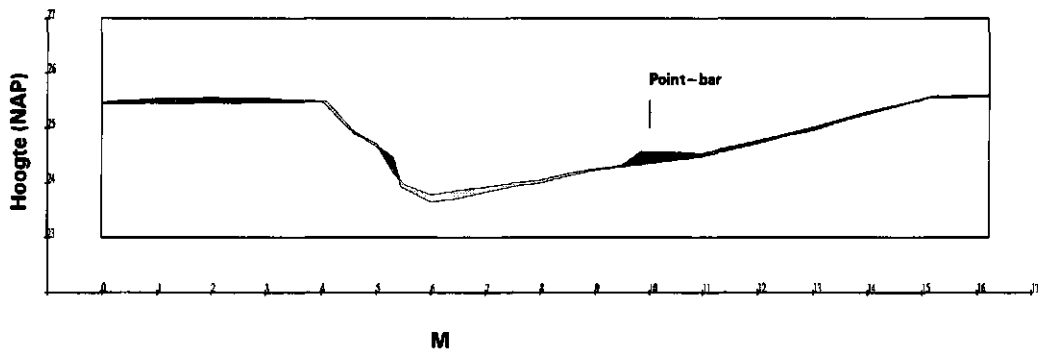


Fig. 32 Beddingmorphologie bocht 1 Tongelreep



**Fig. 33 Ontwikkeling van een point-bar in de binnenbocht van dwarsprofiel 8 bij de Tongelreep tussen juli 1996 en november 1996**

In juli 1996 is de situatie vergelijkbaar met die van maart 1996, met dat verschil dat het percentage zand in de bedding iets is afgenomen. Deze ontwikkeling lijkt op het mechanisme beschreven in paragraaf 4.2.2 waar een cyclische beweging van het zand in de seizoenen aanwezig was met een zandarme bedding in de zomer en een zandrijke in de winter. De bijbehorende veranderingen binnen een dwarsprofiel in een bocht waarbij in de winter zand aan de binnenbocht wordt afgezet en dit in de zomer een herverdeling ondergaat, is hier minder duidelijk aanwezig.

Het mechanisme blijkt in de kartering van november 1996 flink te zijn verstoord. Een zware onweersbui heeft voor een enorme pickafvoer gezorgd, en een grote input van zand in de bedding, afkomstig van geërodeerde oevers, tot gevolg gehad. In de binnenbocht heeft zich een point-bar (zandrug) kunnen vormen met aanzienlijke afmetingen (fig. 33). Deze point-bars zijn typische morfologische vormen die bij hoog water snel gevormd kunnen worden. Ook in maart 1997 is deze point-bar nog herkenbaar aan de binnenbocht (zie geomorfologische kaart in aanhangsel 7).

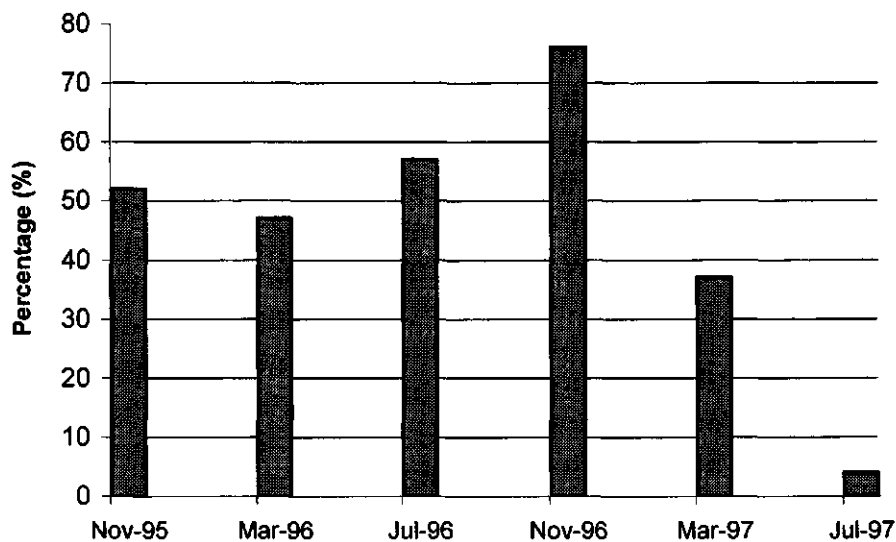


Fig. 34 Percentage zand in bocht 1 van de Tongelreep gedurende de monitoring

Het percentage zand in de bedding blijft vanaf november 1996 afnemen tot de kartering van juli 1997, waar nog maar 50% van de bedding bestaat uit zandige substraten. De ontwikkeling van het percentage zand in de bedding van bocht 1 is weergegeven in fig. 34. In de opname van juli 1997 is een redelijk gevarieerde beek te zien met enige aquatische vegetatie (fig. 35), maar ook grind en leem. Opvallend is de sterke toename van slib.

De oppervlakte slib bedraagt ongeveer 30%, tegenover minder dan 10% bij de vorige karteringen. Werkzaamheden aan de, grotendeels met slib gevulde, bovenstroomse zandvang heeft veel slib in transport gebracht en verklaart de sterke toename van dit substraat. In aanhangsel 4, tabel 18, zijn de gegevens over de substraten in de bedding (ook voor bocht 2; tabel 19) gedurende het monitoringsproject opgenomen.

#### *Bocht 2*

Uit de eerste opname van bocht 2 blijkt dat de situatie vergelijkbaar is met de eerste opname van bocht 1. Het aandeel leem is in bocht 2 echter veel groter (fig. 36), en duidelijk aanwezig in de vorm van banken. In de volgende opname van maart 1996 blijft leem duidelijk aanwezig. De totale oppervlakte aan zandige substraten neemt licht af, maar de oppervlakte stroomribbels neemt toe (fig. 36). Stroomribbels die in de eerste opname alleen in de rechte stukken voorkwamen, komen nu in de gehele bocht voor.

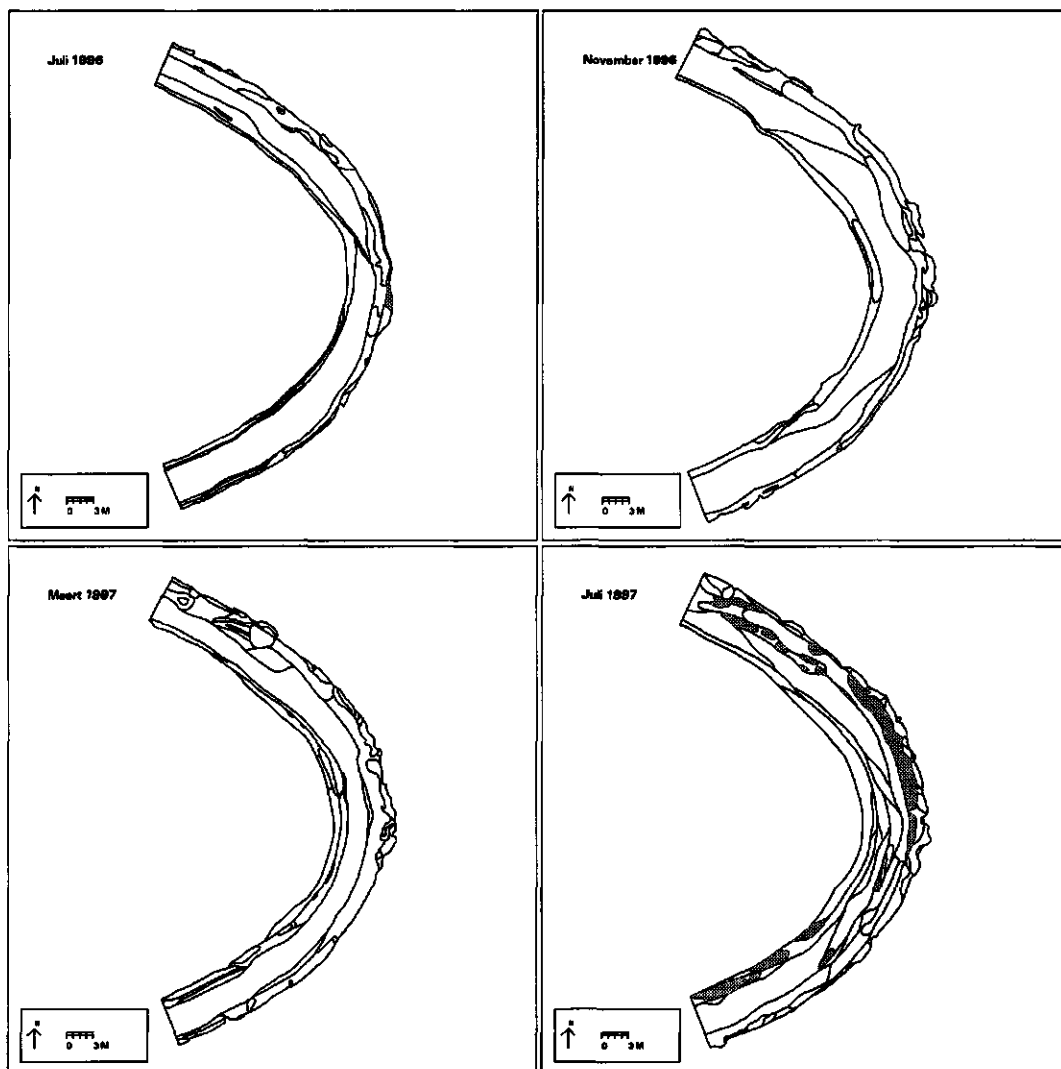
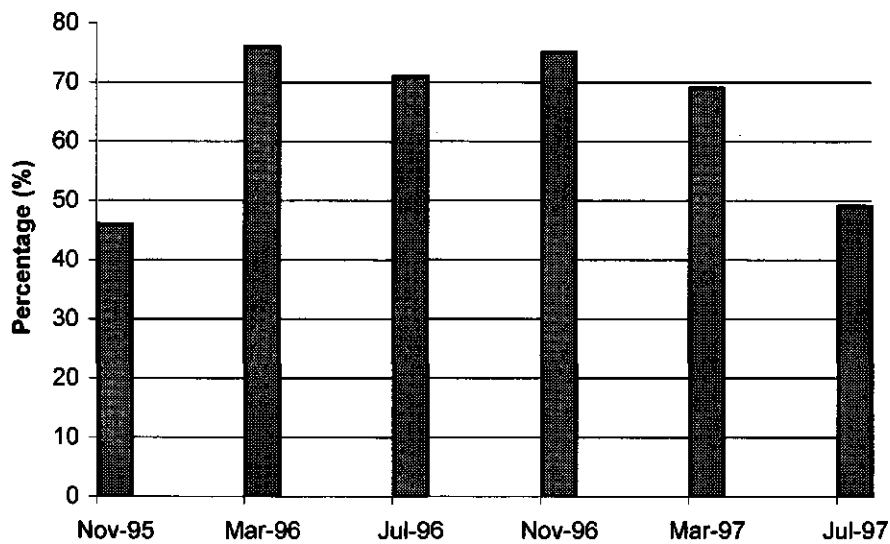


Fig. 35 Aquatische vegetatie bocht 1 bedding Tongelreep



In juli 1996 neemt de oppervlakte zand weer toe (fig. 37). Dit wordt vooral veroorzaakt door de toename van vlakliggende, dunne zandlagen. De oppervlakte aan stroomribbels neemt met 30% af. De dynamiek in de beek is duidelijk afgenomen, maar de diversiteit aan substraten is toegenomen. Tussen het zand door zijn vele kleine leemvlakken zichtbaar. Alhoewel de totalen van de zandige substraten een mechanisme zoals omschreven in paragraaf 4.2.2 niet ondersteunen (zand neemt toe in plaats van af), duidt het schoonspoelen van de leemvlakken toch op de aanwezigheid ervan.

De opname van november 1996 draagt nog duidelijk de sporen van een zware onweersbui in augustus 1996. Als gevolg van oevererosie is de hoeveelheid zand in de bedding sterk toegenomen (van 57% naar 76% van het totaal, fig. 37). De oppervlakte stroomribbels is meer dan verdubbelt.



*Fig. 37 Percentage zand in bocht 2 van de Tongelreep. Het extreme hoge percentage in november 1996 is het gevolg van een zware onweersbui in augustus van dat jaar.*

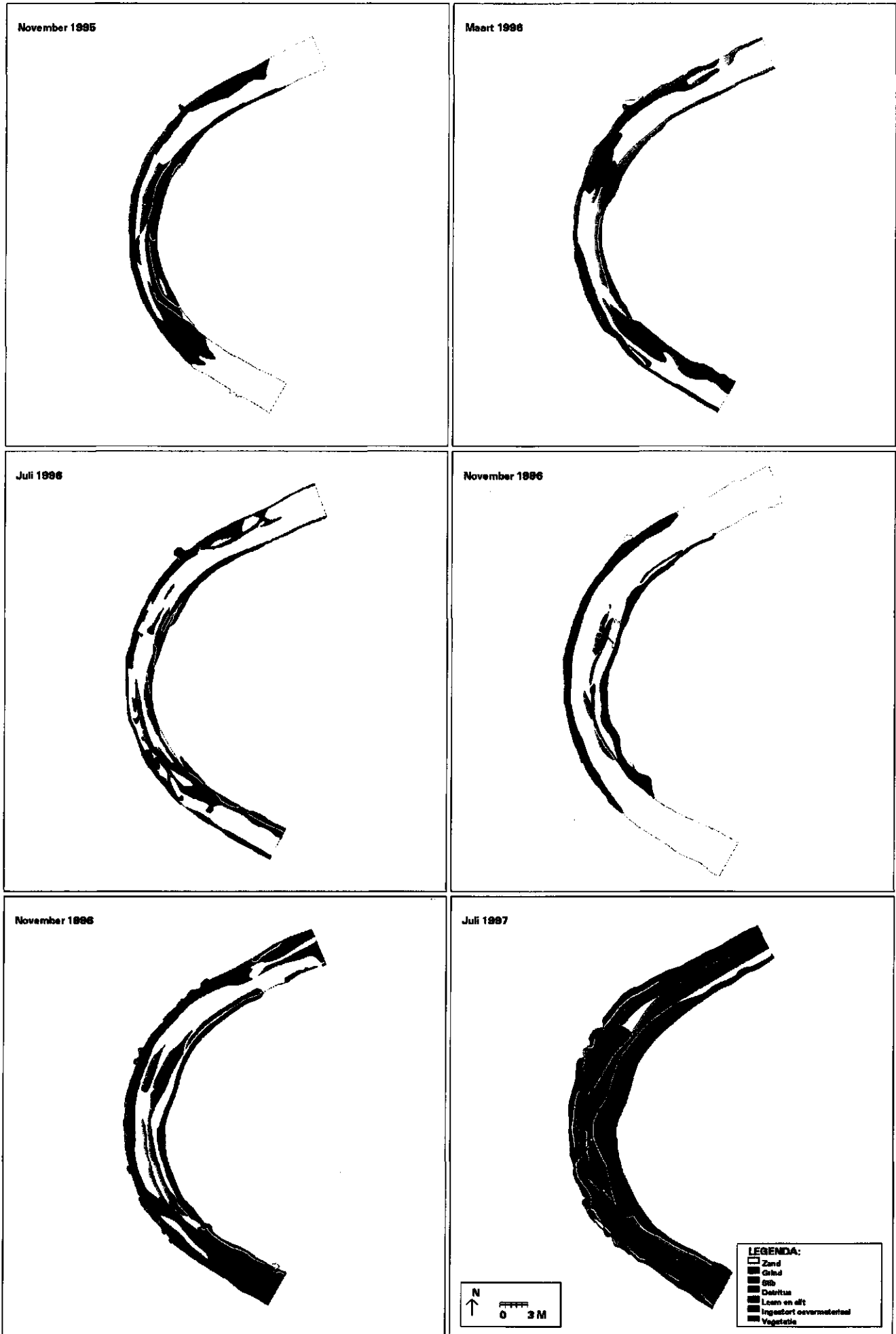


Fig. 36 Substraatverdeling Tongelreep bocht 2

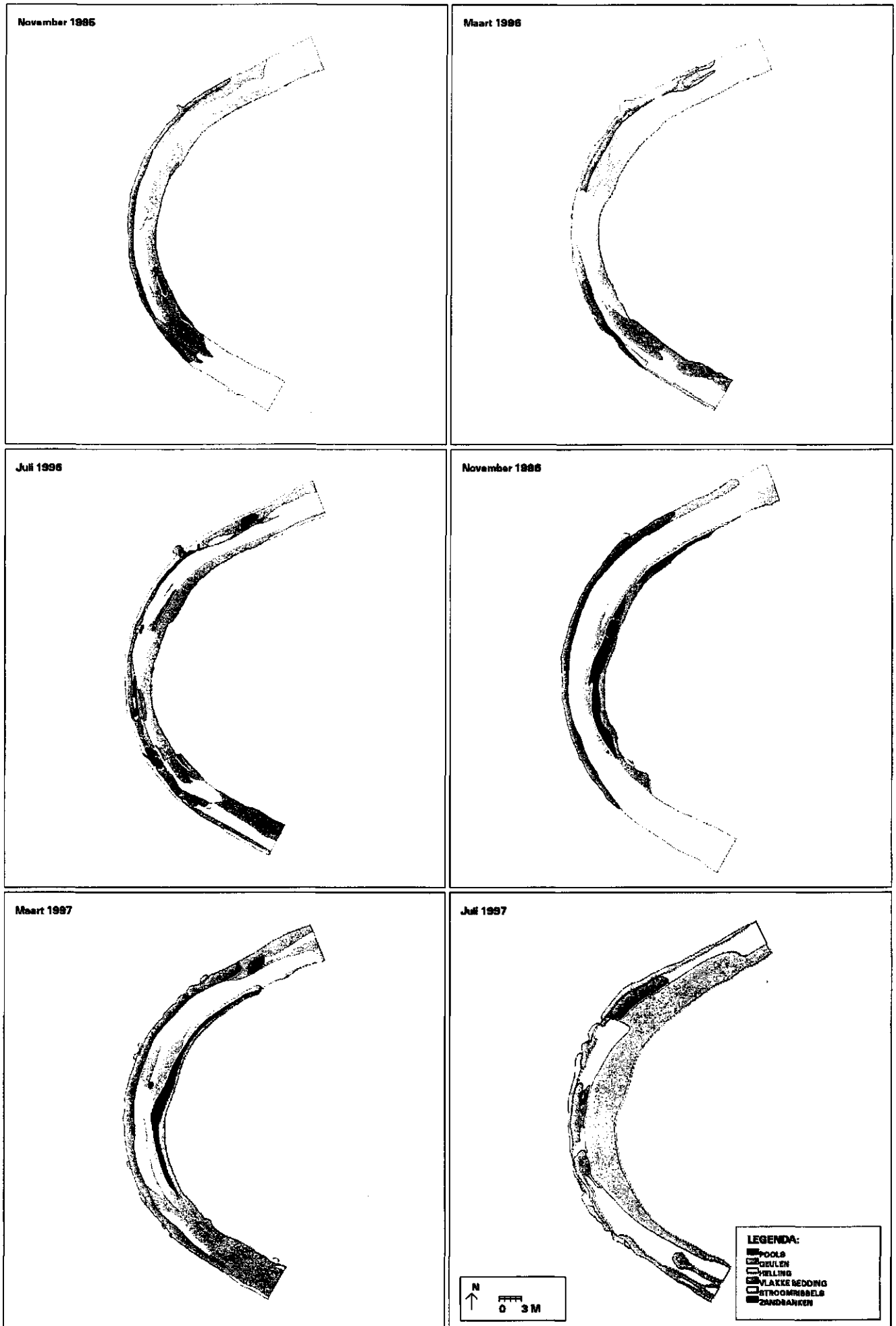


Fig. 38 Beddingmorphologie bocht 2 Tongelreep

Aan de binnenbocht heeft zich een point-bar van flinke omvang gevormd, met een goed ontwikkelde geul achterlangs (zie geomorfologische kaart in aanhangsel 7). Deze vorm is ook in de opname van maart 1997 nog markant aanwezig. De hoeveelheid zand is echter afgenomen en naast stroomribbels komen ook andere substraten, zoals leem weer voor (fig. 36). Leem speelt ook in deze bocht een sturende rol. De geomorfologische ontwikkeling tijdens de monitoringsperiode is weergegeven in fig. 38. Veranderingen spelen zich vooral af op en langs de oevers. Dit beeld volgt niet uit het Thalwegprofiel in fig. 39. Hierin is te zien dat de bedding zich in de loop van de tijd iets heeft verdiept. Net zoals bij bocht 1 is dit vooral het gevolg van het dieper worden van de geul langs de buitenbocht. De overige bedding ligt tamelijk vast door de aanwezigheid van resistente leembanken.

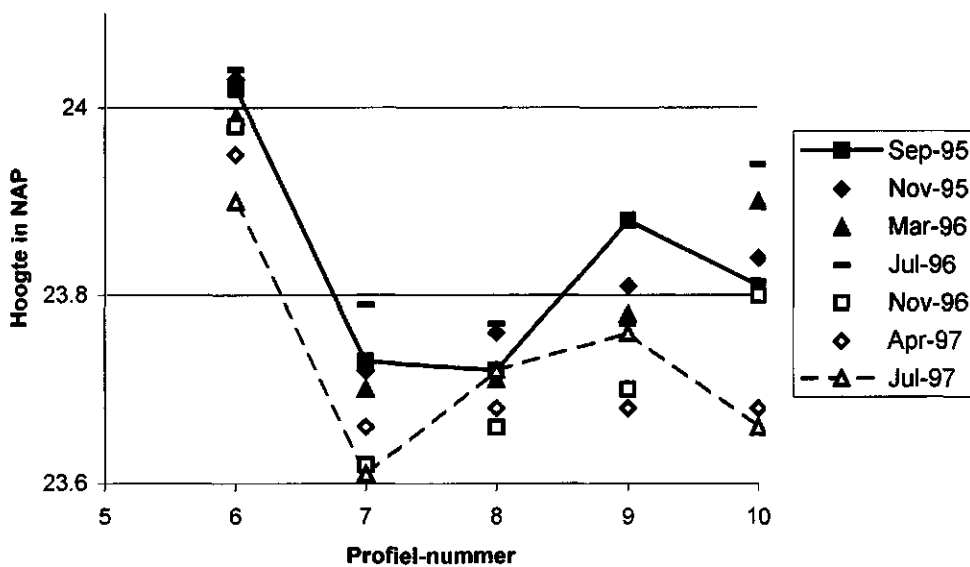
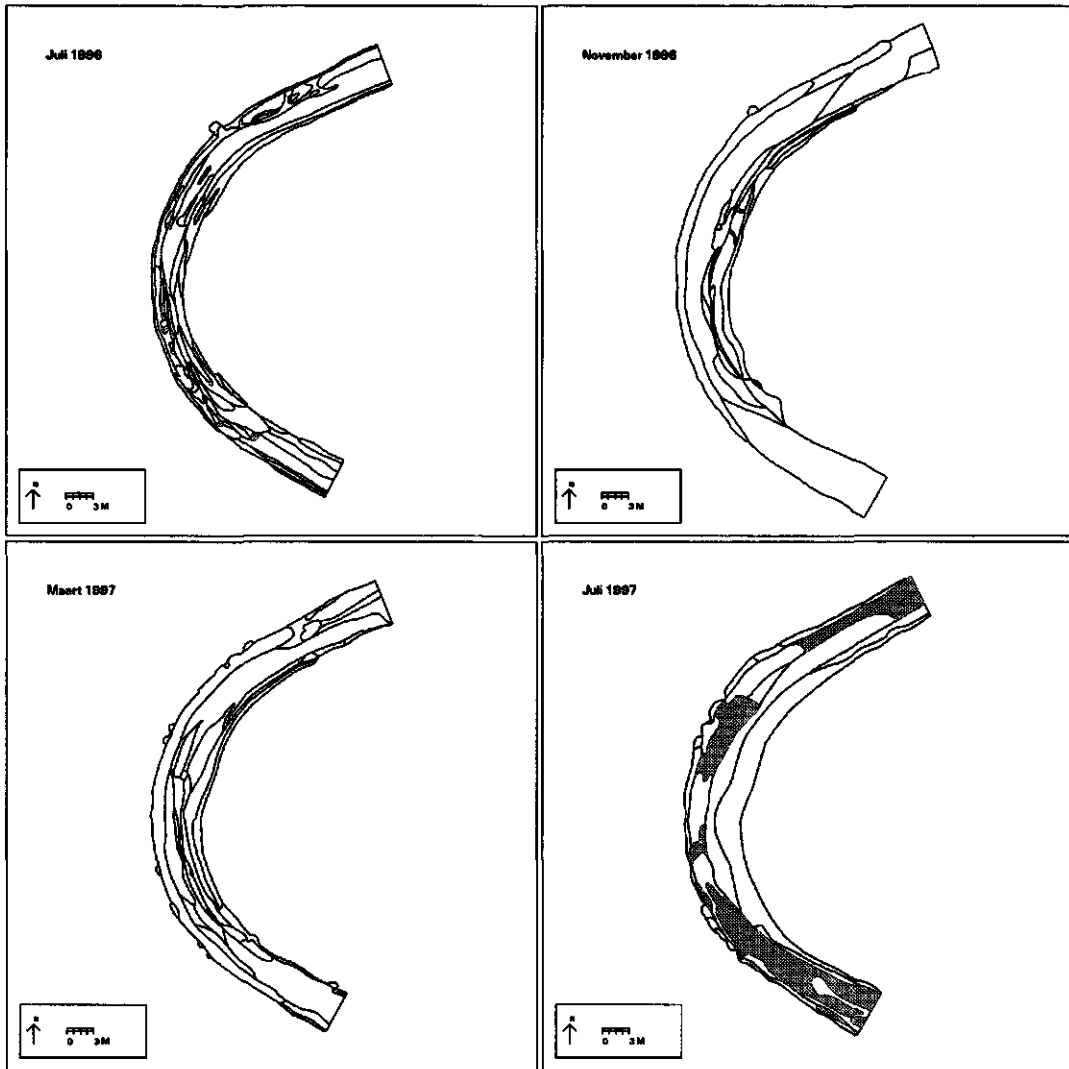


Fig. 39 Thalweg bocht 2 Tongelreep

De aquatische vegetatie die tot dusver spaarzaam aanwezig was, is in juli 1997 sterk toegenomen (fig. 40). Grote oppervlakken van vooral sterrenkroos bedekken de bedding. De ontsane situatie lijkt enigzins op de zomersituatie in de Keersop (paragraaf 4.2.2). De waterplanten beginnen de stroming in de beek te verleggen en daarmee hun invloed op de morfologie uit te oefenen. Ook hier, evenals in bocht 1, is de sterke toename van slib, tot 30% van de totale oppervlakte, opvallend. De oorzaak is dezelfde als die bij bocht 1 reeds beschreven.



**Fig. 40 Aquatische vegetatie bocht 2 bedding Tongelreep**

## 5.3 Ontwikkeling erosie en sedimentatie

### 5.3.1 Erosie en sedimentatie in de zandvang

De grootte en intensiteit van het zandtransport bij de Tongelreep kan worden bepaald aan de hand van een tweetal zandvangen. Een zandvang bevindt zich stroomopwaarts aan het begin van het hersteltraject, de tweede zandvang bevindt zich direct stroomafwaarts aan het einde van het hersteltraject. De bovenstroomse zandvang is vanaf september 1995 gemeten, de benedenstroomse vanaf maart 1996. De laatste meting van de zandvangen is uitgevoerd in juli 1997.

#### *Bovenstroomse zandvang*

De bovenstroomse zandvang bij de Tongelreep ligt direct na de Kluizerbrug aan het begin van het hermeanderingstraject. Depositie van slib speelt hier een grote rol. Dit betekent dat de gegevens uit deze dwarsprofielen met enige voorzichtigheid benaderd moeten worden.

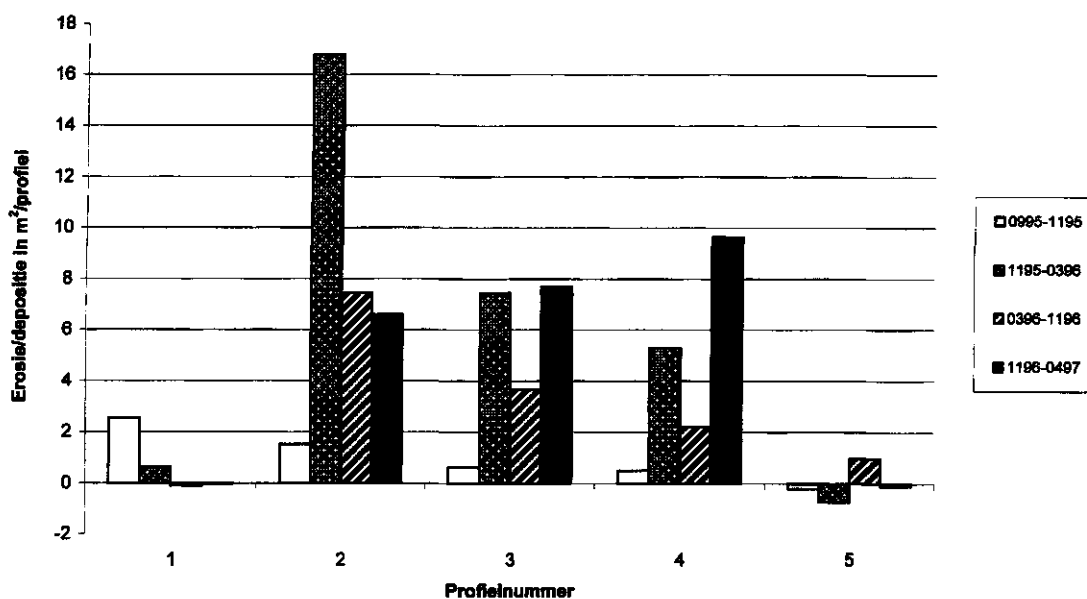


Fig. 41 Ontwikkelingen bovenstroomse zandvang Tongelreep

De resultaten van de dwarsprofielmetingen zijn gepresenteerd in fig. 41. Het blijkt dat de depositie in de perioden november 1995 tot en met maart 1996 en november 1996 tot en met april 1997 het grootst is. Tevens valt op dat in de periode april 1997 tot en met juli 1997 bij profiel 2 en 4 erosie is opgetreden. Sterke erosie in een zandvang lijkt een paradox, maar het feit dat deze zandvang grotendeels met slib is opgevuld, maakt het optreden van erosie begrijpelijker.

Wanneer de depositie in de zandvang in de tijd wordt gevolgd blijkt dat profiel 1 na de opname van november 1995 vol gesedimenteerd was.

Profiel twee bleek na de opname van april 1997 vol te liggen. Profiel 3 en 4 zijn na de opname van juli 1997 respectievelijk voor tweederde en eenderde vol. Profiel 5 ligt aan het einde van de zandvang en heeft in de loop van de monitoring slechts lichte depositie en erosie te zien gegeven. De bodemlijn van dit profiel ligt veel hoger dan die van de overige profielen in de zandvang. Daarom zal de capaciteit ter hoogte van dit profiel voor de opslag van materiaal minimaal zijn.

Voor de zandvang als geheel is een schatting gemaakt van het totaal aan materiaal dat is afgezet. Hiervoor zijn de gegevens uit de dwarsprofielen gebruikt en geëxtrapoleerd over een afstand loodrecht op de profielen. Dit levert de totale hoeveelheid materiaal in m<sup>3</sup>. Deze bedraagt 1500 m<sup>3</sup>.

### **Benedenstroomse zandvang**

De benedenstroomse zandvang ligt aan het einde van het hermeanderingstraject. Bij deze zandvang zijn metingen uitgevoerd over de periode maart 1996 tot en met juli 1997. Het materiaal wat in deze zandvang wordt afgezet is voornamelijk zand.

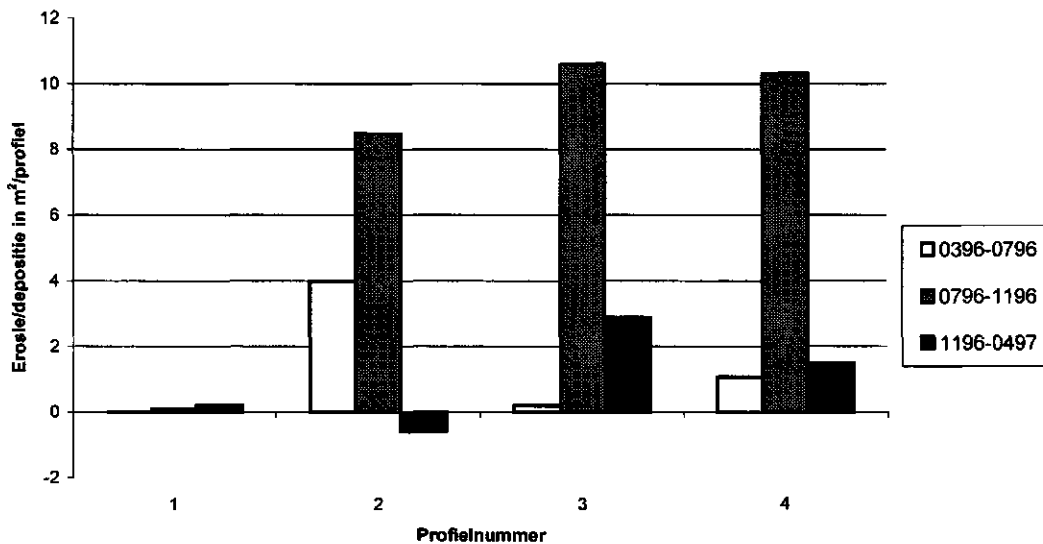


Fig. 42 Ontwikkelingen benedenstroomse zandvang Tongelreep

De resultaten van de metingen zijn weergegeven in fig. 42. De periode met de sterkste depositie is juli 1996 tot en met november 1996. In profiel 2, 3 en 4 zijn grote hoeveelheden zand afgezet. Dit correspondeert met het beeld in het hermeanderende traject bovenstrooms van de zandvang, waar sterke (locale) erosie en depositie tijdens de opname van november 1996 duidelijk zichtbaar was. Deze processen zijn voor het grootste gedeelte toe te schrijven aan een hoge piekafvoer op 29 augustus 1996, als gevolg van een zware onweersbui in de regio Eindhoven.

Wanneer de sedimentatie in de tijd wordt gevolgd is het front van het inschuivende zand goed te volgen. Profiel 2 was na de opname van november 1996 door het zand gepasseerd. Na de opname van april 1997 bleek het inschuivende ook de zandvang ter hoogte van profiel 3 te hebben opgevuld. Uit de laatste opname bleek ook de

zandvang bij profiel 4 vol te liggen. Uit veldwaarnemingen in juli 1997 is geconstateerd dat de gehele zandvang was opgevuld. De benedenstroomse zandvang is dus in een periode van ruim anderhalf jaar geheel opgevuld, waarvan zo'n 60% alleen al in de periode juli 1996 tot en met november 1996 (de periode met de zware onweersbui).

### **5.3.2 Erosie en sedimentatie in de meetmeander**

Erosie en sedimentatie in de Tongelreep wordt gemeten bij twee verschillende bochten in de meetmeander. Bocht 1 heeft grofzandige oevers, terwijl bocht 2 ook oevergedeelten bevat met klei en/of leem. In beide bochten bevinden zich leembanken die verticale erosie bemoeilijken. In het begin van de monitoring (september 1995 tot november 1995) speelde erosie een duidelijke rol. In deze periode is geen sprake geweest van piekafvoeren. Waarschijnlijk gaat het om erosie van achtergebleven losliggend materiaal in de bedding na het afronden van de graafwerkzaamheden. In aanhangsel 4, tabel 13 is een overzicht opgenomen van de waarden van erosie en depositie per periode.

Het blijkt dat erosie in bocht 1 een veel sterkere rol speelt dan de erosie in bocht 2 (fig. 43 en 44). Enige verticale erosie komt in beide bochten voor. Deze verticale erosie vindt voor het grootste gedeelte plaats in de buitenbochten die iets dieper zijn geworden. De reden waarom de erosie in bocht 1 veel sterker is dan in bocht 2 is het feit dat in bocht 1 veel oevererosie heeft plaatsgevonden. De zandige oevers zijn veel vatbaarder voor erosie dan de oevers van klei in bocht 2.

Uit fig. 43 en 44 blijkt ook dat erosie in het tweede jaar (juli 1996 tot juli 1997) sterker is geweest dan in het eerste jaar (september 1995 tot juli 1996). De verklaring hiervoor is een piekafvoer in augustus 1996 waarbij vooral bocht 1 zeer sterk is geërodeerd. Langs de buitenbocht was over een afstand van zo'n 20 meter 1 meter van de oever weggeslagen. Dit levert een sediment-input van ongeveer 20 m<sup>3</sup>. In de eerste binnenbocht direct na de eerste monitoringsbocht bleek een dik pakket zand te zijn afgezet. Uit globale schattingen blijkt dat hier ongeveer 20 m<sup>3</sup> is afgezet. Dit duidt erop dat bij een dergelijke piekafvoer veel geërodeerd zand over een korte afstand wordt getransporteerd, en op de eerste geschikte locatie wordt gesedimenteerd. De sterke erosie in bocht 1 heeft ook een migratie van de bocht tot gevolg gehad. De totale oppervlakte aan bedding en oevers nam in de periode 11/95 tot 07/97 met een kleine 3% toe (1 meter migratie van de buitenbocht). In bocht 2 bleef de toename van de totale oppervlakte aan bedding en oevers met minder dan 1% toe.



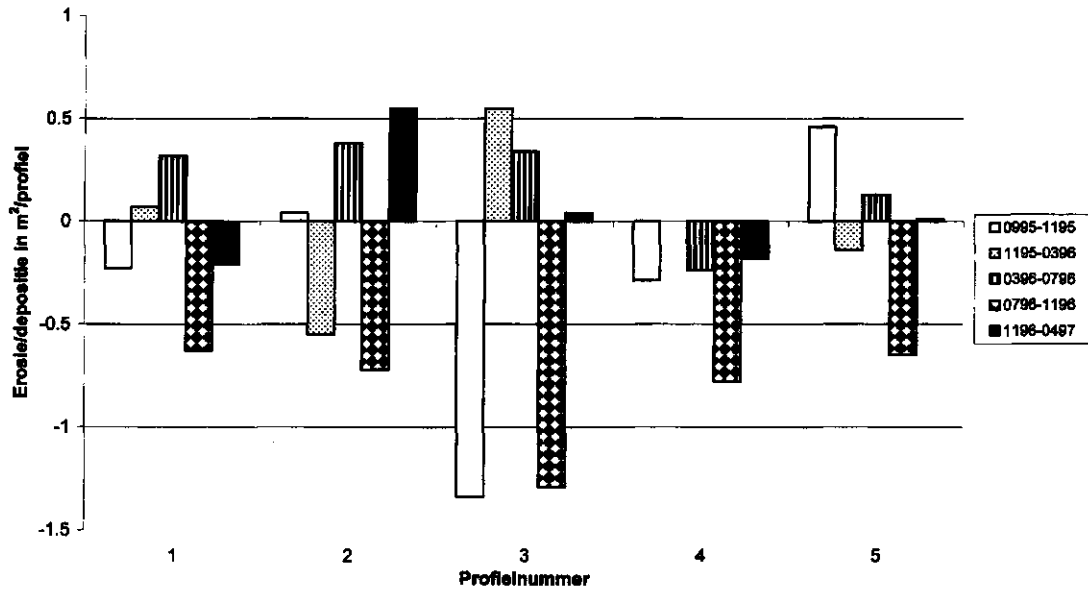


Fig. 43 Depositie en erosie bocht 1 meetmeander Tongelreep

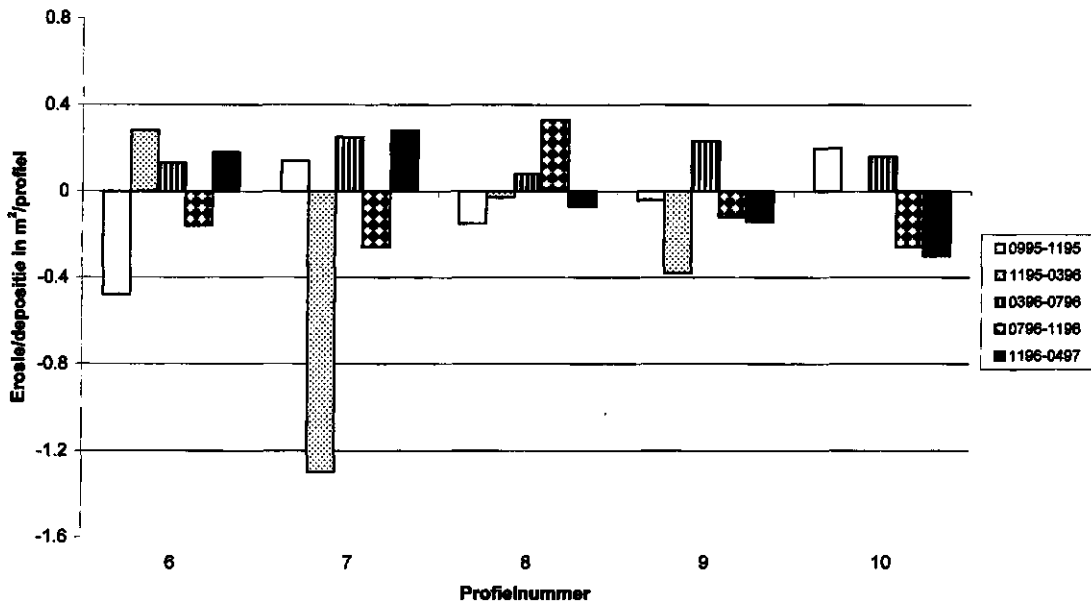


Fig 44 Depositie en erosie bocht 2 meetmeander Tongelreep

Invloed van de overloop op verschil in erosie en sedimentatie tussen bocht 1 en 2 (voor en na de overloop) is niet duidelijk aanwijsbaar. Hoewel de erosie in bocht 1 veel sterker is dan die in bocht 2, is waarschijnlijk de samenstelling van de oevers meer een sturende factor dan de invloed van de overloop. De overloop treedt pas bij zeer hoge afvoeren in werking. Bij de piekafvoer van augustus 1996 heeft de overloop gefunctioneerd, maar duidelijke sporen daarvan, zoals een sterke depositie van zand bij de ingang van de overloop, zijn niet waargenomen. Dit feit in combinatie

met de waarneming dat de zandige gedeelten van de oevers in bocht 2 na de genoemde piekafvoer ook duidelijk door erosie waren aangetast, maakt een grote invloed van de overloop op de ontwikkeling van bocht 2 niet aannemelijk

## 5.4 Macrofauna

De referentie voor de macrofauna in de Tongelreep is vastgelegd door bemonstering in 1993 (voorjaar en zomer). Deze is redelijk soortenrijk te noemen in vergelijking met veel andere oppervlaktewateren. Het aantal kenmerkende soorten is echter klein. Bovendien komen een aantal vervuilingstolerante soorten in grote aantallen voor, terwijl soorten die kritisch zijn ten aanzien van verontreiniging ontbreken (tabel 5). Hieruit kan worden afgeleid dat het water in de Tongelreep nogal verontreinigd is. Dit blijkt verder ook uit metingen aan de waterkwaliteit. Hieruit blijkt een ernstige verstoring van de waterkwaliteit in 1995 op een locatie direct bovenstrooms van het hermeanderingstraject.

Tabel 5: Macrofauna in de Tongelreep

Jaar	Aantal soorten	Kensoorten	Aandachtsoorten	Bijzondere Aandachtsoort	Score
1993	78	13	6	0	3
1995/1996	47	10	3	0	2
1998 (alleen zomer)	79	11	4	0	-

De eerste macrofauna-bemonstering na de herstelwerkzaamheden is uitgevoerd in de zomer van 1995 en in het voorjaar van 1996. Hieruit blijkt dat de Tongelreep na herstel soortenarmer is geworden. Ook het aantal kenmerkende soorten en de daarmee bepaalde score voor natuurwaarde zijn afgenomen. Deze afname is veroorzaakt door een nieuwe puntlozing van ongezuiverd rioolwater in Hamont-Achel (België). In augustus 1997 is deze puntlozing aangesloten op een rioolwaterzuivering.

Het totale aantal soorten, het aantal kensoorten en het aantal aandachtsoorten zijn in 1998 gelijk aan of hoger dan de aantallen van de voorgaande jaren. Daarbij moet vermeld worden dat er in 1998 slechts eenmaal is bemonsterd (alleen zomermonster). Een volledige bemonstering zou zeer waarschijnlijk hogere aantallen hebben opgeleverd dan de voorafgaande jaren. Een score voor de natuurwaarde wordt in tabel 5 voor 1998 niet gegeven omdat een voorjaarsmonster ontbreekt.

De resultaten van 1998 geven duidelijk de effecten weer van de ingebruikname van rioolwaterzuivering. De afname van de verontreinigingsgraad wordt duidelijk aan de hand van de sterke afname van het aantal *Chironomus riparius*. Deze tolerante muggenlarve komt in hoge aantallen voor in sterk verontreinigde wateren. In 1995/1996 zijn (vrijwel) geen kreeftachtigen, watermijten, kokerjuffers en slakken waargenomen. In 1998 worden van genoemde groepen weer meerdere soorten in het monster aangetroffen. Diverse soorten die een bepaalde mate van verontreiniging verdragen worden ook in 1998 nog aangetroffen. Voorlopig blijft onduidelijk of de afname van de verontreinigingsgraad zich verder zal doorzetten.

## 5.5 Samenvatting en conclusies monitoring Tongelreep

De conclusies over de ontwikkeling van de Tongelreep na herstelmaatregelen:

1. Erosie aan de buitenbochten is zeer sterk bij de Tongelreep. In bocht 1 heeft dit reeds geleid tot een zijwaartse migratie van de gehele buitenbocht van een meter. De bedding van de Tongelreep bevat veel leem is daardoor resistent voor erosie. Toch hebben zich in de buitenbochten geulen kunnen ontwikkelen die zich licht hebben kunnen insnijden. Net zoals bij de Keersop, maar iets minder duidelijk, is er sprake van een cycliciteit in het percentage zand in de bedding. De winterbedding is dus rijker aan zand dan de zomerbedding. Piekafvoeren (zoals een extreme onweersbui in de zomer) kunnen deze cyclus verstoren. De diversiteit van substraten in de bochten is toegenomen ten opzichte van de beginsituatie (november 1995). Zand en leem zijn de dominante substraattypen. Aquatische vegetatie speelt tot de opname van juli 1997 geen rol.
2. Het transport van sediment in het hersteltraject van de Tongelreep bestaat voornamelijk uit zand. Dit transport is omvangrijk. De benedenstroomse zandvang is in minder dan twee jaar geheel met zand opgevuld. Een extreme piekafvoer in augustus 96 draagt het meest bij aan de opvulling van de zandvang. Het transport van zand zal een rol blijven spelen, zeker bij piekafvoeren. Niet overal zijn de oevers begroeid geraakt. Juist de zandige oevers die het meest gevoelig zijn voor erosie zijn vaak nog onbegroeid. De bovenstroomse zandvang wordt in hoog tempo opgevuld met slib afkomstig van het gedeelte bovenstrooms van het hersteltraject. De grootste bron van dit slib is het afvalwater van de gemeente Achel wat ongezuiverd op de Tongelreep wordt geloost.
3. De samenstelling van de macrofaunagemeenschap wordt in de onderzoeksperiode sterk bepaald door de verontreinigingsgraad van het water. Eventuele effecten van de hermeandering kunnen daardoor niet tot uiting komen. Mogelijke effecten van de hermeandering op de macrofauna kunnen op zijn vroegst op (middel)lange termijn zichtbaar worden.

Op basis van bovenstaande conclusies kan worden opgemaakt dat het herstel bij de Tongelreep gedeeltelijk succesvol is verlopen. Geomorfologisch gezien is het succesvol in de meanderbochten. Processen van erosie en depositie krijgen volop kans, wat zich in een grotere diversiteit van substraten uit. Het toegepaste bochtprofiel van het ontwerp is gezien de dynamiek van het huidige systeem niet nodig geweest. De Tongelreep was waarschijnlijk zelf ook in staat geweest om van eenvoudige trapezium-profielen natuurlijke beekprofielen te maken. In de rechte gedeelten is er geen sprake van succesvol herstel. De situatie hier is grotendeels gelijk aan die direct na de graafwerkzaamheden. De lange rechte gedeelten bieden vooralsnog weinig kans aan natuurlijke geomorfologische processen.

De ontwikkeling van de macrofaunagemeenschap is in de onderzoeksperiode teleurstellend verlopen. Dit is veroorzaakt door het feit dat de wisselende mate van beïnvloeding met rioolwater, eventuele effecten van de hermeandering geheel heeft overschaduwd.

## **6 Discussie en conclusie**

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de gebruikte methoden in het monitoringsproject (6.1). Ook zal een vergelijking worden gemaakt tussen de drie beken onderling. Naast de ontwikkeling van erosie en sedimentatie en de breedte-diepteverhoudingen, zal worden ingegaan op de morfologie van oevers en bedding en de macrofauna (6.2). Tenslotte zal op basis van de ontwikkelingen in morfologie en macrofauna een eendoordeel worden gegeven over het succes van de herstelmaatregelen bij elk van de drie beken (6.3).

### **6.1 De methoden**

De gebruikte meetmethoden die in dit monitoringsproject zijn gebruikt vallen uiteen in een drietal thema's: hydrologie (debiet, stroomsnelheden en grondwaterstanden), geomorfologie (dwarsprofielen en karteringen) en aquatische ecologie (macrofauna). Per thema zal kort worden aangegeven wat voor informatie de metingen hebben opgeleverd, hoe bruikbaar deze zijn en welke veranderingen/verbeteringen mogelijk zijn.

#### **6.1.1 Hydrologie**

##### ***Debiet***

Het debiet is goed te relateren aan geomorfologische ontwikkelingen in de beek. Hoge winterafvoeren en zomerse piekafvoeren spelen een grote rol in de geomorfologische ontwikkelingen. Metingen van het debiet zijn daardoor essentieel voor een monitoringsproject.

##### ***Grondwaterstanden***

Grondwaterstanden geven informatie over een eventueel aanwezige kweldruk en kunnen op lange termijn informatie opleveren over verdroging en vernatting van het beekdal. Het is gebleken dat kweldruk een aanzienlijk effect kan hebben op de stabiliteit van oevers. Bij alle drie de beken zijn verschijnselen waargenomen die hierop duiden (uitzakken van oevers, ontstaan van kommetjes, sedimentatie van dunne fijnzandige laagjes onderaan de oever).

##### ***Stroomsnelheidsmetingen***

Stroomsnelheidsmetingen zoals in dit project uitgevoerd geven een indicatie van de voorkomende stroomsnelheden in de beek. Het aantal metingen is echter te gering voor een statistische analyse, wat overigens ook niet het doel was. Wel is het mogelijk uitspraken te doen over gemiddelde stroomsnelheden op een bepaald substraat.

Wanneer de relatie substraat-macrofauna duidelijk omschreven kan worden, kan de informatie over stroomsnelheden hieraan worden gekoppeld.

Op basis van substraten kan dan een voorspelling worden gemaakt van de te verwachten ontwikkelingen in de macrofauna (bij een goede waterkwaliteit en aansluiting op een bovenstrooms traject).

### 6.1.2 Geomorfologie

De geomorfologische kartering van de bedding geeft gedetailleerde informatie op schaal 1 : 100 over vorm en materiaal in de bedding. Hiervan kan worden afgeleid hoe de verdeling en de diversiteit van substraten en substraattypen is in de bedding. Uit deze afgeleide informatie kan een kwaliteitsoordeel over het herstel worden geveld. Bovendien kunnen geomorfologische processen worden beschreven en gevolgd in de tijd. Het nadeel van deze methode van karteren is dat deze zeer arbeidsintensief is.

Een alternatief voor een gehele kartering kan het opnemen van een aantal transecten loodrecht op de beek zijn. Het voordeel van deze methode is dat een grotere meetmeander kan worden opgenomen. Het nadeel is echter dat de nauwkeurigheid van de data afneemt. Als proef is voor bocht 1 van de Tongelreep bepaald wat de substraatverdeling van de verschillende materialen oplevert wanneer alleen de transecten van de dwarsprofielen worden opgenomen. Deze liggen ongeveer 20 meter van elkaar verwijderd. Een vergelijking tussen de uitkomsten van de kartering en de proef zijn in tabel 6 te zien.

Tabel 6: Vergelijking van de substraatverdeling van de Tongelreep bocht 1 maart 1997 tussen de kartering en de transecten-methode

	Kartering	Transecten-methode
Zand	69,2	67,0
Grind	0,5	0
Leem	17,1	15,6
Silt	3,2	6,8
Slib/Organisch materiaal	6,5	6,1
Ingestort oevermateriaal	3,5	4,4

Uit tabel 6 blijkt dat de uitkomsten uit de twee methoden redelijk goed overeenkomen voor de verdeling van de substraten qua materiaal. Een vergelijking op een gedetailleerder niveau van de diversiteit aan substraten maakt duidelijk dat de transect-methode veel minder gedetailleerd is. Uit de kartering komt naar voren dat er 24 verschillende substraattypen zijn, met in totaal 70 vlakken in de meetmeander. De transecten geven 16 verschillende substraattypen met totaal minder dan 30 vlakken. Dit betekent een verlies van ruim 30% aan substraat-diversiteit met de transect-methode. De geomorfologie is met de transect-methode eveneens summier op te nemen. De processen en vormen in de bedding kunnen met behulp van deze methode niet meer goed worden gevolgd omdat het overzicht ontbreekt.

Voor een snelle en globale bepaling van de oppervlakten aan substraten is de transect-methode wel bruikbaar. Gedetailleerde informatie over de substraten gaat verloren evenals de geomorfologische gegevens; hiervoor blijft een geomorfologische karte-

ring noodzakelijk. De transect-methode is dus geschikt voor een beoordeling van de toestand, maar veel minder geschikt voor proces-analyse.

Dwarsprofielen geven nauwkeurige en gedetailleerde informatie over de ontwikkelingen van verticale erosie en sedimentatie in één profiel. De dwarsprofielen tesamen geven een beeld van de ontwikkelingen in de beek of in een zandvang. Dwarsprofielen kunnen de geomorfologische kartering ondersteunen. Het ontstaan van een zandbank of een pool van enige omvang kan met dwarsprofielmetingen worden gevolgd.

Een nauwkeurige bestudering van de dwarsprofielen blijkt veronderstelde mechanismen zichtbaar maken. De cyclische beweging van de variatie in substraat in zowel Keersop als Tongelreep, waarbij in de winterperiode (of piekafvoer in de zomer) zand in binnenbochten wordt afgezet terwijl de buitenbochten worden verdiept of schoongespoeld, en in de zomerperiode (of na de piekafvoer) een herverdeling van zand plaatsvindt, kan met behulp van dwarsprofielen worden gevisualiseerd (zie fig. 22). Metingen van dwarsprofielen zijn bij een dergelijk monitoringsproject onmisbaar.

### **6.1.3 Macrofauna**

De macrofauna geeft een beeld van de ecologische waarde van een beek. De methode van bemonstering en uitwerking is een gestandaardiseerde en wordt voor vele beken en oppervlaktewateren toegepast. De bemonsteringsmethode met mengmonsters heeft echter als nadeel dat een koppeling met de habitats niet kan worden gelegd. Daarom is in de loop van het project besloten om een extra opname bij de Keersop uit te voeren, waarbij per substraat werd bemonsterd. Deze substraat-macrofauna bemonstering is in het voorjaar en zomer van 1997 uitgevoerd op basis van de morfologische kaart.

Een tweede opmerking betreft de relatief korte monitoringsperiode voor de macrofauna. Naar verwachting neemt het herstel van de macrofauna meer tijd in beslag dan de twee jaar van dit project. Toch zijn bij de Keersop de eerste voorzichtige tekenen zichtbaar wat zich uit in een toename van de ecologische waarde voor macrofauna.

## **6.2 Vergelijking van de beken onderling**

In deze paragraaf zullen de drie bij dit herstelproject betrokken beken in grote lijnen met elkaar worden vergeleken. Hierbij zal achtereenvolgens worden gekeken naar de ontwikkeling in de morfologie van oevers en bedding, de ontwikkelingen in erosie en sedimentatie van zandvang en bedding, en in de macrofauna.

## **6.2.1 Beekmorfologie**

### ***Oevers***

Theoretisch gezien ontwikkelen de oevertellingen zich van type 1 (hellingknik) onder invloed van erosie naar type 2 (kleine steilrand met hoogteverschil < 20 cm), type 3 (grote steilrand met hoogteverschil > 20 cm) en uiteindelijk type 4 (ondergraven oever). In de praktijk wijkt de oevertelling hier niet zelden van af. Alhoewel de geomorfologische kaarten genoeg voorbeelden geven van de overgang van één type oever naar een volgend type (1 naar 2, 2 naar 3, 3 naar 4), toch zijn er ook vele voorbeelden waarbij één of meer ontwikkelingsstadia worden overgeslagen (bijvoorbeeld 1 naar 4).

Bij de Aa zijn duidelijke ontwikkelingen niet aanwezig. De oevertypen 3 en 4, in de eerste opname van maart 1995 nog aanwezig, zijn vanaf maart 1996 zo goed als verdwenen. De totale lengte aan type 1 en 2 fluctueert enigszins in de tijd, en vormen de belangrijkste oevertypen. Tussen juli 1995 en maart 1996 neemt ook deze groep onder invloed van kwel af waardoor de oevers uitzakken.

Ontwikkelingen aan de oevers zijn wel duidelijk waarneembaar bij de Keersop en de Tongelreep. Beide beken laten een toename van ondergraven oevers in de tijd zien. Ook het proces van afkalving van de oevers als gevolg van het ontstaan van de ondergraven oevers komt bij zowel Keersop als Tongelreep voor.

Hetzelfde geldt voor kwel. Ten opzichte van de Aa is het verschil dat uitzakking van de oevers bij Keersop en Tongelreep als gevolg van kwel veel minder sterk is. Wel leidt kwel bij de Tongelreep op sommige locaties tot erosie van zijgeulen die in de Tongelreep uitstromen.

### ***Bedding***

Van de Aa is geen beddingopname beschikbaar. Bij elke opname was het doorzicht te gering om iets van de bedding te kunnen zien. Uit de dwarsprofielmetingen is echter gebleken dat het grootste gedeelte van de bedding met een laag slib is bedekt, wat de zichtbaarheid van de beddingsstraten nog verder deed afnemen.

De onderlinge vergelijking richt zich dus op de Keersop en de Tongelreep. Beide beken kennen een cyclische beweging van het percentage zand in de bedding zoals eerder omschreven in paragraaf 4.2.2 en 5.2.2. Ook een grotere diversiteit aan substraten in de zomer dan in de winter is komt bij beide beken voor. Het grote verschil tussen de Keersop en de Tongelreep is het type hard substraat wat in de bedding voorkomt. Bij de Keersop is dat veen, en is veel minder resistent voor erosie dan het leem bij de Tongelreep. Een ander verschil tussen beide beken is de aquatische vegetatie die bij de Keersop na een jaar al een rol begint te spelen, terwijl de Tongelreep alleen bij de laatste opname van juli 97 in bocht 2 beïnvloed wordt door waterplanten.

## 6.2.2 Erosie en sedimentatie

### *Zandvangen*

Bij de Aa is geen zandvang aangelegd, dus de vergelijking voor wat betreft de zandvangen gaat in op die bij de Keersop en de Tongelreep. Bij zowel de Keersop als de Tongelreep zijn twee zandvangen aangelegd. Bij de Keersop is alleen de bovenstrooms van de meetmeander gelegen zandvang door middel van dwarsprofielmetingen gemeten. Bij de Tongelreep zijn zowel de bovenstroomse als de benedenstroomse zandvang gemeten. De bovenstroomse zandvang bij de Tongelreep werkt als een slibvang, en is daarom niet te vergelijken met andere zandvangen. Bovendien waren de metingen aan de slibvang moeilijk uitvoerbaar. Tevens is de interpretatie van metingen aan slibdikte's moeilijk. Daarom zal de vergelijking worden toegespitst op de bovenstroomse zandvang bij de Keersop en de benedenstroomse zandvang bij de Tongelreep. Deze vergelijking is er echter één waarbij een zandvang bovenstrooms van een hermeanderingstraject (Keersop) wordt vergeleken met een zandvang die benedenstrooms ligt (Tongelreep). De gegevens van de zandvang van de Tongelreep geven hier dus als enige informatie over de mate van zandtransport na hermeandering.

Het proces van sedimentatie in beide zandvangen is duidelijk in de tijd te volgen. Het blijkt dat deze zich in stroomafwaartse richting opvullen, waarbij een scherp schuivend front van zand de grens vormt tussen opgevuld en leeg. Ook blijkt dat de sedimentatie sterke pieken vertoont wanneer er pieken in het debiet voorkomen. Verreweg het meeste zand wordt tijdens piekafvoeren in de zandvangen gesedimenteerd. Het blijkt dat hoge afvoer een sturende variabele is, en dat er in de fase direct na de graafwerkzaamheden alleen grote hoeveelheden zand worden verplaatst wanneer het debiet ook hoog is (Tongelreep).

Het verschil tussen de zandvang bij de Keersop en die bij de Tongelreep is dat die bij de Tongelreep veel sneller is opgevuld. De zandvang bij de Keersop is na 3 jaar voor driekwart opgevuld, terwijl de zandvang bij de Tongelreep in anderhalf jaar al helemaal vol was. De hoeveelheden die per dwarsprofiel sedimenteren liggen voor de twee zandvangen dicht bij elkaar. Hieruit kan dus worden opgemaakt dat het zandtransport in de Tongelreep veel groter is dan dat bij de Keersop. Een verklaring hiervoor is te vinden in de bodemgesteldheid, waaruit blijkt dat de bodem bij de Tongelreep veel meer grof zand bevat dan de bodem bij de Keersop. Hierdoor is de erosie aan de oevers sterker en vestigt vegetatie zich minder snel. Erosie blijft dus invloed uitoefenen op de oevers.

### *Bedding*

Wanneer de gegevens van de dwarsprofielen van de meetmeanders naast elkaar worden gelegd valt op dat de Aa ten opzichte van de Keersop en de Tongelreep een zeer geringe dynamiek kent. De dynamiek in de Keersop en de Tongelreep komen meer overeen, waarbij de Keersop netto de grootste veranderingen laat zien.

De veranderingen in de Aa zijn klein doordat daar van enig transport van materiaal, behalve slib, vrijwel geen sprake is. Het slib wordt bij de dwarsprofielmetingen apart ingemeten, zodat de veranderingen aan de vaste bodem ook kunnen worden bepaald.



De dynamiek in de bedding van de Aa is dus beperkt tot depositie van slib, een proces dat gedurende de monitoring continu heeft plaatsgevonden.

De veranderingen in de Keersop en Tongelreep zijn qua dynamiek vergelijkbaar. Er is echter wel een groot verschil: de veranderingen in de Keersop zijn veroorzaakt door vooral erosie van de bedding waarbij diepe gaten (pools) zijn ontstaan (verticale erosie), terwijl de veranderingen in de Tongelreep vooral de oevers aangrijpen doordat de bedding uit het resistente leem is opgebouwd (horizontale erosie). Dit heeft tot gevolg dat de bedding van de Keersop grotere verschillen in diepte kent dan de veel geleidelijkere bedding van de Tongelreep. Deze verschillen in diepte hebben verschillen in stroomsnelheid tot gevolg. Hierdoor is de variatie aan bedding-substraten in de Keersop groter dan die bij de Tongelreep. Door de horizontale erosie bij de Tongelreep is het zandtransport veel sterker dan bij de Keersop, waardoor de bedding zandiger en dus minder divers is.

Door het sterke zandtransport in de Tongelreep liggen de harde leembanken vrijwel altijd onder het zand. Hierdoor wordt erosie van deze leembanken nog eens extra bemoeilijkt, waardoor deze juist aan de oevers plaatsvindt. Hiermee is de cirkel voor de Tongelreep rond: de erosie-bestendige leembanken zorgen ervoor dat erosie vooral betrekking heeft op de oevers, waardoor er veel zandtransport in de bedding plaatsvindt, waarop de leembanken steeds onder het zand liggen en niet of nauwelijks aan erosie worden blootgesteld, waardoor erosie grotendeels beperkt blijft tot de oevers.

### **6.2.3 Macrofauna**

Op dit punt scoort de Keersop het hoogst. Bij de Keersop zijn namelijk de eerste tekenen van een toename van de ecologische waarde op basis van de macrofauna gesignaleerd. Of dit in de toekomst verder doorzet moet worden afgewacht, maar de perspectieven zijn gunstig. Voor de Aa en de Tongelreep zijn de perspectieven minder gunstig.

De Aa is na herstel in aantal soorten licht vooruit gegaan. Toch moet deze vooruitgang voorzichtig worden geïnterpreteerd. Het ontbreken van een natuurlijke bovenloop maakt een stroomafwaartse migratie van soorten moeizaam, omdat stroomafwaartse migratie alleen mogelijk is voor macrofauna-soorten die ook een vliegende fase doormaken. Bij de Aa is de macrofauna na herstel min of meer dezelfde gebleven. Vanwege het feit dat migratie van soorten naar de hermeanoderende Aa moeizaam is, vergt het herstel van de macrofauna hier waarschijnlijk meer tijd om tot een definitief oordeel te kunnen komen. Wellicht dat in de toekomst de verbetering in de vegetatiestructuur ook nog een positieve bijdrage kan leveren aan de ontwikkelingen in de macrofauna.

Bij de Tongelreep is de macrofauna na herstel zelfs achteruit gegaan. Het aantal soorten na herstel is beduidend minder. Misschien is de tijd nog te kort geweest om de effecten van herstel te kunnen detecteren, maar bij de Keersop was na één jaar al sprake van een vrijwel volledige herbevolking. De waterkwaliteit speelt een cruciale

rol in de Tongelreep; deze is slecht. Hopelijk zal de in aanbouw zijnde afvalwaterzuiverings- installatie van de gemeente Achel (die het huishoudelijk afvalwater direct op de Tongelreep loost) hier een gunstige invloed op kunnen uitoefenen. Een andere factor is wellicht het sterke zandtransport in de bedding van de Tongelreep, waardoor de macrofauna zich moeilijk kan vestigen.

## **6.3 Eindoordeel**

Afsluitend volgt een paragraaf over de evaluatie van de methoden (paragraaf 6.3.1) en een paragraaf waarin de doelstellingen uit paragraaf 1.2 nog eens worden teruggehaald om te evalueren en de effectiviteit van de genomen maatregelen te bepalen. Tenslotte zal ook een beoordeling van het succes van de verschillende projecten op basis van de doelstellingen worden gegeven.

### **6.3.1 Methoden**

De gevolgde methoden in dit project (hydrologische-, geomorfologische- en macrofauna- metingen) hebben goed gewerkt. Tijdens de loop van het monitoringsprogramma van mei 1994 (start monitoring van de Keersop) tot en met juli 1997 (einde monitoring van de Tongelreep) is een schat aan gegevens verzameld.

De hydrologische metingen zijn waardevol geweest. De gegevens over afvoeren zijn goed te koppelen aan de intensiteit van geomorfologische processen. Grondwaterstandsmetingen zijn gebruikt om een beeld te krijgen over de kweldruk in een beekdal. De stroomsnelheidsmetingen geven een beeld van de heersende stroomsnelheden in de bedding. Deze laatgenoemde metingen zijn in dit project bij wijze van proef uitgevoerd.

De geomorfologische metingen zijn zeer geschikt geweest om de *processen* in de beek te kunnen volgen. De methode is echter bewerkelijk. Wanneer alleen de *toestand* opgenomen moet worden is een transect-benadering, zoals in paragraaf 6.1.2 omschreven, sneller. Ook kan een langer traject van de beek met deze benadering worden omvat. Dwarsprofielmetingen leveren kwantitatieve informatie op over de processen van erosie en sedimentatie. In combinatie met de geomorfologische kaart kunnen processen in de bedding nog beter worden gevolgd.

Macrofauna-bemonsteringen geven een beeld van het leven in de beek. Bij de bemonsteringen is gebruik gemaakt van mengmonsters (zie paragraaf 2.3.4). Hierdoor kan de relatie tussen macrofauna en substraat niet meer goed worden bepaald. Daarom zijn bij de Keersop de bemonsteringen van voorjaar en zomer 1997 wel apart gehouden om te onderzoeken of dit extra inzicht in de relatie macrofauna-substraat geeft. Resultaten van deze bemonstering zijn nog niet beschikbaar.

### 6.3.2 Doelstelling

Naast een beschouwing van de doelstellingen uit paragraaf 1.2 zal hier kort worden ingegaan op de effectiviteit van de genomen maatregelen en hoe de verwachting van de aanvang van het project zich verhoudt tot de onstane situatie in de beken na de monitoring.

De doelstellingen uit paragraaf 1.2 luiden (de monitoring richt zich op):

1. De ontwikkeling van de beekmorfologie
2. Inzicht in de omvang van erosie en sedimentatie
3. Het aquatisch-ecologisch herstel

Over ontwikkelingen in beekmorfologie is in de loop van het project veel informatie verzameld. Processen aan oevers en in de bedding zijn geanalyseerd zodat ontwikkelingen kunnen worden beschreven. Het proces van oeverontwikkeling is beschreven. Ontwikkelingen in de bedding zijn nauwkeurig gevolgd (bijvoorbeeld zandbanken en pools). Bovendien zijn de (mogelijke) seizoensinvloeden beschreven (vegetatie in de bedding, piekafvoeren).

Tijdens het monitoringsproject is inzicht verkregen in de omvang van de processen van erosie en sedimentatie. Uit dwarsprofielmetingen is de omvang van het totale zandtransport over de monitoringsperiode in zandvangen bepaald. Ook de omvang van erosie en sedimentatie in de beekbedding is door middel van dwarsprofielen gevolgd, waardoor verschillen tussen profielen onderling en in de tijd zijn beschreven.

Inzicht in het verloop van het herstel van de aquatische-ecologie is de derde doelstelling.

Op basis van de ervaringen bij de drie beken is het mogelijk de invloed van diverse factoren (diversiteit substraat, waterkwaliteit, brongebied) op dit herstel kwalitatief te beschrijven. Toch zal gedurende de beperkte periode van monitoring het herstel van de macrofauna nog niet zijn voltooid.

Concluderend kan worden gezegd dat de doelstellingen van het project om inzicht te verkrijgen in de hierboven genoemde punten zijn gehaald. In ieder geval zijn op de punten 1 en 2 vele nieuwe inzichten verkregen. Van punt 3 kan worden gezegd dat de periode van monitoring aan de korte kant is geweest, en dat het volledige resultaat in de komende jaren nog duidelijk moet gaan worden. Toch is er ook op dit punt waardevolle informatie naar boven gekomen. Het is mogelijk om op basis van de verzamelde gegevens tijdens de monitoring aanbevelingen te doen voor toekomstige herstelprojecten bij laaglandbeken (zie hoofdstuk 7).

In hoeverre heeft de maatregel tot hermeandering succes gehad bij de drie beken? Deze vraag zal per beek worden beantwoord, waarbij de verwachtingen vooraf nog even in herinnering worden gebracht.

De verwachtingen bij de Aa waren aan de bescheiden kant. Behalve dat de Aa de minst dynamische beek van de drie is, speelde daarbij ook het feit een rol dat deze van zijn afvoer afhankelijk was van kanaalwater uit de Zuid-Willemsvaart. Het landschappelijke resultaat speelde bij de Aa eveneens een rol. Deze verwachtingen zijn grotendeels juist geweest. De Aa heeft zich in de monitoringsperiode nauwelijks ontwikkeld. Geomorfologisch gezien zijn geen ontwikkelingen op gang gekomen die passen in het beeld van een (semi-)natuurlijke meanderende laaglandbeek, zoals diepten en ondiepten en diversiteit in substraten. Ook in de macrofauna zijn geen spectaculaire ontwikkelingen opgetreden. Toch is er op dit punt reden voor licht optimisme naar de toekomst.

Bij de Tongelreep waren de verwachtingen wat hoger gespannen. Vooral op het gebied van de geomorfologische ontwikkelingen. De Tongelreep is een dynamische beek, zeker ten opzichte van de Aa. Helaas konden de verwachting omtrent de macrofauna niet al te groot zijn als gevolg van de slechte waterkwaliteit.

De Tongelreep is in morfologische opzicht waardevoller geworden, de natuurlijke processen van erosie en sedimentatie zijn teruggekeerd (dit geldt vooral voor de bochten!). De macrofauna is ten opzichte van de al slechte referentie-situatie helaas achteruit gegaan. Wanneer de waterkwaliteit in de toekomst verbetert moet de macrofauna in de Tongelreep eveneens gaan verbeteren. De basis, een meanderende beek met ondergraven oevers en diversiteit in substraat, is gedeeltelijk (in de bochten) aanwezig.

De verwachtingen vooraf waren voor de Keersop het hoogst gespannen. Zowel op het gebied van de geomorfologie als de macrofauna was de uitgangssituatie als goed bestempeld. Deze verwachtingen zijn ook uitgekomen. Reeds na een jaar was de Keersop alweer herbevolkt, waarbij de samenstelling nagenoeg gelijk was aan de uitgangssituatie. De waarde van de macrofauna in de Keersop is tijdens het monitoringsprogramma verder gestegen. Hierbij moet worden bedacht dat het uiteindelijke effect van de hermeandering op de macrofauna waarschijnlijk nog niet volledig tot uiting is gekomen. Op geomorfologisch gebied is het herstel in de Keersop ook succesvol. Er is een diverse beekbedding ontstaan met variatie in morfologie en materiaal.

Concluderend kan worden gesteld dat hermeandering bij deze beken over het algemeen op relatief korte termijn een sterk positief effect heeft gehad op de geomorfologie. De macrofauna bij de Keersop lijkt reeds te profiteren van deze ontwikkelingen. Bij de Aa moet de tijd het antwoord geven, terwijl bij de Tongelreep de verwachting is dat met een verbetering van de waterkwaliteit ook de macrofauna zal opleven.

## **7 Aanbevelingen**

Dit hoofdstuk valt uiteen in twee delen. In het eerste gedeelte zal worden ingegaan op aanbevelingen voor beekherstel. In paragraaf 7.2 zullen aanbevelingen voor verder onderzoek worden beschreven.

### **7.1 Aanbevelingen voor beekherstel**

In deze paragraaf allereerst aandacht voor aanbevelingen voor de drie beken van dit monitoringsproject (paragraaf 7.1.1), en daarna wat meer algemene aanbevelingen voor beekherstelprojecten in de toekomst (paragraaf 7.1.2).

#### **7.1.1 Aanbevelingen voor de Aa, Keersop en Tongelreep**

In paragraaf 3.5 worden een aantal mogelijke verklaringen gegeven voor het uitblijven van natuurlijke geomorfologische ontwikkelingen in de bedding van de Aa. Optie a en b mogen dan misschien wel waar zijn, voor het aanbrengen van veranderingen in het profiel is het nu te laat. Bovendien zijn als gevolg van de continu lage afvoeren, en dus het ontbreken van piekafvoeren, de kansen voor het op gang komen van natuurlijke processen van erosie en sedimentatie zeer gering geweest (optie c). Juist deze afvoeren en mogelijke piekafvoeren kunnen worden gemanipuleerd bij de Aa. Daarom is één van de aanbevelingen dan ook om de basisafvoer in de Aa structureel te verhogen zodat deze in ieder geval in de buurt komt van de ontwerpafvoer (1,2 m<sup>3</sup>/s). Bovendien zouden een aantal piekafvoeren door het hermeanderingstraject moeten stromen. Het doel hiervan is om de volledige slibbedekking van oevers en bedding te veranderen door het slib gedeeltelijk door de verhoogde afvoer (en stroomsnelheid) af te voeren. Hierdoor kunnen de processen van erosie en depositie dan wellicht enige variatie aanbrengen in de bedding van de Aa.

Een tweede aanbeveling voor de Aa is om in de toekomst het schoonmaken van de beek met een veegboot achterwege te laten. De gevolgen van een operatie als deze zijn groot. De morfologie wordt sterk veranderd en de aanwezige aquatische vegetatie wordt verwijderd. In feite wordt de beek weer teruggezet op een nul-situatie.

Aanbeveling nummer één voor de Tongelreep is het sterk verbeteren van de waterkwaliteit. De in gebruik name van een waterzuiveringsinstallatie net over de grens in de Belgische gemeente Achel zal hopelijk enige verbetering teweegbrengen. Wanneer deze verbetering nog niet voldoende is voor de terugkeer van een waardevolle macrofauna zal moeten worden bekeken hoe deze nog verder kan worden verbeterd.

Een tweede aanbeveling bij de Tongelreep is dat de rechte gedeelten van de beek een verandering zouden moeten ondergaan. Deze rechte gedeelten zijn nogal statisch en eentonig. Om de ontwikkeling naar een meer divers substraat, zoals in de bochten is

ontstaan, te bewerkstelligen, moeten deze rechte gedeelten tot meanderen worden aangezet. Misschien dat hier bij wijze van experiment kan worden gewerkt met boomstammen of driehoekskribben om het effect van deze maatregelen af te kunnen zetten tegen hermeandering.

### **7.1.2 Aanbevelingen voor toekomstige beekherstelprojecten**

Op basis van ervaringen opgedaan in dit beekherstelproject kunnen aanbevelingen worden geformuleerd voor andere, toekomstige beekherstelprojecten. Hierbij moet duidelijk worden gesteld dat het hier gaat over *toekomstige hermeanderingen van laaglandbeken in Pleistoceen-Nederland*. De aanbevelingen zullen kort worden besproken, waarin achtereenvolgens maatregelen (hermeandering), ontwerp (sinuositeit, dwarsprofiel, zandvang, overlaat en ontwerp-evaluatie) en ervaringen (locatie, aankoop land, uitvoering graafwerkzaamheden en monitoring) aan bod zullen komen. Allereerst de kernpunten:

#### ***Kernpunten***

Een aantal punten kunnen als kernpunten worden aangeduid. Deze kernpunten zijn van belang bij de planvorming en de uitvoering van beekherstelprojecten gericht op geomorfologisch en ecologisch herstel:

- **Dynamiek en dimensies van de beek**  
Informatie over dynamiek (debiet, stroomsnelheid) en dimensies (breedte-diepte-verhoudingen) van de historische en de huidige beekloop zijn van belang voor de planvorming.
- **Bodemgesteldheid**  
Gegevens over opbouw van de bodem en materialen in het beekdal kunnen worden gebruikt om de mogelijkheden voor erosie en depositie te bepalen. Bovendien bepaalt de bodemgesteldheid in belangrijke mate de uiteindelijke diversiteit aan substraten in de beekbedding.
- **Waterkwaliteit**  
Voor herstel van ecologische waarden is een redelijk goede waterkwaliteit essentieel.

Deze drie hierboven genoemde kernpunten zullen in het vervolg van deze paragraaf onder de diverse kopjes verder worden uitgewerkt.

#### ***Hermeandering***

Bij hermeandering zouden in alle gevallen eerst de oude, nog terug te vinden meanders moeten worden aangesloten. Daarna kunnen ook nieuwe meanders worden gegraven waar dat mogelijk en zinvol (potenties voor ontwikkelingen op basis van de bodemgesteldheid) is.

Het gebruiken van de oude meanders is om twee redenen belangrijk:

- *bepalen historische dimensies en dynamiek*
- *oude loop biedt meer mogelijkheden voor diversiteit bedding*

Het uitvoeren van hermeandering waarbij de oude, nog herkenbare meanders worden gebruikt heeft als voordeel dat de dimensies van de nieuwe beek de mogelijkheden tot ontwikkeling naar een natuurlijk beekstelsysteem positief beïnvloeden. De verhouding tussen het natte profiel en het debiet, van groot belang voor geomorfologische processen (Wolfert, 1991), is op deze manier vergelijkbaar met de vroegere beek mits de afvoer niet spectaculair anders zal zijn dan nu.

Ook biedt de oude loop meer mogelijkheden voor diversiteit in de bedding. De diversiteit is sterk afhankelijk van de materialen die in de bodem voorkomen. De bodemmaterialen in de oude loop zijn vaak meer divers dan die in de directe omgeving. Daarom geniet hermeandering waarbij de oude loop wordt gebruikt de voorkeur. Het gevaar bestaat anders dat bij de aanleg van een geheel nieuwe loop een hard substraat in de ondergrond de ontwikkeling naar een hogere beddingdiversiteit tegenwerkt.

Bij de Tongelreep is de nieuwe loop gegraven zonder rekening te houden met de oude meanders. Hierdoor vormt Brabantse Leem op veel plaatsen het beddingsubstraat. Deze leem is zeer resistent tegen erosie waardoor opname van beddingmateriaal (vaak divers van samenstelling) niet kan plaatsvinden. Bovendien vindt er bij hoge afvoeren versterkte erosie van de zandige oevers plaats doordat de beek zich verticaal niet kan insnijden. Dit leidt tot hoge input van zand in de bedding, waardoor de diversiteit opnieuw laag blijft. Het zand beschermt op zijn beurt weer de leemlaag tegen erosie totdat het is afgevoerd en het leem weer aan het oppervlak ligt. Wanneer er bij de Tongelreep meer rekening was gehouden met de oude lopen die meer divers van bodemopbouw zijn (zoals blijkt uit oude meanderende profielen die de nieuwe loop aansnijdt), dan zou de beddingdiversiteit daarvan hebben kunnen profiteren. Bij de Keersop is wel rekening gehouden met de oude loop, en daar is de variatie in substraat mede daardoor groter.

De maatregel toegepast in dit beekherstelproject is hermeandering. De nieuwe lopen zijn uitgegraven, soms gebruikmakend van bestaande maar verlandende oude lopen. Met andere maatregelen is geen ervaring opgedaan. Toch valt op basis van de verschillen tussen de beken en de waarnemingen bij de beken afzonderlijk iets te zeggen over de relatie tussen maatregelen voor beekherstel (hermeandering, plaatsen van driehoeks-kribben, weghalen van oeverbescherming) en de dynamiek van een beek.

Variatie in debiet (en stroomsnelheid) bepaalt in grote mate de dynamiek van een beek. Daarnaast speelt het oevermateriaal een belangrijke rol. De gevoeligheid voor erosie van oevers hangt in grote mate af van het type bodemmateriaal. Zand is gevoeliger voor erosie dan leem of veen. De laaglandbeken in Nederland variëren van laagdynamisch (zoals de Aa) tot dynamisch (de Tongelreep). De Keersop zit hier tussenin, maar wel meer in de richting van dynamisch dan laagdynamisch.

Bij herstelplannen voor *laagdynamische* beken zal hermeandering in veel gevallen de beste optie zijn. Herstel langs natuurlijke weg, door gebruik te maken van de interne dynamiek van de beek, zal waarschijnlijk niet, of slechts op lange termijn leiden tot herstel van geomorfologische (en ecologische waarden). Als voorbeeld voor deze laagdynamische beken kan de Aa worden genoemd.

Bij *dynamische* beeksystemen (variatie in afvoer met oevers bestaande uit erodeerbare materialen) kan ook gebruik worden gemaakt van simpelere maatregelen (plaatsen driehoekskribben en/of weghalen oeverbescherming) waarna de interne dynamiek van de beek het werk verder voortzet. Ook hierbij zal het proces richting een meanderende beek minstens enkele tientallen jaren vergen. Wat waar precies de beste optie is hangt af van variatie in debiet, de stroomsnelheid en het type bodemmateriaal, en zal per locatie moeten worden bekeken.

Op basis van bovenstaande kan het type maatregel en het ontwerp mede worden bepaald. Een beek met een geringe dynamiek in erosie-resistent materiaal zal alleen hermeandering als mogelijke herstelmaatregel hebben. Dynamische beken met grofzandige oevers kunnen veel werk zelf doen. Hier kan wellicht worden volstaan met het weghalen van oeverbescherming en/of vegetatie en het plaatsen van driehoekskribben (of dode bomen).

### *Sinuositeit*

De sinuositeit van de aanleg van het nieuwe beektraject is van invloed op de geomorfologische ontwikkelingen in de bedding en langs de oevers. In het bijzonder het lengteprofiel, de sinuositeit in combinatie met het verhang, is belangrijk.

In de lengteprofielen zijn diverse ontwerpen toegepast waarbij de meanderingsdichtheid -en straal (de sinuositeit) als variabelen zijn gebruikt. Met name bij de Tongelreep en de Aa zijn verschillende deeltrajecten aangelegd. Bij de Keersop zijn oude meanders uitgegraven en opnieuw aangesloten. Dit heeft bij de Keersop geleid tot een meanderend lengteprofiel zonder echte rechte gedeelten. Bij de Aa en de Tongelreep zijn wel rechte deeltrajecten aanwezig. De rechte gedeelten van de Aa zijn aan het einde van het monitoringsproject nog steeds recht. Er is onvoldoende dynamiek aanwezig om de rechte gedeelten te transformeren, en bovendien is het oevermateriaal resistent (veen). Zelfs bij de Tongelreep is het in de monitoringsperiode niet gelukt de rechte gedeelten te veranderen. De dynamiek is hier veel groter dan bij de Aa, en ook de zandige oevers staan een verandering van de rechte gedeelten niet in de weg. De rechte gedeelten in de Tongelreep leveren geen bijdrage aan de diversiteit in substraten. Terwijl in de bochten de diversiteit is toegenomen, lijken de rechte stukken veel op een genormaliseerde beek. De rechte stukken laten een uniforme morfologie zien met veel zand en stroomribbels.

### *Dwarsprofielen*

Het profielontwerp zoals dat tot uiting komt in het dwarsprofiel is van belang. Inzicht in de historische loop van de beek kan een belangrijk hulpmiddel zijn, waarvan het debiet en de meandering de belangrijkste factoren zijn voor het ontwerpen van een hermeanderingstraject. Het zou, indien mogelijk, qua dimensies (in zowel dwars- als lengteprofiel) overeen moeten komen met de historische meanderende loop.

In dwarsprofielen zijn diverse ontwerpen bij de drie herstelprojecten toegepast (trapezium, accolade en V-profiel). De dynamiek van de beek is hierbij belangrijk. Zowel het debiet als het oevermateriaal bepalen of, en hoe snel, een profiel kan worden omgezet in een natuurlijk beekprofiel met ondiepe binnenbochten en diepe buitenbochten met ondergraven oevers.



Bij dynamische beken zoals de Tongelreep en de Keersop gaat dit, ongeacht het profielontwerp, snel. Bij laagdynamische beken zoals de Aa gaat dit zeer langzaam, en speelt het ontwerp-profiel dus een veel grotere rol.

Naast de dynamiek van de beek spelen ook zaken als mogelijke wateroverlast en hydrologische doelstellingen (peilbeheer) een rol in de uiteindelijke profielkeuze. Ook de breedte-diepte-verhouding van het dwarsprofiel speelt een belangrijke rol, en dan met name de verhouding tussen het natte profiel en het debiet. Een te brede of te diepe beek verliest veel van zijn dynamiek, en daarmee de potentie om natuurlijke geomorfologische processen op gang te brengen. Omgekeerd kunnen door middel van onderdimensionering geomorfologische processen sterk worden gestimuleerd.

### ***Zandvang***

Is de aanleg van een zandvang, of bovenstrooms en benedenstrooms van het hermeanderingstraject gelegen zandvangen, noodzakelijk? Het antwoord hangt uiteraard sterk af van het te verwachten zandtransport. Bij laagdynamische beken is de aanleg van zandvangen minder noodzakelijk dan bij dynamische beken. Ook hangt het zandtransport sterk af van de bodemopbouw ter plaatse.

Gezien de ervaringen in dit project lijkt een benedenstroomse zandvang zinvol. Vooral in de eerste periode na herstel kan het zandtransport onder invloed van piekafvoeren omvangrijk zijn. Ook wanneer de oevers niet snel begroeid raken kan dit zandtransport bij hoge afvoeren omvangrijk zijn. Wanneer dit wel gebeurt neemt het zandtransport af. Zowel bij de Keersop als bij de Tongelreep is de benedenstroomse zandvang zinvol geweest, getuige de enorme zandafzetting in de benedenstroomse zandvang bij de Keersop (waargenomen) en de Tongelreep (gemeten).

Een benedenstroomse zandvang kan worden gebruikt (wanneer er eveneens een bovenstroomse aanwezig is) om het sedimenttransport vanuit het hermeanderende traject te bepalen. Bij de Tongelreep heeft de bovenstroomse zandvang vooral een functie als slibvang. Wanneer het slibgehalte van het water dat het hermeanderingstraject bereikt na de in dienststelling van de rioolwaterzuivering in Achel afneemt, zal deze functie als slibvang ook afnemen. In het algemeen zal een bovenstroomse zandvang alleen noodzakelijk zijn wanneer het zandtransport in het hermeanderingstraject gemeten moet worden.

### ***Overlaat***

Overlaten om mogelijke overstromingen in het hermeanderingstraject en benedenstrooms ervan te voorkomen zijn bij alle drie de betrokken beken aangelegd. Landschappelijk zijn deze overlaten niet fraai, temeer daar ze niet in een beekdal thuishoren. Uit het oogpunt van de gestelde randvoorwaarden is het echter een noodzakelijk kwaad.

### ***Ontwerp-evaluatie***

Bij beekherstel komen een aantal randvoorwaarden (wateroverlast, sedimentoverlast, mogelijke gevolgen van erosie) naar voren waaraan het hermeanderende traject moet voldoen om voldoende draagkracht (van inwoners en waterschappen) te hebben voor

acceptatie van de plannen. Hiervoor worden modellen gebruikt om een en ander te voorspellen. Deze stap is een nuttige en noodzakelijke.

Toch komen in de definitieve ontwerpen soms zaken naar voren die vanuit de modelbenadering misschien logisch zijn, maar in de praktijk niet altijd positief uitwerken. Een voorbeeld hiervan zijn de lange rechte gedeelten in het ontwerp van de Tongelreep. Deze blijken in de praktijk geen meerwaarde op te leveren ten opzichte van een gekanaliseerde beek. Het ziet er naar uit dat de Tongelreep op korte termijn ook niet in staat is hier verandering in te brengen. In de toekomst zou bij dit type ontwerp een kritische noot op zijn plaats zijn, en het model-ontwerp te toetsen aan wat in de praktijk verwacht kan worden.

### ***Locatie in stroomgebied***

Uit de resultaten van de Keersop en de Tongelreep ten opzichte van de Aa valt af te leiden dat een belangrijke voorwaarde voor succesvol beekherstel is, het hebben van een aangetakt bovenstrooms (semi-)natuurlijk gedeelte. De Aa heeft dit niet en heeft daarom geen piekafvoeren (van belang voor de geomorfologische ontwikkeling) en een moeizame stroomafwaartse migratie van macrofauna-soorten (van belang voor het herstel van ecologische waarden). Zowel de Keersop als de Tongelreep zijn beide aangetakt op een bovenstrooms beekgedeelte. Beide hebben piekafvoeren te verwerken gekregen wat tot uiting is gekomen in de morfologie. De macrofauna laat bij de Keersop een herstel zien terwijl die bij de Tongelreep onder invloed van de slechte waterkwaliteit achteruit is gegaan. Naast een aangetakte bovenloop en diversiteit in substraten speelt de waterkwaliteit voor de macrofauna dus een minstens zo belangrijke rol.

### ***Aankopen van land***

Het aankopen van terreinen langs een beek om beekherstel en een ongestoorde ontwikkeling van de beek mogelijk te maken is kostbaar. Daarom is het van belang inzicht te krijgen in de dynamiek van een zich natuurlijk ontwikkelende beek ten aanzien van migratie van de meanders, zowel direct aansluitend op herstel als ook naar de toekomst.

Uit metingen van de meetmeander bij de Keersop is gebleken dat over een periode van bijna drie jaar de migratie ongeveer 1% van de totale oppervlakte van de beek (bedding + oevers) bedraagt. Het betreft hier dus een zeer langzaam proces. Bovendien wordt deze erosie veroorzaakt door één locatie waar de oever 0,5 meter naar buiten toe is verplaatst. Binnen een jaar na herstel waren de oevers bij de Keersop volledig begroeid, waardoor deze veel minder gevoelig werden voor erosie. In de toekomst zijn geen grote veranderingen in de migratie van de Keersop te verwachten.

Bij de Tongelreep is de migratie sterker. In bocht 1 is na bijna twee jaar een migratie van 3% van de totale oppervlakte van de beek (bedding + oevers) opgetreden. Langs vrijwel de gehele buitenbocht is een stuk oever van ongeveer 1 meter breed weggeslagen.

Deze erosie is vrijwel geheel te verklaren door een extreme piekafvoer als gevolg van een onweersbui in de regio Eindhoven. In bocht 2 waar het oevermateriaal lemiger is, is de migratie verwaarloosbaar. Toch is ook hier veel oevermateriaal verplaatst.

De oevers bij de Tongelreep raken langzamerhand begroeid waardoor erosie in de toekomst wordt bemoeilijkt. Bovendien vormt het in de bedding terechtgekomen oevermateriaal in bocht 1, bestaande uit sterk doorwortelde plaggen van lemig materiaal, bij de eerstevolgende hoge afvoeren een natuurlijke oeverbescherming.

Op basis van bovenstaande gegevens (van Keersop én Tongelreep) kan worden geconcludeerd, mede gezien het feit dat de Keersop een extreem hoge winterafvoer en Keersop en Tongelreep beide een extreem hoge zomerafvoer te verwerken hebben gekregen, dat het aankopen van land bij beekherstel zich kan beperken tot het beekdal of een smalle zone daarvan. Gevaar voor erosie van nabijgelegen (agrarisch) land op middellange termijn (tientallen jaren) is over het algemeen zeer klein.

#### ***Uitvoering van de graafwerkzaamheden***

Met het toenemen van de resistentie van het bodemmateriaal voor erosie neemt ook het belang van nauwkeurig uitgevoerde graafwerkzaamheden toe. Wanneer een beek niet in staat is om het nieuwe profiel snel aan te passen dan speelt het ontwerp en de uitvoering een belangrijke rol. Omgekeerd is het zo dat een dynamische beek met zandige oevers een ontwerp snel (binnen een jaar na herstel) omzet tot een natuurlijk beekprofiel. Bij dit type beken is het nauwkeurig uitvoeren van graafwerkzaamheden minder van belang. Bij de Tongelreep zijn de graafwerkzaamheden tot in groot detail uitgevoerd met ondiepe geleidelijke binnenbochten en steile buitenbochten. Snel werd duidelijk dat de Tongelreep het gegraven profiel in de bochten bezig was aan te passen aan de interne dynamiek, terwijl de rechte gedeelten niet veranderden. Enkele maanden na het opleveren van de graafwerkzaamheden had de Tongelreep in de bochten al veel zand verplaatst en het beekprofiel aangepast aan de heersende omstandigheden.

## **7.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek**

Naast de aanbevelingen zoals gedaan in paragraaf 7.1.1 voor de Aa en de Tongelreep zijn er ook nog een aantal algemene aanbevelingen voor verder onderzoek naar beekherstel. Deze zullen hier worden besproken.

In het project zoals dat in dit rapport staat beschreven is de methode van monitoring sterk gericht op het detail. Deze keuze heeft als voordeel gehad dat veel kennis is verzameld over processen. Een nadeel is dat slechts een klein gedeelte van de beek kan worden gevolgd. Met transecten zoals beschreven in paragraaf 7.1.1 kan een veel groter gedeelte van de beek worden gevolgd. Het nadeel is echter dan wel dat de resultaten een beschrijving van de toestand opleveren, terwijl (kleinschalige, locale) processen niet meer goed kunnen worden gevolgd. Bij toekomstig monitoringsonderzoek naar beken zou een combinatie van deze twee methoden zijn aan te bevelen. Informatie kan dan op twee schaalniveaus worden verkregen. Naast het feit

dat deze aanpak informatie oplevert over een groter gedeelte van de beek, kan het ook wellicht tot nieuwe inzichten leiden.

De hierboven beschreven aanpak kan worden toegepast bij de vele in de toekomst uit te voeren beekherstelprojecten. Goed beschouwd is ieder herstelproject een bron van kennis. Daarom zou monitoring een *onderdeel* van het herstelplan moeten zijn. Op die manier blijft de kennis over laaglandbeken toenemen. Deze kennis kan vervolgens weer worden toegepast bij volgende beekherstelprojecten.

Nog een bijkomend voordeel van meer monitoringsprojecten is, dat het mogelijk wordt om een classificatie van laaglandbeken op te zetten van waaruit verwachtingen over de resultaten van beekherstel kunnen worden uitgesproken. Dit maakt het mogelijk om vooraf reeds een indicatie te geven of herstelmaatregelen zinvol zijn.

Deze redenatie kan ook omgekeerd worden gebruikt. Het is mogelijk om op basis van bestaande gegevens een eerste indeling van het landschap te maken voor wat betreft beeksystemen. De drie beekherstelprojecten van dit project kunnen vervolgens worden geplaatst in het indelingssysteem, waarbij onmiddellijk duidelijk wordt welke beektypen of trajecten van beken nog ontbreken. Toekomstig beekmonitoringsonderzoek zou zich dan moeten richten op deze typen om zo de hiaten in kennis op te vullen.

## Literatuur

Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost Brabant, 1993. Kensoortenlijst van permanent watervoerende brabantse laaglandbeken. Interne notitie.

Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost Brabant, 1993 - heden. Macrofauna ecotheek. Verzameling van ecologische macrofauna-gegevens gebaseerd op diverse literatuurbronnen (inclusief literatuurlijst).

Heidemij, 1991. Onderzoek en planvorming beekdal Tongelreep, tekst en bijlagen.

Koomen, A.J.M., G.J. Maas en H.P. Wolfert, 1997. Monitoring van beekstructuren: methode voor het evalueren van beekherstelmaatregelen. H<sub>2</sub>O 30 (4): 108-111.

Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 1990. Natuurbeleidsplan, Regeringsbeslissing, Ministerie van LNV, Den Haag

Oranjewoud, 1992. Natuurontwikkeling Achelse Kluis, Deel 1: Onderzoeksrapport & Deel 2: Inrichtingsplan. Oranjewoud, Oosterhout.

Provincie Noord-Brabant, Waterschap De Dommel, waterschap De Aa, DLO-Staring Centrum, 1994. Projectbeschrijving: Monitoring van de ontwikkeling van de beekmorfologie en het aquatisch-ecologisch herstel in de beekherstelprojecten Tongelreep-Achelse Kluis, Keersop-Gagelvelden en Bakelse Aa.

STOWA, 1995. Beken stromen, leidraad voor ecologisch beekherstel. Werkgroep Ecologisch Waterbeheer. P. Verdonschot (red.). STOWA, Zoetermeer.

Wolfert, H.P. (1991). Beekmeandering en natuurontwikkeling, een geomorfologische benadering. Landschap 8: 265-276.

Provincie Noord-Brabant, 1991. Waterhuishoudingsplan 'Werken aan water', Uitgave Provincie Noord-Brabant, Den Bosch.

Rijks Geologische Dienst, 1973. Toelichting bij de geologische kaart van Nederland 1 : 50.000. Kaartblad Eindhoven Oost (51 O), Haarlem

Rijks Geologische Dienst, 1985. Toelichting bij de geologische kaart van Nederland 1 : 50.000. Kaartblad Eindhoven West (51 W), Haarlem.

## Aanhangsel 1 Legenda geomorfologische kartering

<b>SUBSTRAAT</b>	<b>CODE (LABEL-ID)</b>
<b>ZAND</b>	
Zand op vlakke bedding	100
Zand op vlakke bedding met veenbrokjes	190
Zand op helling	110
Zand op helling met veenbrokjes	200
Zand in geul	120
Zand in geul met veenbrokjes	180
Zand in kom (pool)	105
Stroomribbels op vlakke bedding	150
Stroomribbels op helling	160
Stroomribbels in geul	155
Zandbank in bedding	130
Point-bar afzettingen	210
Zand met grind in geul	170
Zand met grind op vlakke bedding	175
Steilrandje in zand	140
Zand met grof organisch materiaal/wortels	195
<b>GRIND</b>	
Grind op vlakke bedding	220
Grind op vlakke bedding met veenbrokjes	260
Grind op helling	230
Grind op helling met veenbrokjes	270
Grind in geul (op helling)	240
Grind in geul met veenbrokjes	280
Grind in kom (met veenbrokjes of slib), (pool)	250
<b>VEEN</b>	
Veenbank	290
Veenbrokken	300
<b>SLIB</b>	
Slib op zand op vlakke bedding	330
Slib op zand op hellende bedding	340
Slib op veenbank	350
Slib op leembank	360
Slib met org. mat./wortels	370
Slib op grind	380
Slib in geul	390
Slib in pool	335

## **LEEM**

Leem met zand op helling	400
Leem met zand in geul	410
Leem met grind in geul	415
Leem met zand op vlakke bedding	420
Leem met grind op vlakke bedding	430
Leembank	440, 405
Leem in geul	450
Leem (helling)	445

## **SILT**

Silt	500
Silt met zand	510

## **OVERIG**

Ingestort Oevermateriaal (IOM) in bedding	310
Ingestort Oevermateriaal (IOM) op oever	315
Organisch materiaal (detritus)	320
Vegetatie in bedding	600

## Aanhangsel 2 Gegevens de Aa

Tabel 7: dwarsprofielen bedding 1 t/m 9 van 11/94 tot 07/96

De Aa netto dynamiek dwarsprofielen bedding in m <sup>2</sup> per profiel					
Profiel	11/94-03/95	03/95-07/95	07/95-12/95	12/95-07/96	Totaal per profiel
1	0	-0.05	-0.06	Als gevolg van opnieuw installeren meetpalen in voorjaar 1996 afwijkende profielen die niet goed meer zijn te vergelijken met de perioden ervoor.	-0.11
2	0.35	-0.21	0.29		+0.43
3	0.1	0.1	0.47		+0.49
4	-0.24	0.23	0.19		+0.18
5	0	0.09	-0.05		+0.04
6	0.15	-0.27	-0.14		-0.26
7	0.21	0.19	-0.36		+0.04
8	-0.15	-0.09	-0.05		-0.29
9	-0.09	0.52	-0.3		+0.13
Totaal per periode	-0.33	0.51	-0.01		

Tabel 8: oeverdynamiek de Aa van 03/95 tot 07/96

Oeverdynamiek de Aa per type in meters en in % t.o.v. totaal				
Oevertyp	03/95	07/95	03/96	07/96
Type 1 (hellingknik)	922 (84%)	1126 (81%)	988 (86%)	1056 (89%)
Type 2 (steilrand <)	118 (11%)	223 (16%)	149 (13%)	122 (10%)
Type 3 (steilrand >)	47 (4%)	34 (3%)	10 (1%)	15 (1%)
Type 4 (ondergraven)	10 (1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)



## Aanhangsel 3 Gegevens Keersop

Tabel 9: dwarsprofielen zandvang 1 t/m 5 van 05/94 t/m 05/97

Keersop dwarsprofielen zandvang netto dynamiek in m <sup>2</sup> per profiel								
Profiel	05/94- 07/94	07/94- 11/94	11/94- 03/95	03/95- 07/95	07/95- 11/95	11/95- 03/96	03/96- 05/97	Totaal
1	0.52	-0.25	0.3	-0.15	-0.96	0.54	0.24	0.24
2	2.7	7.41	-1.61	0.49	1.98	0.31	4.35	15.63
3	-0.52	4.42	1.2	1.42	-0.47	1.33	5.96	13.34
4	0.07	-0.37	3.87	0.26	-0.8	3.06	4.79	10.8
5	0.04	0.67	-0.5	-0.02	-0.04	0.28	-0.06	0.37
Totaal	2.81	11.88	3.26	2	-0.29	5.52	15.28	

Tabel 10: dwarsprofielen bedding 1 t/m 9 van 05/94 t/m 05/97

Keersop dwarsprofielen bedding netto dynamiek in m <sup>2</sup> per profiel									
Pro- fiel	05/94- 07/94	07/94- 11/94	11/94- 03/95	03/95- 07/95	07/95- 11/95	11/95- 03/96	03/96- 07/96	07/96- 05/97	Totaal
1	-0.37	0.06	-0.78	0.24	0.14	-0.34	0.11	0.17	-0.77
2	-0.39	-0.03	-2.47	0.75	-0.64	0.2	0.15	0.39	-2.04
3	-0.37	-0.22	-2.16	-0.36	0.6	0.38	-0.42	-0.56	-3.11
4	-0.19	0.07	-0.08	-0.32	0.22	-0.05	-0.39	0.76	0.02
5	-0.24	0.32	0.45	-0.25	-0.07	-0.32	-0.13	0.99	0.75
6	-0.3	0.12	0.59	-0.06	0.03	0.49	0.12	0.6	0.41
7	-0.14	0.04	-0.37	0.03	-0.14	-0.21	-0.84	0.17	-1.46
8	-0.09	-0.31	-0.31	-0.08	0.02	-0.15	-0.58	0.84	-0.66
9	0.03	-0.18	0.2	0.17	-0.01	-0.14	-0.11	0.34	0.3
Totaal	-2.06	-0.13	-6.11	0.12	0.15	-0.14	-2.09	3.7	

Tabel 11: oeverdynamiek Keersop van 05/94 tot 05/97

Oeverdynamiek Keersop per type in meters en in % t.o.v. totaal					
Oevertype	07/94	11/94	03/95	07/95	03/96
Type 1 (Helling- knik)	230 (57%)	228 (54%)	193 (43%)	194 (41%)	241 (60%)
Type 2 (Steilrand)	87 (22%)	96 (22%)	127 (28%)	140 (29%)	46 (11%)
Type 3 (Steilrand)	64 (16%)	60 (14%)	65 (15%)	76 (16%)	40 (10%)
Type 4 (Ondergra- ven)	23 (5%)	43 (10%)	63 (14%)	69 (14%)	75 (19%)

Tabel 12: Beddingdynamiek Keersop van 07/94 t/m 03/97

Keersop verdeling substraten in % t.o.v. totaal van de bedding					
Substraat	07/94	07/95	03/96	07/96	03/97
Zand	57%	33%	52%	23%	55%
Grind	22%	21%	12%	16%	8%
Veen	5%	23%	8%	5%	7%
IOM	-	1%	-	1%	1%
Org. Mat.	1%	-	3%	-	1%
Slib	15%	22%	25%	12%	16%
Vegetatie	-	-	-	43%	12%
Totaal	100%	100%	100%	100%	100%

## Aanhangsel 4 Gegevens Tongelreep

Tabel 13: Dwersprofielen meetmeander Tongelreep

Bocht 1							
Profiel	09/95- 11/95	11/95- 03/96	03/96- 07/96	07/96- 11/96	11/96- 04/97	04/97- 07/97	Totaal
1	-0.23	0.07	0.32	-0.63	-0.21	-0.18	-0.86
2	0.04	-0.55	0.38	-0.72	0.55	-0.72	-1.02
3	-1.34	0.55	0.34	-1.29	0.04	-0.11	-1.81
4	-0.29	0	-0.24	-0.78	-0.18	-0.02	-1.51
5	0.46	-0.14	0.13	-0.65	0.01	-0.76	-0.95
Totaal	-1.36	-0.07	0.93	-4.07	0.21	-1.79	
Bocht 2							
Profiel	09/95- 11/95	11/95- 03/96	03/96- 07/96	07/96- 11/96	11/96- 04/97	04/97- 07/97	Totaal
6	-0.48	0.28	0.13	-0.16	0.18	-0.1	-0.15
7	0.14	-1.3	0.25	-0.26	0.28	-0.39	-1.28
8	-0.15	-0.03	0.08	0.33	-0.07	-0.24	-0.08
9	-0.04	-0.38	0.23	-0.12	-0.14	-0.52	-0.97
10	0.2	0	0.16	-0.26	-0.3	0.48	0.28
Totaal	-0.33	-1.43	0.85	-0.47	-0.05	-0.77	

Tabel 14: dwersprofielen bovenstroomse zandvang 1 t/m 5 van 09/95 t/m 07/97

Tongelreep dwersprofielen bovenstroomse zandvang netto dynamiek in m <sup>2</sup> per profiel						
Profiel	09/95- 11/95	11/95- 03/96	03/96- 11/96	11/96- 04/97	04/97- 07/97	Totaal
1	2.55	0.63	-0.1	-0.03	0.03	3.08
2	1.52	16.8	7.45	6.6	-3.83	28.54
3	0.62	7.44	3.67	7.69	0.5	19.92
4	0.51	5.3	2.22	9.62	-6.6	11.05
5	-0.21	-0.74	0.98	-0.1	-0.23	-0.3
Totaal per periode	4.99	29.43	14.22	23.78	-10.13	

Tabel 15: dwersprofielen benedenstroomse zandvang 1 t/m 4 van 03/96 t/m 07/97

Tongelreep dwersprofielen benedenstroomse zandvang netto dynamiek in m <sup>2</sup> per profiel					
Profiel	03/96-07/96	07/96-11/96	11/96-04/97	04/97-07/97	Totaal
1	0.01	0.1	0.21	0.08	0.4
2	3.99	8.49	-0.58	0.26	12.16
3	0.21	10.59	2.89	-0.58	13.11
4	1.07	10.31	1.49	0.93	13.8
Totaal	5.28	29.49	4.01	0.69	

Tabel 16: oeverdynamiek Tongelreep bocht 1 van 11/95 tot 07/97

Oeverdynamiek Tongelreep bocht 1 per type in meters en in % t.o.v. totaal						
Oevertype	11/95	03/96	07/96	11/96	03/97	07/97
Type 1	150 (50%)	307 (69%)	335 (68%)	274 (70%)	262 (64%)	221 (67%)
Type 2	93 (31%)	48 (11%)	82 (17%)	21 (6%)	53 (13%)	14 (4%)
Type 3	50 (17%)	70 (16%)	56 (11%)	54 (14%)	38 (10%)	9 (3%)
Type 4	5 (2%)	18 (4%)	22 (4%)	40 (10%)	54 (13%)	86 (26%)

Tabel 17: oeverdynamiek Tongelreep bocht 2 van 11/95 tot 07/97

Oeverdynamiek Tongelreep bocht 2 per type in meters en in % t.o.v. totaal						
Oevertype	11/95	03/96	07/96	11/96	03/97	07/97
Type 1	279 (64%)	236 (59%)	240 (45%)	294 (67%)	291 (66%)	260 (67%)
Type 2	147 (34%)	100 (25%)	254 (47%)	85 (20%)	98 (22%)	53 (14%)
Type 3	3 (1%)	62 (15%)	45 (8%)	49 (11%)	23 (5%)	44 (11%)
Type 4	5 (1%)	4 (1%)	2 (<1%)	10 (2%)	29 (7%)	32 (8%)

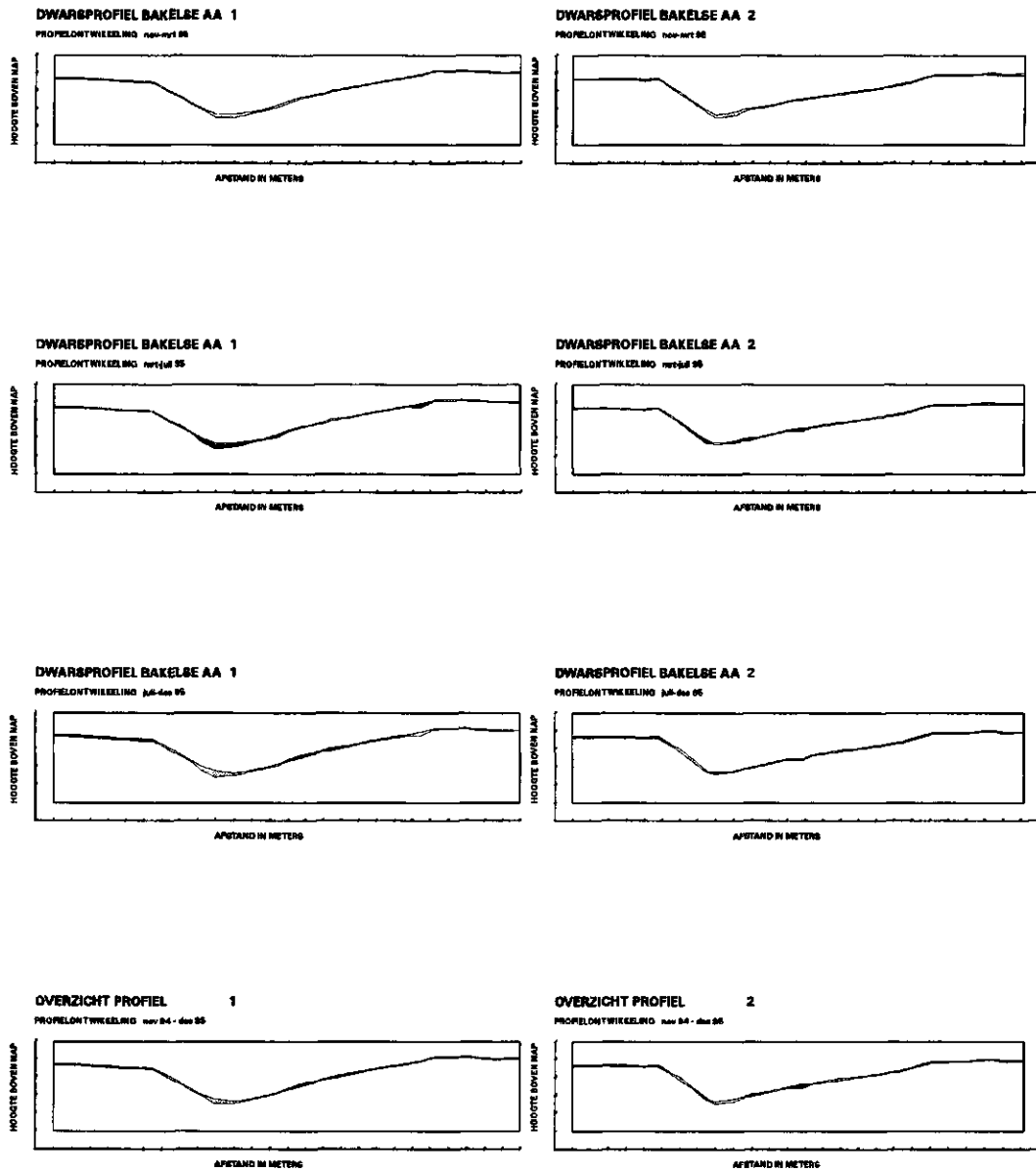
Tabel 18: beddingdynamiek Tongelreep bocht 1 van 11/95 t/m 07/97

Tongelreep bocht 1 verdeling substraten in % t.o.v. totaal van de bedding						
Substraat	11/95	03/96	07/96	11/96	03/97	07/97
Zand	46%	76%	71%	75%	69%	49%
Grind	2%	-	18%	9%	1%	4%
Leem/silt	39%	20%	2%	4%	20%	1%
Slib	8%	-	9%	6%	7%	30%
IOM	4%	4%	-	5%	3%	4%
Org. Mat.	1%	-	-	1%	-	-
Vegetatie	-	-	-	-	-	12%
Totaal	100%	100%	100%	100%	100%	100%

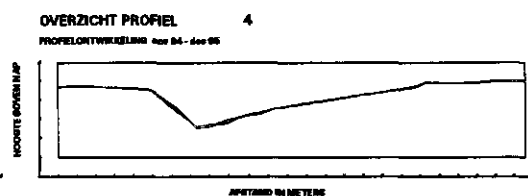
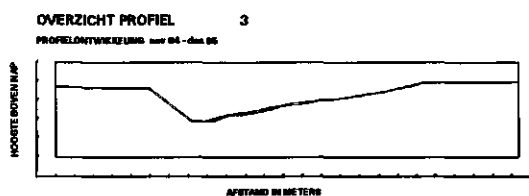
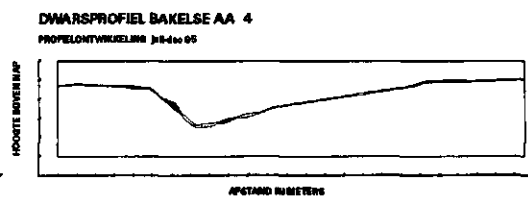
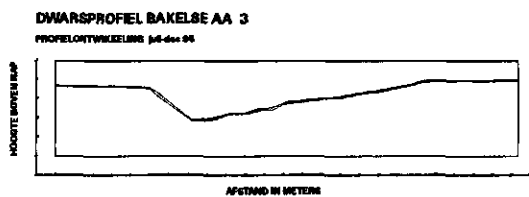
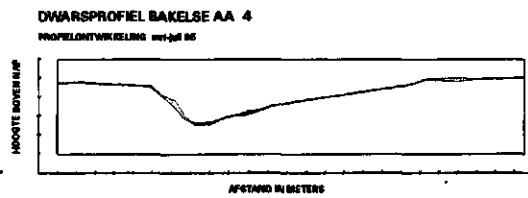
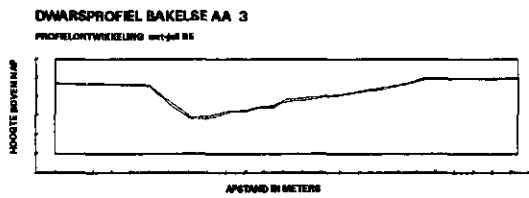
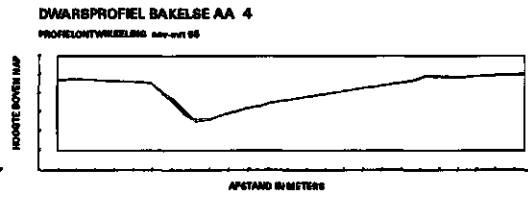
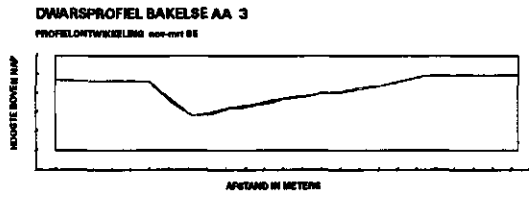
Tabel 19: beddingdynamiek Tongelreep bocht 2 van 11/95 t/m 07/97

Tongelreep bocht 2 verdeling substraten in % t.o.v. totaal van de bedding						
Substraat	11/95	03/96	07/96	11/96	03/97	07/97
Zand	52%	47%	57%	76%	37%	4%
Grind	-	-	8%	-	<1%	1%
Leem/silt	37%	51%	27%	16%	55%	34%
Slib	11%	2%	8%	8%	8%	32%
IOM	-	-	-	-	-	-
Org. Mat.	-	<1%	-	<1%	-	-
Vegetatie	-	-	1%	-	-	29%
Totaal	100%	100%	100%	100%	100%	100%

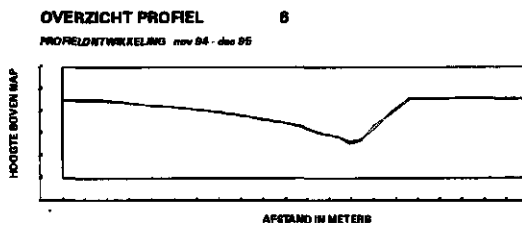
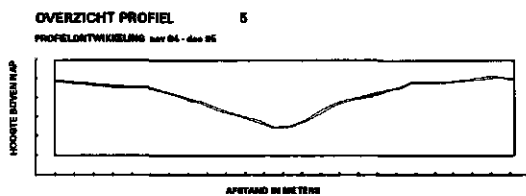
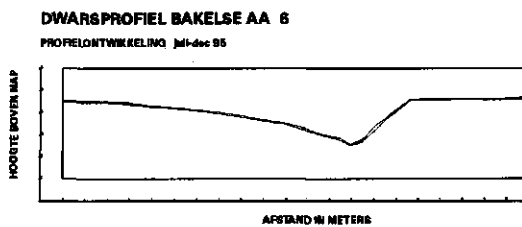
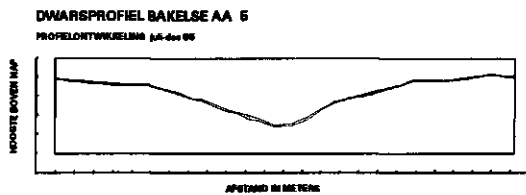
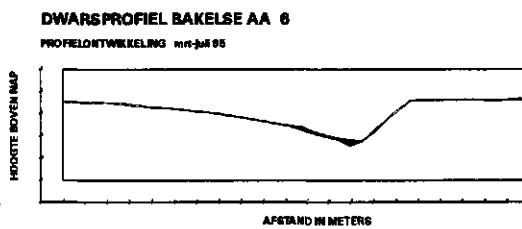
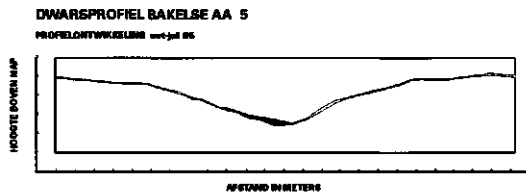
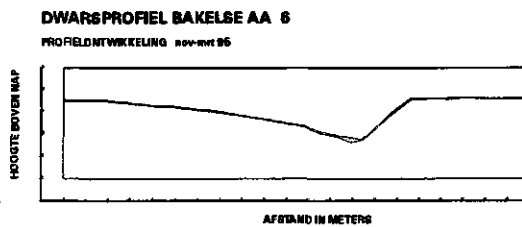
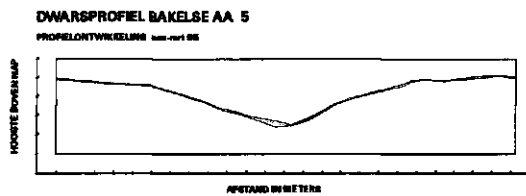
# Aanhangsel 5 Dwarsprofielen Aa



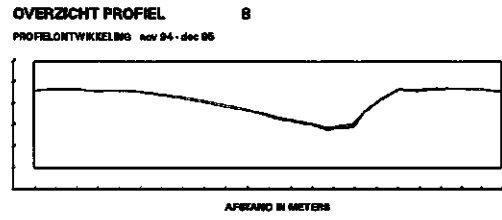
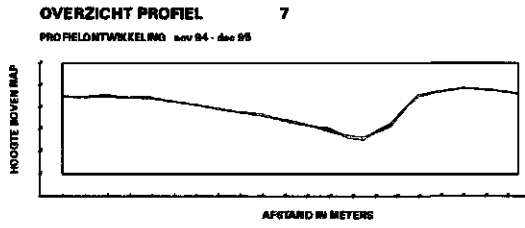
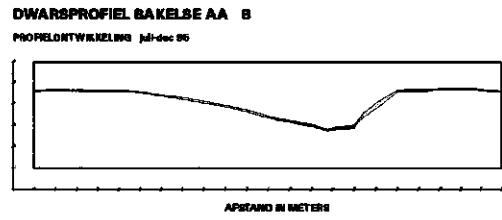
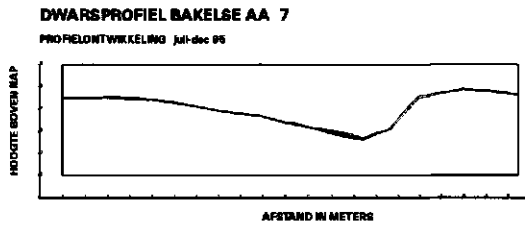
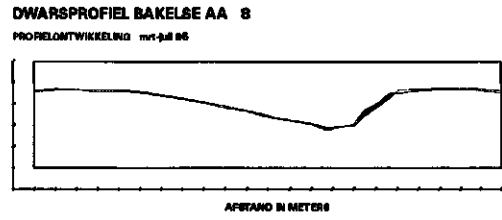
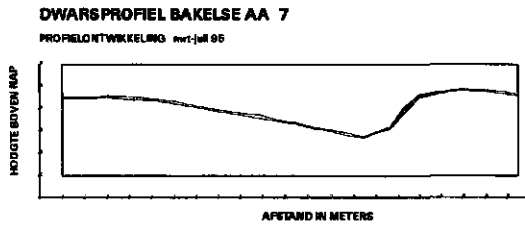
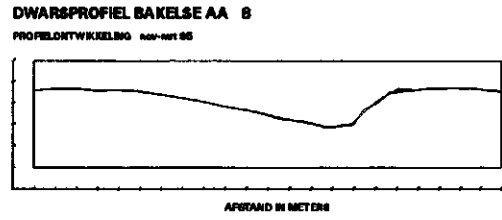
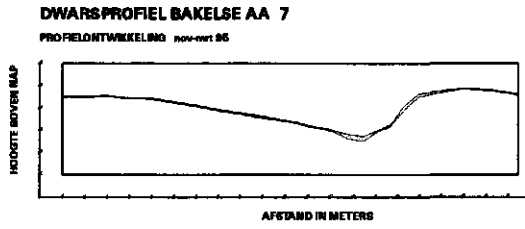
Dwarsprofiel 1 en 2 de Aa, ontwikkelingen 11-94 t/m 12-95



**Dwarsprofiel 3 en 4 de Aa, ontwikkelingen 11-94 t/m 12-95**



**Dwarsprofiel 5 en 6 de Aa, ontwikkelingen 11-94 t/m 12-95**

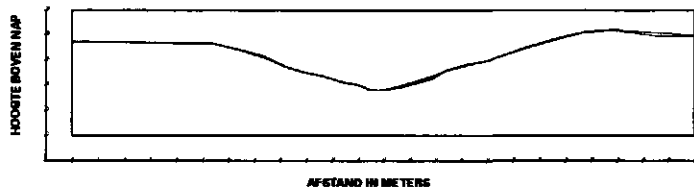


**Dwarsprofiel 7 en 8 de Aa, ontwikkelingen 11-94 t/m 12-95**



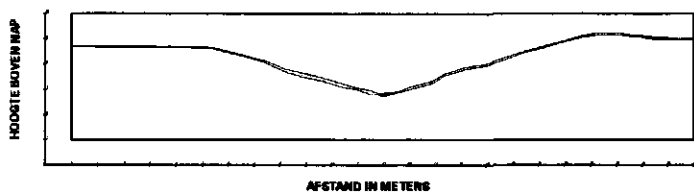
**DWARSPROFIEL BAKELSE AA 9**

PROFIELONTWIKKELING nov-mrt 95



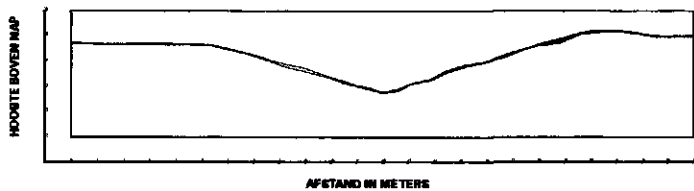
**DWARSPROFIEL BAKELSE AA 9**

PROFIELONTWIKKELING mrt-jul 95



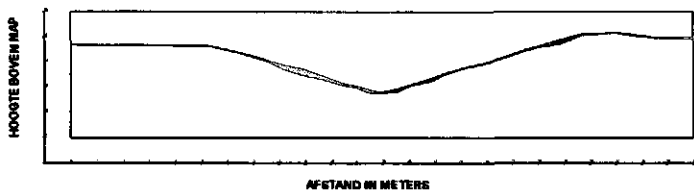
**DWARSPROFIEL BAKELSE AA 9**

PROFIELONTWIKKELING jul-dec 95



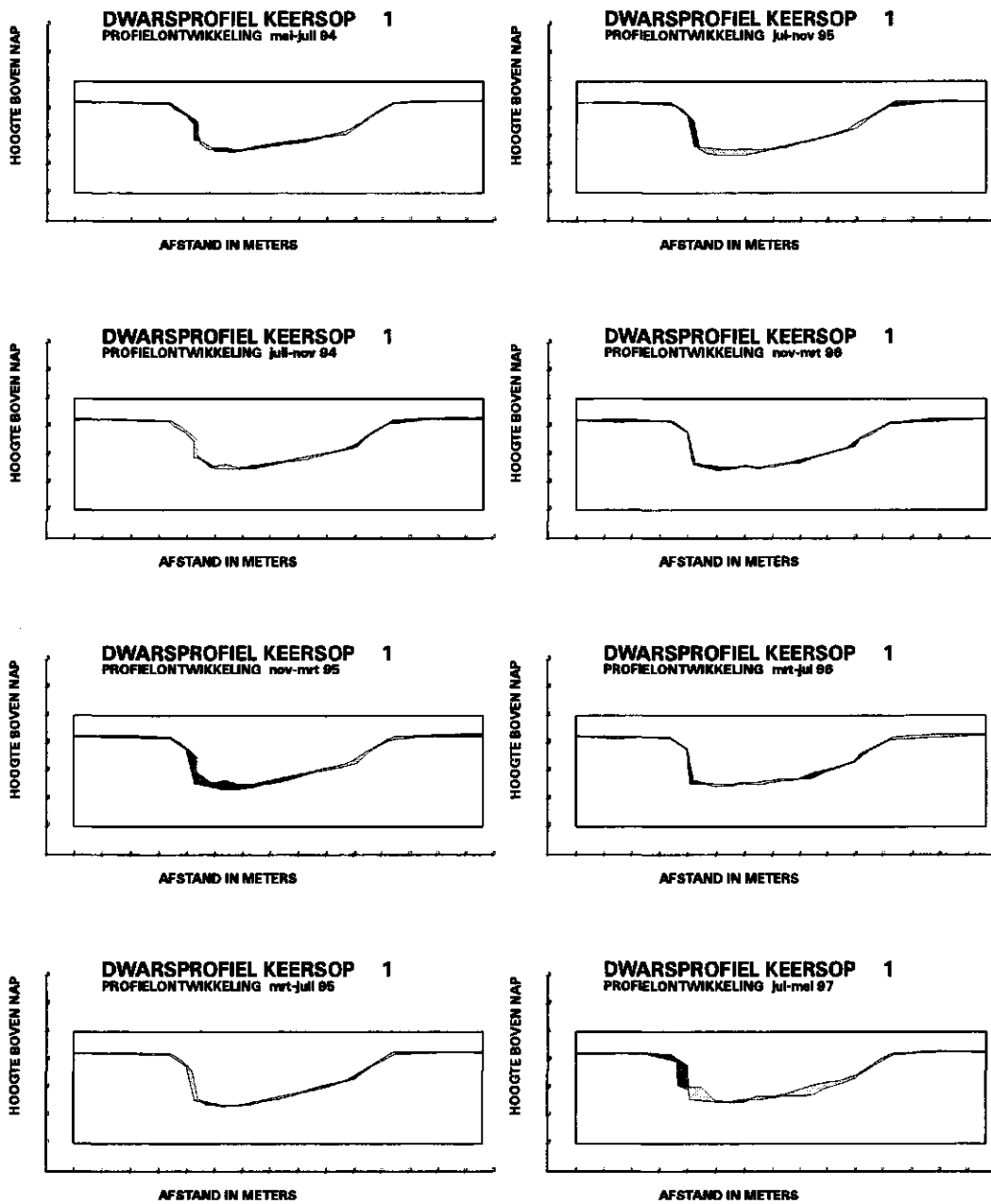
**OVERZICHT PROFIEL 9**

PROFIELONTWIKKELING nov 94 - dec 95

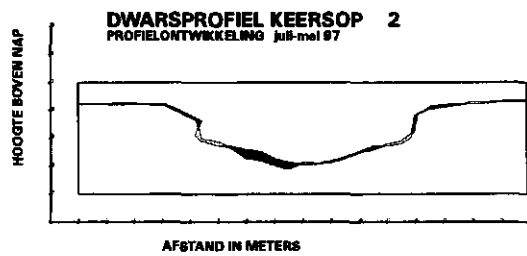
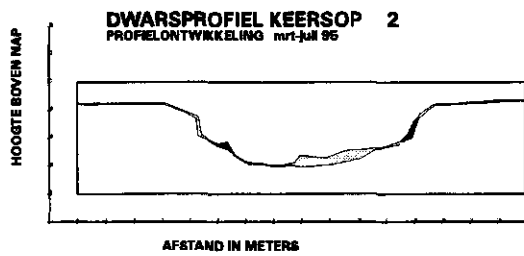
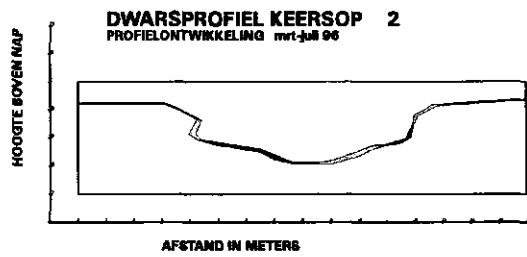
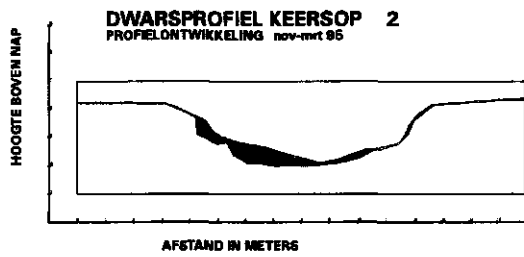
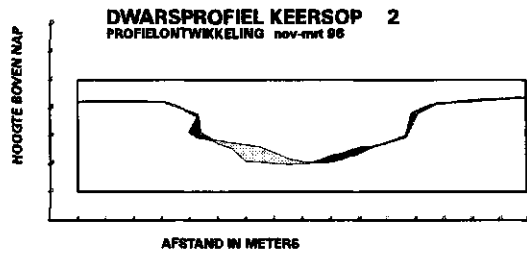
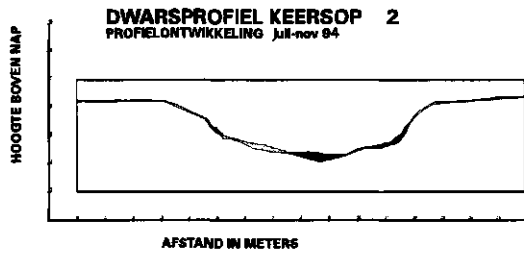
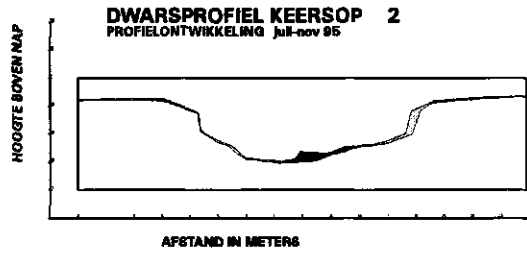
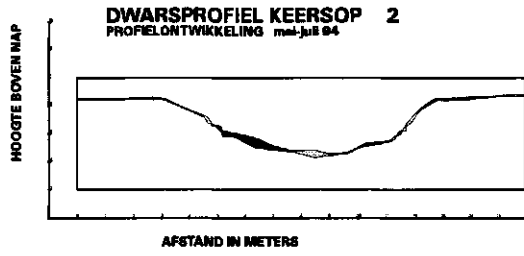


**Dwarsprofiel 9 de Aa, ontwikkelingen 11-94 t/m 12-95**

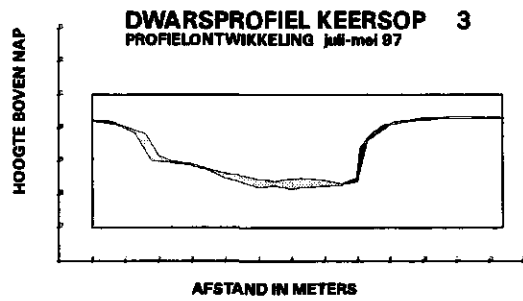
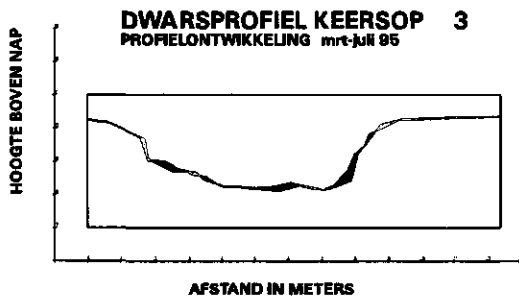
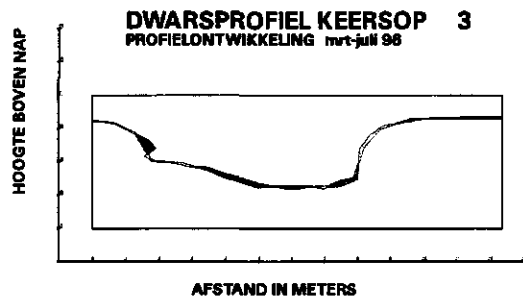
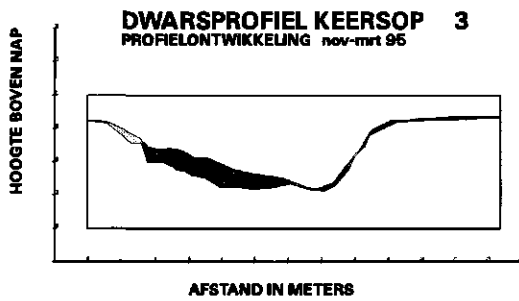
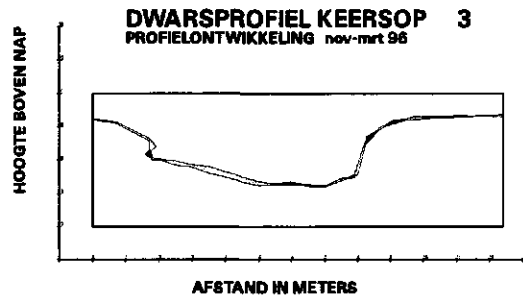
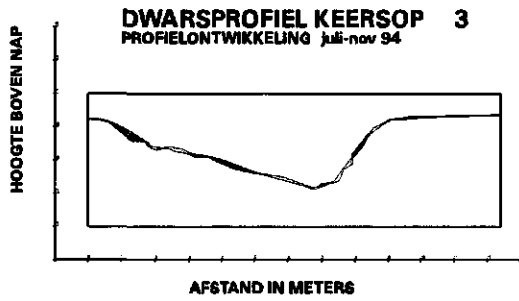
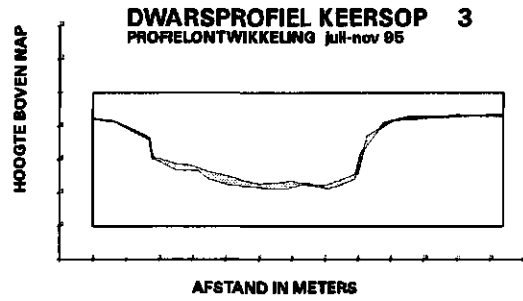
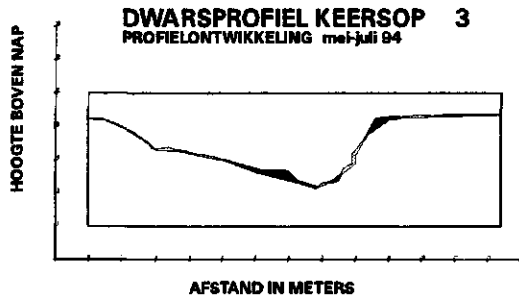
## Aanhangsel 6 Dwarsprofielen Keersop



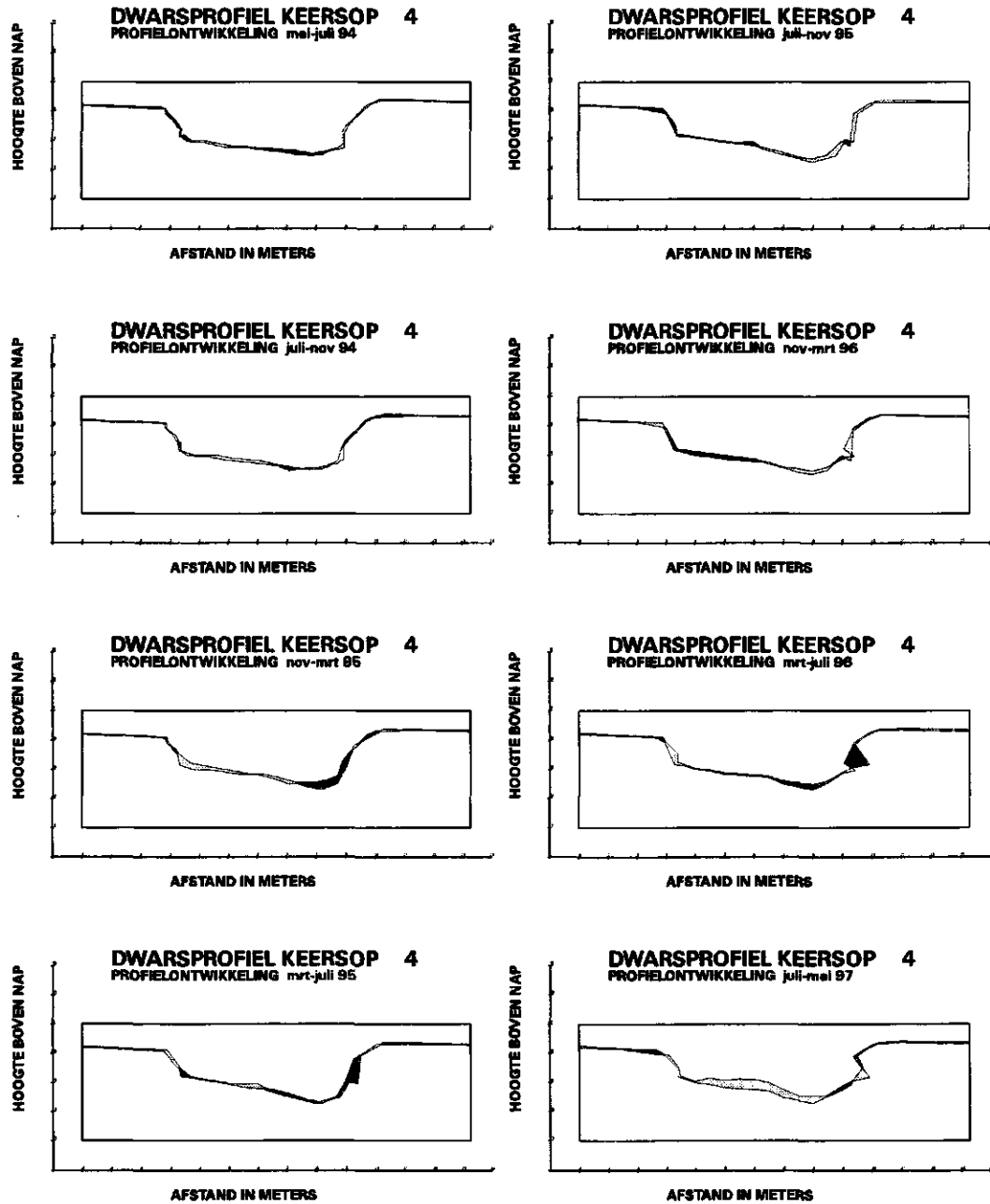
Dwarsprofiel 1 Keersop, ontwikkelingen 05-94 t/m 05-97



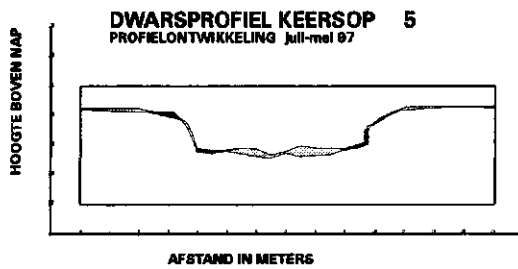
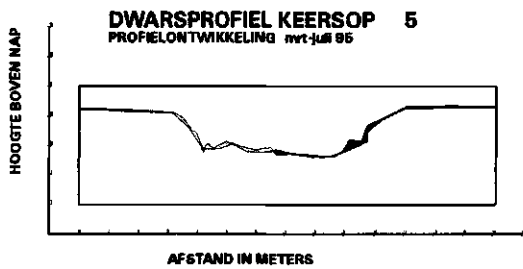
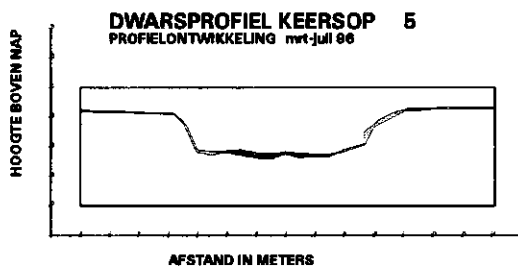
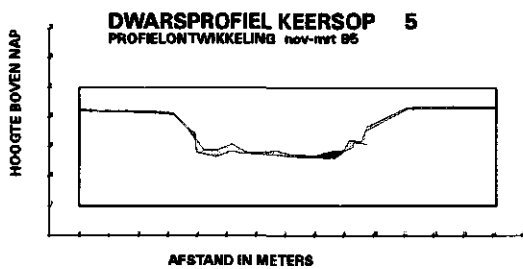
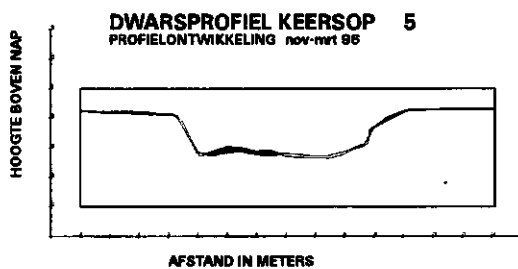
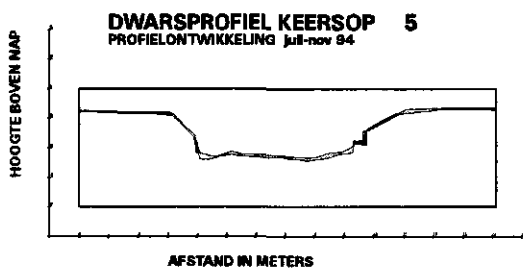
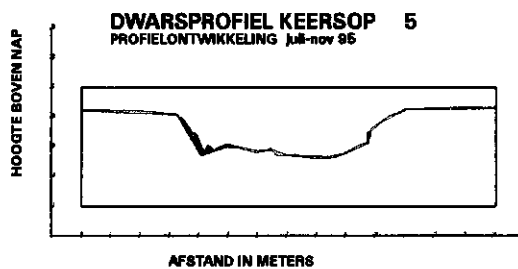
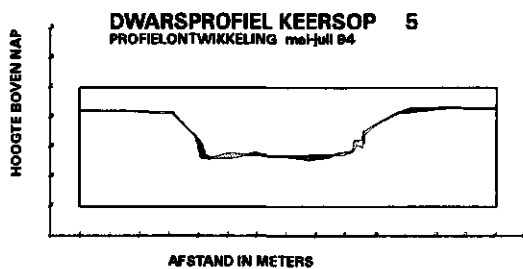
**Dwarsprofiel 2 Keersop, ontwikkelingen 05-94 t/m 05-97**



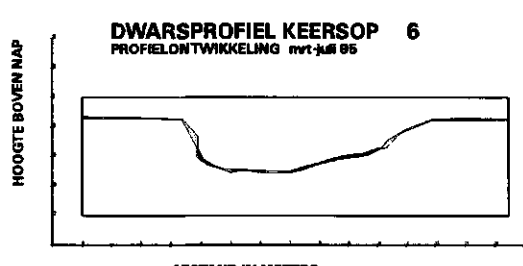
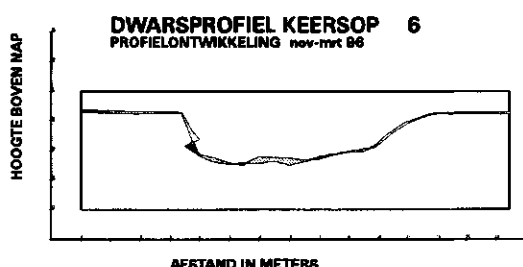
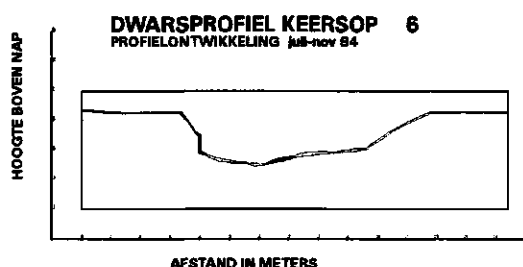
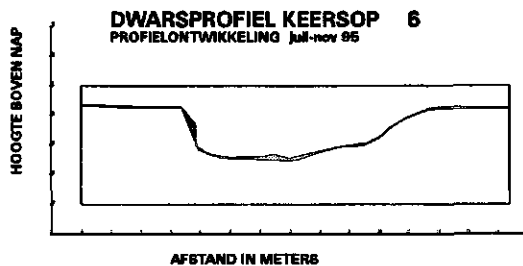
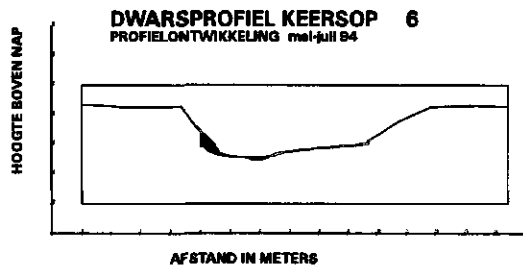
**Dwarsprofiel 3 Keersop, ontwikkelingen 05-94 t/m 05-97**



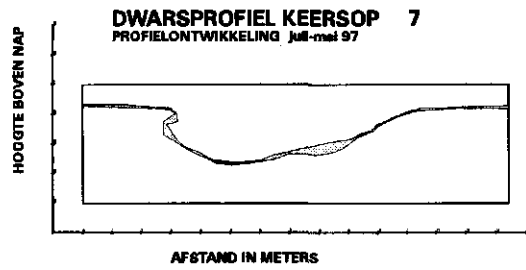
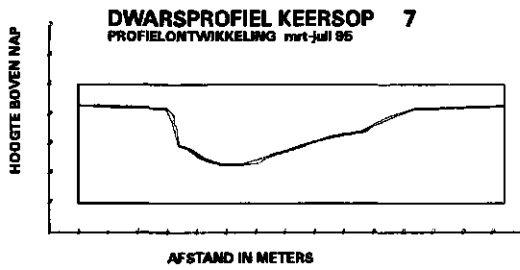
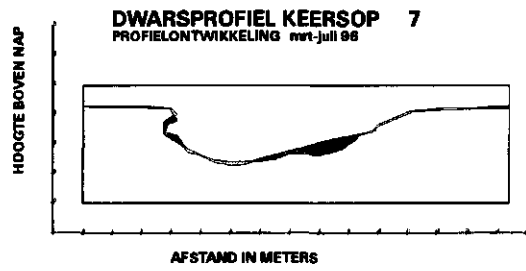
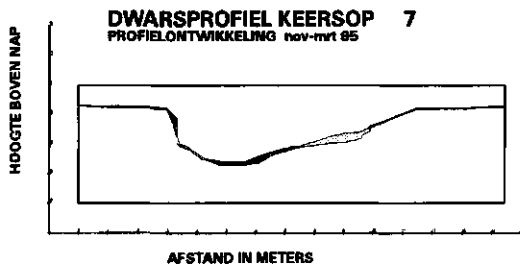
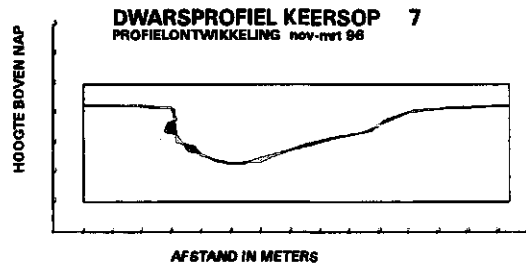
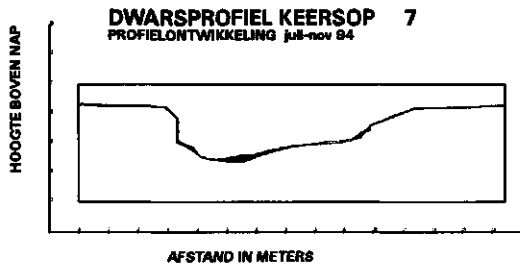
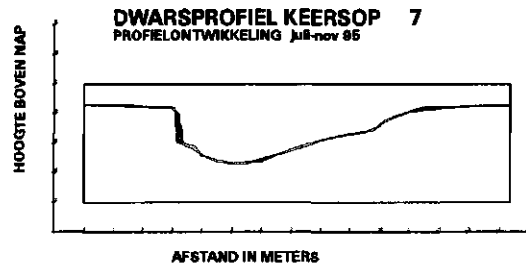
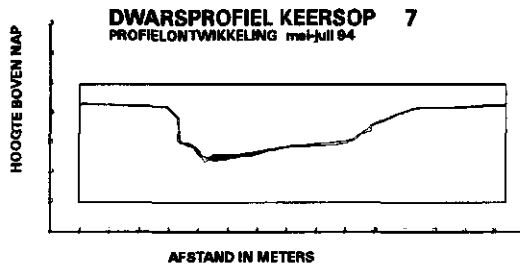
**Dwarsprofiel 4 Keersop, ontwikkelingen 05-94 t/m 05-97**



**Dwarsprofiel 5 Keersop, ontwikkelingen 05-94 t/m 05-97**

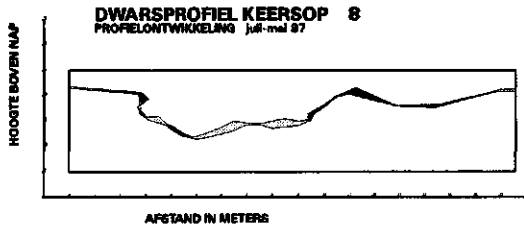
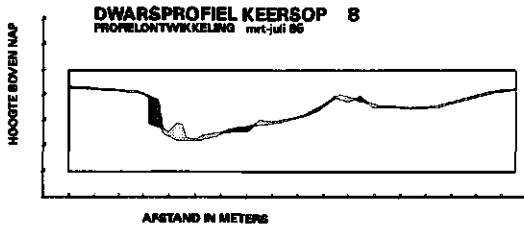
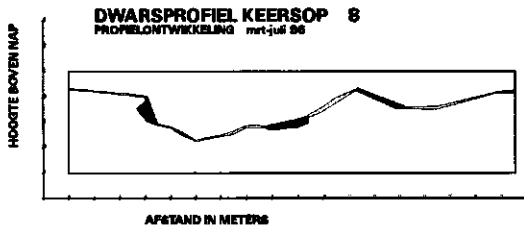
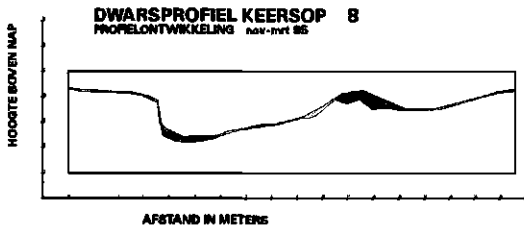
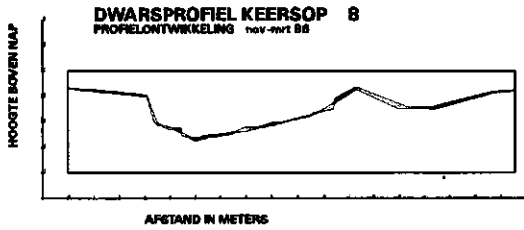
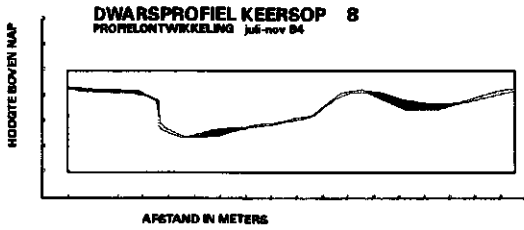
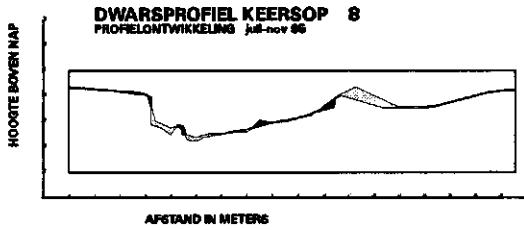
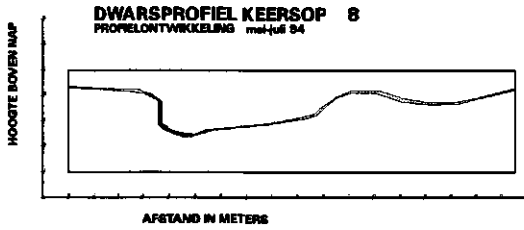


**Dwarsprofiel 6 Keersop, ontwikkelingen 05-94 t/m 05-97**

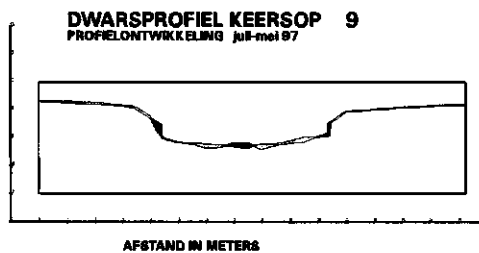
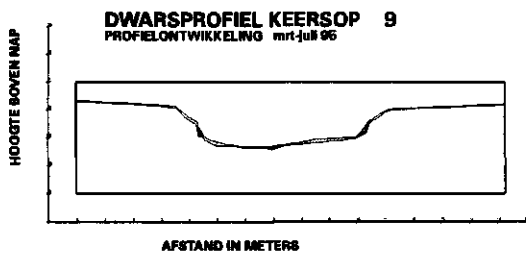
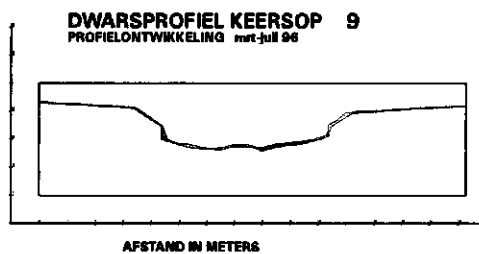
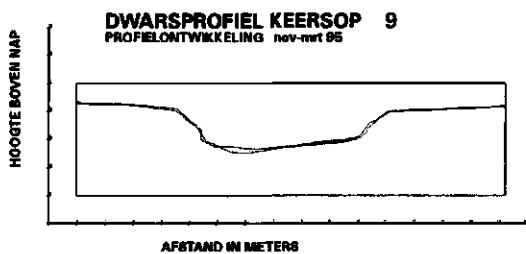
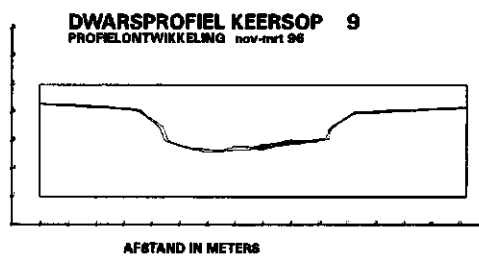
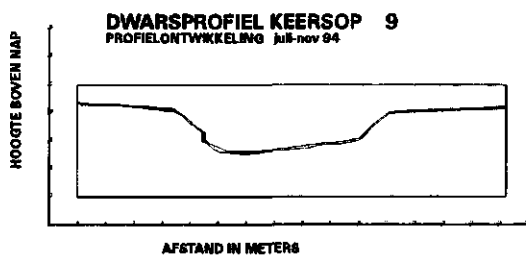
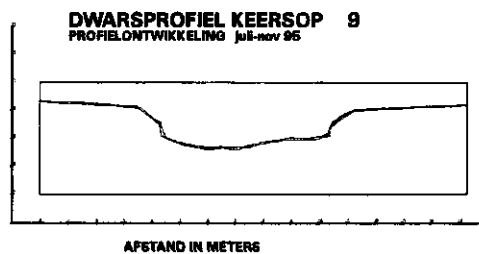
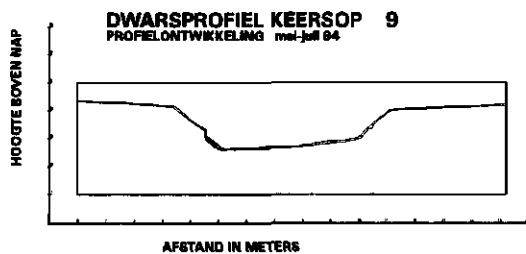


**Dwarsprofiel 7 Keersop, ontwikkelingen 05-94 t/m 05-97**



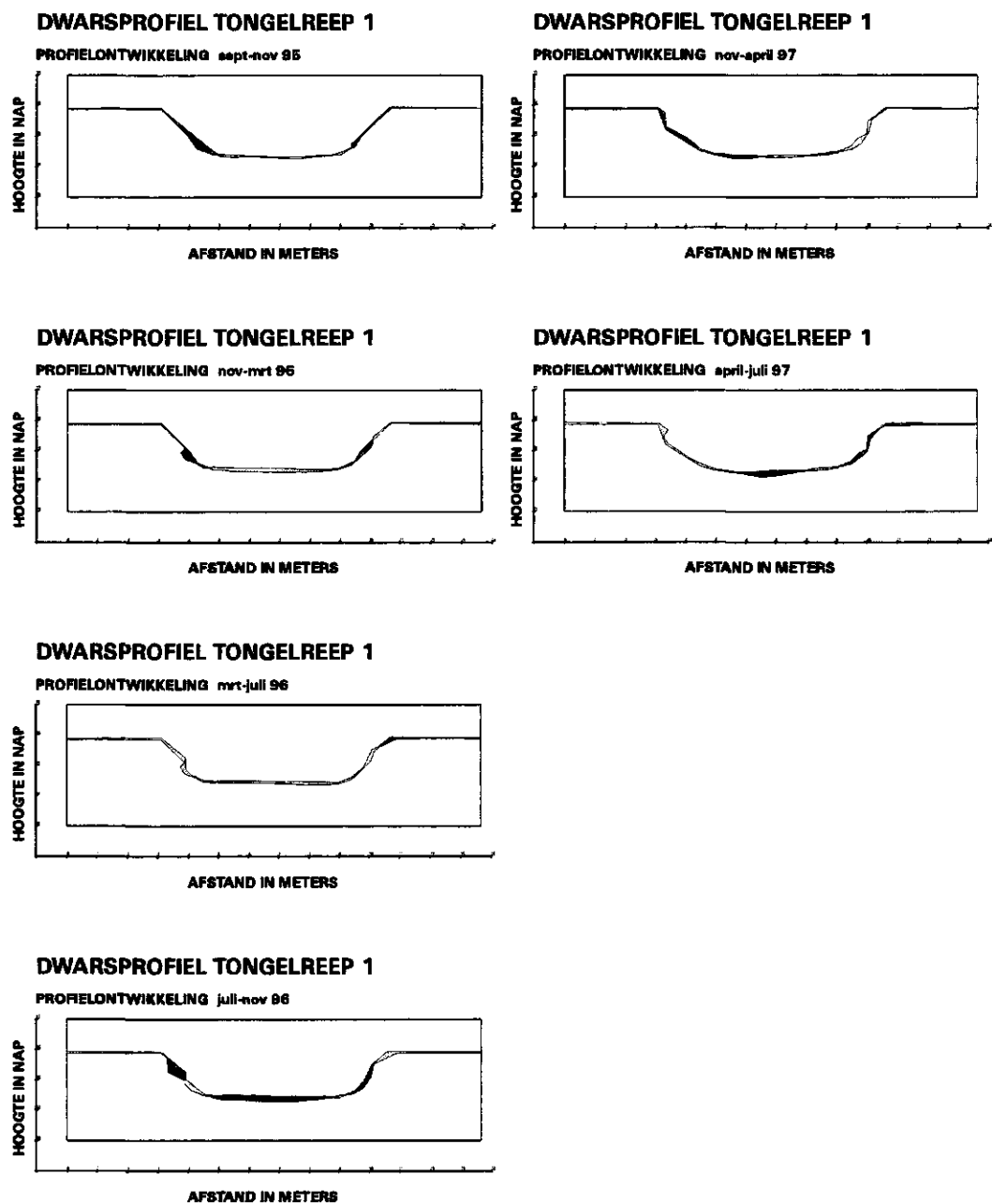


**Dwarsprofiel 8 Keersop, ontwikkelingen 05-94 t/m 05-97**



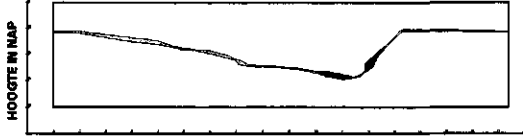
**Dwarsprofiel 9 Keersop, ontwikkelingen 05-94 t/m 05-97**

# Aanhangsel 7 Dwarsprofielen Tongelreep



**DWARSPROFIEL TONGELREEP 2**

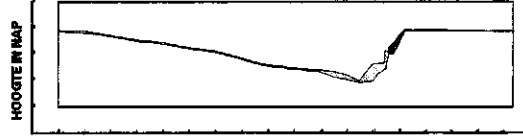
PROFIELONTWIKKELING sept-nov 95



AFSTAND IN METERS

**DWARSPROFIEL TONGELREEP 2**

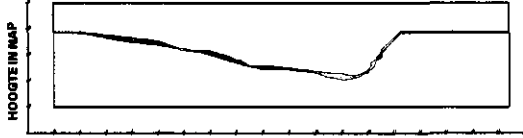
PROFIELONTWIKKELING nov-april 97



AFSTAND IN METERS

**DWARSPROFIEL TONGELREEP 2**

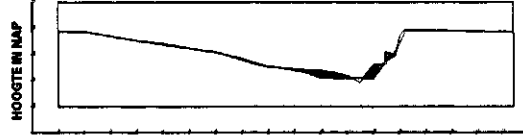
PROFIELONTWIKKELING nov-mrt 96



AFSTAND IN METERS

**DWARSPROFIEL TONGELREEP 2**

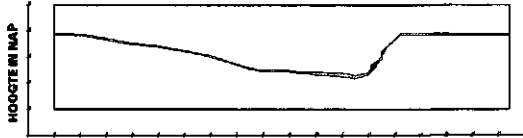
PROFIELONTWIKKELING april-juni 97



AFSTAND IN METERS

**DWARSPROFIEL TONGELREEP 2**

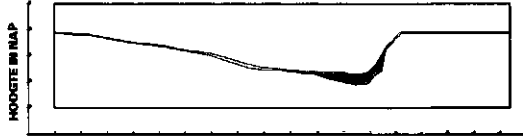
PROFIELONTWIKKELING mrt-juli 95



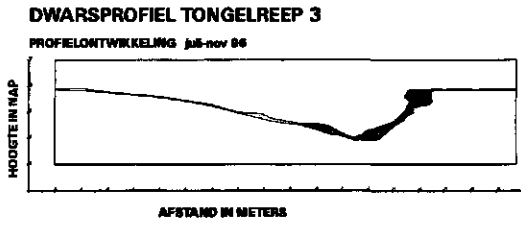
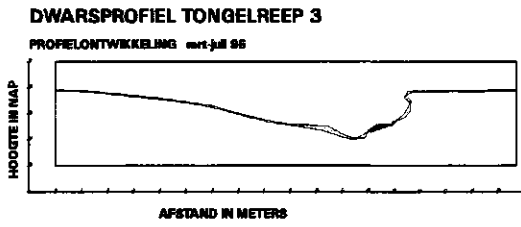
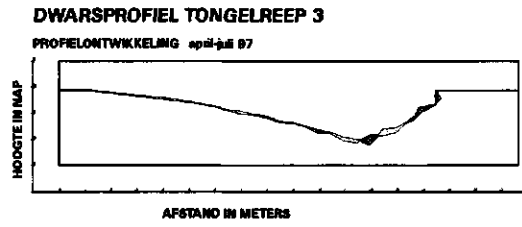
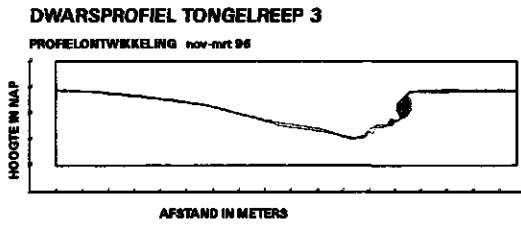
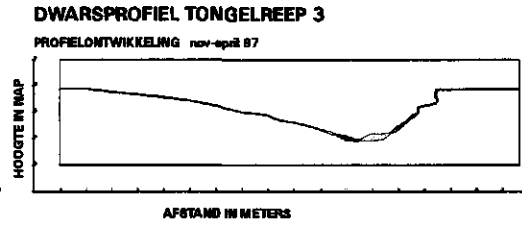
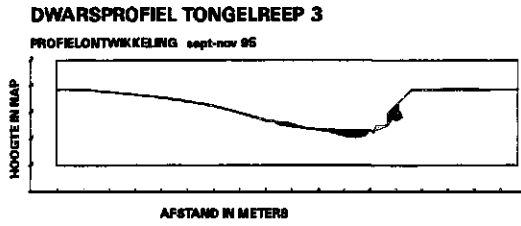
AFSTAND IN METERS

**DWARSPROFIEL TONGELREEP 2**

PROFIELONTWIKKELING juni-nov 95

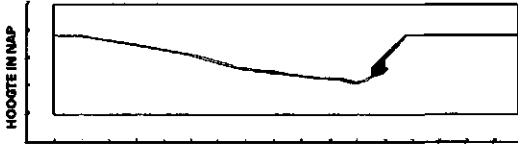


AFSTAND IN METERS



**DWARSPROFIEL TONGELREEP 4**

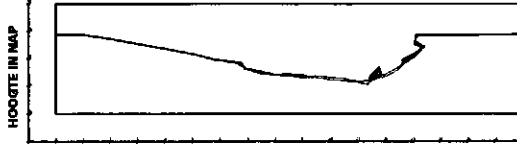
PROFIELONTWIKKELING sept-nov 96



AFSTAND IN METERS

**DWARSPROFIEL TONGELREEP 4**

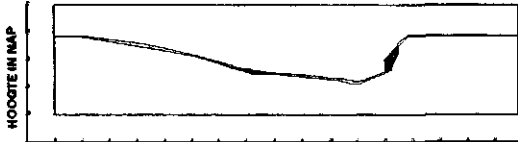
PROFIELONTWIKKELING nov-april 97



AFSTAND IN METERS

**DWARSPROFIEL TONGELREEP 4**

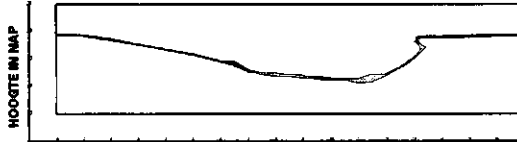
PROFIELONTWIKKELING nov-mrt 96



AFSTAND IN METERS

**DWARSPROFIEL TONGELREEP 4**

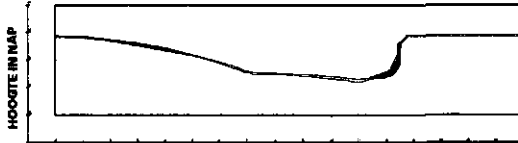
PROFIELONTWIKKELING april-juli 97



AFSTAND IN METERS

**DWARSPROFIEL TONGELREEP 4**

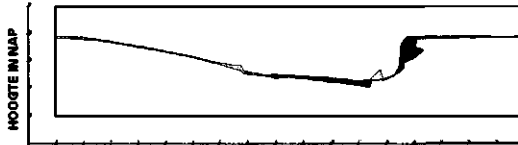
PROFIELONTWIKKELING mrt-juli 96



AFSTAND IN METERS

**DWARSPROFIEL TONGELREEP 4**

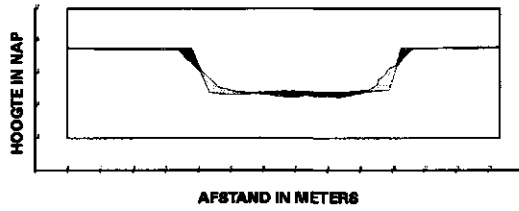
PROFIELONTWIKKELING juli-nov 96



AFSTAND IN METERS

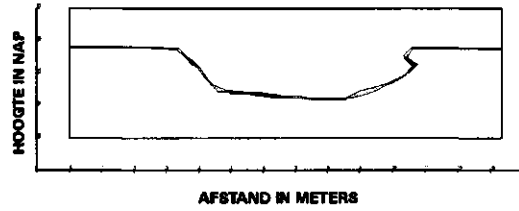
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 5**

PROFIELONTWIKKELING sept-nov 85



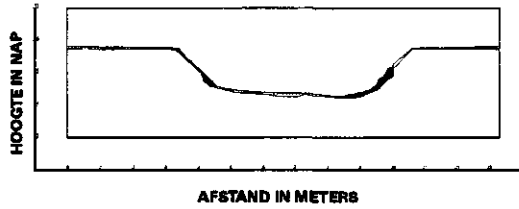
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 5**

PROFIELONTWIKKELING nov-april 87



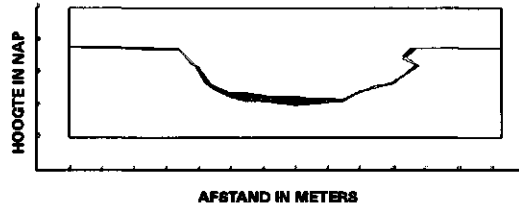
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 5**

PROFIELONTWIKKELING nov-mrt 86



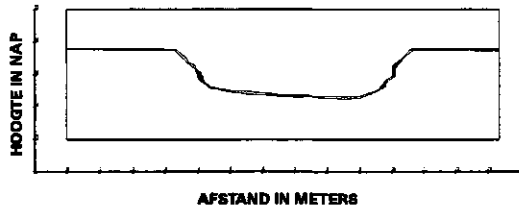
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 5**

PROFIELONTWIKKELING april-juli 87



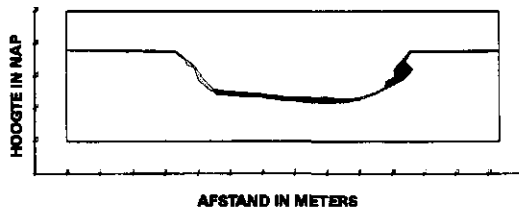
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 5**

PROFIELONTWIKKELING mrt-juli 86



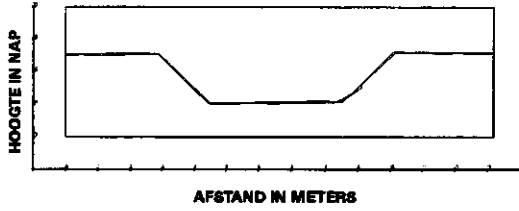
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 5**

PROFIELONTWIKKELING juli-nov 86



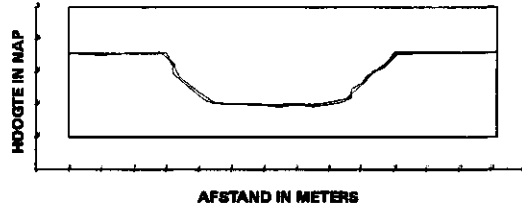
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 6**

PROFIELONTWIKKELING sept-nov 95



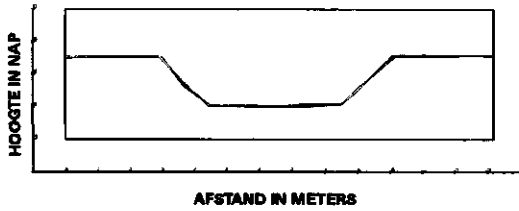
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 6**

PROFIELONTWIKKELING nov-april 97



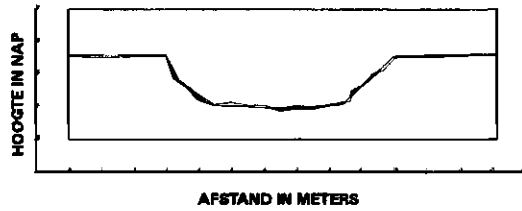
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 6**

PROFIELONTWIKKELING nov-mrt 96



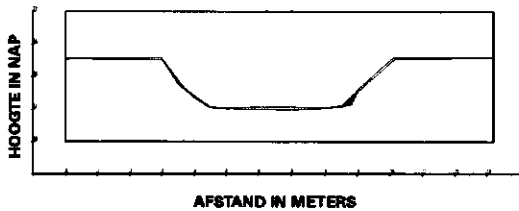
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 6**

PROFIELONTWIKKELING april-juli 97



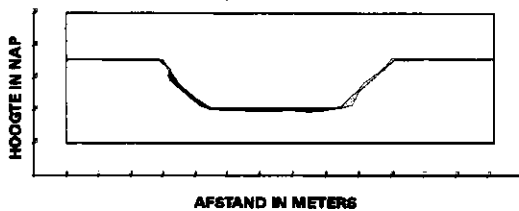
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 6**

PROFIELONTWIKKELING mrt-juli 96



**DWARSPROFIEL TONGELREEP 6**

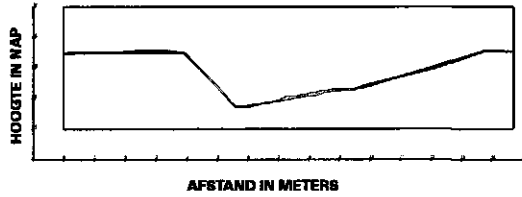
PROFIELONTWIKKELING juli-nov 96





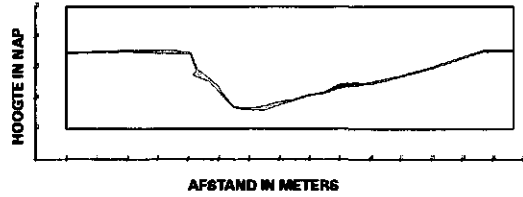
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 7**

PROFIELONTWIKKELING sept-nov 85



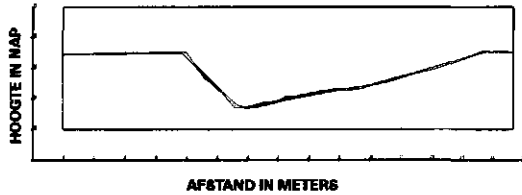
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 7**

PROFIELONTWIKKELING nov-april 87



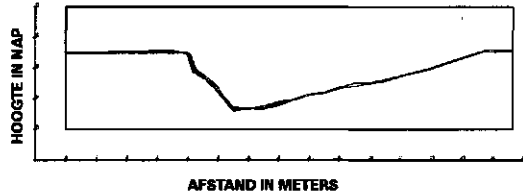
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 7**

PROFIELONTWIKKELING nov-mrt 86



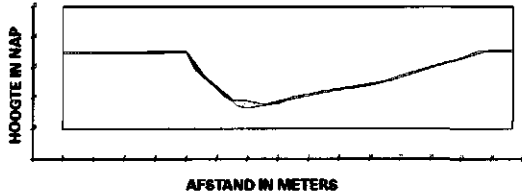
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 7**

PROFIELONTWIKKELING april-juli 87



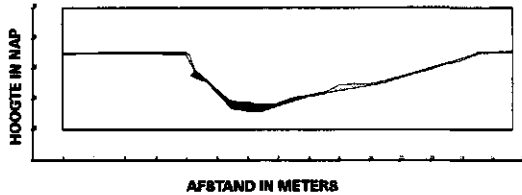
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 7**

PROFIELONTWIKKELING mrt-juli 86

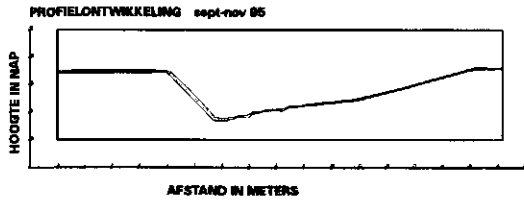


**DWARSPROFIEL TONGELREEP 7**

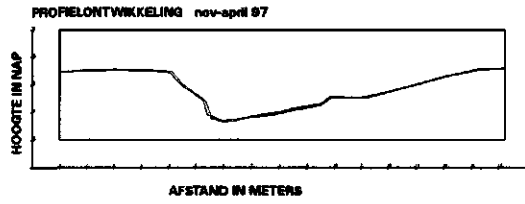
PROFIELONTWIKKELING juli-nov 86



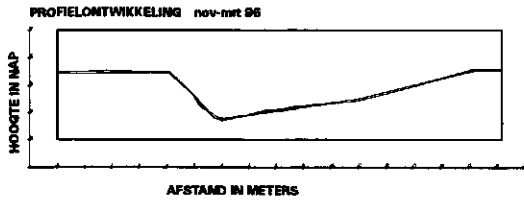
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 8**



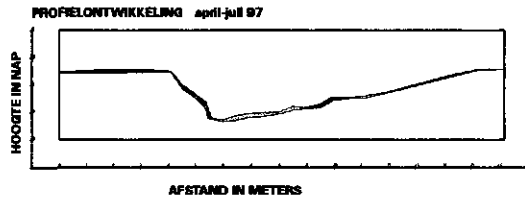
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 8**



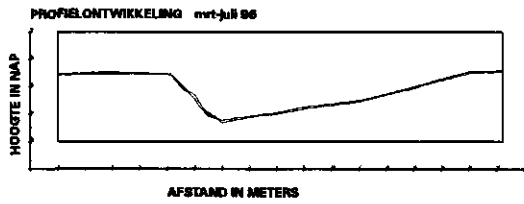
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 8**



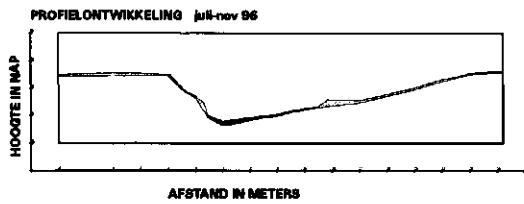
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 8**



**DWARSPROFIEL TONGELREEP 8**

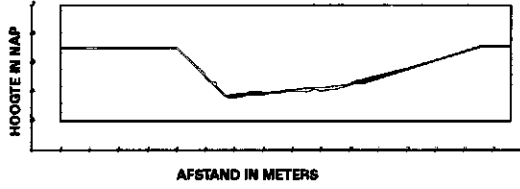


**DWARSPROFIEL TONGELREEP 8**



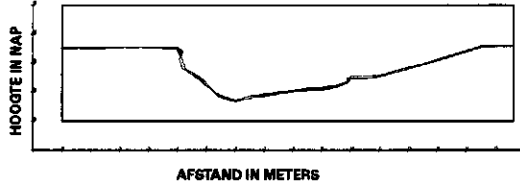
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 9**

PROFIELONTWIKKELING sept-nov 95



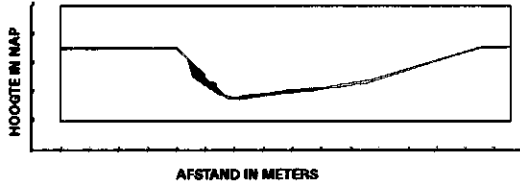
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 9**

PROFIELONTWIKKELING nov-april 97



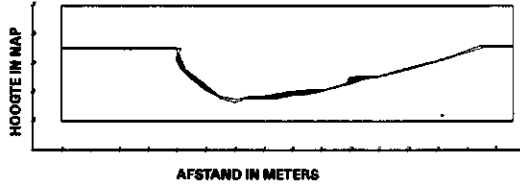
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 9**

PROFIELONTWIKKELING nov-mrt 96



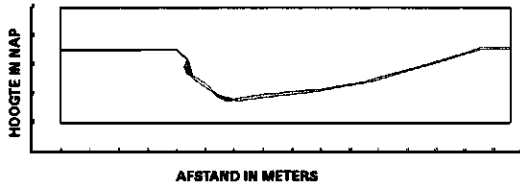
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 9**

PROFIELONTWIKKELING april-juli 97



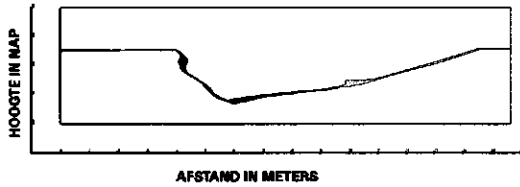
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 9**

PROFIELONTWIKKELING mrt-juli 96



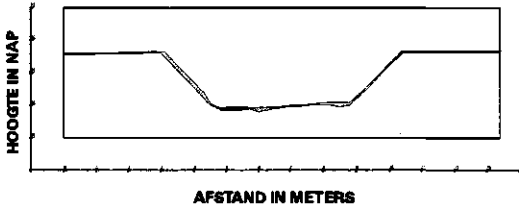
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 9**

PROFIELONTWIKKELING juli-nov 96



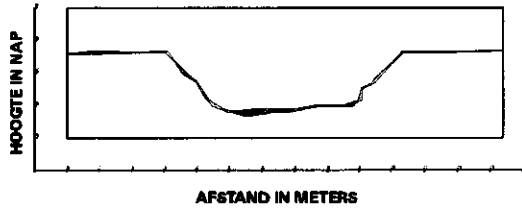
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 10**

PROFIELONTWIKKELING sept-nov 95



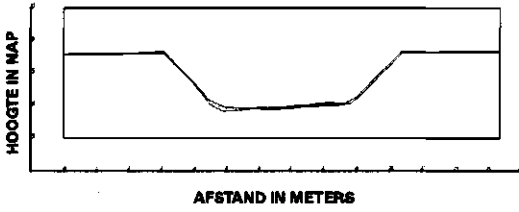
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 10**

PROFIELONTWIKKELING nov-april 97



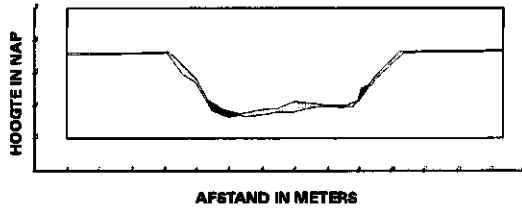
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 10**

PROFIELONTWIKKELING nov-mrt 96



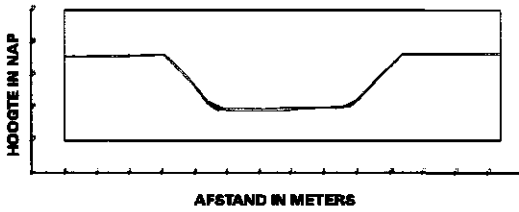
**DWARSPROFIEL TONGELREEP 10**

PROFIELONTWIKKELING april-juli 97



**DWARSPROFIEL TONGELREEP 10**

PROFIELONTWIKKELING mrt-juli 96



**DWARSPROFIEL TONGELREEP 10**

PROFIELONTWIKKELING juli-nov 96

