INTERNE MEDEDELING NR: 109
december 1990

STARING CENTRUM
Wageningen

GEOMORFOLOGISCHE ASPECTEN VAN BEEKHERSTEL IN HET KADER VAN NATUURONTWIKKELINGSPROJECTEN

Een verkennende studie naar de mogelijkheden voor toegepast geomorfologisch onderzoek.

A. H. GEESSINK
E. ROMEIJN

De reeks Interne Mededelingen is een intern communicatiemedium van het Staring Centrum en wordt niet buiten het instituut verspreid.
De inhoud varieert sterk: van zowel een eenvoudig weergave van cijferreeksen tot een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. Meestal zullen de conclusies van voorlopige aard zijn.
Citeren is niet toegestaan zonder uitdrukkelijke toestemming van auteurs en directie.

Voorwoord

Door het Staring Centrum in Wageningen is in het najaar van 1990 gedurende drie maanden onderzoek verricht naar de mogelijkheden voor toepassing van de resultaten van geomorfologisch onderzoek bij beekherstel. In het Natuurbeleidsplan, dat in 1990 verschenen is, vormt het herstel en de ontwikkeling van het natuurlijke karakter van beken één van de aandachtspunten van het natuurbeleid in de komende jaren. Geomorfologisch onderzoek kan hieraan een waardevolle bijdrage leveren.

Het onderzoek is uitgevoerd door A.H. Geessink en E. Romeijn. De begeleiding werd verzorgd door H.P. Wolfert (Hoofd afdeling Geomorfologie, Staring Centrum).
Op deze plaats willen wij een woord van dank richten tot Henk Wolfert voor de begeleiding, het Waterschap De Dommel te Boxtel voor het beschikbaar stellen van gegevens en de "AMEV" voor het verlenen van toestemming tot betreding van het landgoed "De Utrecht".

Hendrike Geessink
Els Romeijn
December 1990

Samenvatting

Deze studie naar beekherstel in Noord-Brabant is verricht naar aanleiding van het Natuurbeleidsplan dat in 1990 is uitgekomen. In het Natuurbeleidsplan is het herstel en de ontwikkeling van het natuurlijke karakter van beken één van de aandachtspunten. Laaglandbeken, zoals die in Brabant voorkomen, worden in hun oorspronkelijke situatie gekenmerkt door een meanderende loop. De beekmorfologie kent een grote afwisseling aan vormen. Hierdoor kan een grote verscheidenheid aan levensgemeenschappen ontstaan. Door antropogene ingrepen in de stroomgebieden van de beken en in de beken zelf zijn de meeste beken echter veranderd in uniforme waterlopen.

In deze studie staat de volgende vraag centraal: is het mogelijk om geomorfologisch onderzoek toe te passen bij het herstel van beken in het kader van natuurontwikkeling. Er is gekozen voor een onderzoeksgebied in de regio Midden-Brabant waar beken als gevolg van ruilverkavelingen en normalisatie, voor een groot deel hun natuurlijke karakter verloren hebben. Het gaat om het westelijke deel van het stroomgebied van de Essche Stroom, dat gevormd wordt door de Rovertsche en Poppelsche Leij, de Reusel, de Rosep en de Grote en Kleine Beerze. Dit deel van het onderzoeksgebied is 55.428 ha groot.

Tot nu toe is in Nederland aan kleine beeksystemen weinig systematisch geomorfologisch onderzoek gedaan. In het buitenland, met name in Engeland, is dit wel gebeurd. Aan de hand van voornamelijk Engelse literatuur, is bestudeerd welke geomorfologische processen van invloed zijn op het gedrag en de morfologie van beeklopen.

Met behulp van kaartanalyse is een beschrijving gemaakt van de historische ontwikkelingen van de beeklopen in het onderzoeksgebied. De oudste topografische kaarten stammen uit circa 1840. Daarnaast zijn topografische kaarten uit circa 1900, circa 1960 en circa 1985 bestudeerd. Er is veel veranderd in de beeklopen. Slechts een aantal beektrajecten heeft nog een natuurlijk meanderend karakter, circa 16 % van het totaal.

Aan één van de nog natuurlijk meanderende trajecten in de Reusel in het landgoed "De Utrecht" is geomorfologisch onderzoek verricht. Bij dit onderzoek is aandacht besteed aan aspecten op macro-schaal (meandering), meso-schaal (dwarsprofiel van de beek) en micro-schaal (micromorfologie van de beekbedding).

Meandering
Uit het onderzoek blijkt, dat de Reusel van nature een onregelmatig meanderend karakter heeft. Het hoogteverschil en de geologie (in de vorm van de Breuk van Vessem) lijken invloed te hebben op de mate van meandering. Met behulp van geomorfologie, bodemgesteldheid of landgebruik (op kaart schaal 1:50.000) is het onregelmatig meanderende karakter van de Reusel niet te verklaren.
Op grote schaal treedt weinig erosie en sedimentatie op. Dit blijkt uit het feit dat in een periode van circa 90 jaar geen verlegging van de loop en bochtafsnijdingen hebben plaatsgevonden. Het is waarschijnlijk, dat dergelijke kleine beeksystemen van nature niet bijzonder actief meanderen.

Dwarsprofiel
De breedte en de diepte van de Reusel in het landgoed "De Utrecht" variëren sterk. Er is geen aantoonbare relatie tussen de breedte, de diepte en de geulcapaciteit met de afstand langs de beek. Daarentegen leidt een toename van het debiet door confluentie met een zijbeek tot veranderingen in het dwarsprofiel. Stroomafwaarts van het confluentiepunt van de Reusel met de Stroom worden de breedte en de diepte, en daarmee de geulcapaciteit, van de Reusel groter.
De geulcapaciteit van de Reusel in het landgoed "De Utrecht" is in 1990 vergroot ten opzichte van 1965. Dit is mogelijk veroorzaakt door de antropogene ingrepen die hebben plaatsgevonden in het stroomopwaarts gelegen traject.
Op kleine schaal treden erosie en sedimentatie op. De waarnemingen die verricht zijn aan de Reusel in het landgoed "De Utrecht" komen overeen met het in de literatuur gegeven beeld van een meanderende beek.
Vegetatie speelt een belangrijke rol bij het optreden van oevererosie. Door de aanwezigheid van boomwortels zijn de oevers van de beek stabiel. In de buitenbochten vindt ondergraving plaats.

Micromorfologie van de beekbedding
In de bedding van de Reusel in het landgoed "De Utrecht" treedt veel afwisseling in diepe gedeeltes (pools) en ondiepe gedeeltes (riffles) op. Pools komen voor in de buitenbochten en riffles in de rechte trajecten er tussenin. Pools zijn sterk asymmetrisch van vorm. De afstand tussen de pools is in regelmatig meanderende trajecten gelijk aan 9 - 10 keer de breedte van de beek in de trajecten tussen de bochten in.

De resultaten uit het veldonderzoek zijn vervolgens gebruikt om aanbevelingen te doen ten behoeve van het herstel van genormaliseerde laaglandbeken. Het is gebleken dat het onderzochte traject van de Reusel in het landgoed "De Utrecht" stabiel is. Door normalisatie van een beek wordt het verhang vergroot en neemt de stabiliteit van de beek af. Om een genormaliseerd traject te stabiliseren kan het verhang worden verkleind, door de beek opnieuw een meanderende loop te geven. De sinuositeit in de middenloop van een natuurlijk meanderende beek in het onderzoeksgebied varieert tussen 1,2 en 2,2.
Indien het genormaliseerde traject van de Reusel dat direct aansluit op het onderzochte traject in het landgoed "De Utrecht" wordt hersteld, kunnen voor de breedte en de diepte waarden worden gegeven. De verhouding tussen de breedte en diepte is afhankelijk van de gewenste geulcapaciteit. In het onderzochte traject kon niet worden aangetoond, dat de breedte en diepte toenemen naarmate de lengte van de beek toeneemt. Het is echter waarschijnlijk, dat bij een grotere lengte deze relatie wél aantoonbaar is, en dat bij herstel van een genormaliseerd traject hiermee rekening gehouden moet worden.
Bij herstel van een genormaliseerd beektraject moet rekening worden gehouden met veranderingen in het dwarsprofiel als gevolg van debietveranderingen bij confluentie met een zijbeek.
Om een genormaliseerd traject een natuurlijk aanzien te geven, is het noodzakelijk, om variatue in het dwarsprofiel van de beekbedding aan te brengen.

Geconcludeerd kan worden dat geomorfologisch onderzoek een basis kan vormen voor beekherstel.

Inhoudsopgave

Voorwoord
Samenvatting
Inhoudsopgave
Lijst van figuren
Lijst van afbeeldingen
Lijst van bijlagen

1 Inleiding 1

2 Gedrag van beeklopen 4
2.1 Relaties tussen geomorfologische parameters 4
2.2 Meandering 7
2.3 Normalisatie 9

3 Gebiedsbeschrijving 12
3.1 Ligging van het onderzoeksgebied 12
3.2 Geologie en geomorfologie 12
3.3 Bodem 15
3.4 Waterhuishouding 17
3.5 Landschap 22

4 Historische ontwikkeling van de beeklopen 23
4.1 De situatie rond 1840 23
4.2 De situatie rond 1900 26
4.3 De situatie rond 1960 26
4.4 De situatie rond 1985 27

5 Case: geomorfologische aspecten van de Reusel 32
5.1 Inleiding 32
5.2 Meandering 37
5.3 Dwarsprofiel van de beek 40
5.4 Micromorfologie van de beekbedding 48

6 Beekherstel 50
6.1 Beekherstel in het algemeen 50
6.2 Beekherstel op geomorfologische grondslag 52
6.3 Kanttekeningen 55

7 Conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek 57

Literatuurlijst
Lijst van gebruikte kaarten

Lijst van figuren

2.1 Voorbeeld van een verhanglijn (Geul) (Paarlberg, 1990).
2.2 Verband tussen breedte, diepte en geulcapaciteit van een beek en de grootte van het stroomgebied (Murgatroyd & Ternan, 1983).
2.3 Doorsnede van een meanderbocht.
2.4 Pools en riffles (Richards,1982).
2.5 Variabelen van een meanderende loop (naar Leopold et al, 1964).
2.6 Profiel natuurlijke beek (A) en profiel genormaliseerde beek (B) (naar Tolkamp, 1983).
3.1 Overzicht van beekpatronen en de ligging van grote dekzandruggen (naar RGD, 1985).
3.2 Schematische verspreiding van bodemtypen in een beekdal.
3.3 Gemiddeld debiet per maand van de Reusel, Beerze en Nieuwe Leij (naar gegevens van Waterschap De Dommel).
3.4 Verhanglijn van de Reusel.
3.5 Verhanglijn van de Beerze.
4.1 Sinuositeit van de Beerze rond 1840.
4.2 Sinuositeit van de Reusel rond 1840.
4.3 Sinuositeit van de Kleine Beerze rond 1840.
4.4 Sinuositeit van de Rovertsche Leij rond 1840.
4.5 Sinuositeit van de Poppelsche Leij rond 1840.
4.6 Sinuositeit van de Grote Beerze rond 1990.
4.7 Sinuositeit van de Reusel rond 1990.
4.8 Sinuositeit van de Kleine Beerze rond 1990.
4.9 Sinuositeit van de Poppelsche Leij rond 1990.
4.10 Sinuositeit van de Rovertsche Leij rond 1990.
4.11 Afname van de lengte van de Reusel door normalisatie.
5.1 Ligging van het onderzoekstraject.
5.2 Meandergordelbreedte.
5.3 Relatie tussen sinuositeit van de Reusel en landschappelijke factoren
5.4 Ligging van de dwarsprofielen (bron: Waterschap De Dommel).
5.5 Bepaling van breedte, diepte en geulcapaciteit.
5.6 Relatie tussen breedte en diepte.
5.7 a Relatie tussen breedte en afstand langs de beek in 1965.
b Relatie tussen diepte en afstand langs de beek in 1965.
c Relatie tussen breedte en afstand langs de beek in 1990.
d Relatie tussen diepte en afstand langs de beek in 1990.
5.8 Ondergraving van de oever.
5.9 Doorsnede van pool in lengterichting.
6.1 By-pass (Hendrix en Schepers, 1990).
6.2 Plasberm (De Kwaadsteniet, 1990).
6.3 Locatie pools en riffles (Keller, 1976).

Lijst van afbeeldingen

1 Genormaliseerd traject van de Reusel
2 De Reusel in het landgoed "De Utrecht"
3 Zandribbels op een riffle

Lijst van bijlagen

1 Kaart 1: Bekenstelsels rond 1840, 1:100.000.
2 Kaart 2: Bekenstelsels rond 1985, 1:100.000.
3 Kaart 3: Antropogene beïnvloeding van de bekenstelsels, 1:100.000.
4 Dwarsprofielen 1 tot en met 20 van het onderzochte natuurlijke meanderende traject, opgemeten in 1965 en ten dele in 1990.

1 Inleiding

De laatste jaren worden steeds meer plannen ontwikkeld om de natuurlijke waarden van ernstig door de mens beïnvloede landelijke gebieden te herstellen. Het meest recente plan op dit gebied is het Natuurbeleidsplan, dat in 1990 is uitgebracht door het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.
Centraal in dit plan staat de ecologische hoofdstructuur. In deze ecologische hoofdstructuur wordt aan gebieden met hoge natuurwaarde c.q. potentiële natuurwaarde een status toegekend van kerngebied c.q. natuurontwikkelings-gebied. Een kerngebied is een gebied met in (inter)nationaal opzicht belangrijke, duurzaam te behouden ecosystemen. Een natuurontwikkelings-gebied is een gebied met goede mogelijkheden voor natuurontwikkeling. Onder natuurontwikkeling wordt verstaan het doen van ingrepen door de mens in natuur en landschap, die gericht zijn op het creëren van situaties waarin een duurzaam voortbestaan van plante-en diersoorten mogelijk wordt.
Tevens worden verbindingszones tussen de kerngebieden onderscheiden. Dit zijn gebieden of structuren die verbreiding, migratie en uitwisseling van soorten tussen verschillende kerngebieden mogelijk maken.
In het Natuurbeleidsplan wordt natuurontwikkeling in de beekdalen genoemd als een te nemen maatregel in de planperiode 1990-1998. Deze maatregel is mede gericht op het herstel en de ontwikkeling van het natuurlijk karakter van beken.

De oorspronkelijk meanderende beken hadden een karakteristieke afwisseling in stroomsnelheid, in het optreden van erosie- en sedimentatieverschijnselen en in het voorkomen van pools en riffles. Daarnaast traden gradiënten in de beekdalen op tussen hoge en lage gebieden, droge en natte gebieden en voedselarme en voedselrijke gebieden. Door de grote abiotische variatie was er rond 1900 een grote verscheidenheid aan levensgemeenschappen in de beekdalen aanwezig.
De mechanisatie van de landbouw stelde echter bepaalde eisen aan de landbouwgronden. Met name de waterhuishouding van het gebied moest beheersbaar zijn. Dit werd gerealiseerd door het uitvoeren van ruilverkavelingen en door normalisatie van de waterlopen. Door de hierbij toegepaste schaalvergroting, egalisatie en ontwatering zijn de beekdalen arm geworden aan levensgemeenschappen. De beken zelf zijn veranderd in uniforme waterlopen.

In het kader van natuurontwikkelingsprojecten zijn tot nu toe voornamelijk studies uitgekomen over de herstelmogelijkheden van de ecologische waarde van beken en beekdalen. Beken hebben echter ook een aardkundige (of geomorfologische) waarde. Hiermee moet rekening gehouden worden, wanneer men tot een meer volledig herstel van de beek wil komen. Bovendien zijn de beddingmorfologie en de actuele geomorfologische processen in de beken van groot belang voor het herstel van ecologische waarden. Tot nu toe is hierover slechts weinig bekend.

De doelstelling van deze studie is dan ook een verkenning van de mogelijkheden voor toepassing van geomorfologisch onderzoek ten behoeve van beekherstel. Bestudeerd wordt of het mogelijk is, om met behulp van geomorfologische parameters uitspraken te doen ten behoeve van het creëren van een meer natuurlijk karakter van een nu genormaliseerd

beektraject. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan de ontwikkeling van beekmeanders.

Ook in het onderzoeksgebied in Midden-Brabant, ten zuidoosten van Tilburg, is de laatste decennia een aantal ingrijpende ruilverkavelingen uitgevoerd, waarbij beken en beekdalen zijn aangetast. Het gaat hier om de beken de Leij, de Reusel en de Beerze (zie bijlage 2).
In het Natuurbeleidsplan zijn grote oppervlakten van de beken en beekdalen van de Poppelsche en Rovertsche Leij, het Spruitenstroompje, de Reusel en de Grote Beerze aangegeven als kerngebied of natuurontwikkelingsgebied. In de Beerze en in de bovenloop van de Reusel zijn verbindingszones aangegeven.

De bovengenoemde doelstelling wordt gerealiseerd door het verkrijgen van inzicht in:
- het gedrag van beeklopen.
- de historische ontwikkelingen in de beeklopen in het onderzoeksgebied, vanaf 1840.
- de waarden van en de relaties tussen geomorfologische parameters in een natuurlijk beektraject.

Bij de uitvoering van dit onderzoek is een aantal fasen doorlopen (zie schema 1). Deze fasen kennen een toenemende mate van detaillering.
Om een indruk te krijgen van de factoren die van invloed zijn op het gedrag van beeklopen in het algemeen, is (voornamelijk buitenlandse) literatuur bestudeerd. De voor deze studie relevante kennis hieruit is samengevat in hoofdstuk 2. Literatuurstudie vormt tevens de basis voor hoofdstuk 3, waarin een beschrijving wordt gegeven van het onderzoeksgebied in Midden-Brabant. Het accent in dit hoofstuk ligt op de abiotische landschapsfactoren.
Inzicht in de historische ontwikkelingen van de beeklopen in het onderzoeksgebied is verkregen middels kaartanalyse (hoofdstuk 4). Bij deze analyse zijn de lopen van de beken in het onderzoeksgebied aan de hand van kaarten uit vier verschillende perioden met elkaar vergeleken. De situatie van 1840 geeft daarbij een beeld van de oorspronkelijke situatie van de beeklopen, dat als referentiekader kan dienen bij beekherstel.
Voor beekherstel op geomorfologische grondslag is het belangrijk om kennis te hebben van de waarden van geomorfologische parameters en van de onderlinge relaties die tussen deze parameters bestaan in een natuurlijk beektraject. Deze gegevens zijn tijdens een veldonderzoek verzameld. Bij dit veldonderzoek is tevens bestudeerd, of de algemene relaties tussen geomorfologische parameters, zoals die bekend zijn uit de literatuur, ook opgaan voor een specifieke beek in Midden-Brabant. In hoofstuk 5 is uiteengezet, welke onderzoeksvragen bij deze casestudie zijn gesteld en wat de resultaten en conclusies zijn.
Na het uitvoeren van de bovengenoemde fasen kunnen uitspraken worden gedaan met betrekking tot de toepassing van resultaten van geomorfologisch onderzoek bij beekherstel. In hoofdstuk 6 worden hiervoor aanbevelingen gedaan.
Tenslotte zijn in hoofdstuk 7 conclusies ten aanzien van de hele studie opgesteld en worden aanbevelingen voor nader onderzoek gedaan.

fase 1 ->	literatuurstudie		
	=> theorie gedrag beeklopen	*Algemeen*	H2
+			
fase 2 ->	literatuurstudie		
	=> gebiedskennis	*Regionaal*	H3
+			
fase 3 ->	kaartanalyse		
	=> veranderingen in de tijd in de beeklopen	*Regionaal*	H4
+			
fase 4 ->	veldonderzoek		
	=> waarden geomorfologische parameters		
	=> geomorfologische relaties	*Lokaal*	H5
=			
doel ->	aanbevelingen doen voor beekherstel		
	|	*Lokaal/Regionaal*	H6
	|		
	conclusies		
	aanbevelingen voor nader onderzoek		
		Algemeen	H7

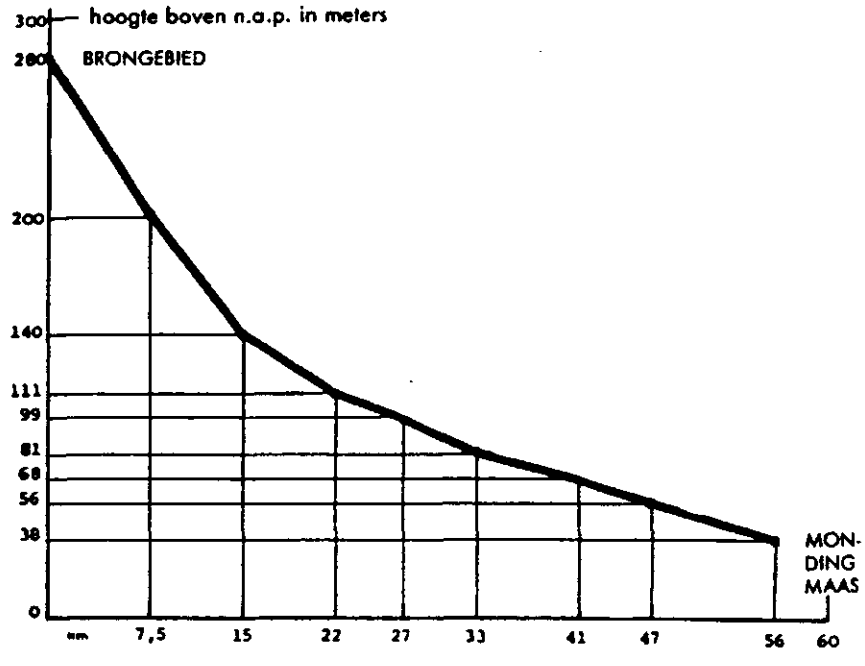
Schema 1.1 Opzet rapport.

2 Gedrag van beeklopen

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van literatuuronderzoek een overzicht gegeven van geomorfologische parameters en processen die van invloed zijn op het gedrag en de morfologie van beeklopen. De gebruikte literatuur is voor het grootste deel afkomstig uit het buitenland, en gebaseerd op empirische studies.
Tevens wordt aandacht besteed aan de gevolgen van normalisatie voor beeklopen. Hiervoor is een aantal Nederlandse publicaties geraadpleegd.

2.1 Relaties tussen geomorfologische parameters

Beken zijn stromende wateren die gedurende tenminste een groot deel van het jaar water voeren (RIN, 1984). Het hoogteverschil dat een beek overbrugt vanaf de bron tot de monding is van belang voor het optreden van een aantal geomorfologische processen. Het verloop van de hoogteligging van een beek vanaf de bron tot aan de monding, gemeten langs de geul zelf, wordt weergegeven door de verhanglijn. Het verhang neemt stroomafwaarts af, waardoor de verhanglijn in het algemeen een concave vorm heeft (zie fig. 2.1).

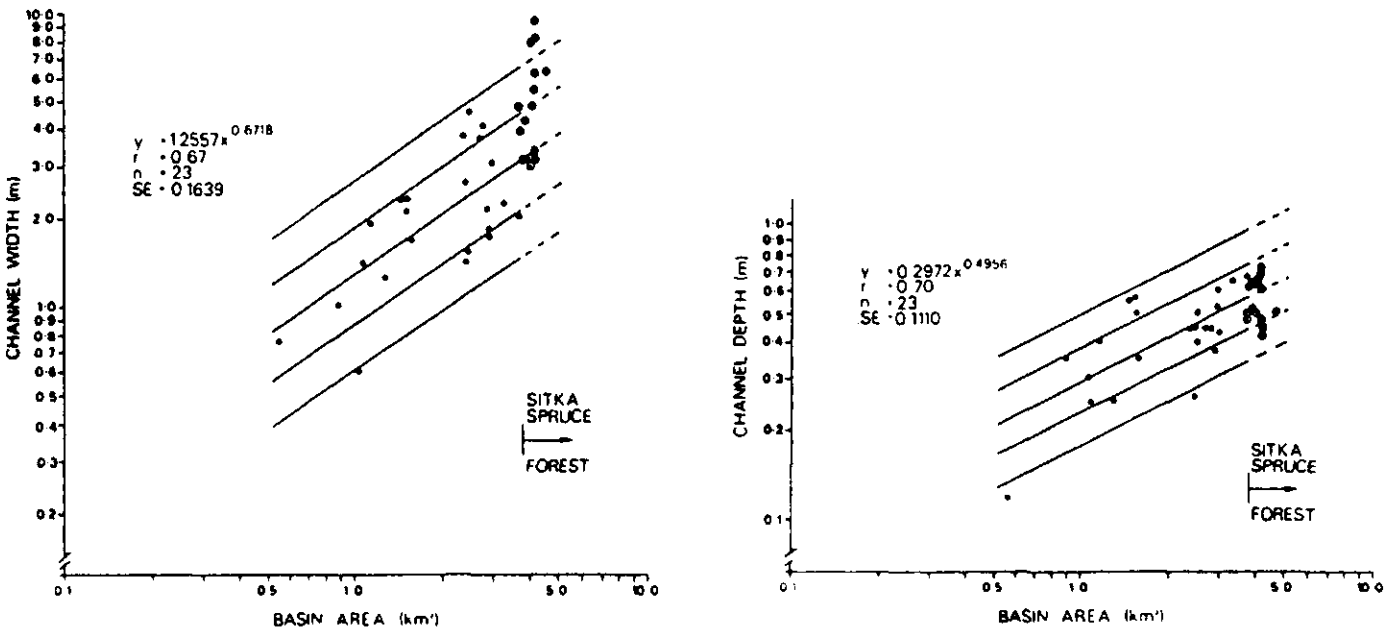


Figuur 2.1 Voorbeeld van een verhanglijn (Geul) (naar Paarlberg, 1990).

In de bovenloop is het verhang steil, in de benedenloop vlakker. In de verhanglijn kunnen knikken voorkomen, die veroorzaakt worden door lithologische verschillen. De concave vorm van de verhanglijn is het best ontwikkeld wanneer een geleidelijke afname in de

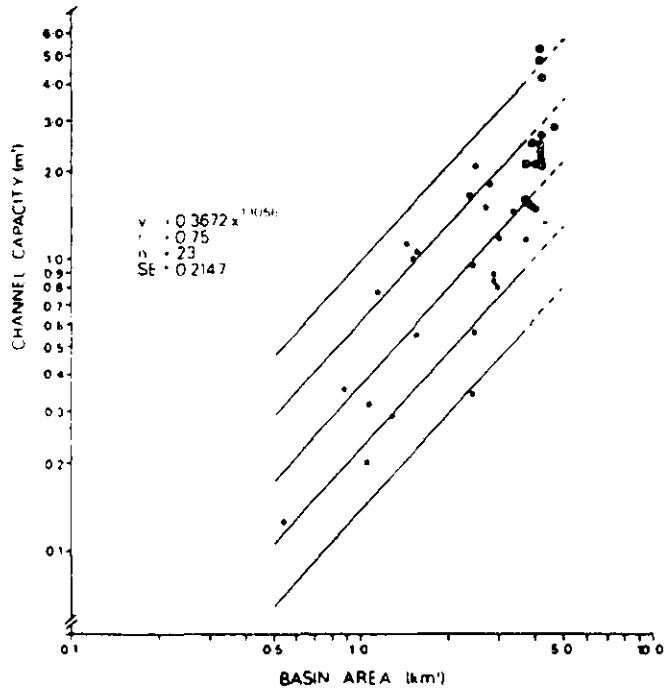
korrelgrootte van het sediment stroomafwaarts optreedt (Sternberg, 1875). Wanneer de korrelgrootte van het sediment uniform is in het stroomgebied, krijgt de verhanglijn een rechter verloop.
De grootte en frequentie van de waterafvoeren is van belang voor de beekmorfologie. De grootste invloed op de beekmorfologie hebben hoge afvoeren (peak flows) met een herhalingstijd van maximaal enkele jaren (Hadley et al., 1985). De erosieve kracht en de transportcapaciteit van de beek zijn tijdens extreem hoge afvoeren weliswaar veel groter, maar vanwege de lage frequentie is de invloed van deze gebeurtenissen op de beekmorfologie in een langere periode relatief gering.

In stroomafwaartse richting treden veranderingen op in de grootte van een aantal geomorfologische parameters, die te herleiden zijn tot een aantal algemene relaties. Stroomafwaarts neemt het debiet toe, omdat het oppervlak stroomgebied waardoor de beek stroomt groter wordt en omdat zijlopen in de hoofdbeek uitmonden. Hoewel stroomafwaarts het verhang van een beek afneemt, neemt volgens Leopold (1953) de gemiddelde stroomsnelheid stroomafwaarts toe, omdat het debiet toeneemt. De beek past zich aan de toename van het debiet aan, door vergroting van de breedte (w) en de diepte (d). Breedte en diepte vertonen daardoor een stijgende tendens in stroomafwaartse richting. In grafieken wordt dit verband vaak logaritmisch weergegeven (zie fig. 2.2 a en b).



Figuur 2.2 a en b. Verband tussen breedte en diepte van een beek en de grootte van het stroomgebied (Murgatroyd en Ternan, 1983).

De natte doorsnede bij bankfull discharge wordt de geulcapaciteit van de beek genoemd. Ook de geulcapaciteit vertoont een stijgende tendens stroomafwaarts (zie fig. 2.2 c).

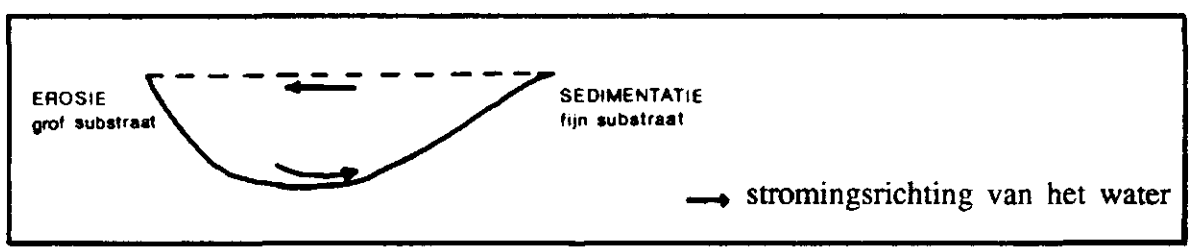


Figuur 2.2 c. Verband tussen de geulcapaciteit van de beek en de grootte van het stroomgebied (Murgatroyd en Ternan, 1983).

Breedte en diepte van een beekbedding zijn in ongeconsolideerd materiaal behalve van debiet en verhang, ook afhankelijk van de korrelgrootte van het sediment en de samenstelling van de oevers. In fijn materiaal (bijvoorbeeld klei) eroderen de oevers minder snel dan in grof materiaal (zand). Hierdoor is de diepte-erosie in fijn materiaal groter ten opzichte van de breedte-erosie en neemt de diepte van de beek toe ten opzichte van de breedte. In zandig materiaal worden de oevers makkelijk ondergraven, waardoor een bredere beek ontstaat. Daarnaast wordt de stabiliteit van de oevers bepaald door de oevervegetatie.
Veranderingen in het landgebruik in het stroomgebied van een beek, kunnen leiden tot veranderingen in sedimentatie- en erosieprocessen. Door omzetting van grasland of natuurterrein in akkerland, kan de oppervlakkige afstroming toenemen, wat aanleiding geeft tot hogere piekafvoeren in de beek. Dit kan meer erosie tot gevolg hebben (Leenaers et al., 1990). Hetzelfde geldt voor een toename van het bebouwde areaal in een stroomgebied. Hierbij wordt tevens de bergingscapaciteit van het stroomgebied verminderd.

2.2 Meandering

Natuurlijke laaglandbeken worden gekenmerkt door hun meanderende loop. Meanders zijn bochten, die soms zover ontwikkeld kunnen zijn dat de beek dwars op de algemene stroomrichting stroomt (Paarlberg,1990). De mate van meandering is afhankelijk van het verhang, het debiet, de sedimentlast en het bedding- en oevermateriaal en de oevervegetatie.
De verdeling van de stroomsnelheid van het water in een meanderend traject wijkt af van die in een recht traject. De lijn die de punten met de grootste stroomsnelheid in een beek met elkaar verbindt, wordt de stroomdraad genoemd. In een recht beektraject met een symmetrische doorsnede ligt de stroomdraad in het midden van de loop. Aan weerszijden van de stroomdraad en in de diepte neemt de stroomsnelheid af door de weerstand van de bodem. In een meanderbocht heeft het water ten gevolge van traagheidsverschijnselen de neiging om rechtdoor te stromen. Hierdoor ontstaat een ophoping van water in de buitenbocht en neemt de stroomsnelheid in de buitenbocht toe ten opzichte van die in de binnenbocht. De stroomdraad verlegt zich naar de buitenbocht-oever (de concave oever). Ter compensatie van deze waterbeweging aan het oppervlak, ontstaat een stroming langs de bodem van de concave oever naar de convexe binnenbocht-oever (zie fig. 2.3).
De stroomsnelheidsverschillen tussen binnen- en buitenbocht leiden tot belangrijke verschillen in geomorfologische activiteit tussen deze twee gedeelten: in de buitenbocht vindt erosie en verdieping van de geul plaats, in de binnenbocht sedimentatie. De buitenbocht-oever wordt ondergraven. De dwarsdoorsnede van een meanderbocht heeft dan ook een asymmetrische vorm (zie fig. 2.3).

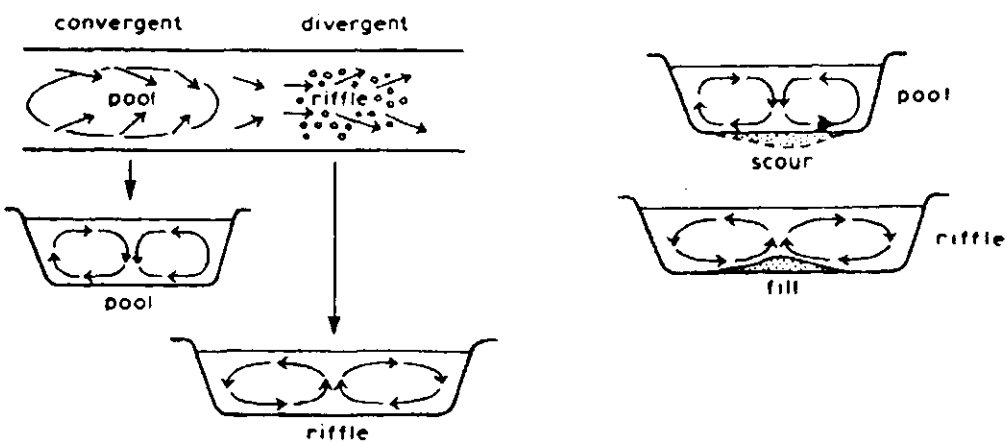


Figuur 2.3 Doorsnede van een meanderbocht.

Tussen twee meanderbochten in wordt de doorsnede van een beek symmetrisch; de stroomdraad ligt in het midden en de beek is hier relatief ondiep. Tevens veroorzaakt de variatie in stroomsnelheid in de bochten een variatie in bodemsubstraat. In de binnenbocht wordt vanwege de geringere stroomsnelheid fijn materiaal afgezet, in de buitenbocht komt overwegend grof materiaal tot bezinking.
De bochten verplaatsen zich lateraal door de optredende verschillen in erosie en sedimentatie. Daarnaast treedt verplaatsing van de beekmeanders in stroomafwaartse richting op. Dit wordt veroorzaakt doordat bij hoog water de stroomdraad verder stroomafwaarts van de as van de bocht tegen de concave oever komt te liggen.
De loop van een meanderende beek ligt dus niet vast, maar verandert in de loop van de tijd. De verplaatsingen van de meanders kunnen er toe leiden dat een meanderbocht wordt afgesneden en de beek een nieuw traject volgt. De afgesneden meanders zijn alleen bij hoge waterafvoeren nog watervoerend. Ze slibben dicht of groeien dicht door

veenvorming. In het landschap zijn deze oude meanders vaak nog te herkennen aan verschillen in reliëf en bodemgesteldheid.

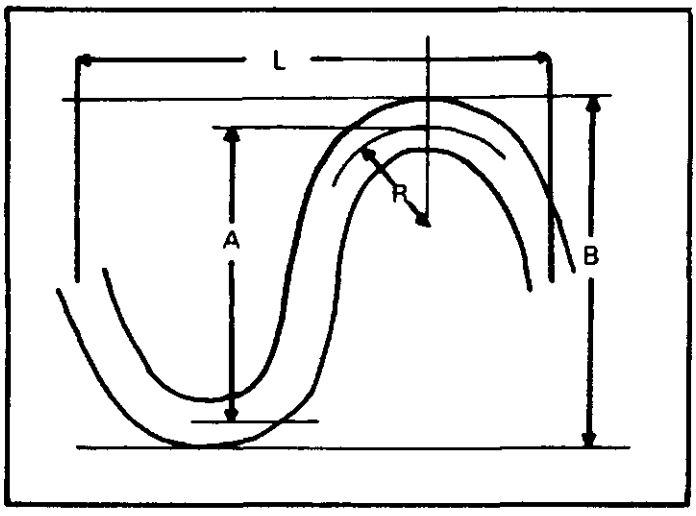
De beddingmorfologie van een meanderende beek is niet uniform. Naast diepere gedeelten (Engels: pools) in de buitenbochten komen ondiepe gedeelten (Engels: riffles) voor in de rechte trajecten tussen de bochten. Deze afwisseling tussen pools en riffles is van belang voor de initiële vorming van meanders (Dury, 1969). Pools en riffles ontstaan bij hoge waterafvoeren, waarbij convergerende stroom in de pools leidt tot erosie en divergerende stroom bij de riffles leidt tot sedimentatie (zie fig. 2.4). Bij lage waterafvoeren zijn pools en riffles als het ware fossiele vormen. De stromingscondities zijn hierbij tegengesteld aan de condities bij hoge waterafvoeren, en dientengevolge is de stroomsnelheid in de pools gering en de stroomsnelheid bij de riffles hoog (Keller & Melhorn, 1973). De afstand tussen de pools is gerelateerd aan de breedte van de waterloop in de rechte trajecten tussen de pools. In de literatuur worden voor deze afstand waarden genoemd van 5 -7 keer de breedte (Richards, 1982), variërend tot 3 - 10 keer de breedte (Leopold et al.,1964; Keller, 1972; Ferguson, 1981). Evenals bij meanders, vindt bij pools en riffles erosie en laterale verplaatsing vooral plaats bij hoge afvoeren.



Figuur 2.4 Pools en riffles (Richards, 1982).

Daarnaast worden in de binnenbochten zandbanken gevormd, en kunnen in de bedding zandribbels ontstaan. Bij lage waterafvoer zijn deze zandribbels met name op de plaats van de riffles waarneembaar.

De mate van meandering kan beschreven worden met behulp van de sinuositeit. De sinuositeit is de verhouding tussen de beeklengte en de dallengte. Hoe groter de sinuositeit, hoe sterker de beek meandert. Bij rechte beektrajecten is de sinuositeit gelijk aan 1. In het algemeen is de maximale sinuositeitswaarde 2,5.
Andere variabelen waarmee een meanderende loop beschreven kan worden, zijn de meandergordelbreedte, de meanderlengte, de amplitude van de meander en de straal van



A = amplitude; B = meandergordelbreedte; L = meanderlengte; R = straal van kromming.

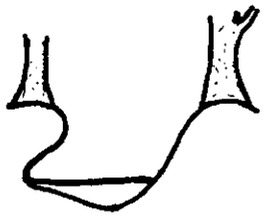
Figuur 2.5 Variabelen van een meanderende loop (naar Leopold et al., 1964).

de kromming van de bocht (zie fig. 2.5). Deze variabelen zijn in het algemeen alleen toe te passen bij regelmatige meandering.
De grootte van bovengenoemde variabelen vertoont een variatie in stroomafwaartse richting. De sinuositeit neemt stroomafwaarts toe, evenals de meanderlengte en -amplitude. De meanderlengte is afhankelijk van de grootte van de beek; hoe groter het debiet en de breedte, hoe groter de meanderlengte en -amplitude.

2.3 Normalisatie

De moderne landbouw stelt specifieke eisen aan de waterhuishouding van een gebied. Het is vooral belangrijk, dat de ontwatering goed is en dat het water snel wordt afgevoerd. Daarom vindt normalisatie van de beken plaats. Onder normalisatie wordt in dit rapport verstaan: het geheel van activiteiten waardoor naast of in de bestaande stroombedding van de beek zodanige voorzieningen worden getroffen, dat het dwars- en lengteprofiel volkomen zijn aangepast aan de behoefte van volledige beheersing van water.
Het genormaliseerde traject krijgt een uniform profiel (zie fig. 2.6).
De wanden hebben een gelijke hellingshoek. Om de waterafvoer te beheersen, kunnen stuwen geplaatst worden. Om de sedimentlast van het water te verlagen kunnen zandvangen gegraven worden. In de zandvangen is de stroomsnelheid laag en kan het sediment bezinken, zodat dit niet verder stroomafwaarts kan worden afgezet.
Doordat het profiel uniform is kan het water snel worden afgevoerd. De voor de beken zo karakteristieke afwisseling in pools en riffles, binnen- en buitenbochten en erosie- en sedimentatieverschijnselen verdwijnt.
Door het rechttrekken van de beekloop wordt de verhanglijn korter (zie fig. 4.7) waardoor

A



Natuurlijk profiel
Meanderend
Beschaduwd
Substraatverschillen
Afwisseling in stroming
Afwisseling in diepte

B

Normprofiel
Niet meanderend, recht
Niet beschaduwd
Uniform substraat
Weinig afwisseling in stroming
Uniforme diepte

Figuur 2.6 Profiel natuurlijke beek (A) en profiel genormaliseerde beek (B) (naar Tolkamp).

het verhang toeneemt. Dit verstoort de evenwichtssituatie van de beek in haar oorspronkelijke toestand. De genormaliseerde beek gaat een nieuw evenwicht zoeken, waardoor een instabiele situatie ontstaat.
Het genormaliseerde traject bevindt zich meestal in een agrarisch gebied, waar de vegetatie langs de beek is verwijderd. De beek kent hierdoor geen afwisseling in beschaduwing meer. Door het ontbreken hiervan en door de overbemesting vanuit de landbouw treedt in de beek een explosieve plantengroei op, die echter arm aan soorten is. Deze vegetatie belemmert de doorstroming van het water. Voor de ontwatering van het stroomgebied is dit een ongewenste situatie. De genormaliseerde beek wordt daarom mechanisch onderhouden, waarbij het biotisch en abiotisch "beekleven" ernstig verstoord wordt.

In het genormaliseerde traject treedt in de ruimte weinig variatie op. In de tijd echter kent het genormaliseerde beektraject een grote variatie. Dit wordt niet alleen veroorzaakt door het mechanische onderhoud, maar ook door de verandering van de afvoerkarakteristiek. Oorspronkelijk stroomden de beken door moerasgebieden. Deze fungeerden als het ware als een buffer voor de doorvoer van water. Het neerslagwater werd geleidelijk aan afgevoerd. Bij ontginning werden deze vochtige terreinen ontwaterd, met als doel deze geschikt te maken voor agrarisch gebruik. De bergingscapaciteit van de bodem in deze gebieden is door de kunstmatige verlaging van de grondwaterstand vergroot (Farjon et al, 1990). Door de grote hoeveelheid sloten echter die bij de ontginningen in de vochtige gebieden zijn gegraven, wordt het neerslagwater nagenoeg rechtstreeks op de genormaliseerde beek afgewaterd. Deze voert het water snel af. De

variatie in de afvoeren die in de tijd optreedt is daarom sterk afhankelijk van de neerslagintensiteit en -frequentie.

Wanneer een beek over een bepaald traject wordt genormaliseerd heeft dit niet alleen effect op het betreffende traject, maar ook stroomopwaarts en stroomafwaarts van dit traject.
Stroomopwaarts van het genormaliseerde traject wordt het water via het genormaliseerde traject snel afgevoerd. Er treedt verdroging op in het stroomopwaarts gelegen stroomgebied.
Stroomafwaarts van het genormaliseerde traject bestaat de kans op overstromingen (inundaties). Van nature treedt bij een meer dan gemiddelde neerslag stagnatie van de waterafvoer op als gevolg van de meanderbochten in de beekloop (Krabbenborg, 1962). Deze stagnatie wordt versterkt door normalisatie bovenstrooms, die grotere piekafvoeren veroorzaakt.De problematiek van de benedenstroomse overstromingen is vaak opgelost, door uiteindelijk het gehele bekenstelsel te vergraven (Asperdt en Endedijk, 1989).

3 Gebiedsbeschrijving

Voor de beschrijving van het gebied zijn literatuur en kaarten geraadpleegd. Bij deze beschrijving ligt het accent op de abiotische landschapsfactoren en de antropogene invloed op het landschap. De beschrijving heeft voornamelijk betrekking op de beken en beekdalen. Summier wordt aandacht besteed aan de aangrenzende gebieden. Er is gebruik gemaakt van de volgende kaarten: de topografische kaartbladen 45C, 50F, 50H, 51A, 51C en 57A (schaal 1:25.000); de hoogtekaart, bladen 50F, 50H, 51A, 51C, 56F en 57A (schaal 1:10.000); de geologische kaart 51 West Eindhoven (1:50.000) + toelichting; de geomorfologische kaarten 50 Tilburg en 51 Eindhoven (1:50.000); de bodemkaarten 56 Turnhout, 57 West Valkenswaard, 50 Oost Tilburg en 51 West Eindhoven (1:50.000) + toelichtingen. Daarnaast zijn de bodemkaarten (1:10.000) en de bijbehorende ruilverkavelingsrapporten bestudeerd van ruilverkavelingen Goirle, De Hilver, Middelbeers en De Zaligheden.

3.1 De ligging van het onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied ligt in Midden-Brabant. Het gebied wordt begrensd door de lijn Tilburg - Esch in het noorden en de grens Nederland - België in het zuiden. De westelijke grens wordt gevormd door de waterscheiding ten westen van de Poppelsche Leij; de oostelijke grens door de waterscheiding ten oosten van de Kleine Beerze en de Beerze (zie bijlage 2).
In het gebied stromen de volgende grote beken: de Poppelsche en Rovertsche Leij (samenkomend in de Leij) in het westen, de Reusel in het midden en de Grote en Kleine Beerze (samenkomend in de Beerze) in het oosten. De stroomgebieden van deze beken maken deel uit van het stroomgebied van de Essche Stroom.

3.2. Geologie en geomorfologie

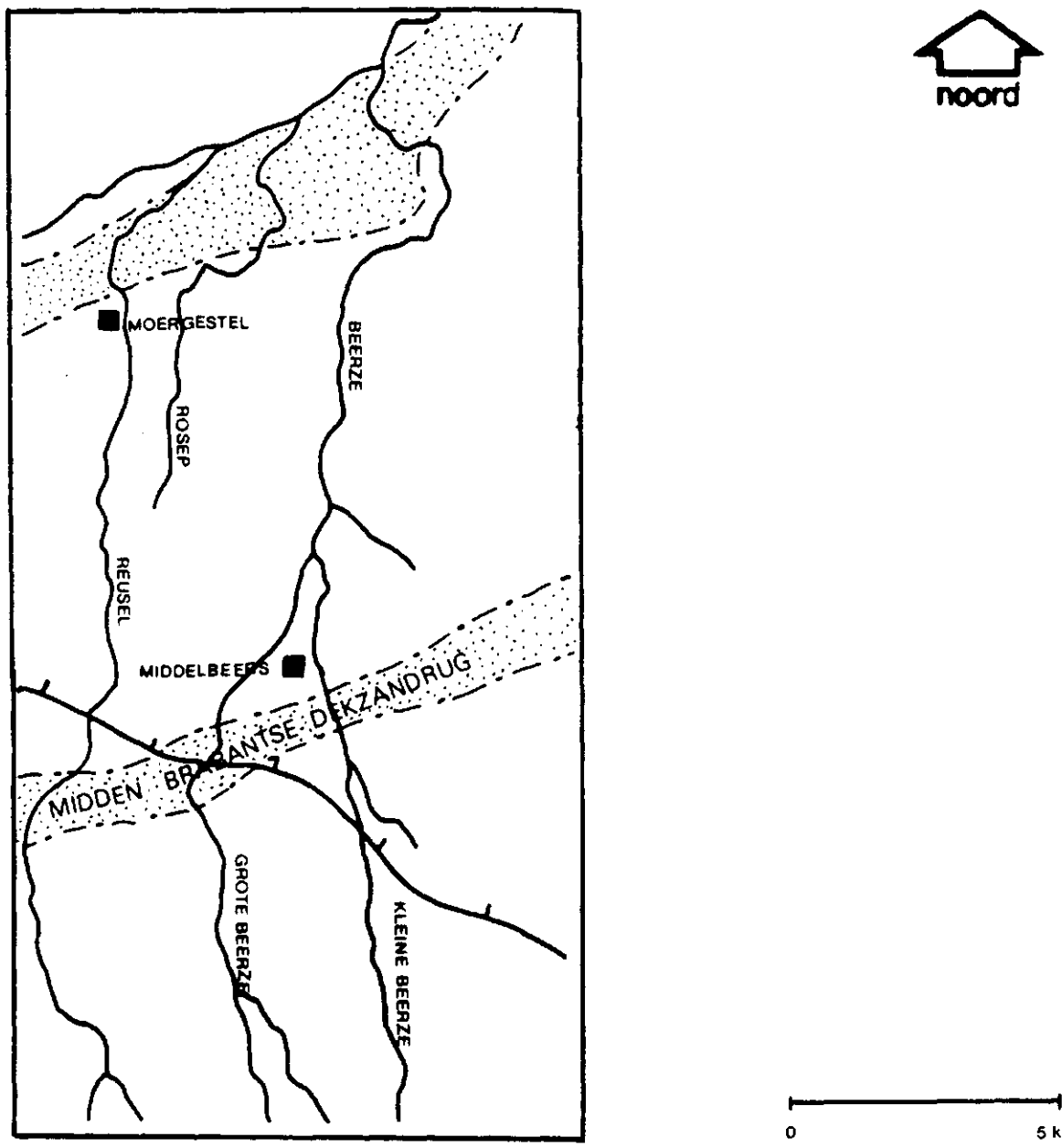
Het onderzoeksgebied helt in noordelijke richting. De hoogste delen, ten zuiden van Reusel, Bladel en Eersel liggen op circa 30-35 m + NAP. De laagste delen, ten noorden van Boxtel en Haaren liggen op circa 5-9 m + NAP.
Vanaf het Carboon is het onderzoeksgebied beïnvloed door breuktectoniek. De Breuk van Vessem (Feldbiss-storing) doorsnijdt het gebied. De breuk volgt globaal de lijn Goirle - Hilvarenbeek - Baarschot - Vessem. Ten noordoosten van de breuk ligt de Roerdalslenk, ten zuidwesten het Kempisch Hoog. Een kleinschalige invloed van de breuk op de afwatering van het Kempisch Hoog is op enkele plaatsen waarneembaar: de Reusel, de Grote Beerze en de Rovertsche Leij buigen enigzins af bij het passeren van de breuk. De Rovertsche Leij stroomt ten zuiden van Breehees in de Roerdalslenk circa één kilometer langs de breuk.
Een duidelijke terreintrede op de plaats van de breuk is in het landschap slechts op enkele plaatsen zichtbaar. Dit wordt veroorzaakt doordat gelijktijdig met de bodemdaling de Roerdalslenk in met name het Pleistoceen met jonger sediment is opgevuld, waardoor hoogteverschillen zijn afgenomen.

De ondergrond van het gebied bestaat uit zandige rivierafzettingen die in het Vroeg-Pleistoceen zijn gevormd, behorende tot de Formatie van Sterksel. Op het Kempisch Hoog ligt dit materiaal vrijwel aan de oppervlakte. In de Roerdalslenk daarentegen ligt de bovenkant van deze formatie op enkele tientallen meters beneden het maaiveld.

In het Midden- en Laat Pleistoceen werden met name in de Roerdalslenk gedurende glaciale perioden eolische en fluvioperiglaciale sedimenten afgezet. De eolische sedimenten bestaan grotendeels uit fijne zanden, afgewisseld met leemlagen (dekzand). De fluvioperiglaciale afzettingen bestaan uit matig fijn tot zeer grof zand en leem; een enkele keer komen er ook klei-, gyttja- en veenlagen voor. In de interglaciale perioden met een warmer klimaat werd hoofdzakelijk veen gevormd en beekleem afgezet. De afzettingen uit de glacialen en interglacialen worden op de geologische kaart 51 West Eindhoven samengevat in de Nuenen Groep, omdat het maken van een voldoende onderbouwde tijdstratigrafische onderverdeling niet mogelijk bleek te zijn (Bisschops, 1973).
In de Roerdalslenk is de Nuenen Groep soms 25 meter dik. Op het Kempisch Hoog zijn de fluvioperiglaciale afzettingen van de Nuenen Groep beperkt tot de beekdalen, waar zij een dikte van enkele meters bereiken.

De beekdalen zijn ontstaan tijdens perioden met verhoogde erosieve activiteit in het Laat-Pleistoceen, met name in het Pleniglaciaal (Vandenberghe et al.,1984). Onder invloed van periglaciale klimaatcondities en het voorkomen van permafrost, ontstonden brede beekdalen met vlechtende beeksystemen. In het Laat-Pleniglaciaal en in het Laat-Glaciaal trad een klimaatsverbetering op en verdween de permafrost. Het systeem van verwilderde geulen en beken veranderde in een systeem van meanderende beken. Tevens vond insnijding plaats (Vandenberghe et al., 1987).

In het Laat-Pleniglaciaal en in het Laat-Glaciaal is in de Roerdalslenk een aantal zuidwest-noordoost gelegen dekzandruggen gevormd. De Midden Brabantse Dekzandrug (ten noorden van Lage Mierde-Westelbeers-Oostelbeers) is hiervan de grootste. Door de vorming van de dekzandruggen werd een aantal beken gedwongen hun loop te verleggen. In het Laat-Pleniglaciaal stroomde de Grote Beerze vermoedelijk in het dal van de huidige Reusel ter hoogte van Baarschot. Ten noorden van Baarschot stroomt de Reusel door een brede dalvlakte. Een vroegere invloed van de Grote Beerze is hier waarschijnlijk. Bovendien ligt het dal van de Grote Beerze ten zuiden van de dekzandrug bij Middelbeers in het verlengde van het brede Reuseltraject. De Grote Beerze is door de vorming van de dekzandrug bij Baarschot geblokkeerd, waardoor de verbinding met de Reusel is verbroken (Toelichting geologische kaart 51 West Eindhoven).
Dezelfde ontstaansgeschiedenis geldt voor de Reusel en het Spruitenstroompje. Het Spruitenstroompje stroomt ten noorden van Esbeek door een breed dal. Het Reuseldal bij Hoge en Lage Mierde ligt in het verlengde van dit dal. De Reusel heeft ten noorden van Lage Mierde ten gevolge van de aanvoer van dekzand haar loop naar het oosten verlegd en zich afgesplitst van het Spruitenstroompje (Van Huissteden et al., 1986).
Naast deze verleggingen op grote schaal, veroorzaakte de vorming van de dekzandruggen verleggingen op kleinere schaal. De Grote Beerze maakt zowel ter hoogte van de Midden Brabantse Dekzandrug (bij Westelbeers), als ter hoogte van de dekzandrug van



Figuur 3.1 Overzicht van beekpatronen en de ligging van grote dekzandruggen (naar RGD, 1985).

Moergestel-Kampinasche Heide (bij Lennisheuvel) een bocht in oostelijke richting (zie fig. 3.1). Deze ombuigingen zijn waarschijnlijk onder invloed van het uit het zuidwesten aangevoerde dekzand ontstaan. Ook de Rosep maakt een grote oostelijke bocht, die op dergelijke wijze verklaard kan worden. De Reusel stroomt ten noorden van Lage Mierde bij de Midden Brabantse Dekzandrug in een flauwe bocht naar het oosten, bij Baarschot (noordelijke kant van de Midden Brabantse Dekzandrug) maakt de Reusel opnieuw een

bocht naar het oosten. Invloed van de Midden Brabantse Dekzandrug op de loop van de Kleine Beerze, is daarentegen niet aantoonbaar.
Op plaatsen waar de beken door de dekzandruggen zijn heengebroken, zijn de beekdalen zeer nauw. Stroomopwaarts van de dekzandruggen zijn vaak vochtige beekoverstromingsvlakten gevormd (o.a. ten oosten van De Logt en ten zuiden van Moergestel), doordat het beekwater voor de dekzandrug stagneerde. Stroomopwaarts van de Midden Brabantse Dekzandrug zijn de dalen van de Grote Beerze en Kleine Beerze verbreed en zijn natte gebieden ontstaan (Westelbeersche Broek, Molenbroeken).

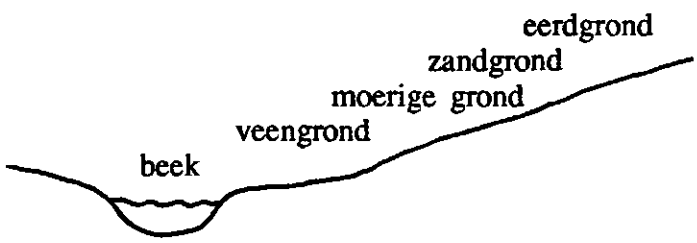
In het Holoceen is in de beekdalen de Formatie van Singraven gevormd. De formatie is opgebouwd uit recente en subrecente beekafzettingen (leem en zand) en veen. In de natste delen van de beekdalen door stagnatie van voedselrijk beekwater veen gevormd worden. Doorgaans is dit eutroof tot mesotroof veen. Veen wordt onder andere aangetroffen in de beekoverstromingsvlakte ten zuiden van Moergestel, in de Molenbroeken en in de dalen van de Rosep en de Grote Beerze ten noorden van Bladel. Daarnaast is in de beekdalen beekleem en beekzand afgezet. Beekleem komt vooral voor in gebieden die door periodiek buiten hun oevers tredende beken geïnundeerd werden, waarbij het meegevoerde slib in zwakstromend tot stilstaand water tot bezinking kwam. Beekleem wordt dan ook, net zoals het veen, aangetroffen in de beekoverstromingsvlakten stroomopwaarts van dekzandruggen (Toelichting geologische kaart 51 West Eindhoven). Beekzand bestaat voor het merendeel uit (humeus) verspoeld dekzand en/of stuifzand. Bij de Reusel en de Grote en Kleine Beerze wordt beekzand aangetroffen in het deel van het dal dat in of vlak na een dekzandrug ligt.
De dalen zijn hier vrij smal en een overstromingsvlakte ontbreekt. Door de betrekkelijke sterke stroom kon slechts zand worden afgezet, dat voornamelijk afkomstig is van de dekzandrug.
Buiten de beekdalen is in het Holoceen in afvoerloze laagten oligotroof veen gevormd (Formatie van Griendtsveen) en zijn op de hogere zandgronden stuifzanden ontstaan (Formatie van Kootwijk).

Op het Kempisch Hoog hebben de beken zich diep ingesneden. Als overgang van het beekdal naar de hoger gelegen terrasafzettingsvlakten is op de geomorfologische kaart (51 Eindhoven) de eenheid "glooiing van beekdalzijde" aangegeven. Deze eenheid komt vooral voor aan de westzijde van de beekdalen. De "glooiingen van beekdalzijde" zijn vaak doorsneden door kleine, droge dalen.
In de Roerdalslenk hebben de beken een geheel ander karakter. De beken bevinden zich hier in hun midden- en benedenloop. Er heeft weinig insnijding plaatsgevonden.

3.3 Bodem

De beekdalgronden bestaan voornamelijk uit zand (Taat en Weterings, 1987), dat vaak over korte afstanden getransporteerd dekzand is (Geenen, 1977). Onderling verschillen de gronden in de grofheid van de zandfractie en het leemgehalte. De beekdalgronden zijn onder natte omstandigheden ontstaan. Er komt dan ook vaak veen in het profiel voor. In de beekdalen worden voornamelijk grondwatertrappen II (grondwaterstand fluctueert tussen ondieper dan 40 cm en 80 cm) en III (grondwaterstand tussen ondieper dan 40 cm en

120 cm) aangetroffen. Op de flanken van de beekdalen en waar de beken de Midden Brabantse Dekzandrug kruisen komt grondwatertrap IV (grondwaterstand fluctueert tussen 40 cm en 120 cm) en V (grondwaterstand tussen ondieper dan 40 cm en dieper dan 120 cm) voor.
In de beekafzettingen zijn verschillende bodemtypen ontstaan, zie figuur 3.2.



Figuur 3.2 Schematische verspreiding van bodemtypen in een beekdal.

* Veengronden:
Veengronden komen voor op plaatsen waar het water stagneerde, onder andere in oude beekbeddingen. Als gevolg van de natte ligging hebben deze gronden binnen 80 cm een moerige laag van ten minste 40 cm dik. Het moerige materiaal bestaat uit mesotroof tot eutroof broekveen, plaatselijk zeggeveen.
Wanneer ten gevolge van ontwatering het bovenste deel van het veen veraard is, is er sprake van madeveengronden. Deze komen voor in het dal van de Kleine Beerze ten noorden van Vessem en in het dal van de Nieuwe Leij ten zuiden van Tilburg.
Vlierveengronden hebben slechts een licht veraarde bovenlaag. Deze gronden liggen in het dal van de Rosep ten oosten van Oisterwijk.
Als de veengrond een zanddek heeft, ofwel afgezet door de beek, ofwel opgebracht door de mens, wordt het een meerveengrond genoemd. In het dal van de Oude Leij ten westen van Tilburg en in het dal van de Reusel tussen Diesen en Moergestel komt dit bodemtype voor.

* Moerige gronden:
Moerige gronden komen evenals veengronden voor op plaatsen waar het water stagneert. Ze vormen een overgang naar de zandgronden. De moerige laag is dunner dan 40 cm.
In het onderzoeksgebied komt slechts één type moerige gronden voor, de moerige eerdgronden (ook wel broekeerdgronden genoemd). Dit zijn gronden met een moerige bovengrond op zand, of een zanddek en een moerige tussenlaag op zand. Dit bodemtype komt verspreid voor in de beekdalen in het gebied, onder andere van het Dalems Stroompje, de Aa (of Goorloop), de Poppelsche Leij en de Beerze ten noorden van Spoordonk en in de beekoverstromingsvlakten van de Reusel tussen Diessen en Moergestel.

* Zandgronden:
Door de omzetting van plantenresten in humus is in de meeste gronden een duidelijke, donkere humushoudende bovengrond ontwikkeld. Wanneer deze tenminste 15 cm dik is, is er sprake van een eerdlaag.

Beekeerdgronden liggen in de beekdalen. Door hoge grondwaterstanden hebben deze gronden hydromorfe kenmerken gekregen: roestverschijnselen. Deze roestverschijnselen treden op binnen 35 cm onder maaiveld en lopen door tot 120 cm -mv, ten hoogste over 30 cm onderbroken. Deze gronden worden onder andere aangetroffen in de beekdalen van de Reusel, de Beerze, in de dalen van de "Leijbeken" en de bovenloop van de Raamsloop.
Gooreerdgronden vormen de overgang van beekeerdgronden naar de hoger gelegen podzolgronden. Als er al roestverschijnselen optreden is dit dieper dan 35 cm -mv. Van deze gronden komen grote en kleine oppervlakten verspreid over het gehele onderzoeksgebied voor. Ze worden voornamelijk aangetroffen in de bovenlopen en op de flanken van de beekdalen.

* Eerdgronden:
De eerdgronden hebben een humushoudende bovengrond, die dikker is dan 50 cm. Ze worden enkeerdgronden genoemd. De dikke eerdlaag is ontstaan als gevolg van eeuwenlange bemesting. Lage enkeerdgronden komen alleen voor in beekdalen. Ze liggen daar waar vroeger van nature de beste mogelijkheden voor akkerland waren: de overgangen van hoge naar lage gebieden langs de beekdalen. Grote oppervlakten lage enkeerdgronden worden veelvuldig aangetroffen, verspreid over het gehele onderzoeksgebied.

3.4 De waterhuishouding

De natuurlijke afwatering van het onderzoeksgebied vindt in noordelijke richting plaats, via de beken de Leij, de Reusel, de Rosep en de Beerze. Deze beken vormen de westelijke zijtakken van de in België ontspringende Dommel. Ze monden via de Essche Stroom bij Vught in de Dommel uit. Elk beekdal vormt een min of meer zelfstandig afwateringssysteem, dat van de hoge zandplateaus in het Belgisch-Nederlandse grensgebied naar de veel lager gelegen Maas stroomt. Ze vallen onder het beheer van het Waterschap de Dommel.
De beken in het onderzoeksgebied behoren tot het type van de laaglandbeken. Hieronder worden enkele hydrologische karakteristieken van laaglandbeken gegeven (Paarlberg, 1990):

Verhang:	< 0,1 %
Gemiddelde stroomsnelheid:	< 0,3 - 0,5 m/s
Breedte:	3 - 10 m
Diepte:	> 0,5 m

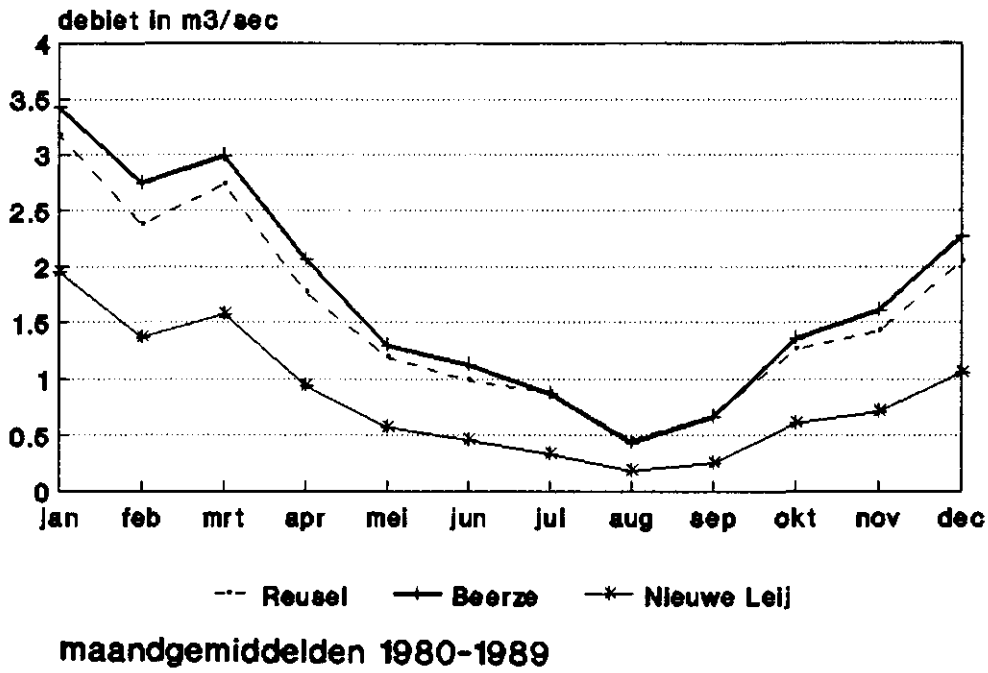
Kenmerkend voor deze laaglandbeken is, dat ze geen echte bron hebben. Ze worden diffuus gevoed door grondwater (kwelwater) en neerslagwater, over de gehele lengte van de beek (V.d. Straaten & Von Meijenfeldt, 1977).
Lokaal gevallen neerslag zal hooguit enkele meters kunnen infiltreren in de bodem alvorens door het drainagesysteem, dat in de landbouwgebieden uit diepe greppels en sloten bestaat, afgevoerd te worden (Bleuten et al., 1985). Door de afhankelijkheid van het neerslagwater fluctueert de waterstand in de beken sterk. In regenarme perioden kan

het voorkomen dat de beek droogvalt. Bij hoge afvoeren echter kan de beek juist buiten haar oevers treden.
Kwelstromen zijn van grote betekenis voor de beekdalen. Kwel is regenwater, dat wegzijgt in een hoger gelegen gebied en in een lager gelegen gebied weer aan de oppervlakte komt. Kwelwater komt meestal in het midden- en benedenstroomse gedeelte van de beek aan de oppervlakte. Deze grondwaterstromen komen zowel min of meer loodrecht op, als parallel aan het beekdal voor (Asperdt en Endedijk, 1989).
In 1923 is het Wilhelminakanaal, dat in het onderzoeksgebied tussen Oirschot en Tilburg ligt, gereedgekomen. De noord-zuid verlopende beken worden hier door middel van duikers onderdoor geleid. Dit kanaal is hydrologisch geïsoleerd van het stroomgebied van de genoemde beken. Het wordt gevoed door de Willemsvaart.
Nabij Vessem bevindt zich een pompstation waar middeldiep grondwater wordt gewonnen uit de grindhoudende grove zanden van de Formatie van Sterksel. In 1983 werd hier ruim 8,5 miljoen m^3 water gewonnen (RGD, 1985).

Beekstelsels
Voor de ligging van de hierna besproken beekstelsels de Leij, de Reusel en het Spruitenstroompje, de Rosep en de Beerze wordt verwezen naar bijlage 2.

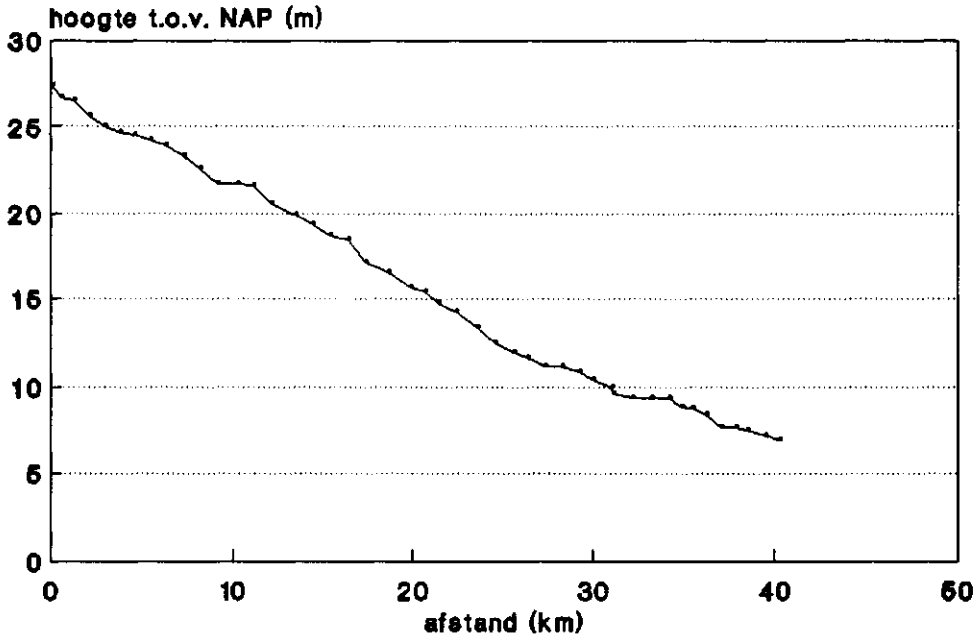
De Leij
Het stroomgebied van de Leij beslaat 12.100 ha, waarvan 4.900 op Nederlands grondgebied. Ten zuiden van Goirle vloeien de Poppelsche en Rovertsche Leij samen en vormen de Leij. 600 meter noordelijker splitst de Leij zich in de Nieuwe Leij en de Oude Leij. De Oude Leij stroomt parallel aan de Nieuwe Leij. In de huidige situatie watert de Oude Leij slechts een klein gebied af (Provincie Noord-Brabant, 1990). Ten zuidoosten van Tilburg komen de Nieuwe en de Oude Leij weer samen.
De Poppelsche en Rovertsche Leij ontspringen beide in België. Ze stromen op het Nederlands grondgebied met name door bos- en natuurgebieden. Nabij het punt van samenvloeien en verder stroomafwaarts echter omvat het beekdal voornamelijk agrarisch gebied met verspreid gelegen kleinere natuurkernen.
In figuur 3.3 is het gemiddeld debiet per maand uitgezet, berekend over de periode 1980 tot en met 1989. Dit debiet (in m^3/sec) wordt bepaald ter hoogte van de zandvang ten zuiden van Goirle.
Het hoogste gemiddelde debiet (januari: 1,95 m^3/sec) wordt in dezelfde periode gemiddeld 46 dagen per jaar overschreden.

De Reusel
Het stroomgebied van de Reusel beslaat 11.200 ha. De Reusel heeft een lengte van circa 32,5 km. De bovenlopen (Belevensche loop, Rouwenbogtloop, Raamsloop) ontspringen in het grensgebied ten westen, zuiden en oosten van het dorp Reusel, ten dele in bos- en ten dele in agrarische gebieden. De Belevensche loop en de Reusel vloeien ten noorden van Reusel samen. Ten westen van Lage Mierde komt de Zilverbeek bij de Reusel. De Rouwenbogtloop en de Raamsloop vloeien ten zuiden van Hulsel samen tot de Stroom (of Stroom onder Hoge en Lage Mierde). In landgoed de Utrecht komen de Reusel en de Stroom samen.
Het Spruitenstroompje vormt met zijn stroomgebied van circa 3.600 ha een belangrijke zijbeek van de Reusel. Het wordt gevormd door de Hoogeindsche beek en de Aalst, die



Figuur 3.3 Gemiddeld debiet per maand van de Reusel, de Beerze en de Nieuwe Leij (naar gegevens van Waterschap De Dommel).

in de bossen in het grensgebied ontspringen. Ten noorden van Hilvarenbeek vloeit het Spruitenstroompje samen met de eveneens in het grensgebied ontspringende Roodloop. Met uitzondering van de bovenlopen bestaat het grootste deel van het stroomgebied van het Spruitenstroompje uit agrarische gebieden. Het Spruitenstroompje vloeit noordelijk van het Wilhelminakanaal samen met de Reusel.
In figuur 3.4 is de verhanglijn van de Reusel weergegeven. De verhanglijn is geconstrueerd met behulp van hoogtekaarten 1:10.000. Hierbij dient te worden opgemerkt, dat op de hoogtekaart niet altijd een waarde wordt gegeven voor de hoogte langs de beek in meters boven N.A.P.
Het gemiddelde verhang van de Reusel is circa 0,51 m/km. In de bovenloop is dit circa 0,65 m/km, in de benedenloop circa 0,32 m/km.
In figuur 3.3 is het gemiddeld debiet per maand uitgezet, berekend over de periode 1980 tot en met 1989. Dit debiet (in m^3/sec) wordt bepaald ten noorden van het natuurgebied de Hondsberg.
Het hoogste gemiddelde debiet (januari: 3,17 m^3/sec) wordt in dezelfde periode gemiddeld 55 dagen per jaar overschreden.



Figuur 3.4 Verhanglijn van de Reusel.

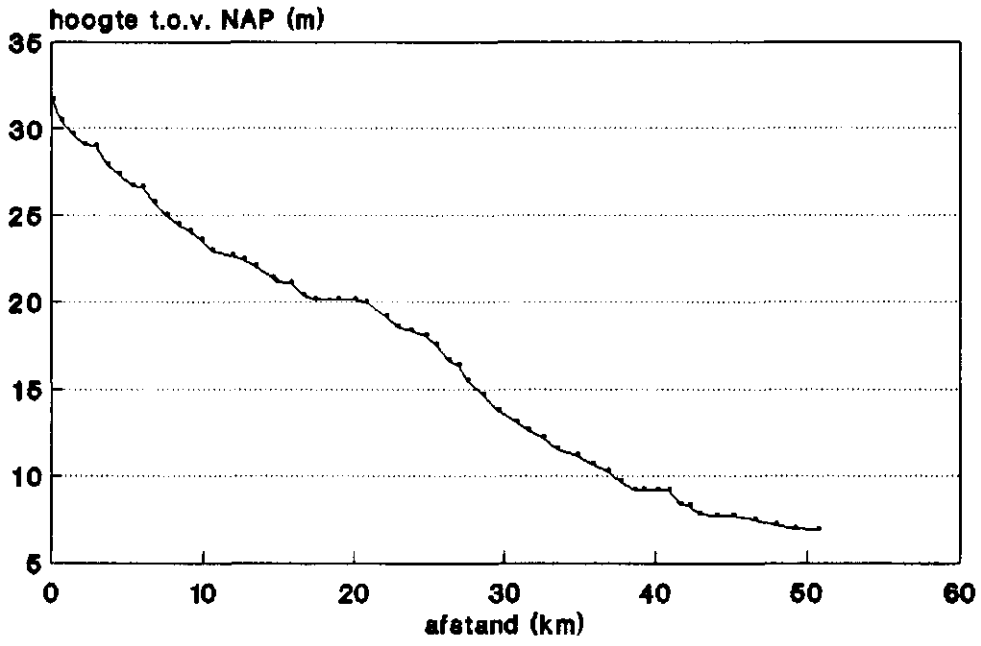
De Rosep

Het stroomgebied van de Rosep is 2.370 ha groot. De Provincie Noord-Brabant (1990) beschouwt het als een deel van het stroomgebied van de Reusel. De bovenloop ligt in intensief gebruikt agrarisch gebied. De midden-en benedenloop stromen door het natuurgebied van de Oisterwijkse vennen. Er is geen debietbepaling bekend van de Rosep.

De Beerze

Het totale stroomgebied van de Beerze is 26.158 ha groot, waarvan 25.413 ha op Nederlands grondgebied liggen. De belangrijkste bovenloop is de Aa of Goorloop. Deze ontspringt 1 km ten zuiden van de Belgisch-Nederlandse grens in een natuurgebied en stroomt vervolgens door bos- en agrarisch gebied. (Provincie Noord-Brabant, 1990). Ten westen van Hapert vloeit de Aa samen met het Dalemstroompje, dat ten zuiden van de Cartierheide ontspringt, en vormt de Grote Beerze.
De Kleine Beerze ontspringt ten westen van Eersel. Ter hoogte van Hoogcasteren mondt de Kleine Aa uit in de Kleine Beerze. In landgoed de Baest komen de Grote Beerze en de Kleine Beerze samen en vormen de Beerze.
De Grote en Kleine Beerze hebben in landgoed de Baest hun natuurlijke loop behouden. Om te voorkomen dat de bebouwde kommen van Middelbeers en Oostelbeers bij hoge waterstanden in deze beken onder water zouden lopen, zijn voor beide beken omleidingskanalen gegraven. Het grootste deel van het water van de Groote Beerze wordt

ten westen van Middelbeers geleid. Het omleidingskanaal dat het grootste deel van het water van de Kleine Beerze afvoert is tussen Middel- en Oostelbeers doorgegraven. Beide kanalen komen samen ten noorden van deze dorpen. Het omleidingskanaal gaat verder ten oosten van landgoed de Baest en komt voordat de Beerze onder het Wilhelminakanaal doorgaat samen met de oorspronkelijk loop. (Toelichting geologische kaart 51 West Eindhoven, 1985).
Ook ten zuidoosten van de Kampinasche Heide heeft de Beerze een omleidingskanaal: de Heiloop.
Ter hoogte van Boxtel splitst de Beerze zich in het Smalwater, dat naar de Dommel stroomt, en de Kleine Aa, die in de Essche Stroom uitmondt.



Figuur 3.5 Verhanglijn van de Beerze.

In figuur 3.5 is het verhang van de Beerze weergegeven (zie opmerking bij het verhang van de Reusel). Het gemiddelde verhang van de Beerze is circa 0,73 m/km. In de bovenloop is het verhang steiler: circa 0,98 m/km. In de benedenloop neemt het verhang af tot circa 0,42 m/km. Waar de Beerze de Midden Brabantse Dekzandrug doorsnijdt, komt een knik in de verhanglijn voor. Stroomafwaarts van deze knik (1,4 km) is het verhang 0,28 m/km, stroomopwaarts (4,5 km) 0,97 m/km.
In figuur 3.3 is het gemiddeld debiet per maand uitgezet, berekend over de periode 1980 tot en met 1989. Het debiet (in m^3/sec) is de sommatie van de in beide takken nabij Boxtel (Smalwater en Kleine Aa) bepaalde debieten.

Het hoogste gemiddelde debiet (januari: 3,42 m^3/sec) wordt in dezelfde periode gemiddeld 62 dagen per jaar overschreden.

3.5 Landschapsontwikkeling

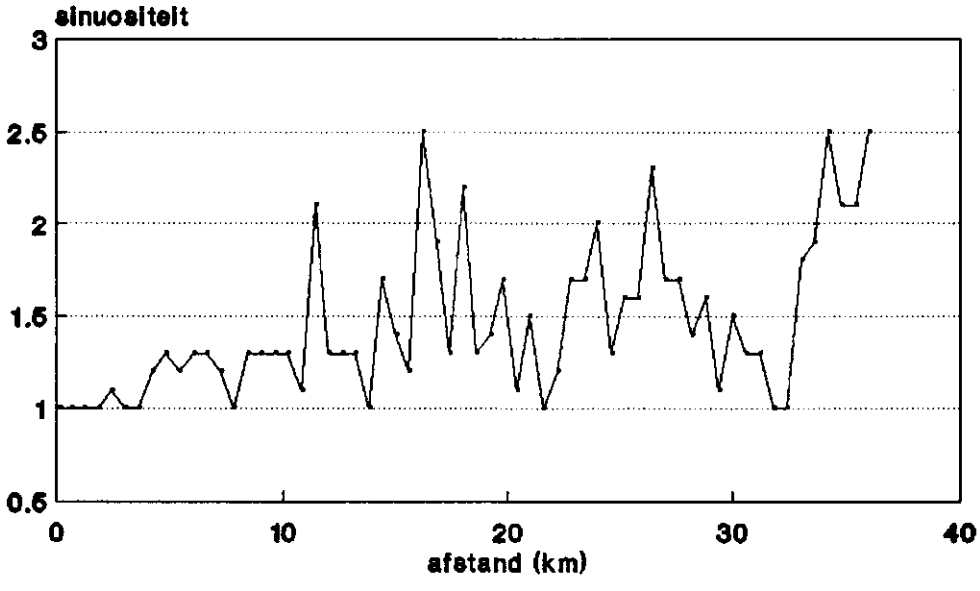
De beken in het onderzoeksgebied werden in de oorspronkelijke toestand begeleid door vochtige moerasbossen waarin elzen, wilgen en essen overheersten. 's Winters was de waterafvoer in de beek groot en trad zij buiten haar oevers, waardoor de beekdalen als geheel meer op een moeras dan op een bos leken. Dit was vooral het geval in de middenlopen en benedenlopen van de beken.
Rond 600 na Chr. kwam de eerste ontginning van betekenis tot stand (V.d. Straaten & Von Meijenfeldt, 1977). Op de vruchtbaarste plaatsen, aan de westzijde van het beekdal, werden de eerste akkers aangelegd. In de beekdalen veranderde niet veel. Het bleef er moerassig. Plaatselijk werden de beekdalen tot beemden (grasland) ontgonnen. Kavelgrenzen bestonden meestal uit heggen en houtwallen. Naast de akkercomplexen en beboste beekdalen moeten er grote heidecomplexen zijn ontstaan. (De Bont, 1989).
In de loop van de Late Middeleeuwen is de druk op de beekdalen toegenomen. Algemeen wordt aangenomen, dat vanaf de elfde-twaalfde eeuw de eerste grootschaliger ontginningen een aanvang hebben genomen. (De Bont, 1989). Dit was mogelijk, doordat de ploegtechniek verbeterd was, en doordat de kennis van ontwatering was toegenomen (V.d. Straaten & Von Meijenfeldt, 1977). De drogere delen van het beekdal, zullen het eerst voor ontginning tot grasland in aanmerking zijn gekomen. Tevens werden het eerst die delen ontgonnen die het dichtst bij het dorp lagen. Rond 1840 zijn nog delen van de beekdalen niet ontgonnen of worden zeer extensief gebruikt. Waarschijnlijk zijn de natste, laagste gedeelten het laatst ontgonnen (De Bont, 1989). Rond de bewoningskernen, die op de overgang van het beekdal naar de hogere zandgronden gesitueerd waren, lagen akkercomplexen. De hogere zandgronden, die verder van de bewoningskernen aflagen, waren rond 1840 nog niet ontgonnen. Hier bevonden zich uitgestrekte heidegebieden, met vennetjes.
In de tweede helft van de negentiende eeuw en de eerste helft van de twintigste eeuw werden op grote schaal heide-ontginningen uitgevoerd. De eerste heide-ontginningen zijn tussen 1840 en 1900 uitgevoerd ten westen van Lage Mierde en ten noorden van Biest. In het midden van de twintigste eeuw is een groot deel van de heide ontgonnen tot akkers, weilanden en naaldbossen. In de voormalige, vochtige heidegebieden zijn ontwateringsslootjes gegraven en veel vennetjes zijn gedempt en ontwaterd. Ook de beekdalen werden in deze ontginningsgolf aangetast. Veel woeste grond en moerassen langs de beken werden ontwaterd.
Na de tweede wereldoorlog zijn in het hele onderzoeksgebied ruilverkavelingen uitgevoerd. Hierdoor zijn kleinschalige elementen in het landschap grotendeels verdwenen en wordt het hele gebied, inclusief de beekdalen, gekenmerkt door een grote openheid (De Bont, 1989). Het areaal akkerland in de stroomgebieden is ten opzichte van 1960 (topografische kaart) sterk verminderd, doordat akkerland is omgezet in grasland. Een deel van het oppervlak heidegebied in natuurterreinen heeft plaatsgemaakt voor bos.
Het onderzoeksgebied heeft tegenwoordig een voornamelijk agrarisch karakter, waarin de bio-industrie overheerst. Hier en daar zijn nog bos- en/of natuurgebieden aanwezig.

4 De historische ontwikkeling van de beeklopen

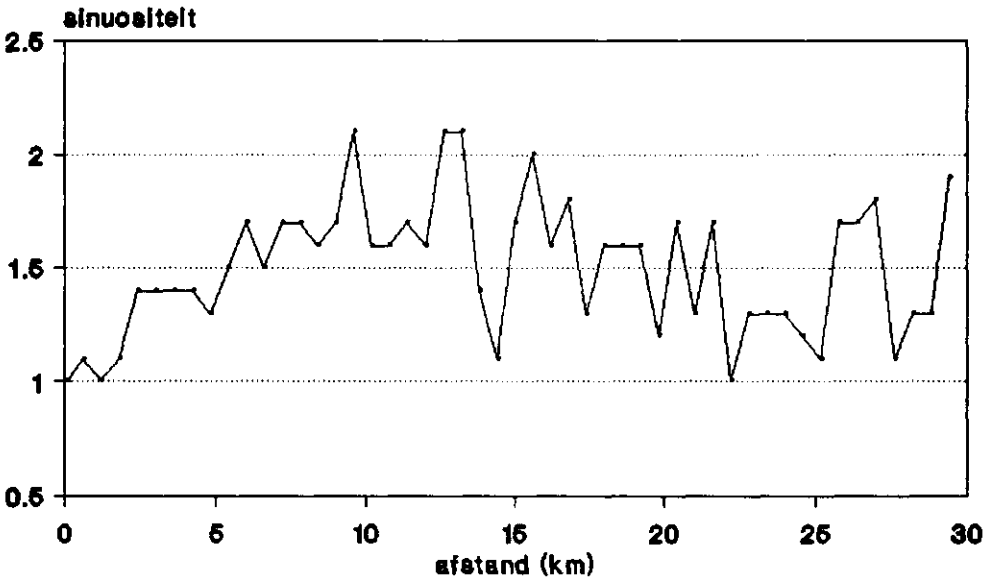
Om een indruk te krijgen van de veranderingen die in de loop van de tijd in de beeklopen en hun stroomgebieden zijn opgetreden, is een aantal topografische kaarten uit verschillende perioden met elkaar vergeleken. Hiervoor is gebruik gemaakt van de topografische kaarten van 1840 (schetskaarten), de topografische kaarten van rond 1900 ("Bonne-bladen") en de topografische kaarten van rond 1960 en 1985. De schaal van de kaarten is 1:25.000. De oorspronkelijke schaal van de topografische kaarten uit 1840 is 1:50.000, deze kaarten zijn echter fotografisch vergroot naar 1:25.000.
De situatie van de beekloop rond 1840 geeft een beeld van de natuurlijke toestand van de beek.

4.1 De situatie rond 1840

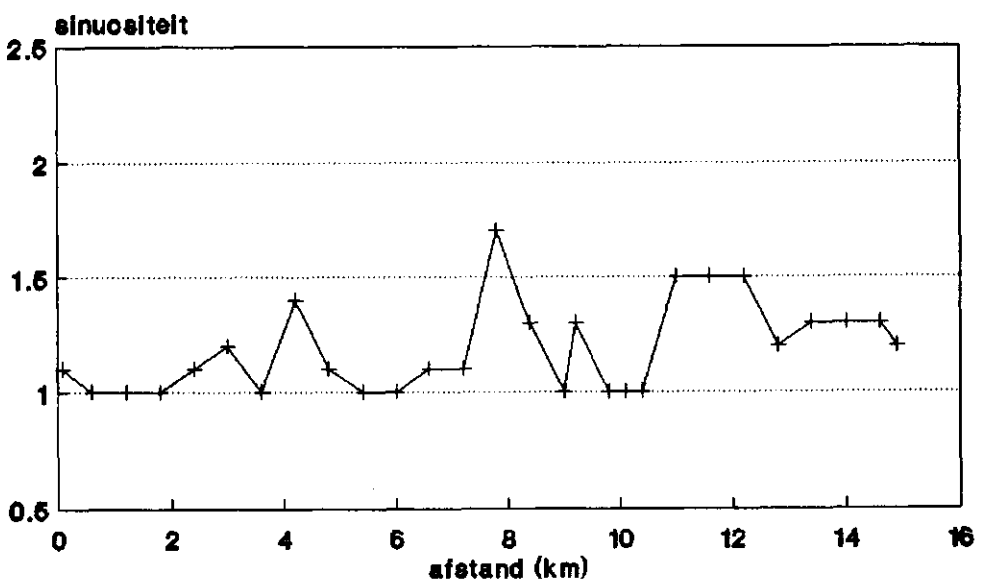
De beken in het onderzoeksgebied hadden in de periode rond 1840 een sterk meanderend karakter. Dit geldt met name voor trajecten van de Reusel en de Beerze. Bij Baarschot en Diessen zijn twee oude, watervoerende geulen van de Reusel aanwezig. Voor de weergave van afgesneden meanderbochten is de schaal van de kaart te klein.
Om de mate van meandering te kwantificeren, is de sinuositeit van de grootste beken in het onderzoeksgebied berekend. De sinuositeit van de beken varieert in 1840 van 1 tot 2,5. Er treden sterke schommelingen in de waarden op. Uit de grafieken van de sinuositeit van de Beerze (fig. 4.1) en in mindere mate van de Reusel (zie fig. 4.2) en de Kleine Beerze (fig. 4.3), blijkt stroomafwaarts een toename in de sinuositeit op te treden.



Figuur 4.1 Sinuositeit van de Grote Beerze rond 1840.

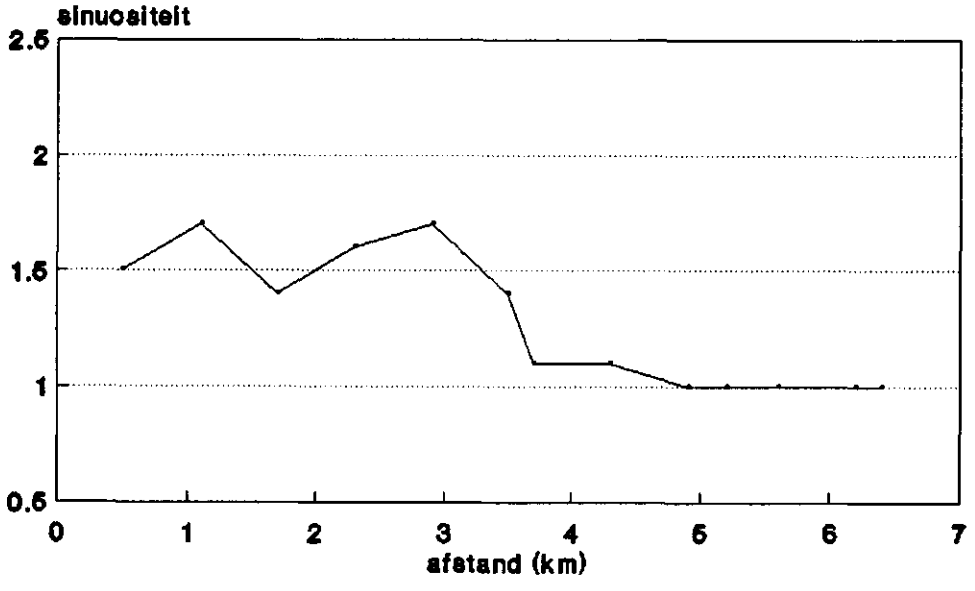


Figuur 4.2 Sinuositeit van de Reusel rond 1840.

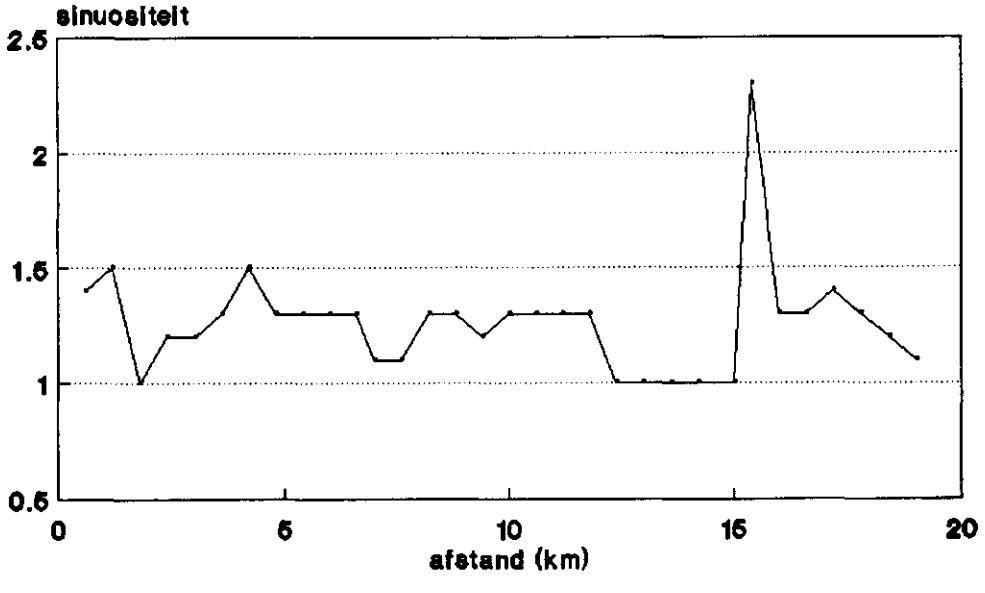


Figuur 4.3 Sinuositeit van de Kleine Beerze rond 1840.

In de bovenlopen treedt weinig meandering op, in de middenlopen varieert de mate van meandering sterk, en in de benedenlopen worden de hoogste sinuositeitswaarden aangetroffen. Deze tendens in meandering komt overeen met het algemene beeld van een meanderende beek (zie 2.2). De Rovertsche Leij (fig. 4.4) en Poppelsche Leij (fig. 4.5) vertonen dit beeld niet.



Figuur 4.4 Sinuositeit van de Rovertsche Leij rond 1840.



Figuur 4.5 Sinuositeit van de Poppelsche Leij rond 1840.

Dit komt doordat van deze beken slechts het Nederlandse deel van de loop is weergegeven.
De invloed van de mens op de beeklopen was gering. Kleine trajecten in de bovenlopen van de Reusel en het Wagenbroeks loopje zijn waarschijnlijk vergraven in verband met ontginningen. Deze beektrajecten hebben op de kaart van 1840 een rechte loop, en liggen te midden van ontgonnen gebied. Het is echter niet altijd duidelijk of een beek natuurlijk is of niet: een gegraven/vergraven beek kan in de loop der tijd een natuurlijk aanzien krijgen. Tevens komen van nature rechte beektrajecten voor.
Op plaatsen waar watermolens stonden (zie bijlage 1), zijn kleine molenbeken en/of molenvijvers gegraven. Bij enkele landgoederen (Kasteel Groenendaal te Diessen en Huize ten Berg te Spoordonk) wordt de beek door de slotgrachten geleid.
Ingrepen op grotere schaal hebben plaatsgevonden aan de Nieuwe en Oude Leij. Deze beide beken hebben op de topografische kaart van 1840 rechte lopen met scherpe bochten, en weinig of geen meanders. Gezien de ligging in het landschap (laagste deel) en de naam, is het waarschijnlijk dat de Oude Leij de oorspronkelijke beekloop was, die sterk vergraven is. De Nieuwe Leij is een gegraven waterloop, die in de loop der tijd licht is gaan meanderen.
Het landgebruik in de beekdalen was rond 1840 voornamelijk grasland. Op enkele plekken kwam broekbos voor. Het grootste deel van de beekdalen was verkaveld in lange, smalle kavels loodrecht op de beek. De graslanden langs de beek (beemden) werden vooral gebruikt als hooiland; na de hooioogst vond nabeweiding plaats (De Bont, 1989). De perceelsscheidingen bestonden uit slootjes, houtwallen en heggen. De beekdalen hadden hierdoor een besloten karakter.
De natste delen langs de beken waren nog niet ontgonnen (bv. de Molenbroeken langs de Kleine Beerze), evenals de meeste gronden langs de bovenlopen van de beken waar vochtige heideterreinen voorkwamen.

4.2 De situatie rond 1900

Vanwege verschillen in projectie en karteringsmethoden tussen de topografische kaarten van 1840 en 1900, zijn de beeklopen niet in detail te vergelijken. Hierdoor is het niet mogelijk om te constateren of meanderbochtafsnijdingen of kleinschalige beekverleggingen zijn opgetreden. De beken hebben echter in hoofdlijnen dezelfde loop als in 1840. Ze meanderen sterk. De menselijke invloed op de beeklopen is gering en weinig beektrajecten zijn vergraven. De verlegging van het confluentiepunt van de Rovertsche en Poppelsche Leij in stroomopwaartse richting is de enige duidelijke waarneembare ingreep die heeft plaatsgevonden.

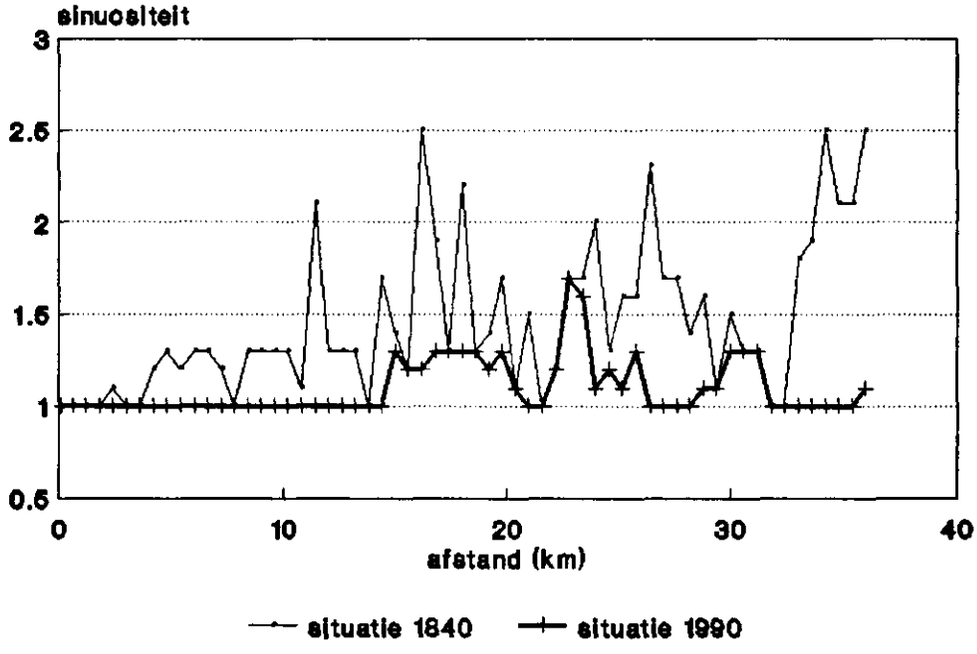
4.3 De situatie rond 1960

In de periode 1900-1960 hebben in het onderzoeksgebied op grote schaal ontginningen plaatsgevonden. Dit heeft tot ingrijpende veranderingen in de waterhuishouding geleid (zie 2.3).
Vanaf de jaren veertig zijn door menselijk ingrijpen meanderbochten afgesneden (mondelinge mededeling heer Reinierse, Waterschap De Dommel). Aanvankelijk gebeurde

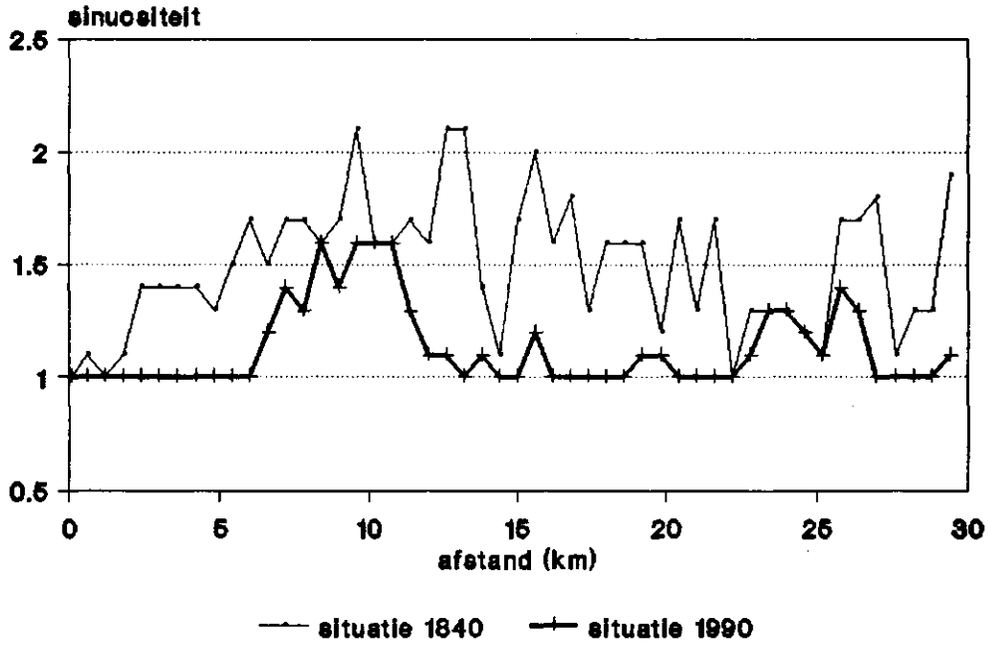
dit nog op kleine schaal, later ging men rigoureuzer te werk. In de Kleine Beerze, de Voorste Stroom en de Grote Beerze ten noorden van Casteren is een groot aantal meanders afgesneden. De afgesneden meanders van de Grote Beerze zijn op de topografische kaart van 1963 nog waarneembaar. In dit traject valt de oude loop van de Grote Beerze tevens samen met de gemeentegrens tussen de gemeentes Bladel-Netersel en Hoogeloon-Hapert-Casteren.
In het onderzoeksgebied zijn de eerste ruilverkavelingen uitgevoerd. Bij deze ruilverkavelingen is de Reusel ten noorden van Diessen genormaliseerd, evenals de Grote Beerze in het traject Spoordonk-Boxtel (met uitzondering van de Kampinasche Heide) en de Essche Stroom vanaf Oisterwijk. Het confluentiepunt van de Voorste en Achterste Stroom is verplaatst en verbreed. Tevens is dit (nogmaals) gebeurd met het confluentiepunt van de Rovertsche en Poppelsche Leij.
De zijlopen van de grote beken zijn genormaliseerd. In de beekdalen waar de beek haar oorspronkelijke karakter heeft, is de oude strokenverkaveling nog deels aanwezig. Het dominerende landgebruik in de beekdalen is grasland.

4.4 De situatie rond 1985

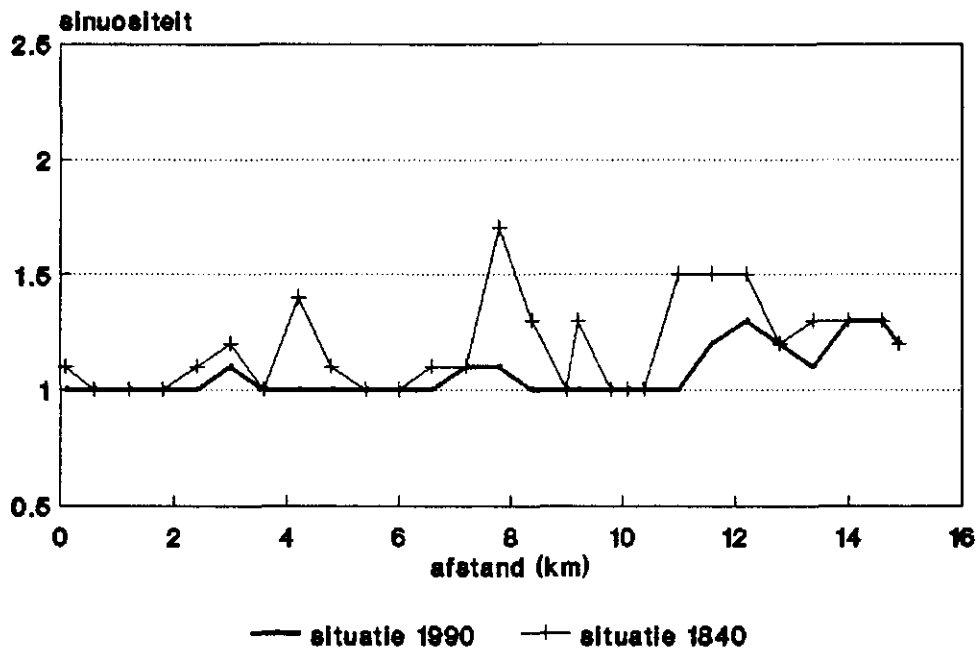
In vrijwel het gehele onderzoeksgebied zijn ruilverkavelingen uitgevoerd, met uitzondering van het gebied rond de Poppelsche en Rovertsche Leij, waar de ruilverkavelingen Baarle-Nassau en Goirle in voorbereiding zijn. In het kader van de ruilverkavelingen zijn grote delen van de beken genormaliseerd.
Bij de normalisatie zijn de beken twee tot drie keer verbreed en verdiept (overdimensionering), waardoor de afvoercapaciteit is vergroot. Meanderbochten zijn afgesneden, waarbij de oude beeklopen zijn gedempt en vervolgens geëgaliseerd. In de beken is een groot aantal stuwen geplaatst voor regulatie van de waterafvoer en zijn zandvangen gegraven om de sedimentlast van de beken te beheersen (o.a. in de Goorloop in Boswachterij Hapert, in de Reusel ten zuiden van Oisterwijk, in de Beerze in Landgoed Baest en in de Leij ten zuiden van Goirle).
Het deel van de Reusel ten zuiden van de Hondsberg (Moergestel) is ingekaad om inundaties tegen te gaan, evenals delen van de Beerze bij Spoordonk en De Logt (zie bijlage 3). Het confluentiepunt van de Voorste en Achterste Stroom is nogmaals stroomopwaarts verlegd. Tevens hebben ingrepen op kleinere schaal plaatsgevonden, zoals het plaatsen van duikers en het aanleggen van beschoeiingen.
Alleen in enkele natuurgebieden hebben de beken nog hun oorspronkelijke loop behouden. Hier zijn omleidingskanalen gegraven, waar de piekafvoeren doorheen worden geleid. Het traject van de Reusel in landgoed De Utrecht en bij De Hondsberg, en delen van de Rovertsche en Poppelsche Leij zijn de enige natuurlijke trajecten zonder omleidingskanaal. Door de meanderafsnijdingen is de sinuositeit sterk afgenomen (zie fig. 4.6 tot en met 4.10).
De beeklopen zijn verkort. Het traject van de Reusel ten noorden van Baarschot, dat oorspronkelijk (1840) een lengte had van 14 kilometer, is door bochtafsnijding tot 9 kilometer ingekort (zie fig. 4.11). Het verhang van de beken is door de verkorting van de beeklopen toegenomen. De beek overbrugt hetzelfde hoogteverschil, maar door bochtafsnijding is de beeklengte kleiner geworden, waardoor de verhouding tussen het hoogteverschil en de beeklengte is toegenomen.



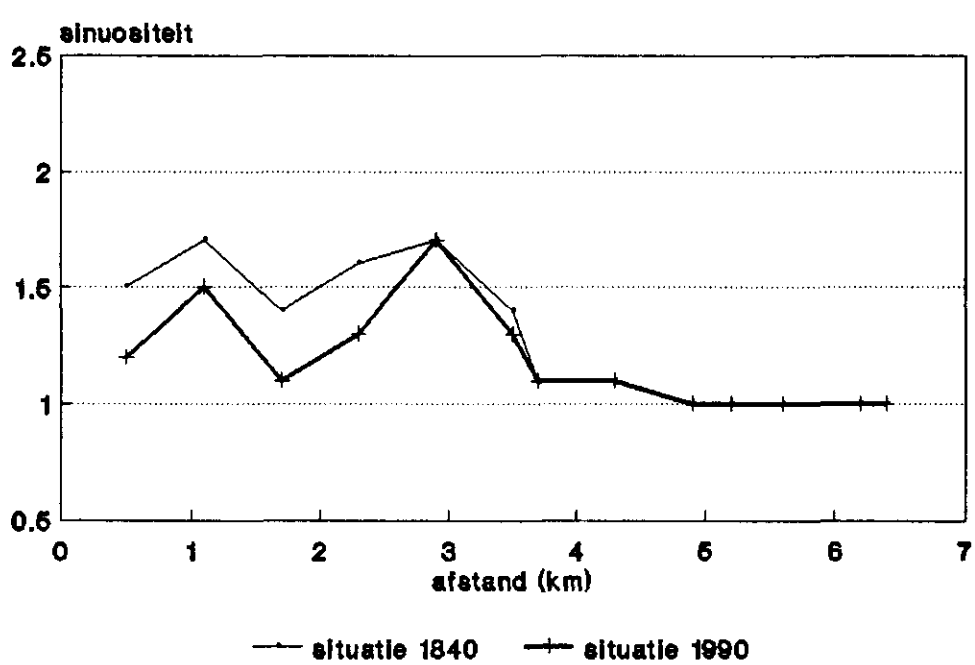
Figuur 4.6 Sinuositeit van de Grote Beerze rond 1990.



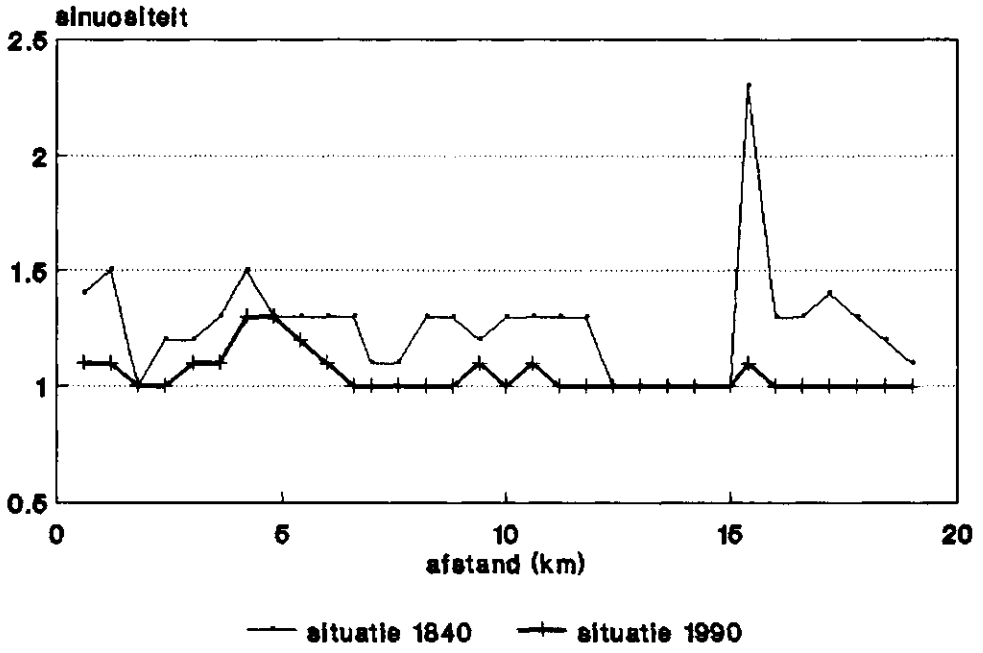
Figuur 4.7 Sinuositeit van de Reusel rond 1990.



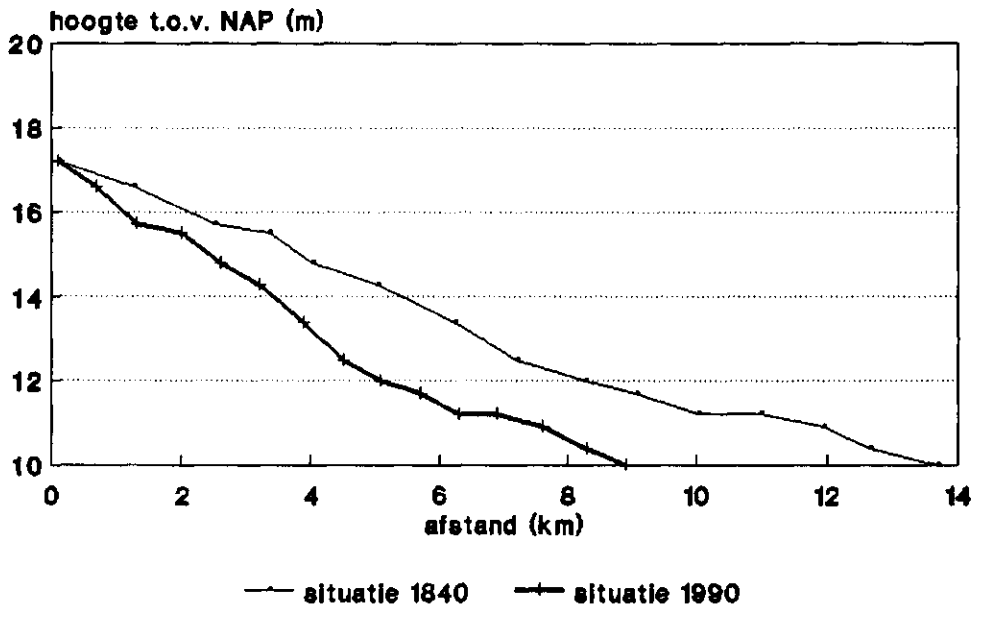
Figuur 4.8 Sinuositeit van de Kleine Beerze rond 1990.



Figuur 4.9 Sinuositeit van de Rovertsche Leij rond 1990.



Figuur 4.10 Sinuositeit van de Poppelsche Leij rond 1990.



Figuur 4.11 Afname van de lengte van de Reusel door normalisatie.

Afbeelding 1 Genormaliseerd traject van de Reusel.

Van het onderzochte deel van het stroomgebied van de Essche Stroom heeft 16 % van de beken nog een natuurlijk karakter. Van de afzonderlijke beken zijn de ingrepen in het stroomgebied van de Reusel het grootst geweest; slechts 8 % van de beken in dit stroomgebied heeft een natuurlijke loop. Het percentage oorspronkelijke loop in de beekdalen is:

Beerze	20 %
Poppelsche + Rovertsche Leij	21 %
Reusel	8 %
Rosep	53 %

Bij de ruilverkavelingen is vrijwel overal de oorspronkelijke kleinschalige verkaveling in de beekdalen verdwenen. De percelen zijn vergroot, de oude ontwateringsslootjes zijn deels gedempt en deels verbeterd, en de houtwallen en heggen zijn voor een groot deel verdwenen. Het dominerende landgebruik in de beekdalen is grasland gebleven.

5 Case: geomorfologische aspecten van de Reusel

In deze case worden geomorfologische aspecten van een natuurlijk meanderend beektraject beschreven. Deze geomorfologische aspecten zijn onderzocht door middel van veldonderzoek en kaart- en luchtfotoanalyse. In 5.1 wordt een aantal onderzoeksvragen met betrekking tot de geomorfologische aspecten genoemd. Tevens worden selectiecriteria opgesteld voor de keuze van een te onderzoeken natuurlijk meanderend beektraject. In 5.2, 5.3 en 5.4 worden de werkwijze, resultaten en conclusies per groep van onderzoeksvragen besproken.

5.1 Inleiding

Om beekherstel uit te voeren op geomorfologische grondslag, is het nodig om de waarden te kennen van geomorfologische parameters en de relaties die tussen deze parameters bestaan in een natuurlijk meanderende beek te begrijpen. In hoofdstuk 2 worden algemene relaties tussen geomorfologische parameters beschreven. Deze relaties zijn afkomstig uit buitenlandse literatuur. Het is echter de vraag of deze relaties zonder meer gelden voor laaglandbeken in een zandlandschap, zoals die onder andere in Noord-Brabant voorkomen.

Om deze geomorfologische aspecten te onderzoeken is een veldonderzoek verricht aan een natuurlijk meanderend beektraject, waarbij metingen zijn verricht en waarnemingen zijn gedaan. Bij dit veldonderzoek is aandacht besteed aan aspecten op macro-schaal, meso-schaal en micro-schaal. De aspecten op macro-schaal hebben betrekking op de meandering, de aspecten op meso-schaal op kenmerken van het dwarsprofiel van de beek, en die op micro-schaal op de micromorfologie van de beekbedding.
Per schaalniveau zijn één of meerdere vragen opgesteld:

<u>Macroschaal: meandering</u>
1: Welke waarden hebben de meandergordelbreedte en de meanderlengte? Veranderen deze waarden stroomafwaarts?
2: Is er een relatie vast te stellen tussen de mate van meandering van de beek in haar oorspronkelijke situatie en het hoogteverschil, de geologie, de geomorfologie, de bodem en het landgebruik?
3: Is er sprake van erosie en sedimentatie in de tijd op grote schaal, zoals bijvoorbeeld verplaatsing van de beekloop en bochtafsnijdingen?

<u>Mesoschaal: dwarsprofiel</u>
1: Welke waarden hebben de breedte, diepte en geulcapaciteit van de beek? Is er een relatie vast te stellen tussen de breedte, de diepte, de geulcapaciteit en de afstand langs de beek?
2: Hoe natuurlijk is het onderzoekstraject en welke antropogene ingrepen hebben plaatsgevonden in het onderzoekstraject?
3: Zijn er duidelijke veranderingen in het dwarsprofiel opgetreden in de tijd?
4: Is er sprake van erosie en sedimentatie op kleine schaal, zoals bijvoorbeeld in binnen- en buitenbochten?

5: Uit welk materiaal bestaan de bedding en de oever? Waaruit bestaat de oevervegetatie?

Microschaal: micromorfologie van de beekbedding
Komen er pools en riffles voor in de beek? Zo ja, waar? Is er een relatie vast te stellen tussen de pools en andere geomorfologische parameters, zoals bijvoorbeeld de breedte van de beek?

In het onderzoeksgebied heeft een aantal beektrajecten nog een natuurlijk meanderende loop. Deze trajecten zijn (zie bijlage 2 en 3):
- de Poppelsche Leij ter hoogte van Nieuwkerk
- de Rovertsche Leij in het landgoed "Gorp en Rovert"
- de Reusel in landgoed "De Utrecht"
- de Reusel in "De Hondsberg"
- het middendeel van de Rosep
- de Grote en Kleine Beerze en de Beerze in landgoed "De Baest"
- de Beerze in het natuurgebied "Smalbroeken"

Het te selecteren traject moet aan de volgende criteria voldoen:
1: Het moet een natuurlijk traject zijn zonder omleidingskanalen. Voor het mogelijk optreden van geomorfologische processen (bijv. erosie en sedimentatie) is een bepaald debiet en het voorkomen van peak flows noodzakelijk.
2: Het natuurlijk verlopende traject moet enige lengte hebben, zodat er relaties te bepalen zijn tussen bijvoorbeeld de diepte en de afstand langs de beek.
3: Er mag geen grote wateronttrekking in de buurt zijn, zoals bijvoorbeeld een waterwinstation. Door wateronttrekking in het stroomgebied van de beek, kan het debiet van de beek afnemen.
4: Er moeten gegevens beschikbaar zijn van de beekmorfologie in het verleden, zodat uitspraken kunnen worden gedaan over veranderingen die in de loop van de tijd in de beekmorfologie zijn opgetreden.
5: Er moet stroomopwaarts of -afwaarts een redelijk lang genormaliseerd traject aanwezig zijn, waar de gegevens van het natuurlijke traject geëxtrapoleerd kunnen worden om tot beekherstel te komen. Wanneer er zich stroomafwaarts een stedelijk gebied bevindt, is het duidelijk, dat deze mogelijkheid zich niet voordoet. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de Rovertsche Leij.

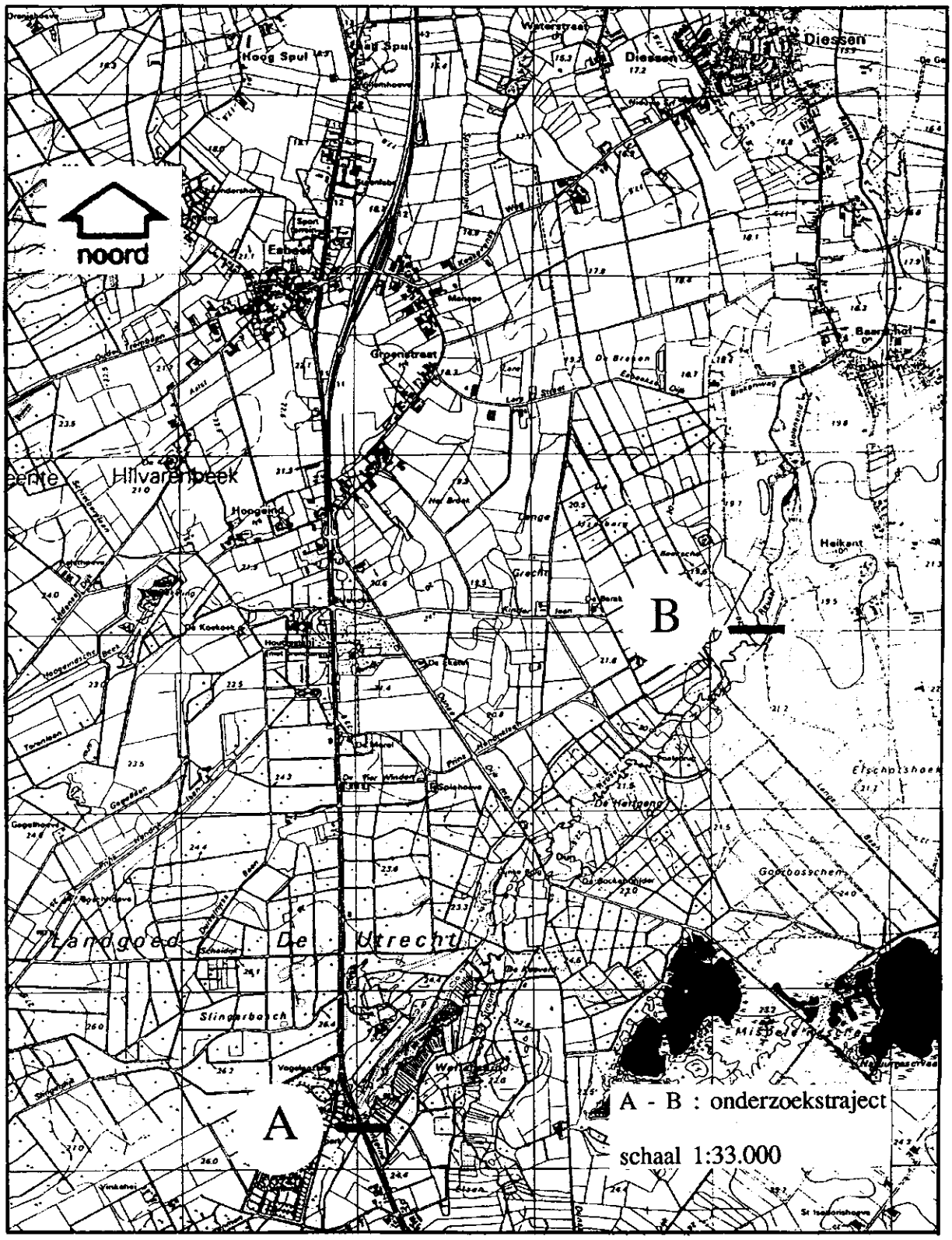
In de onderstaande tabel is voor alle genoemde natuurlijke trajecten aangegeven in hoeverre ze voldoen aan de gestelde criteria.
Op grond van de selectiecriteria is gekozen voor het traject van de Reusel in landgoed "De Utrecht".
Nadelen van dit traject zijn:
- Er is geen verschil in bodemgebruik. Het hele traject bevindt zich in loofbos, met slechts hier en daar een akker of weiland. Er kan dus niet worden aangegeven in hoeverre het huidige landgebruik invloed heeft op de beekmorfologie.
- Debiet- en sedimentlastgegevens zijn niet aanwezig. Dit geldt echter voor alle genoemde natuurlijk meanderende trajecten in het onderzoeksgebied.

	selectiecriteria				
	1	2	3	4	5
Pop. Leij	+	-	+	?	-
Rov. Leij	+	+	+	?	-
Reusel (Utr.)	+	+	+	+	+
Reusel (H'berg)	+	-	+	?	-
Rosep	+	+	+	?	-
Beerze (Baest)	-	+	-	-	+
Beerze (Sm.brn)	-	-	+	?	+

+: voldoet aan het gestelde criterium
-: voldoet niet aan het criterium
?: niet bekend

Tabel 5.1: Selectie van een natuurlijk beektraject voor de case.

Het geselecteerde traject van de Reusel bevindt zich in het landgoed "De Utrecht", ongeveer tussen Lage Mierde en Baarschot (zie fig. 5.1). Het traject behoort tot de middenloop van de Reusel. De Reusel heeft in "De Utrecht" nog een meanderend karakter. Het karakter van de meandering is in het algemeen onregelmatig. Er zijn kleine delen waar regelmatige meandering optreedt. Circa 1 km ten zuiden van Dun vloeit De Stroom samen met de Reusel.
Stroomopwaarts en stroomafwaarts van het traject is de Reusel genormaliseerd. Stroomafwaarts is een zandvang gegraven en is tevens een kort omleidingskanaal gemaakt. Bij de uitvoering van ruilverkaveling Diessen in 1973/1974 was het de bedoeling dat dit omleidingskanaal doorgetrokken zou worden naar "De Utrecht".
Uiteindelijk is besloten dit niet te doen, waardoor de Reusel in "De Utrecht" één van de weinige oorspronkelijke lopen zonder omleidingskanaal is in het onderzoeksgebied.
Wateroverlast in het landgoed "De Utrecht" en het stroomopwaarts gelegen gebied treedt volgens het Waterschap De Dommel een aantal malen per jaar op, afhankelijk van de neerslagintensiteit en -frequentie.
De lengte van de Reusel in "De Utrecht" is circa 5,6 km. Het beginpunt van het traject in het zuiden ligt op een hoogte van circa 22,5 m + NAP; het eindpunt ligt op circa 19 m + NAP. Het verhang is 0,6 m/km.
De vegetatie langs de beek bestaat hoofdzakelijk uit gemengd loofbos, met een ondergroei van varen, braam en brandnetel. Bij Dun komt een aantal maïsakkers voor, in het noorden een aantal graslandpercelen.
Rond 1900 was in het zuidelijke deel van "De Utrecht", ten noorden van Wellenseind, het dominerende landgebruik grasland. Het noordelijke deel van het landgoed, vanaf Dun, was rond 1900 reeds bebost. In 1965 was het grootste deel van het traject bebost.
Het traject ligt op het Kempisch Hoog, ten zuiden van de Breuk van Vessem. In de ondergrond wordt grof zand en grind behorende tot de Formatie van Sterksel aangetroffen, aan de oppervlakte bevindt zich voornamelijk lemig fijn zand uit de Nuenen Groep. Hierin zijn beekeerdgronden en lage enkeerdgronden ontwikkeld. Plaatselijk komt veen in het profiel voor.
In het deel van het beekdal tussen Wellenseind en Dun komen leemlagen van tenminste 20 cm dikte voor tussen 40 en 120 cm -mv. Dit beekdaltraject is daardoor vrij vochtig.



Figuur 5.1 Ligging van het onderzoekstraject.

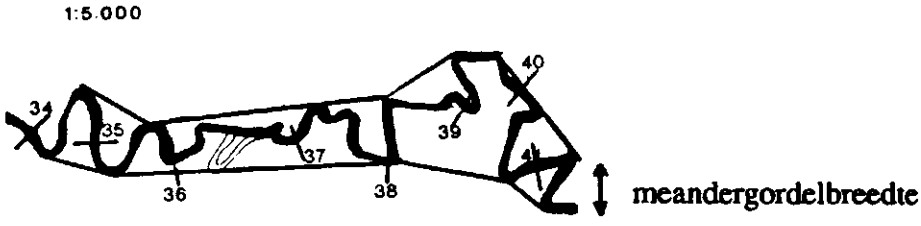
Hier zijn zogenaamde rabatten aangelegd: een systeem van ontwateringsslootjes en opgeworpen walletjes, waarop loofbomen zijn aangeplant.
De breedte van het dal van de Reusel in "De Utrecht" varieert van 100 m tot 250 m. Ten westen van Dun wordt het beekdal begrensd door een dekzandrug en is het dal het smalst.
an het traject zijn gegevens beschikbaar uit 1965 van het Waterschap de Dommel. In het kader van de normalisatie van de Reusel ten noorden van "De Utrecht", zijn dwarsprofielen opgemeten, zowel van het
te normaliseren traject, als van de te handhaven Reuselloop. Deze dwarsprofielen zijn om de 100 meter opgemeten. Daarnaast zijn luchtfotokaarten (1:2.500) en zogenaamde waterleidingkaarten (1:2.500) uit 1965 van het gebied beschikbaar.
In het stroomafwaarts gelegen traject dat genormaliseerd is (ongeveer vanaf Baarschot), is de beek verdiept en verbreed. Op sommige plaatsen is de beek verlegd. De oude beek is dichtgeschoven met zand, waarna egalisatie heeft plaatsgevonden.
De ligging van de oude beekloop is bekend uit de luchtfotokaarten. In het veld echter, blijkt de oude beekloop door de ingrijpende egalisatie niet te traceren te zijn aan de hand van het reliëf of de bodemgesteldheid. Enkele oude restgeulen, die ten noorden van Baarschot liggen (zie 4.1), zijn nog wel aanwezig.

Afbeelding 2 De Reusel in het landgoed "De Utrecht".

5.2 Meandering

De mate van meandering kan beschreven worden met de meandergordel-breedte, de meanderlengte en de sinuositeit (zie 2.2). Om een indruk te krijgen van de mate van actieve meandering is het optreden van erosie en sedimentatie op grote schaal van belang.

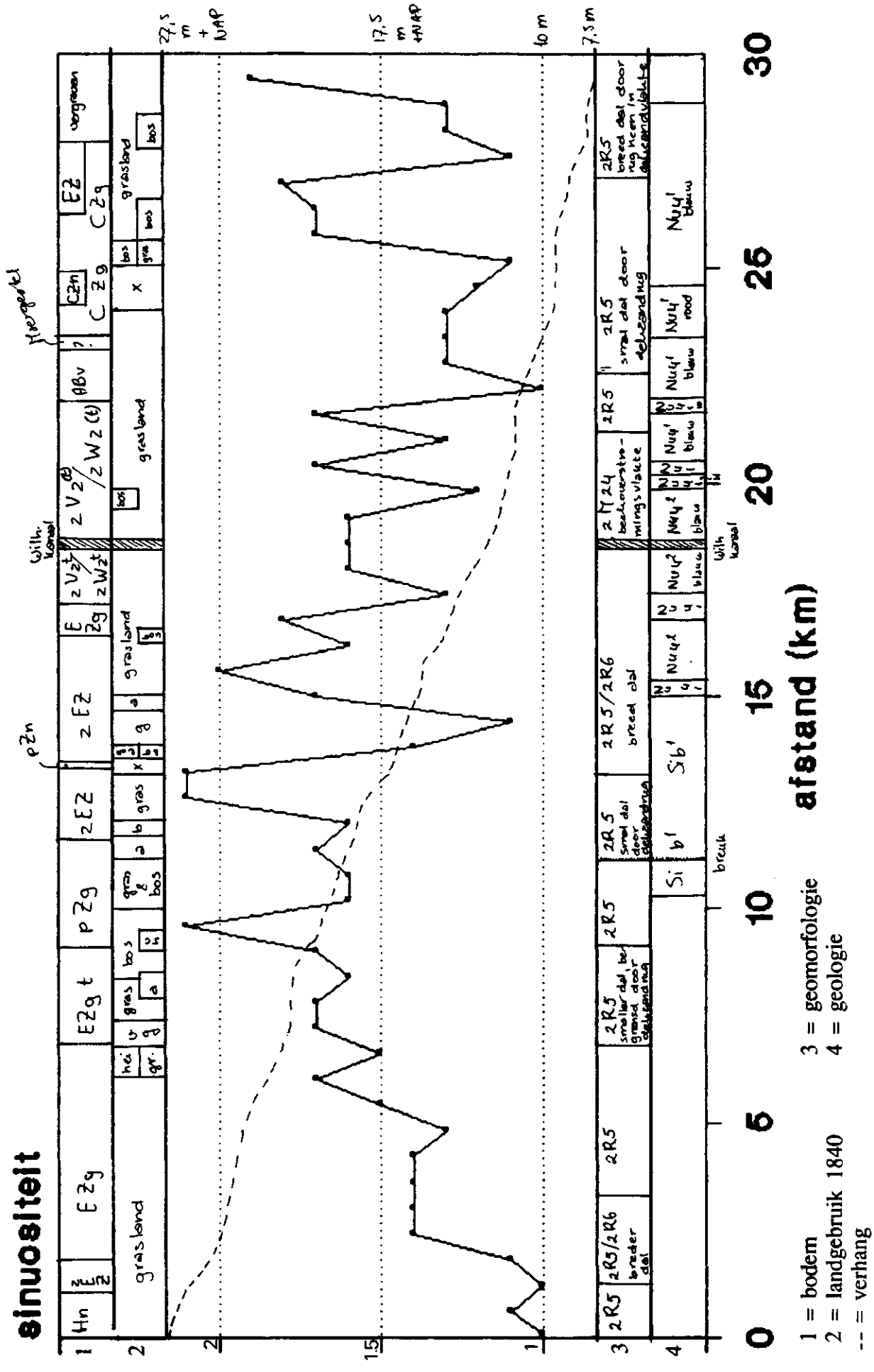
Ad 1: Meandergordelbreedte en meanderlengte
Werkwijze: De meandergordelbreedte en de meanderlengte van het traject van de Reusel in het landgoed "De Utrecht" zijn vastgesteld met behulp van de waterleidingkaart 1:2.500 (1965).
De meandergordelbreedte is een maat voor de ruimte die een beek nodig heeft om te meanderen. De meandergordelbreedte wordt bepaald door de afstand tussen de buitenbochten te meten (zie fig. 5.2).
Resultaten: De meandergordelbreedte van de Reusel is sterk wisselend, en varieert van 22 m tot 122,50 m. Het meest komen waarden voor tussen de 30 en 60 m. In het traject is geen toename of afname in de waarde van de meandergordelbreedte waarneembaar in stroomafwaartse richting.
De meanderlengte is alleen te bepalen in trajecten die regelmatig meanderen. Hier bereikt de meanderlengte van de Reusel waarden tussen 30 en 50 m.



Figuur 5.2 Meandergordelbreedte.

Conclusie: De Reusel heeft van nature een onregelmatig meanderend karakter. Trajecten met regelmatige meanders worden afgewisseld door trajecten met onregelmatige meandering. De meandergordelbreedte en de meanderlengte zijn dan ook sterk variabel. Uiteraard is voor grote meanders is meer ruimte nodig dan voor kleine meanders.

Ad 2: Relatie sinuositeit - landschappelijke factoren
Werkwijze: Om vast te stellen of de sinuositeit afhankelijk is van verschillen in hoogte, geologie, geomorfologie, bodemgesteldheid en landgebruik rond 1840, is voor de gehele Reusel de sinuositeit van de natuurlijke loop (in 1840) vergeleken met bovenstaande landschappelijke factoren. Het hoogteverschil is weergegeven met behulp van de verhanglijn. De gegevens van de overige landschappelijke factoren zijn afkomstig van kaarten (1:50.000), en zijn in balkjes uitgezet boven de sinuositeitsgrafiek (zie fig. 5.3).
Resultaten: Er blijkt een relatie aanwezig te zijn tussen de sinuositeit en het verhang in de bovenloop van de Reusel. In de bovenloop, waar het verhang steil is, is de sinuositeit relatief laag.



Figuur 5.3 Relatie tussen sinuositeit van de Reusel en landschappelijke factoren.

De geologie heeft mogelijk invloed op de sinuositeit. De verhanglijn maakt een knik ongeveer op de plaats waar de Breuk van Vessem aanwezig is. Op het Kempisch Hoog (bovenloop van de Reusel) neemt de sinuositeit in stroomafwaartse richting toe. Ten noorden van de breuk in de Roerdalslenk (de middenloop van de Reusel) schommelt de sinuositeit sterk.
Er is geen verschil in sinuositeit waarneembaar tussen beektrajecten die in dekzandruggen liggen of in overstromingsvlakten. De pieken in de sinuositeit zijn evenmin te verklaren door verschillen in bodemgesteldheid of in landgebruik rond 1840.
Hetzelfde onderzoek is uitgevoerd voor de Beerze. Bij de Beerze is het verband tussen het verhang en de sinuositeit sterker dan voor de Reusel: in de bovenloop is de sinuositeit gering, in de midden- en benedenloop wordt de verhanglijn vlakker en neemt de sinuositeit toe. Ook de overgang in de sinuositeit van de Beerze lijkt bepaald te worden door de Breuk van Vessem. Ter hoogte van de Breuk van Vessem komt een knik in de verhanglijn van de Beerze voor (zie fig. 3.5). Deze knik kan echter ook veroorzaakt zijn door de aanwezigheid van de Midden Brabantse Dekzandrug.
Ook bij de Beerze is geen verschil waarneembaar in sinuositeit tussen beektrajecten die in dekzandruggen liggen of in overstromingsvlakten. Evenmin is sprake van invloed van de andere landschappelijke factoren.
Conclusie: Het hoogteverschil is de meest bepalende onderzochte landschappelijke factor voor de sinuositeit. Geologie lijkt invloed te hebben op de sinuositeit, met name door de aanwezigheid van de Breuk van Vessem. Verschillen in geomorfologie, bodemgesteldheid en landgebruik leiden in dit gebied niet tot aantoonbare verschillen in gedrag van beeklopen op grote schaal. De verschillen tussen de onderscheiden eenheden binnen de landschappelijke factoren zijn blijkbaar te klein of het oppervlak waar ze voorkomen te gering, om te leiden tot aantoonbare verschillen in meandering. Daarnaast hebben de beken zich in de loop van de tijd aangepast aan deze verschillen. Hiervan is bijvoorbeeld sprake op plaatsen waar dekzandruggen voorkomen. De vorming van dekzandruggen heeft invloed gehad op het gedrag van beken en de mate van meandering, maar de beken hebben zich in de loop van de tijd aangepast aan deze situatie.
Als kanttekening dient hierbij te worden geplaatst dat gebruik is gemaakt van kleinschalige kaarten (1:50.000). Bij gebruik van meer gedetailleerde kaarten, zowel voor de berekening van de sinuositeit, als voor de informatie over landschappelijke factoren, is het wellicht mogelijk een grotere invloed van de landschappelijke factoren op de sinuositeit aan te tonen.
De sinuositeit is berekend over trajecten van 600 m. Deze afstand is willekeurig gekozen, maar geeft het beeld dat blijkt uit de topografische kaart van de mate van meandering en de verschillen die daarin bestaan
goed weer.

Ad 3: <u>Erosie / sedimentatie op grote schaal</u>
Werkwijze: Veranderingen in erosie en sedimentatie op grote schaal in de Reusel in het landgoed "De Utrecht" zijn bestudeerd door middel van luchtfoto- en kaartanalyse, gevolgd door controle in het veld.
Hiervoor zijn luchtfoto's gebruikt uit 1936 en 1989 van de Topografische Dienst (schaal 1:18.000), de topografische kaart van 1900 (schaal 1:25.000) en de waterleidingkaart van het Waterschap de Dommel uit 1965 (schaal 1:2.500).
Resultaten: De huidige beekloop is vergelijkbaar met de beekloop die op de

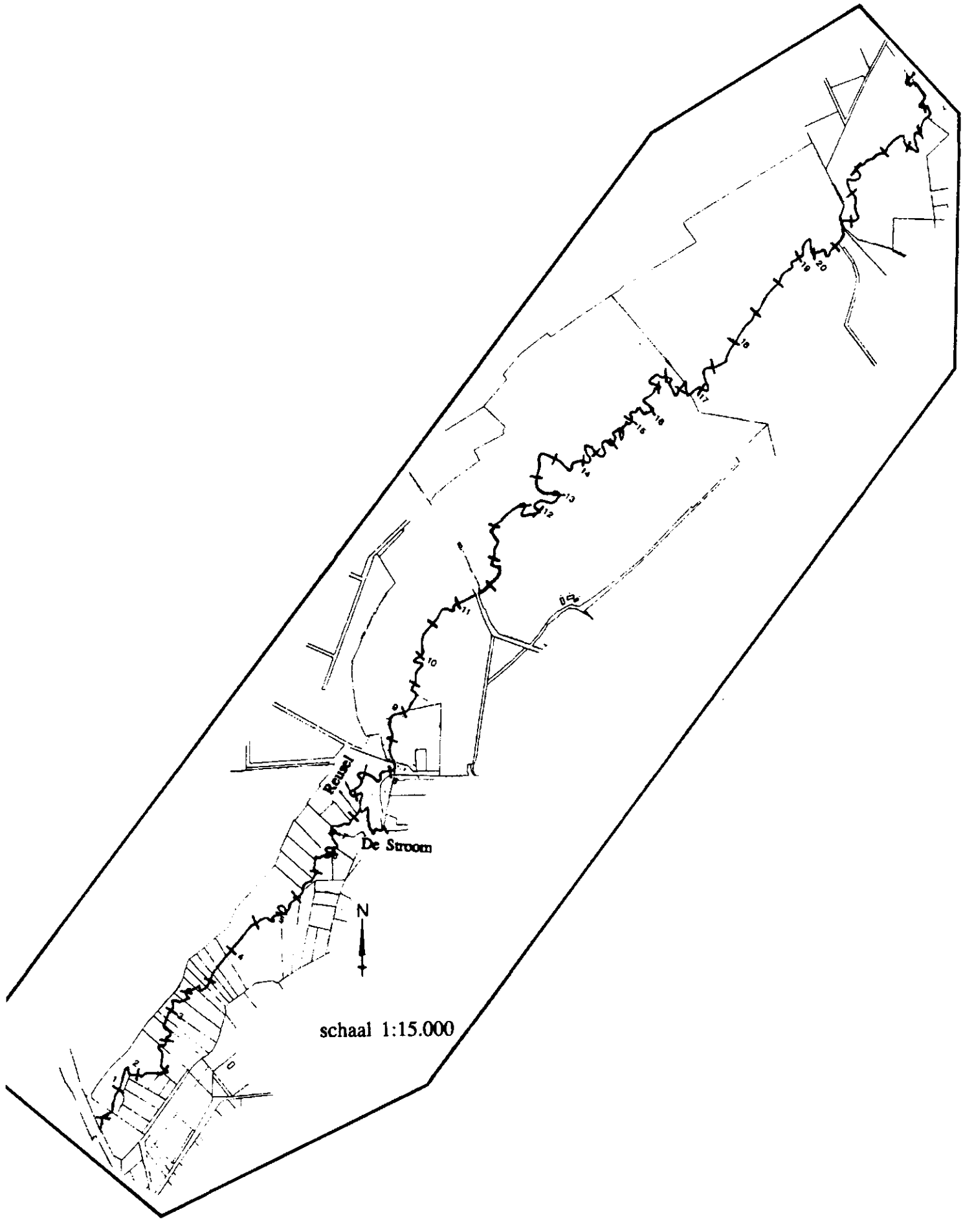
waterleidingkaart van 1965 is weergegeven. De beekloop heeft zich niet verlegd en er hebben geen natuurlijke bochtafsnijdingen plaatsgevonden. Bij vergelijking van de luchtfoto's van 1936 en 1989 zijn evenmin veranderingen in de beekloop waar te nemen.

Bij vergelijking van de topografische kaart van 1900 en de waterleidingkaart, zijn kleine verschillen in de beekloop te constateren. Twee meanderbochten zijn afgesneden. Deze afgesneden bochten zijn in het veld waarneembaar. Een 200 m lang traject ten noorden van Wellenseind, meandert in 1900 en heeft in 1965 een recht verloop. Dit traject ligt op de plaats waar rabatten voorkomen, en is waarschijnlijk vergraven ten tijde van de aanleg van de rabatten.
Conclusie: Op grote schaal treedt weinig erosie en sedimentatie op. In de periode 1900 - 1990 heeft de beek haar loop nauwelijks gewijzigd. Dit komt overeen met resultaten van een onderzoek dat Kuenen in 1944 aan een aantal Drentse beken heeft verricht. Kuenen constateerde dat in een periode van 50 jaar geen beekverleggingen waren opgetreden.
Het is mogelijk dat kleine beeksystemen, zoals die in Brabant en Drenthe voorkomen, in hun oorspronkelijke situatie niet bijzonder actief meanderden. Gesteld kan worden, dat ze een stabiel systeem vormen.
Nauwkeuriger uitspraken over het optreden van erosie en sedimentatie op grote schaal zouden gedaan kunnen worden, wanneer meer gedetailleerdere kaarten (bijvoorbeeld kadasterkaarten 1:2.500) van verschillende ouderdom met elkaar vergeleken worden.

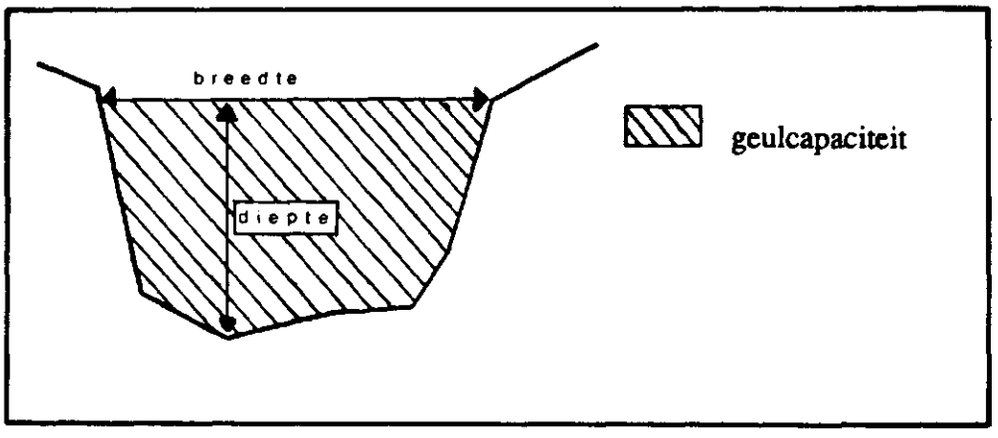
5.3 Dwarsprofiel van de beek

In hoofdstuk 2 is een aantal geomorfologische relaties beschreven, zoals de toename van de breedte en de diepte van de beek naarmate het stroomgebied dat de beek voedt groter wordt c.q. het debiet toeneemt. Bij het veldonderzoek is bestudeerd of deze relatie ook in het Reuseltraject is vast te stellen.
Verder zijn voor de vorm van het dwarsprofiel van de beek van belang de mate van menselijke invloed, erosie en sedimentatie op kleine schaal, het bedding- en oevermateriaal en de oevervegetatie.

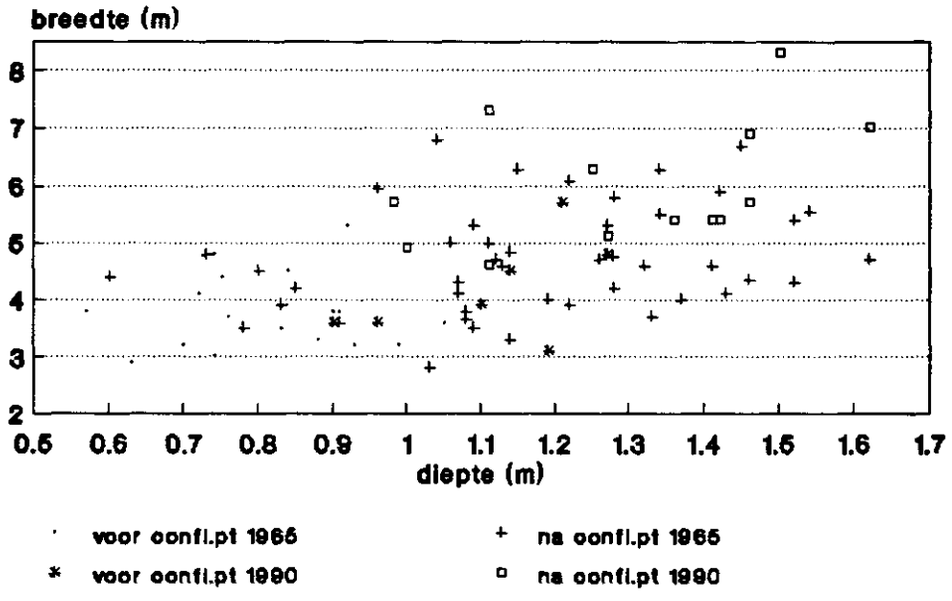
Ad 1: <u>Relatie breedte, diepte, geulcapaciteit - afstand langs de beek</u>
Werkwijze: In 1965 heeft het Waterschap de Dommel in het traject om de 100 meter dwarsprofielen opgemeten (zie figuur 5.4). Een aantal van deze dwarsprofielen is opnieuw opgemeten, met behulp van een waterpas-instrument.
De breedte en de diepte van de beek zijn uit de dwarsprofielen bepaald. De breedte is gemeten bij de waterstand waarbij de beek buiten haar oevers gaat treden. De diepte is ook bepaald bij deze waterstand, waarbij het diepste punt van de geul gemeten is. De geulcapaciteit is bepaald door het oppervlak te meten tussen de omtrek van de bedding en de breedte (zie fig. 5.5).
De relatie tussen de afstand langs de beek en de breedte, de diepte en de geulcapaciteit is bestudeerd voor de situatie van 1965 en van 1990. Hierbij is ook gebruik gemaakt van gegevens van zeven dwarsprofielen uit 1965, die anno 1990 niet opnieuw te meten zijn, omdat de beek op de plaatsen waar deze dwarsprofielen zijn opgemeten, genormaliseerd is.
Resultaten: In figuur 5.6 zijn de breedte en de diepte tegen elkaar uitgezet. De breedte



Figuur 5.4 Ligging van de dwarsprofielen (bron: Waterschap De Dommel).



Figuur 5.5 Bepaling van breedte, diepte en geulcapaciteit.



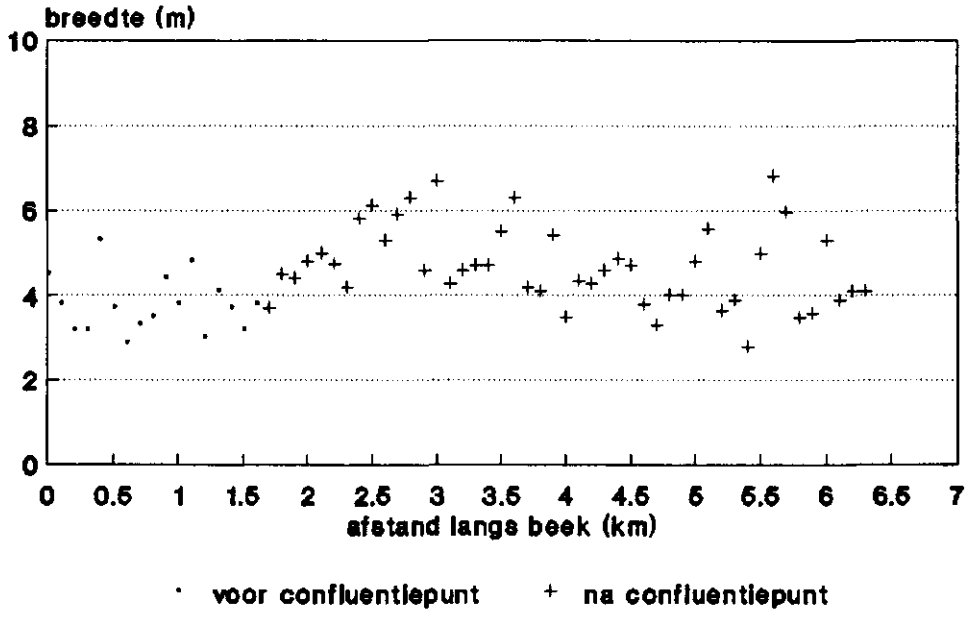
Figuur 5.6 Relatie tussen breedte en diepte.

varieert tussen 2.80 m en 6.80 m, de diepte tussen 0,57 m en 1.62 m. Na 1,6 km vloeit De Stroom in de Reusel uit. De hogere waarden van de breedte en de diepte komen voor in het traject na het confluentiepunt met De Stroom.
In figuur 5.7a en 5.7b zijn de breedte en diepte van de beek uitgezet tegen de afstand langs de beek in 1965. In figuur 5.7c en 5.7d is hetzelfde gedaan voor 1990. In de literatuur (zie 2.1) wordt in plaats van de afstand langs de beek, gebruik gemaakt van debietgegevens of van de grootte van het stroomgebied. Van de Reusel in "De Utrecht" zijn echter geen debietgegevens bekend en de grootte van het stroomgebied is moeilijk te bepalen. Daarom is gekozen om relaties stroomafwaarts weer te geven aan de hand van de afstand langs de beek.
Met behulp van regeressieanalyse is berekend of een significant verband aanwezig is in het verloop van de breedte, de diepte en de geulcapaciteit met de afstand langs de beek. Het gebruik van logaritmische waarden bij de regressieanalyse strekt tot aanbeveling. Hieronder zijn de verklarende varianties van de regressieanalyses weergegeven:

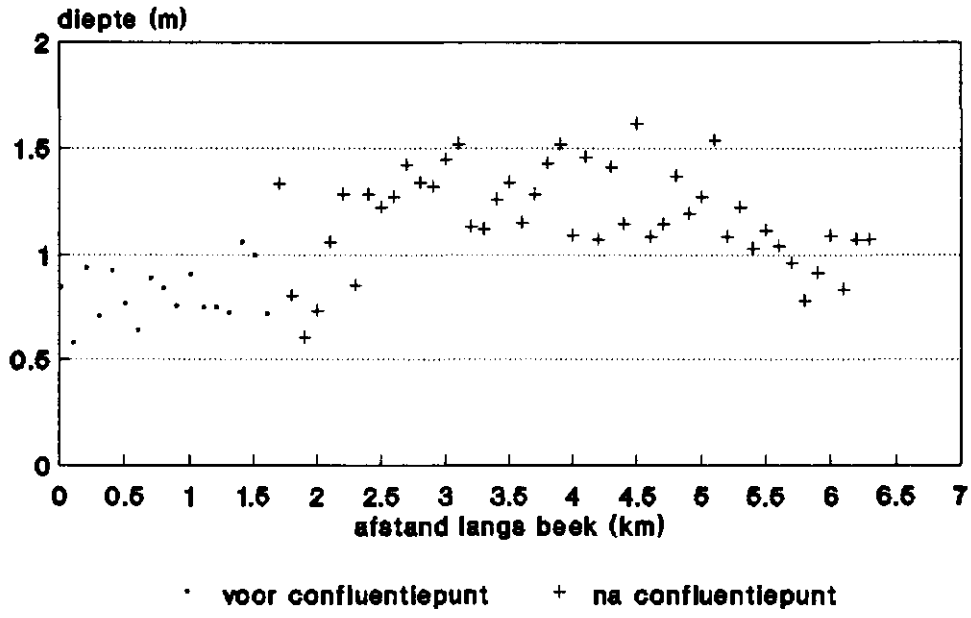
Variabele	Verklarende variantie
LOGbreedte 65	8,5
LOGbreedte 90	54,7
LOGdiepte 65	33,8
LOGdiepte 90	18,8
LOGcapaciteit 65	31,6
LOGcapaciteit 90	39,3

LOG = logaritmische waarde

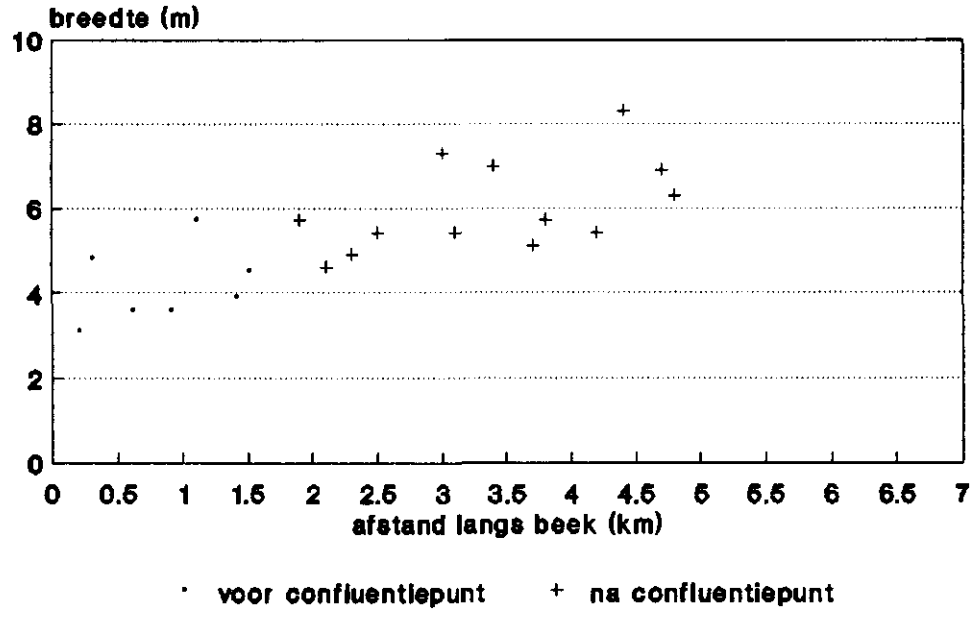
De verklarende varianties zijn bij deze regressieanalyses te klein om van een significant verband te spreken. Er is dus geen duidelijke trend aanwezig in het verloop van de breedte, diepte en de geulcapaciteit in stroomafwaartse richting.
In de grafieken van figuur 5.7 lijkt na het confluentiepunt met De Stroom, een toename in de breedte en diepte op te treden. Om de eventuele invloed hiervan te elimineren, is het traject gesplitst in twee deeltrajecten: een traject vóór samenvloeiing met De Stroom, en een traject ná samenvloeiing met De Stroom. Van deze afzonderlijke trajecten zijn opnieuw regressies berekend van de bovenstaande relaties. Ook hier blijken geen significante verbanden aanwezig te zijn. De waarden van de verklarende varianties zijn allen kleiner dan 45.
Een nadere onderverdeling is gemaakt tussen metingen in rechte beektrajecten en metingen in bochten, omdat het op het eerste gezicht lijkt of hierin wél verschillen te onderkennen zijn. Dit resulteert echter evenmin in significante verbanden.
Tenslotte is onderzocht of de gemiddelde waarden van de breedte, diepte en geulcapaciteit in het traject vóór en ná De Stroom significant van elkaar verschillen. Het verschil blijkt in deze drie gevallen significant te zijn (significantieniveau van 95%), zowel voor de situatie van 1965 als voor de situatie van 1990. In de grafiek van figuur 5.7 (zie boven) lijkt na de aanvankelijke toename in de breedte en diepte na het confluentiepunt, een afname op te treden. Het traject waarvan gegevens beschikbaar zijn is echter te kort, om deze tendens te kunnen extrapoleren.



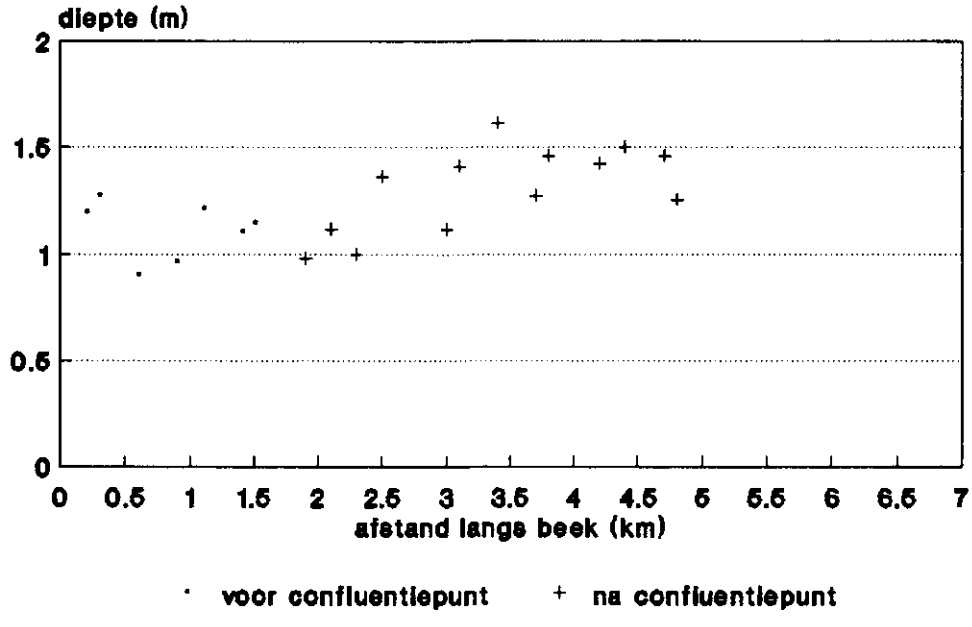
Figuur 5.7 a Relatie tussen breedte en afstand langs de beek in 1965.



Figuur 5.7 b Relatie tussen diepte en afstand langs de beek in 1965.



Figuur 5.7 c Relatie tussen breedte en afstand langs de beek in 1990.



Figuur 5.7 d Relatie tussen diepte en afstand langs de beek in 1990.

Conclusie: De breedte en diepte van de Reusel in "De Utrecht" variëren sterk. Er blijkt in dit traject geen aantoonbare relatie aanwezig te zijn tussen de breedte, de diepte, de geulcapaciteit en de afstand langs de beek. Het is mogelijk dat het traject te kort is om deze relaties vast te kunnen stellen, of dat het debiet te weinig toeneemt (bijvoorbeeld door eventuele wegzijging) om tot een vergroting van de breedte en de diepte te leiden. De in de literatuur beschreven beken in Engeland en Wales zijn geen laaglandbeken maar bergbeken. Het verhang van deze beken is groter, waardoor de streampower groter is. Verschillen in beddingmorfologie stroomafwaarts zullen hierdoor over een korter traject eerder optreden, waardoor de genoemde relatie over kortere afstand wel aantoonbaar is. Het blijkt dat een grote verandering van het debiet van de Reusel wel invloed heeft op de beekmorfologie. Na het confluentiepunt met De Stroom nemen de breedte, diepte en de geulcapaciteit toe. Het is echter niet zeker of deze toename zich verder stroomafwaarts doorzet.

Ad 2: Menselijke invloed op het beektraject
Werkwijze: Veldwaarnemingen.
Resultaten: De direct waarneembare menselijke invloed op de morfologie van het beektraject is niet groot. Op enkele plaatsen zijn bruggetjes gemaakt en beschoeiingen aangelegd. Bij de aanleg van de rabatten is de beek waarschijnlijk op sommige plaatsen enigzins vergraven (zie 5.1).
Voor zover bekend vinden geen ingrijpende onderhoudswerkzaamheden plaats aan de beek. Jaarlijks wordt bladeren en takken uit de beek verwijderd, om verstoppingen te voorkomen.
Conclusie: Er is sprake van een natuurlijk beektraject, waarbij het dwarsprofiel van de beek nauwelijks door menselijke ingrepen wordt beïnvloed.

Ad 3: Vergelijking dwarsprofiel 1965 - 1990
Werkwijze: Vergelijking dwarsprofielen.
Resultaten: Bij vergelijking van de dwarsprofielen van 1965 en 1990 valt op dat bij 13 van de 16 meetlocaties, de geulcapaciteit vergroot is. In de meeste gevallen wordt dit veroorzaakt door zowel een toename van de breedte, als een toename van de diepte ten opzichte van 1965. De toename van de breedte is hierbij groter dan die van de diepte. Bij meetpunten die in bochten liggen, is de toename van de geulcapaciteit gemiddeld groter dan bij meetpunten die in rechte trajecten liggen.
Conclusie: De oorzaak van de vergroting van de geulcapaciteit in de periode 1965 - 1990 is niet bekend. Het is mogelijk dat door ingrepen in het bovenstroomse gebied in het kader van de ruilverkaveling Mierde (uitgevoerd tussen 1970 en 1974) de peak flows groter zijn geworden, waardoor de geulcapaciteit is toegenomen. Brookes (1987a) beschrijft voor een aantal rivieren in Engeland en Wales vergelijkbare veranderingen in de geulcapaciteit na normalisatie van bovenstroomse trajecten.
Als kanttekening bij bovenstaande dient te worden opgemerkt dat het niet mogelijk is gebleken om op exact dezelfde locaties te meten als in 1965. Op de waterleidingkaart 1:2.500 ontbreekt topografische informatie, die als referentiekader kan dienen om de locaties van 1965 terug te vinden. Hierdoor is het niet zeker of de vergelijking van het dwarsprofiel in 1965 en in 1990 nauwkeurig is.

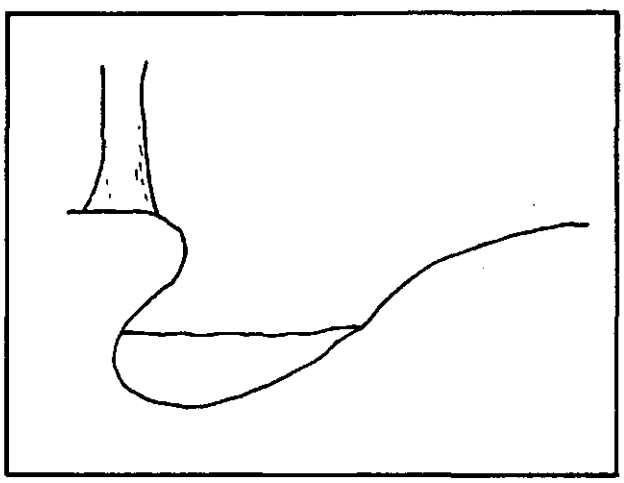
Ad 4: Erosie / sedimentatie op kleine schaal
Werkwijze: Veldwaarnemingen, vergelijking dwarsprofielen.
Resultaten: In het Reuseltraject treden op kleine schaal actieve erosie- en sedimentatieprocessen op. Dit blijkt uit de veranderingen die in het dwarsprofiel zijn opgetreden in de periode 1965-1990. Daarnaast is in het veld waarneembaar dat in de binnenbochten zandbanken ontstaan en in de buitenbochten ondergraving van de oevers plaatsvindt. Bomen en takken die in de beekbedding zijn gevallen, kunnen leiden tot kleinschalige verleggingen van de stroomdraad. In de luwte van deze obstakels treedt sedimentatie op. Zandribbels worden bij lage afvoeren gevormd op de plaatsen waar riffles voorkomen (zie afbeelding 3).

Afbeelding 3 Zandribbels op een riffle.

Conclusie: Op kleine schaal vinden actieve erosie - en sedimentatieprocessen plaats. De waarnemingen die verricht zijn aan de Reusel, komen op dit gebied overeen met het algemene beeld van een meanderende beek: erosie in de buitenbocht, sedimentatie in de binnenbocht, geen uniforme beddingmorfologie.

Ad 5: Bedding- en oevermateriaal, oevervegetatie
Werkwijze: Veldwaarnemingen.

Resultaten: De Reusel snijdt op sommige plaatsen de Formatie van Sterksel aan. Grind en grof zand uit deze formatie worden aangetroffen in de oevers en in de bedding. Daarnaast bestaat het bedding- en oevermateriaal uit matig grof tot fijn zand. In de oevers komen plaatselijk leemlagen en veenlagen voor.
De oevers zijn in het algemeen begroeid met bomen. Ondergraving van de oevers in de buitenbochten vindt voornamelijk plaats onder het niveau van de wortelzone, waardoor een "holle" oever ontstaat (zie fig. 5.8). Op plaatsen waar het vee tot aan de beek kan komen (graslandpercelen in het noordelijke deel van het traject), is de oever vertrapt en vindt erosie plaats.
Conclusie: De verschillen in het bedding- en oevermateriaal leiden niet tot grote verschillen in erosie. De vegetatie blijkt een belangrijke rol te spelen bij het optreden van oevererosie. De oevers van de beek zijn door de aanwezigheid van boomwortels vrij stabiel.



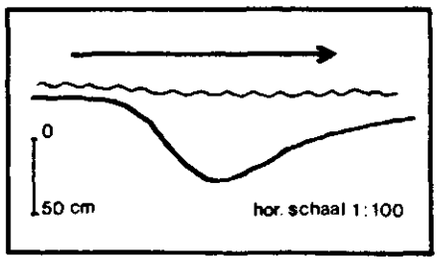
Figuur 5.8 Ondergraving van de oever.

5.4 De micromorfologie van de beekbedding

In 2.2 is de beddingmorfologie van een meanderende beek beschreven. Bij het veldonderzoek is bekeken in hoeverre karakteristieke elementen van de bedding van een meanderende beek, zoals pools en riffles, in de Reusel voorkomen.

Pools en riffles
Werkwijze: Veldwaarnemingen en metingen.
Resultaten: In de beekbedding treedt veel afwisseling op tussen diepe en ondiepe gedeelten. Pools komen voor in de buitenbochten, riffles in de rechte trajecten tussen de bochten in. Het beektalud is op plaatsen waar pools voorkomen steil. De diepte van de pools varieert van 20 - 90 cm, gemeten ten opzichte van de hoogte van de bedding in de binnenbocht. De diepste pools komen voor in brede bochten en in scherpe bochten. De dwarsdoorsnede van de pools is asymmetrisch en komt overeen met de asymmetrische vorm van een bocht. De doorsnede in lengterichting is eveneens vaak asymmetrisch,

waarbij een scherpe overgang plaatsvindt van het relatief vlakke deel van de bedding naar de pool (zie fig. 5.9).



→ stromingsrichting van het water

Figuur 5.9 Doorsnede van pool in lengterichting.

De relatie tussen de breedte van de beek in de rechte trajecten en de afstand tussen de pools, is alleen te bepalen in regelmatig meanderende trajecten. De afstand tussen de pools is in het Reuseltraject 9 - 10 keer de waarde van de breedte van de beek.
Conclusie: De verspreiding van pools en riffles in de bedding van de Reusel komt overeen met plaatsen waar volgens de literatuur ook pools en riffles voorkomen. Bovendien blijken de pools sterk asymmetrisch van vorm te zijn.
Voor de Reusel is tevens een relatie vastgesteld tussen de breedte van de beek in rechte trajecten en de afstand tussen de pools.

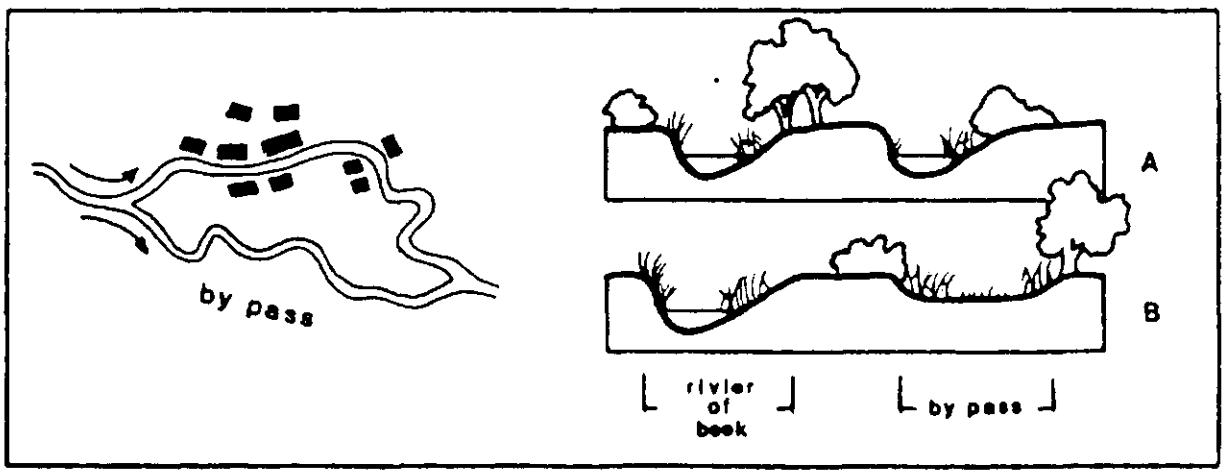
6 Beekherstel

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de mogelijkheden voor herstel van genormaliseerde beken. In 6.1 wordt een samenvatting gegeven van ideeën hierover uit literatuur. In 6.2 wordt aangegeven hoe beekherstel kan worden uitgevoerd op grond van geomorfologisch onderzoek. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de resultaten en conclusies uit hoofdstuk 5. In 6.3 worden enige kanttekeningen bij beekherstel geplaatst.

6.1 Beekherstel in het algemeen

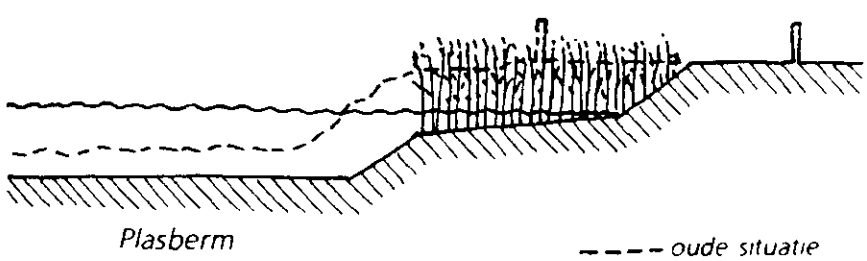
Onder beekherstel wordt verstaan het herstel en de ontwikkeling van het natuurlijk karakter van een beek, op zodanige wijze, dat in deze beek nieuwe natuurwaarden kunnen ontstaan. In de plannen die tot nu toe ontwikkeld zijn om beken een meer natuurlijk aanzien te geven, wordt de nadruk gelegd op de ecologische waarden van een beek.
Deze ecologische waarden kunnen ontwikkeld worden in een beek door het nemen van inrichtings- en/of beheersmaatregelen. Inrichtingsmaatregelen hebben als doel het creëren van een zodanige uitgangssituatie, dat de gewenste spontane ontwikkelingen mogelijk worden. Het gaat hierbij veelal om technische ingrepen, zoals bijvoorbeeld de aanleg van vistrappen of oeververstevigingen. Beheersmaatregelen zijn gericht op een zodanig beheer, dat de gewenste ontwikkelingen mogelijk worden, zonder dat er sprake is van inrichtingsmaatregelen. Een voorbeeld hiervan is het voeren van een extensief oeverbeheer waardoor een vrije meandering gestimuleerd wordt (Hendrix en Schepers, 1990).

In 1984 is een handboek verschenen met betrekking tot beheer van beken van Lewis & Williams. Hierin worden structurele en biotechnologische opties gegeven, die gebruikt kunnen worden bij het normaliseren van een beek met behoud van geomorfologische waarden, of bij het opnieuw ontwikkelen van habitats in beken of rivieren. In Nederland is een aantal plannen ontwikkeld voor beekherstel, onder andere door Asperdt en Endedijk (1989) en Kuijper et al. (1989).
Mogelijke inrichtingsmaatregelen ten behoeve van beekherstel en natuurontwikkeling zijn:
-Het graven van een meanderende beekloop (Lewis en Williams, 1984).
-Het aankoppelen van verlaten beeklopen (Lewis en Williams, 1984; Hendrix en Schepers, 1990; Kuijper et al., 1989). Deze beeklopen kunnen dienst doen als extra geul, of als nieuwe watervoerende geul.
-Herstel van meandering binnen bepaalde grenzen, bijvoorbeeld een bevroren meandering. De beek kan meanderen binnen een bepaalde zone, die is begrensd door oeververdediging (bijvoorbeeld een dijkje) (Hendrix en Schepers, 1990).
-Het versmallen van de hoofdbeek, zodat deze weer een natuurlijk karakter krijgt. De piekafvoeren die hierdoor ontstaan en inundaties kunnen veroorzaken, kunnen worden afgeleid door de aanleg van "floodbanks" (dijkjes), "floodstorage-areas" of "by-passes" (zie fig. 6.1) (Lewis en Williams, 1984).
-Het aanleggen van plasbermen. Dit zijn ondiepe oevers, waarop een specifieke vegetatie kan ontstaan, door de afwisseling in waterstandshoogte. Zie figuur 6.2 (Lewis & Williams, 1984; Logemann & Schoorl, 1988; De Kwaadsteniet, 1990; Provincie Noord-Brabant, 1990).



A = permanent watervoerende by-pass. B = bij hoge afvoeren watervoerende by-pass.

Figuur 6.1. By-pass, (Hendrix en Schepers, 1990).



Figuur 6.2. Plasberm, (De Kwaadsteniet, 1990).

-Het aanleggen van ondiepe inhammetjes in de oevers. Dit is een variant op de plasbermen. Ook hier gaat het om een ondiepe oever waar een specifieke vegetatie kan ontstaan. (Lewis en Willliams, 1984).

-Het aanbrengen van oeververstevigingmet behulp van (on)natuurlijke materialen (Lewis en Williams, 1984). Dit kan bijvoorbeeld met behulp van elzen en essen. Zwarte elzen hebben een verticaal wortelstelsel en essen een horizontaal. Deze vormen tezamen een hecht vlechtwerk, waardoor oevererosie kan worden tegengegaan (Hendrix en Schepers, 1990).

-Het opnieuw aanbrengen van pools en riffles in een beek (Lewis en Williams, 1984).

-Het stimuleren van de ontwikkeling van pools en riffles door de aanleg van beektaluds met een bepaalde helling (Keller, 1977). Een flauwe helling initieert de vorming van

riffles en zandbanken in de binnenbocht, een steile helling pools.
-Het kunstmatig creëren van verschillen in stroomsnelheid, met behulp van driehoekskribben, dammen, stenen, etc. (Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 1990b).

De aardkundige (geomorfologische) waarde van een beek speelt in veel van de genoemde literatuur een ondergeschikte rol. Het is echter zo, dat een genormaliseerde beek door de vorm te veranderen een meer natuurlijk aanzien krijgt. In deze herstelde meanderende loop kan dan door de afwisseling in beddingprofiel, stroomsnelheid en erosie- en sedimentatie-processen een variatie aan habitats ontstaan, waardoor er diverse typen natuur tot ontwikkeling kunnen komen in en langs de beek.

6.2 Beekherstel op geomorfologische grondslag

In Engeland is veel onderzoek gedaan naar de toepassing van geomorfologisch onderzoek bij normalisatie van beken. Bij deze onderzoeken zijn relaties aangetoond, die gebruikt worden bij beekherstel op geomorfologische grondslag. Keller (1976) bijvoorbeeld, geeft aan hoe milieu-aspecten, geomorfologische aspecten en constructie-aspecten bij normalisatie gecombineerd kunnen worden, om te zorgen dat nadelige gevolgen van antropogene beïnvloeding van beken verminderd kunnen worden. Brookes & Gregory (1988) geven aan, dat geomorfologen de invloed van normalisatie op de beekbedding herkennen en interpreteren en alternatieve afmetingen van het beekprofiel kunnen formuleren bij normalisatie, om zo de te normaliseren beek een natuurlijk karakter te laten behouden. Leeks et al. (1988) stellen, dat ontwerpers van normalisatietrajecten geomorfologen nodig hebben om te weten welke processen zullen optreden in de beek na normalisatie en om over alternatieven te beschikken voor baggeren en versteviging van de oevers met onnatuurlijke materialen.
Bij het herstel van een genormaliseerde beek kan rekening worden gehouden met variatie in de grootte van de geomorfologische parameters en met de relaties die tussen deze parameters bestaan. Op deze wijze kan het beste aangesloten worden bij het oorspronkelijke karakter van de beek. In Nederland is voor zover bekend tot nu toe geen aandacht besteed aan geomorfologisch onderzoek ten behoeve van beekherstel. In Denemarken is geomorfologisch onderzoek gedaan ten behoeve van het herstel van een genormaliseerde beek (Brookes, 1987b). Om de morfologische en hydrologische diversiteit van beken te herstellen is gebruik gemaakt van de oorspronkelijke sinuositeit, dwarsprofielen, verhang en substraat van de beek.

In hoofdstuk 5 zijn conclusies gegeven van het geomorfologische onderzoek van de Reusel. Deze conclusies kunnen vertaald worden naar aanbevelingen voor beekherstel op geomorfologische grondslag. De aanbevelingen hebben zowel betrekking op beekherstel in het algemeen, als op beekherstel van de Reusel, en zullen hieronder puntsgewijs behandeld worden.

* Uit de casestudie is gebleken dat actieve meandering niet optreedt of zeer traag optreedt. Bij het huidige verhang en de huidige afvoeren en sedimentlast is er sprake van een stabiele situatie. In een genormaliseerde beekloop is het verhang toegenomen (zie

fig. 4.7), waardoor de stabiliteit van de beek is afgenomen. Deze stabiliteit wordt kunstmatig in stand gehouden (zie ook 2.3) door mechanisch onderhoud. Wanneer gekozen wordt voor het graven van een beekloop in het onderzoeksgebied, kan aangesloten worden bij het verhang en de afmetingen die natuurlijk meanderende trajecten hebben, omdat gebleken is, dat dan de stabiliteit van de beekloop gewaarborgd is.

* In een natuurlijk meanderende beek treedt variatie op in de sinuositeit in stroomafwaartse richting. In de bovenloop is de sinuositeit klein, in de benedenloop groter. Gaat het om herstel van het gehele traject van een beek (bovenloop-middenloop-benedenloop), dan behoort deze variatie in sinuositeit als uitgangspunt te dienen. Vindt beekherstel bijvoorbeeld alleen plaats in de bovenloop van de beek, dan kan een beekloop worden aangelegd met weinig meanders.

* In het stroomgebied van de Reusel blijken landschappelijke factoren als geomorfologie, bodemgesteldheid en landgebruik op grote schaal geen invloed te hebben op de mate van meandering. Bij beekherstel van de Reusel hoeft dan ook geen variatie aangebracht te worden in meandering tussen beektrajecten die in verschillende geomorfologische of bodemkundige eenheden liggen. Er is echter wel een verschil aantoonbaar tussen de sinuositeit ten noorden en ten zuiden van de Breuk van Vessem.

* De Reusel heeft van nature een onregelmatig meanderend karakter. Om aan te sluiten bij het natuurlijke karakter, moet dus een onregelmatig meanderende loop worden gegraven. Voor een traject in de middenloop kan gedacht worden aan waarden voor de sinuositeit tussen de 1,2 en 2,2. Er bestaat een relatie tussen helling en de stabiliteit van een beeksysteem. Naarmate de helling groter wordt, wordt de stabiliteit van het beeksysteem kleiner. De stabiliteit van een beek kan bevorderd worden door het creëren van een meanderende loop, waardoor het verhang verkleind wordt.

* Langs de Reusel zijn ten noorden van Baarschot enkele kleine, oude lopen aanwezig, die reeds bestonden voor de normalisatie. Deze oude lopen kunnen bij beekherstel gereactiveerd worden. Het gaat echter om een kort traject. Langs het overige genormaliseerde deel van de Reusel, zijn geen oude lopen waarneembaar in het veld.

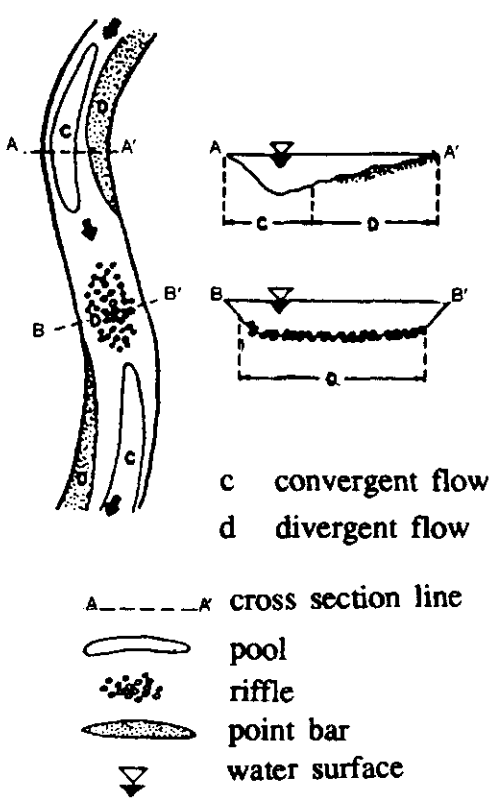
* In het onderzochte Reuseltraject (5,6 km) is geen significante trend aanwezig in het verloop van de breedte, diepte en geulcapaciteit stroomafwaarts. In een traject van vergelijkbare lengte, dat eveneens in de middenloop ligt, hoeft daarom bij beekherstel geen rekening te worden gehouden met een dergelijke trend.
In een langer natuurlijk beektraject (bovenloop-middenloop, middenloop-benedenloop), is het echter wel mogelijk dat een relatie tussen de breedte, diepte, geulcapaciteit en de afstand langs de beek bestaat. De Reusel is bijvoorbeeld breder en dieper in "De Hondsberg", een natuurgebied dat 15 km stroomafwaarts in de benedenloop van de Reusel ligt, dan in "De Utrecht".

* De geulcapaciteit van de Reusel in "De Utrecht" neemt toe na samenvloeiing met De Stroom. Debietsveranderingen zijn van invloed op de breedte en diepte van de beek. Bij beekherstel van een genormaliseerd traject moet aandacht worden besteed aan veranderingen die in het debiet kunnen optreden door bijvoorbeeld samenvloeiing met een

zijbeek. Het geulprofiel zal hieraan moeten worden aangepast.

* Breedte en diepte variëren sterk in het Reuseltraject in "De Utrecht". Bij beekherstel van een stroomopwaarts of stroomafwaarts aansluitend genormaliseerd traject kan variatie worden aangebracht in de breedte en de diepte. Te denken valt hierbij aan breedtes tussen 2.8 m en 6.8 m en dieptes tussen 0.6 m en 1.6 m, vergelijkbaar met de breedtes en dieptes van het Reuseltraject in De Utrecht. De verhouding tussen de breedte en diepte is afhankelijk van de gewenste geulcapaciteit.

* Er moet variatie worden aangebracht in het dwarsprofiel. Asymmetrische profielen in de bochten moeten worden afgewisseld met symmetrische profielen in de rechte trajecten tussen de bochten in. Voor de afmetingen van deze dwarsprofielen kan gebruik worden gemaakt van de gegevens van het Reuseltraject in "De Utrecht" (zie bijlage 4). Hierbij moet echter als kanttekening geplaatst worden dat deze afmetingen betrekking hebben op fossiele meanders, die bij een andere afvoerkarakteristiek zijn ontstaan dan de huidige. De beek heeft bij de bestaande afvoerkarakteristiek veranderingen aangebracht binnen een al bestaande bedding.



Figuur 6.3. Locatie pools en riffles, (Keller, 1976).

* Op kleine schaal blijkt in de bedding veel variatie op te treden tussen diepe en ondiepe gedeeltes. Aanleg van pools en riffles is waarschijnlijk van belang voor het initiëren van het meanderingsproces. Pools moeten in buitenbochten worden aangelegd, riffles in de rechte trajecten tussen de bochten (zie fig. 6.3). De vorm van de pools is zowel in dwarsrichting als in lengterichting asymmetrisch.
In brede en scherpe bochten moeten diepere en grotere pools worden aangelegd dan in smalle en flauwe bochten. Door afwisseling aan te brengen in de grootte van de pools kan een onregelmatig meanderende beekloop ontstaan.

* De oevervegetatie is van belang voor de stabiliteit van de oevers en daarmee voor de mate waarin oevererosie optreedt. Door afwisseling aan te brengen in vegetatie (bijv. grasland of elzen en essen), kan op bepaalde plekken erosie worden toegestaan en op andere plekken erosie worden tegengegaan.

6.3 Kanttekeningen

Een genormaliseerde beek, die mechanisch onderhouden wordt en daardoor niet meer gaat meanderen neemt slechts een smalle zone land in beslag. Wanneer bij beekherstel wordt gekozen voor het uitgraven van een meanderend traject of voor het vrij laten meanderen van een beek, dan is een bredere zone nodig langs de beek. De meandergordelbreedte speelt hierbij een rol. De vraag is, of deze ruimte ook daadwerkelijk beschikbaar is.
Beekherstel en natuurontwikkeling zullen waarschijnlijk het beste tot hun recht komen, wanneer de betreffende zone in het bezit komt van een natuurbeschermingsorganistie of wordt ondergebracht in het relatienotabeleid.

Wanneer bij beekherstel een loop wordt gegraven, die is geëxtrapoleerd vanuit een natuurlijk meanderend traject, dan vermindert de geulcapaciteit van het betreffende traject ten opzichte van de huidige geulcapaciteit met een normaalprofiel. Bovendien kan stagnatie optreden van de waterafvoer, doordat er opnieuw meanders in de loop aanwezig zijn. Om wateroverlast voor de landbouw te voorkomen, moeten inrichtingsmaatregelen genomen worden.

Het is van belang dat bij herstel van een bepaald traject van een beek niet teveel verandert in een nog natuurlijk meanderend traject dat stroomopwaarts ligt. Door het mogelijk stagneren van water in de meanderbochten, kan inundatie optreden in het oorspronkelijke natuurlijke traject.

Voor het ontwikkelen van bepaalde gewenste natuurwaarden is de kwaliteit van het water van belang. Uit metingen van de Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost Brabant (1989) blijkt, dat kwaliteit van de meeste beken in het onderzoeksgebied in 1989 niet voldeed aan de Noordbrabantse Basiskwaliteit (NBBK). Alleen de kwaliteit van de Rovertsche Leij en de Nieuwe Leij voldeed wel aan de NBBK. In de overige beken is in het algemeen de zuurgraad te hoog en het sulfaat-, fosfaat- en ammoniumgehalte te groot. Wanneer inundatie optreedt blijft een deel van deze stoffen achter in de beekdalen. Ze eutrofiëren de bodem en zorgen voor ontwikkeling van bepaalde vegetaties, die in het algemeen niet de gewenste vegetatiesoorten zijn. Met deze slechte kwaliteit moet rekening

worden gehouden bij het opstarten van een natuurontwikkelingsproject. Het is echter wel zo, dat de geomorfologische waarde van een beek onafhankelijk van de kwaliteit van het water kan worden ontwikkeld.

Veranderingen in de waterhuishouding van het stroomgebied kunnen leiden tot veranderingen van het debiet, waardoor het dwarsprofiel van het herstelde beektraject kan veranderen. Wanneer bijvoorbeeld grondwateronttrekking plaatsvindt, verandert het debiet. Dit pleit voor een integraal waterbeheer van het stroomgebied en onderzoek van de waterhuishouding.

7 Conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek

In deze studie is een aantal fasen doorlopen (zie schema 1). Elk van deze fasen is uitgevoerd met een bepaald doel, dat beschreven is in hoofdstuk 1. In dit hoofdstuk worden conclusies gegeven met betrekking tot elk van de fasen.

Conclusies

* Literatuuronderzoek (fase 1)

Er is weinig onderzoek gedaan aan kleine rivier- c.q. beeksystemen in Nederland. De relaties tussen geomorfologische parameters zijn bepaald in buitenlandse beeksystemen en zijn beschreven in voornamelijk Engelse en Amerikaanse literatuur. Deze beeksystemen bestaan vaak uit bergbeken, die een ander karakter hebben dan Nederlandse laaglandbeken.

* Kaartanalyse (fase 3)

Aan de hand van kaartvergelijking kan de historische ontwikkeling van een beekloop globaal beschreven worden. Dit geeft een beeld van het natuurlijk karakter van een beek dat als referentiekader kan dienen bij beekherstel. In 1840 hadden de Brabantse laaglandbeken een sterk, maar onregelmatig meanderend karakter. In 1985 is het grootste deel van de beeklopen genormaliseerd. De mens heeft grote invloed op de beken gehad. Slechts 16 % van de beeklopen in het onderzochte gebied heeft nog een natuurlijke meanderend karakter. Deze veranderingen in de beeklopen zijn goed zichtbaar op de topografische kaart 1:25.000. Eventuele verleggingen van de beekloop zijn echter niet uit deze kaart te halen, omdat dit proces te kleinschalig is in de kleine beeksystemen. Voor grote riviersystemen zou ook die vorm van kaartanalyse mogelijk zijn.
Het is overigens moeilijk om de kaarten van 1840 en die van 1900 of 1985 op kleine schaal te vergelijken, omdat de projectie niet gelijk is.

* Geomorfologisch onderzoek (fase 4)

Uit het geomorfologisch onderzoek blijkt, dat er geen actieve meandering in de Reusel meer plaatsvindt. Het is niet bekend hoe groot de snelheid is van meandering op grote schaal. Het is mogelijk dat het systeem van nature niet zo actief is, zodat na circa 90 jaar (verschil 1900-1990) geen beekverlegging waarneembaar is.
In het onderzoek is een aantal waarden voor geomorfologische parameters van een natuurlijke beek, zoals breedte, diepte, sinuositeit, meandergordelbreedte etcetera bepaald. Deze waarden kunnen bij beekherstel worden geëxtrapoleerd naar een genormaliseerd traject van dezelfde beek of een soortgelijke beek.
De Reusel is een laaglandbeek, en heeft een ander karakter dan de bergbeken waarvan in hoofdstuk 2 de relaties tussen geomorfologische parameters behandeld worden. De relaties op zich gelden wel, maar de mate waarin ze optreden is anders. Bergbeken verkeren in een andere energetische situatie, doordat het verhang groter is en het substraat uit ander materiaal bestaat.
Het is belangrijk, om zoveel mogelijk oude gegevens met betrekking tot de beekmorfologie te verkrijgen. Deze gegevens geven informatie over de natuurlijke situatie.

* Toepassing van geomorfologisch onderzoek bij beekherstel (doel)
Met behulp van geomorfologisch onderzoek is een grotere variatie aan te brengen in een te herstellen genormaliseerde beek, doordat het natuurlijke karakter van een beek als uitgangssituatie dient. Door afwisseling aan te brengen in pools en riffles, erosie en sedimentatie, binnen- en buitenbochten en stroomsnelheid ontstaat een grotere afwisseling in habitats. De geomorfologie heeft een positieve invloed op de te ontwikkelen natuurwaarden.
Het blijkt dat een natuurlijk meanderende beek stabiel is, dat wil zeggen, er treedt geen grootschalige erosie en sedimentatie op in de vorm van beekverlegging of bochtafsnijding. Geomorfologisch onderzoek dient de basis te vormen voor beekherstel. Met behulp van resultaten van geomorfologisch onderzoek kunnen uitspraken gedaan worden over bijvoorbeeld de mate van meandering, de vorm van de dwarsprofielen, de plaatsen waar pools moeten worden aangelegd, etcetera. Deze geomorfologische voorwaarden voor beekherstel worden vervolgens gerealiseerd met behulp van inrichtingselementen. Het gebruik van inrichtingselementen staat tot nu toe te veel op zichzelf. Ze dienen echter een hulpmiddel te zijn bij beekherstel. In de uitvoeringsfase kunnen hydraulische berekeningen worden gebruikt om de berekende parameters te controleren.
Daarnaast is kennis van de geomorfologische processen belangrijk om te kunnen voorspellen wat er in de beek gaat gebeuren na beekherstel.

Aanbevelingen voor nader onderzoek
* Het blijkt, dat er tot nu toe weinig systematisch geomorfologisch onderzoek verricht is aan kleine rivier- en beeksystemen in Nederland. Geomorfologisch beekonderzoek zou betrekking kunnen hebben op de volgende onderwerpen:
- niet-genormaliseerde beken met een grote lengte, zodat geomorfologische relaties in stroomafwaartse richting nader onderzocht kunnen worden.
- beken in een landschap met een grote afwisseling in geologie, geomorfologie, bodemgesteldheid en landgebruik, waarbij de rol van deze landschapsfactoren op het gedrag van de beekloop centraal staat.
- gedetailleerd onderzoek, bijvoorbeeld naar de rol van de lokale "geologie": het voorkomen van plaatselijke lithologische verschillen en de invloed hiervan op het optreden van erosie, of bijvoorbeeld naar de relatie tussen pools en de scherpte van de bocht.

* Tevens kan nader onderzoek verricht worden naar de gevolgen van antropogene ingrepen in de waterhuishouding van een stroomgebied. Welke invloed hebben bijvoorbeeld de ontginningen, ruilverkavelingen of normalisaties stroomopwaarts gehad op de afvoerkarakteristiek van beken?
Daarbij verdient het aanbeveling om de waterhuishouding van het stroomgebied van een beek te kwantificeren. Het is niet altijd bekend, hoe groot het debiet van beektrajecten is, hoe vaak bepaalde piekafvoeren voorkomen en wat de grootte is van kwelstromen. Door kennis te hebben van de afvoerkarakteristiek van een beek kunnen meer uitspraken worden gedaan over de invloed hiervan op het optreden van erosie- en sedimentatieprocessen.

Literatuurlijst

Asperdt, A. van & G. Endedijk, 1989. Beekherstel: beken in oude glorie (een handreiking), Tilburg, Stichting Brabantse Milieufederatie Federatie.

Bisschops, J.H., 1973. Toelichtingen bij de Geologische Kaart van Nederland 1:50.000, blad Eindhoven Oost (51 O), Haarlem, Rijks Geologische Dienst.

Bles, B.J., J.A.A. Banken & A.G. Beekman, 1982. Ruilverkaveling de Hilver. Bodemgesteldheid en bodemgeschiktheid, Wageningen, Stibokarapport 1503.

Bont, Chr. de, 1989. Het cultuurhistorisch landschapsonderzoek van het streekplangebied Midden- en Oost-Brabant, Wageningen, Staringrapport 17.

Brookes, A., 1987a. River channel adjustments downstream from channelization works in England and Wales. *In: Earth Surface Processes and Landforms, 12: 337-351.*

Brookes, A., 1987b. Restoring the sinuosity of artificially straightened stream channels. *Environmental Geology and Water Sciences 10, 1: 33-41.*

Brookes, A & K. Gregory, 1988. channelization, river engineering and geomorphology. *In: Hooke, J.M. (ed.). Geomorphology in Environmental Planning, Chichester.*

Dekkers, J.M.J. & A.G. Beekman, 1981. Ruilverkaveling Goirle. Bodemgesteldheid en bodemgeschiktheid, Wageningen, Stibokarapport 1500.

Dury, G.H., 1969. Relation of morphometry to runoff frequency. *In: Chorley, R.J. (ed.). Water, Earth and Man, London, pp 419-430.*

Farjon, J.M.J., N.F.C. Hazendonk, W.J.C. Hoeffnagel & F.G.M. van Pruissen, 1990. Raamwerkplanning en watervoorziening, Wageningen.

Ferguson, R.I., 1981. Channel forms and channel changes. *In: Lewin, J. (ed.). British rivers, London, pp. 35-38.*

Geenen, H.G.M., 1977. Bodemgesteldheid van Midden-Brabant, Wageningen, Stibokarapport 1359.

Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost-Brabant; Waterschappen De Aa, De Dommel en De Maaskant, 1989. Jaarverslag, Boxtel.

Hadley, R.F., R. Lal, C.A. Onstad, D.E. Walling & A. Yair, 1985. Recent developments in erosion and sediment yield studies. UNESCO, Technical Documents in Hydrology.

Hendrix, W. & F. Schepers, 1990. Natuurontwikkeling in de Zuidlimburgse beekdalen. *In: Natuurhistorisch Genootschap in Limburg. Beken en beekdalen in Zuid-Limburg. De betekenis van zuidlimburgse beken en beekdalen voor natuur, landschap en cultuurhistorie, nu en in de toekomst, Maastricht, Natuurhistorisch Genootschap in Limburg XXXVIII, 1: 6-13.*

Huissteden, J. van, L. v.d. Valk & J. Vandenberghe, 1986. Geomorphological evolution of a lowland valley system during the Weichselian. *Earth Surface Processes and Landforms, 11: 207-216.*

Keller, E.A., 1972. Development of alluvial stream channels: a five stage model. *Bulletin of the Geological Society of America, 83: 1531-1536.*

Keller, E.A. & W. Melhorn, 1973. Bedforms and fluvial processes in alluvial stream channels: selected observations, in Morisawa. *In: Fluvial Geomorphology. Publications in Geomorphology, pp. 253-283.*

Keller, E.A., 1976. Channelization: environmental, geomorphic and engineering aspects. *In: Coates, D.R. (ed.). Geomorphology and engineering, London.*

Keller, E.A., 1977. Pools, riffles and channelization. *Environmental Geology 2, 2: 119-127.*

Krabbenborg, A.J., 1962. Bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied "De Zaligheden", Bennekom, Stibokarapport 573.

Kuenen, Ph. H., 1944. De Drentsche riviertjes en het meandervraagstuk. *In: Gedenkboek voor Dr. Ir. P. Tesch M.I. Verhandeling en van het Geologisch-Mijnbouwkundig genootschap voor Nederland en koloniën. Geologische serie, deel XIV, 's Gravenhage.*

Kuijper, H.M.H., R. Hoeve & G.A. Morel, 1989. Aanleg en herstel van meanders langs de Beneden-Regge. *Landinrichting 29, 6: 35-40.*

Kwaadsteniet, P.I.M. de, 1990. Natuurlijke oevers in beweging. Handleiding voor inrichting en beheer van riet- en ander natuurlijke oevers, Utrecht, Stichting LONL.

Leeks, G.J., J. Lewin & M.D. Newson, 1988. Channel change, fluvial geomorphology and river engineering. The case of the Afon Trannon, Mid-Wales. *Earth Surface Processes and Landforms, 13: 207-223.*

Leenaers, H., M.C. Rang & C.J. Schouten, 1990. Integraal waterbeheer of dweilen met de kraan open. *In: Natuurhistorisch Genootschap in Limburg. Beken en beekdalen in Zuid-Limburg. De betekenis van zuidlimburgse beken en beekdalen voor natuur, landschap en cultuurhistorie, nu en in de toekomst, Maastricht, Natuurhistorisch Genootschap in Limburg XXXVIII, 1: 6-13.*

Leopold, L.B., 1953. Downstream change of velocity in rivers. *American Journal of Science, 251: 604-624.*

Leopold, L.B., M.G. Wolman & J.P. Miller, 1964. Fluvial processes in geomorphology, San Francisco.

Lewis, G. & G. Williams, 1984. Rivers and wildlife handbook. A guide to practices which further the conservation of wildlife on rivers, Bedfordshire / Lincoln, RSPB / RSNC.

Logemann, D. & E.F. Schoorl, 1988. Verbindingswegen voor plant en dier, Utrecht / Amsterdam, St. Natuur en Milieu / Inst. voor Milieuvraagstukken.

Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer & Visserij, 1990a. Natuurbeleidsplan. Regeringsbeslissing, 's Gravenhage.

Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer & Visserij, Directie Openluchtrecreatie, 1990b. Vormgeving en inrichting viswaters, 's Gravenhage.

Murgatroyd, A.L. & J.L. Ternan, 1983. The impact of afforestoration on stream bank erosion and channel form. *In: Earth Surface Processes and Landforms, 8: 357-369.*

Paarlberg, A., 1990. Zuidlimburgse beken en beekdalen: karakteristieken, patronen en processen. *In: Natuurhistorisch Genootschap in Limburg. Beken en beekdalen in Zuid-Limburg. De betekenis van zuidlimburgse beken en beekdalen voor natuur, landschap en cultuurhistorie, nu en in de toekomst, Maastricht, Natuurhistorisch Genootschap in Limburg XXXVIII, 1: 6-13.*

Provincie Noord-Brabant, 1990. Werken aan water. Waterhuishoudingsplan 1991-1995. Ontwerp, 's Hertogenbosch.

Richards, K., 1982. Rivers, London.

Rijksinstituut voor Natuurbeheer, 1984. Levensgemeenschappen, Wageningen.

Steeghs, B.H., 1961. De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied "Middelbeers", Bennekom, Stibokarapport 545.

Sternberg, H., 1875. Untersuchungen über Längen- und Querprofil Geschiebeführende Flüsse. *In: Zeitschrift für Bauwesen, 25: 483-506.*

Straaten, J. v.d. & P.C. von Meyenfeldt, 1977. Beken in Brabant. Hoe houden wij dit bezit, Tilburg, Brabantse Milieufederatie.

Taat, G. & M. Weterings, 1987. Bodem en historisch bodemgebruik van enkele beekdalen uit de Brabantse Kempen, Wageningen, stageverslag LUW.

Tolkamp, H.H., 1983. Beken in Zuid-Limburg. *In: Natura, 80 (1): 102-108.*

Vandenberghe, J., P. Paris, C. Kasse, M. Gouman & L. Beyens, 1984. Paleomorphological and paleobothanical evolution of small lowland valleys, a case study of the Mark valley in northern Belgium. *Catena 11: 229-238.*

Vandenberghe, J., S. Bohncke, W. Lammers & L. Zilverberg, 1987. Geomorphology and palaeoecology of the Mark valley (southern Netherlands): geomorphological valley development during the Weichselian and Holocene. *In Boreas. An international Journal of Quaternary Research, 16: 55-67.*

Lijst van gebruikte kaarten

Bodemkaart van Nederland 1:50.000, met toelichting. Stiboka, Wageningen. Blad 56 Turnhout en 57 West Valkenswaard (1968). Blad 50 Oost Tilburg en 51 West Eindhoven (1985).

Geologische kaart van Nederland 1:50.000, met toelichting. Rijks Geologische Dienst, Haarlem. Blad 51 West Eindhoven (1985).

Geomorfologische kaart van Nederland 1:50.000. Stiboka/Rijks Geologische Dienst, Wageningen/Haarlem. Blad 50 Tilburg (1981) en 51 Eindhoven (1977).

Hoogtekaart van Nederland 1:10.000. Topografische Dienst, Delft. Bladen 50F Tilburg (1966), 50H Lage Mierde (1959), 51A Oirschot (1962), 51C Hoogeloon (1962), 56F Reusel (1959) en 57A Weebosch (1962).

Topografische en militaire stafkaart 1:25.000. Schetskaarten. Bladen 45 's Hertogenbosch (verkend in 1836-1838), 50 Breda (verkend in 1838 -1840), 51 Eindhoven (verkend in 1840) en 57 Valkenswaard (verkend in 1837).

Topografische kaart van Nederland 1:25.000. Bladen 646 Tilburg (verkend in 1893), 647 Oirschot (verkend in 1897), 667 Hilvarenbeek (verkend in 1894), 668 Middelbeers (verkend in 1898), 688 Lage Mierde (verkend in 1894), 689 Vessem (verkend in 1898).

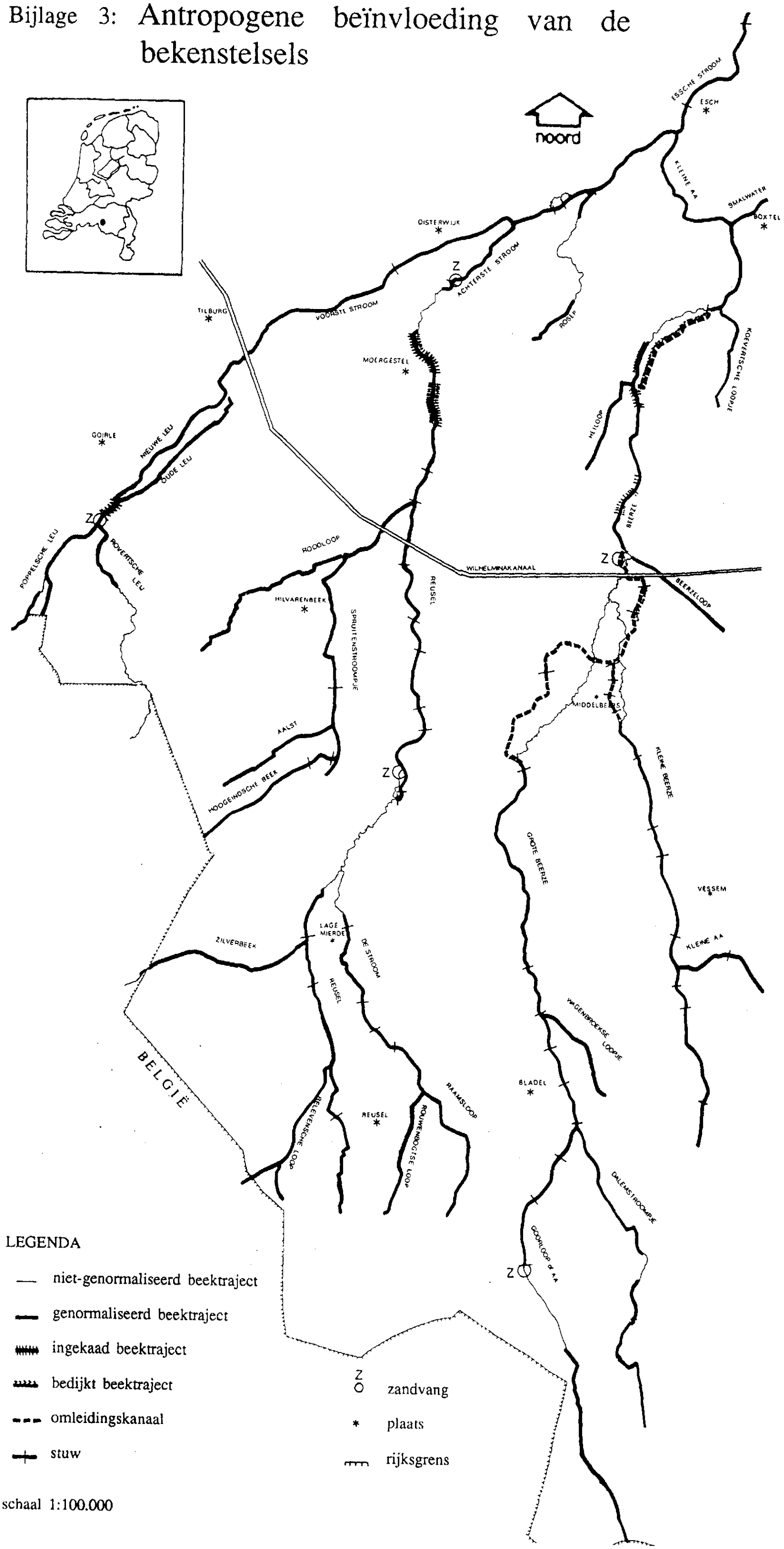
Topografische kaart van Nederland 1:25.000. Topografische Dienst, Delft. Bladen 50F Tilburg (1967), 50H Oirschot (1963), 51A Lage Mierde (1967) en 51C Hoogeloon (1963)

Topografische kaart van Nederland 1:25.000. Topografische Dienst, Emmen. Bladen 45C 's Hertogenbosch (1988), 50F Tilburg (1988), 50H Lage Mierde (1988), 51A Oisterwijk (1983), 51C Hoogeloon (1984), 57A Reusel (1985)

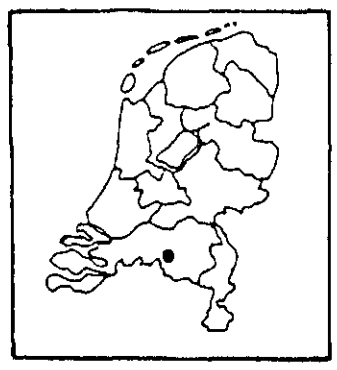
Waterleidingkaarten 1:2.500. Waterschap De Dommel, Boxtel, 1965. Traject van de Reusel tussen "Weg Esbeek - Lage Mierde" en "Landbouwgebieden bij de Heikant" in landgoed "De Utrecht".

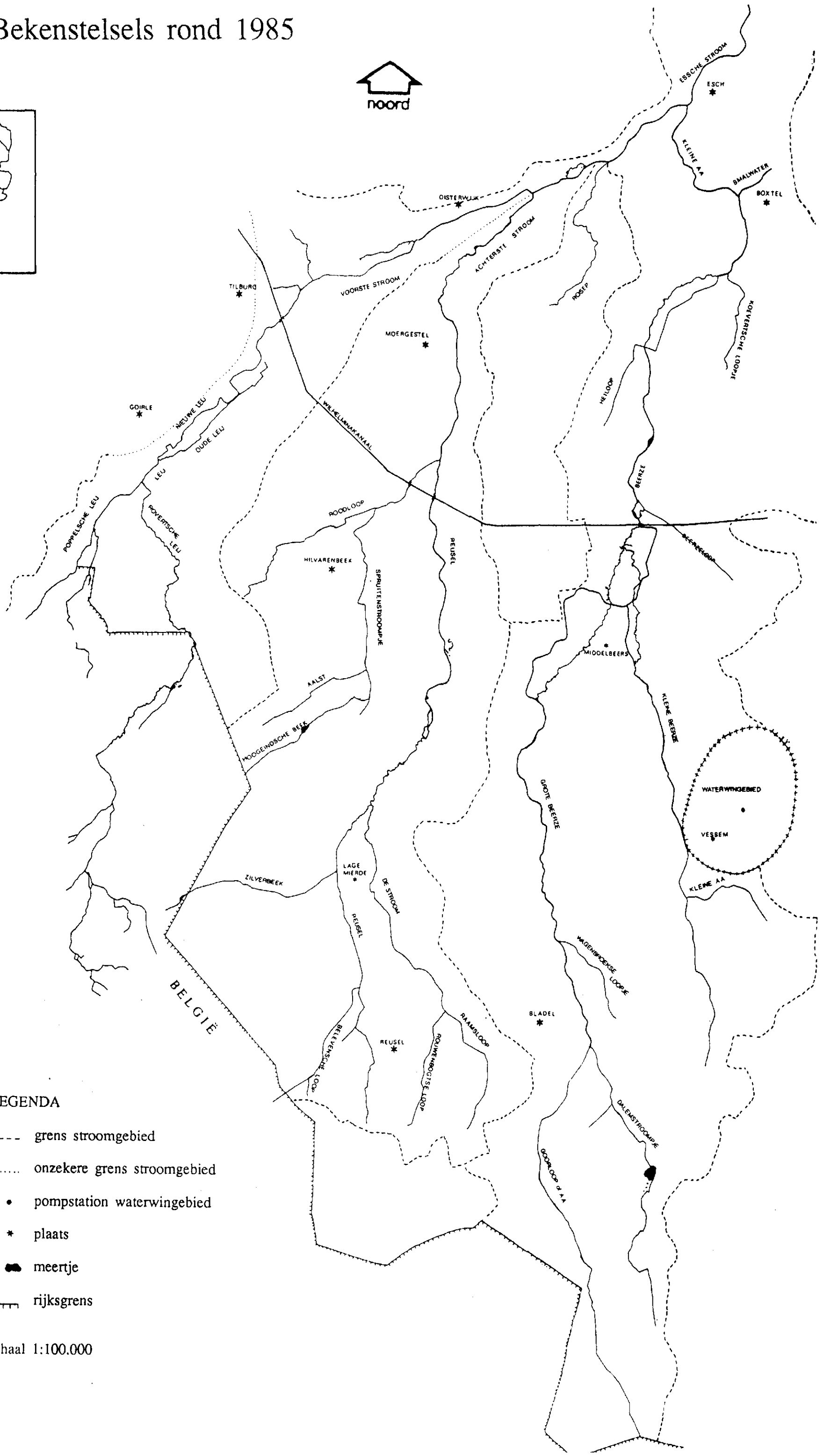
Bijlagen

Bijlage 3: Antropogene beïnvloeding van de bekenstelsels



Bijlage 2: Bekenstelsels rond 1985



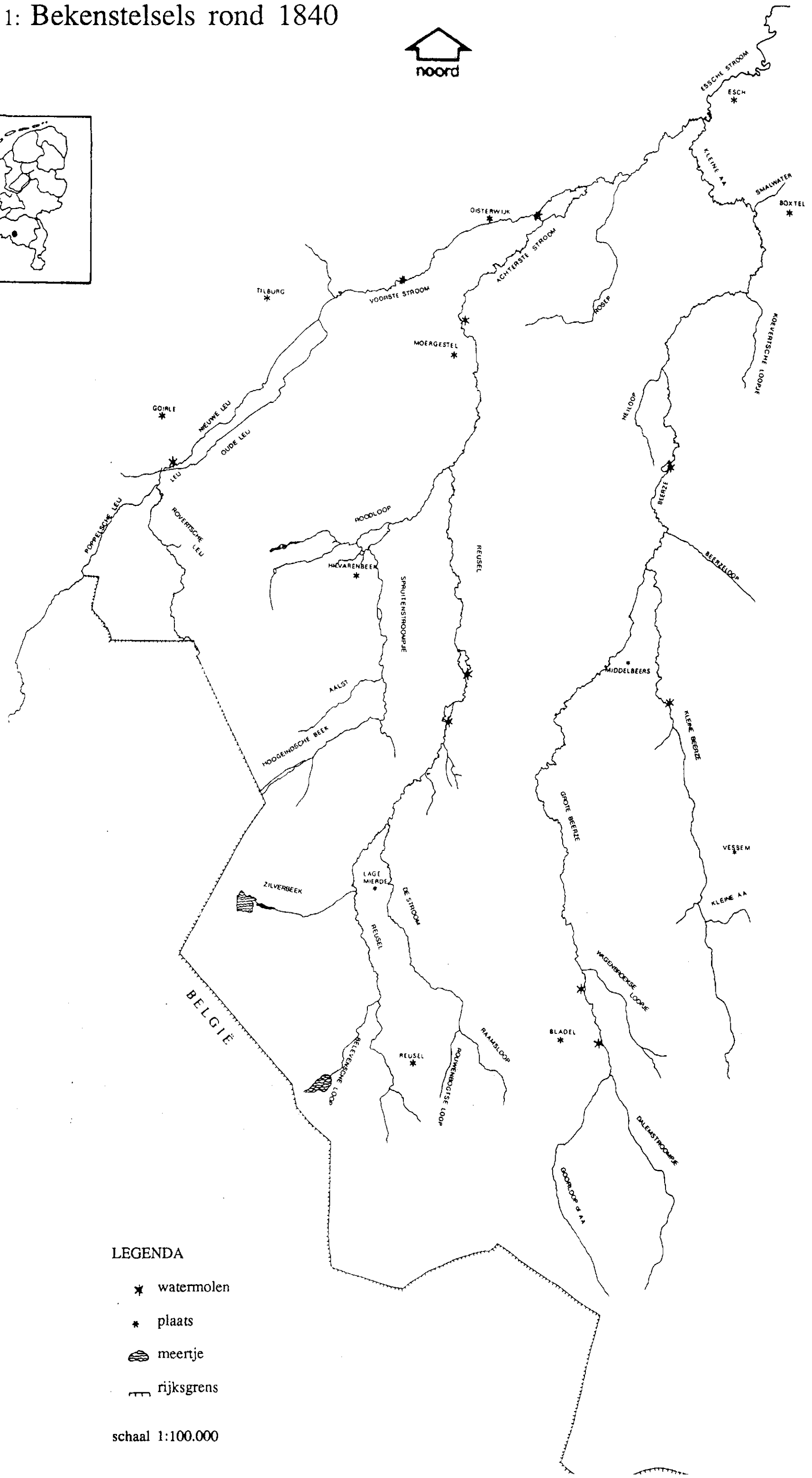


LEGENDA

- --- grens stroomgebied
- ..... onzekere grens stroomgebied
- • pompstation waterwingebied
- * plaats
- meertje
- rijksgrens

schaal 1:100.000

Bijlage 1: Bekenstelsels rond 1840



LEGENDA

watermolen

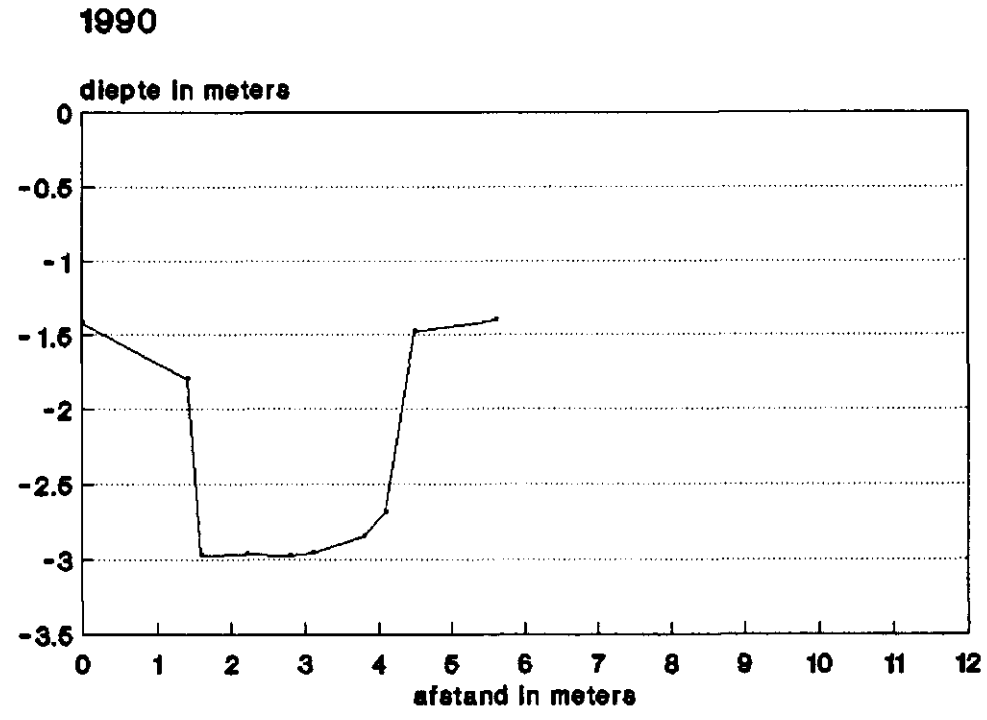
plaats

meertje

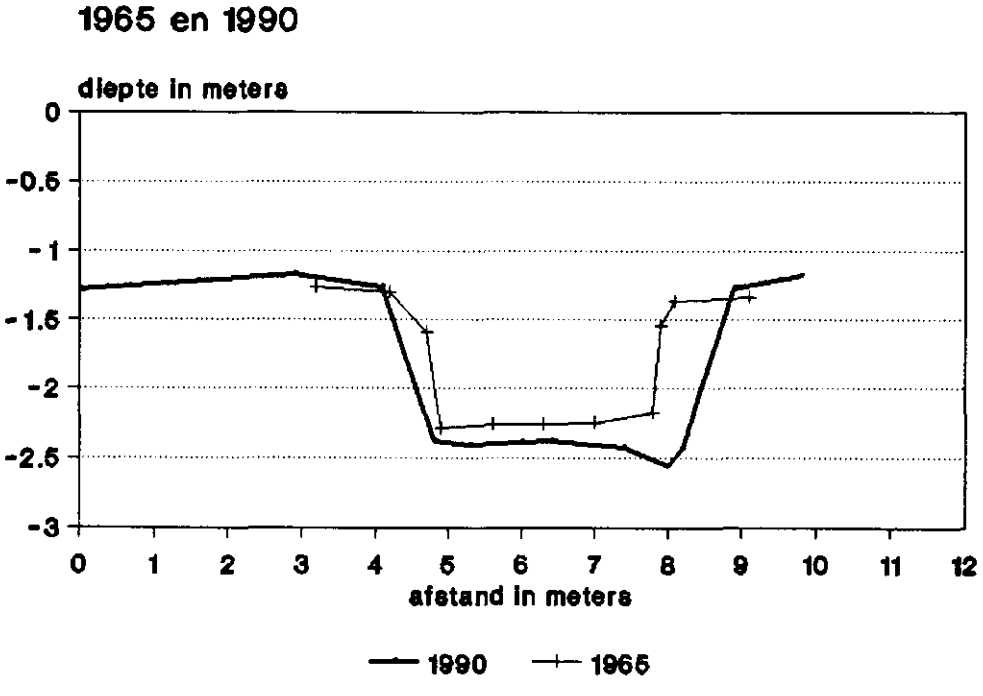
rijksgrens

schaal 1:100.000

Bijlage 4

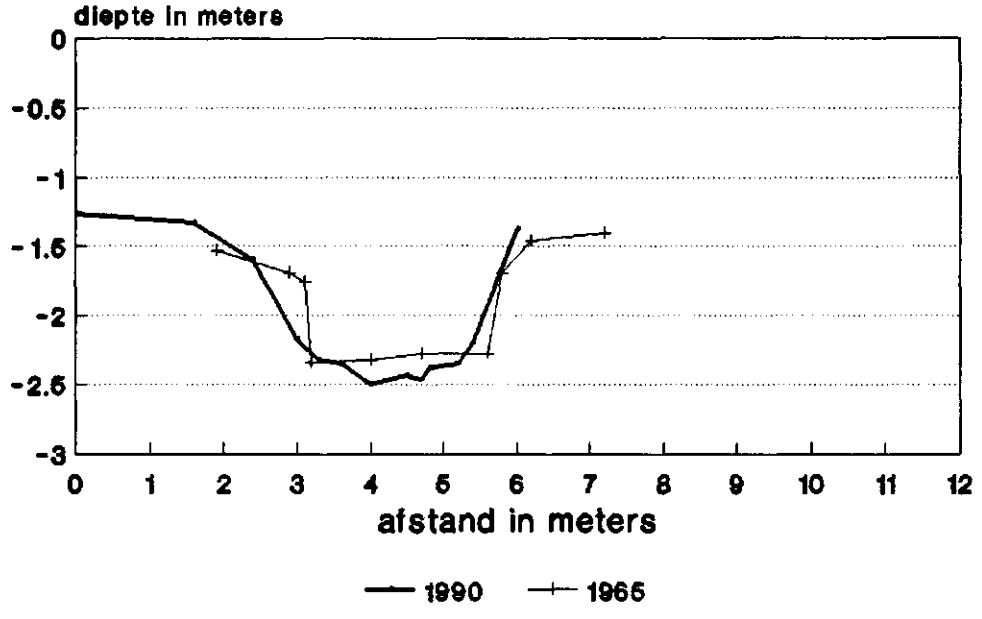


Dwarsprofiel 1.



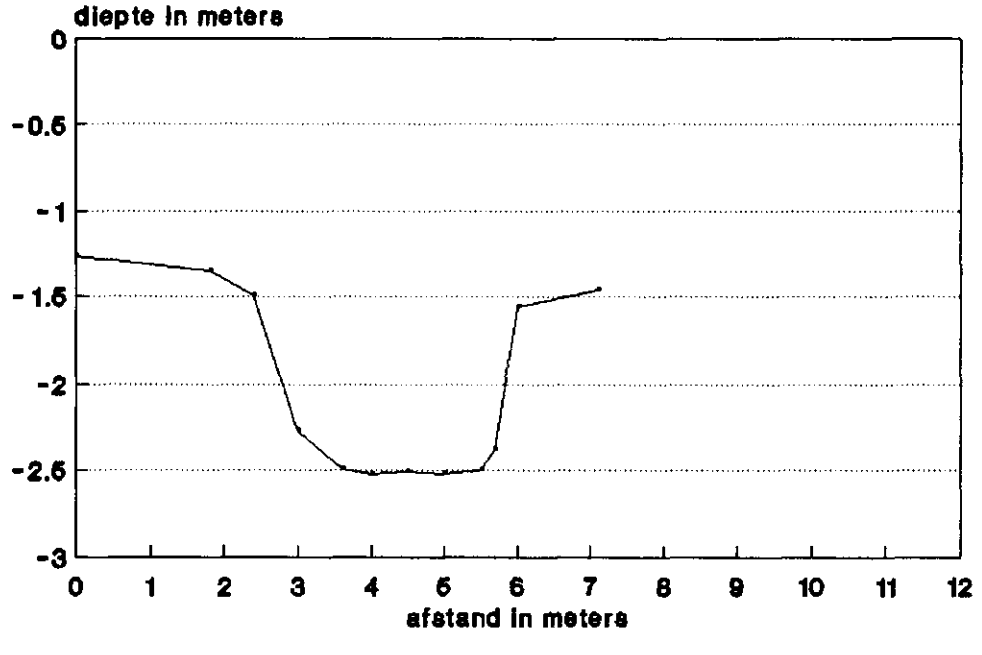
Dwarsprofiel 2.

1965 en 1990

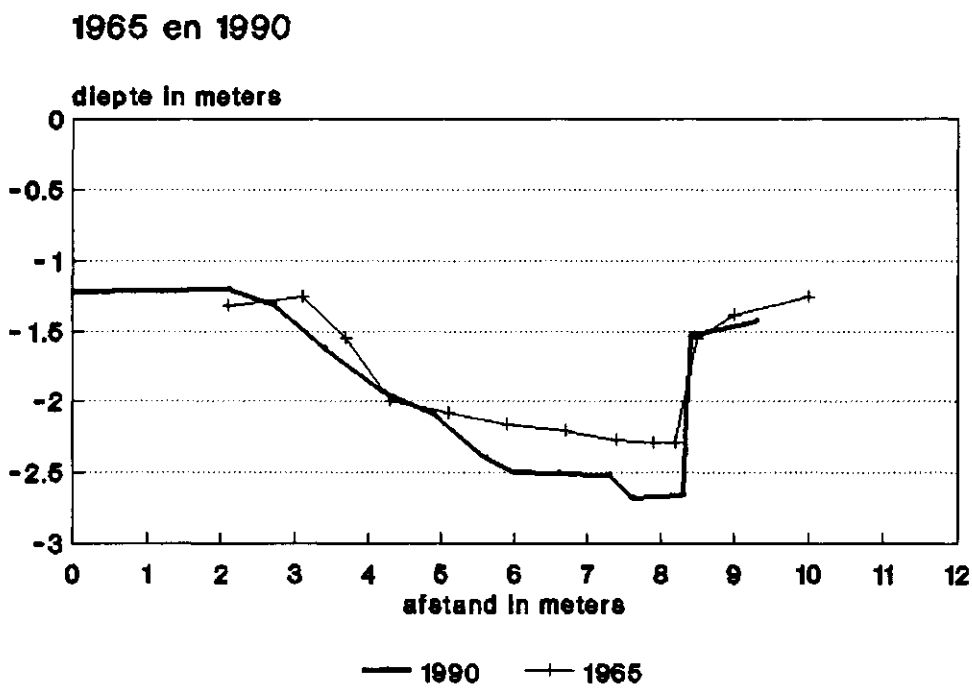


Dwarsprofiel 3.

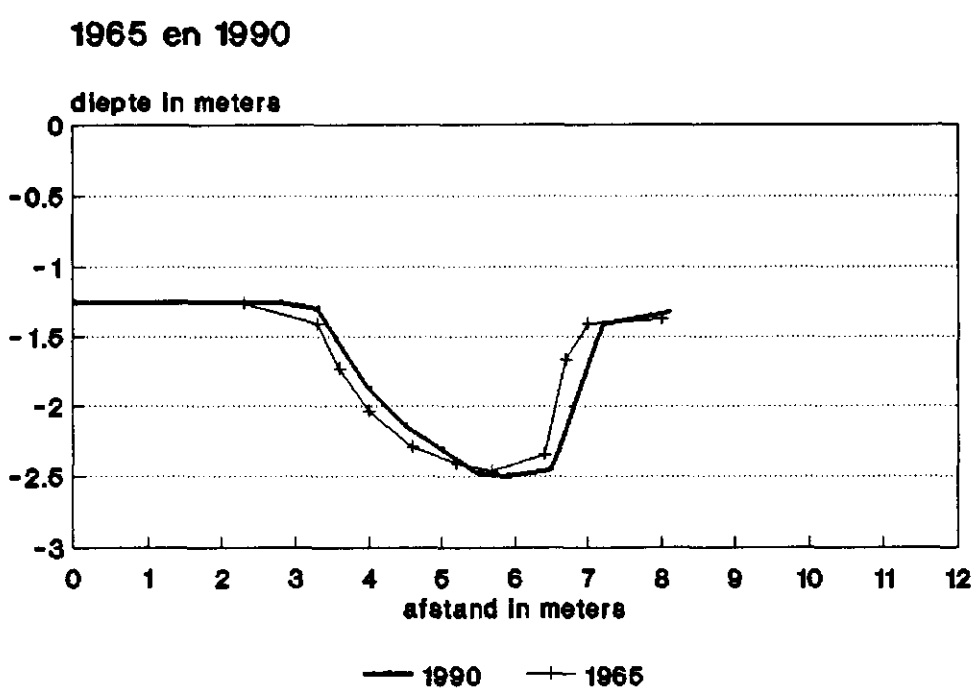
1990



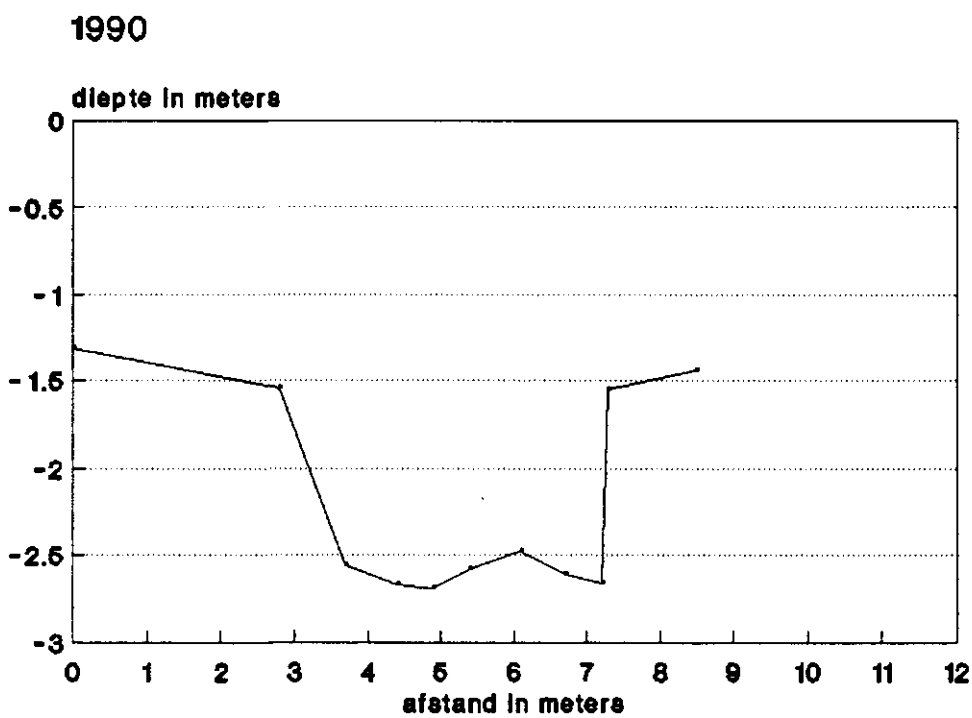
Dwarsprofiel 4.



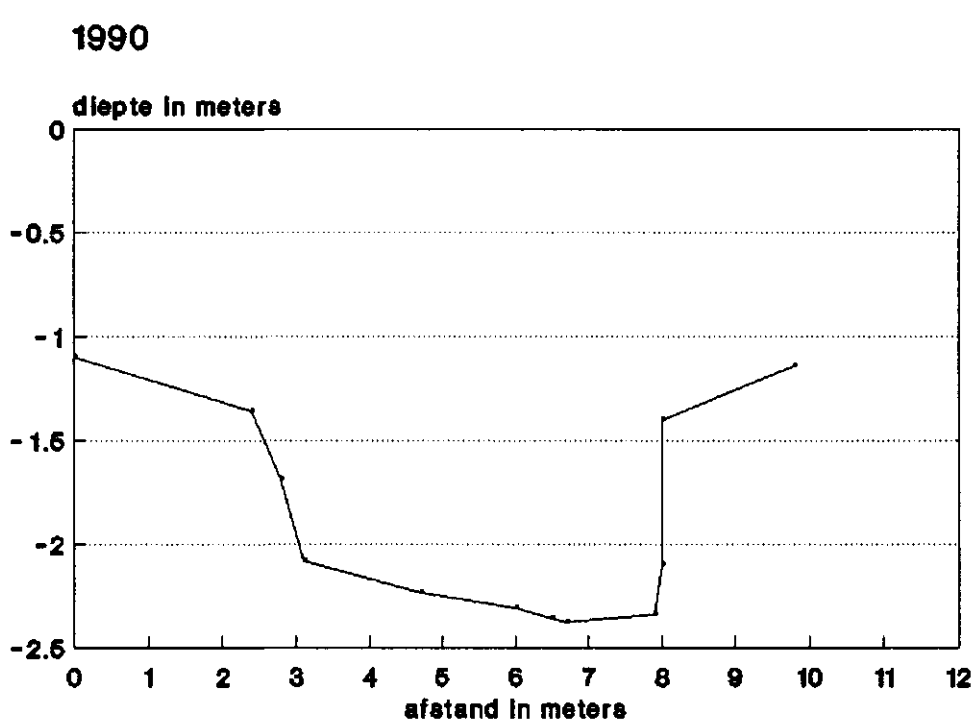
Dwarsprofiel 5.



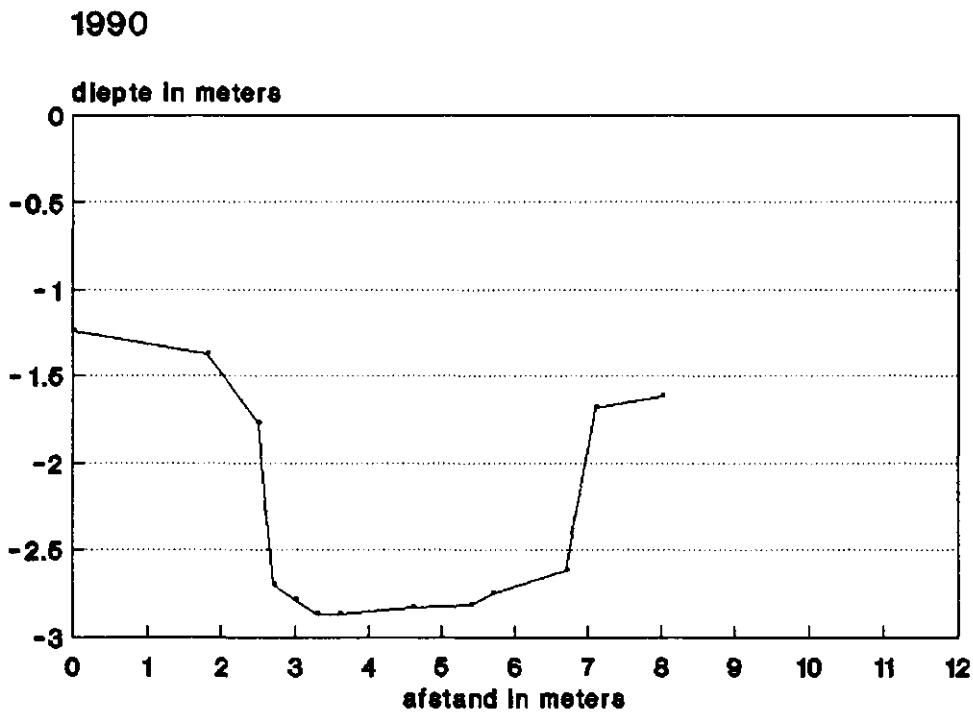
Dwarsprofiel 6.



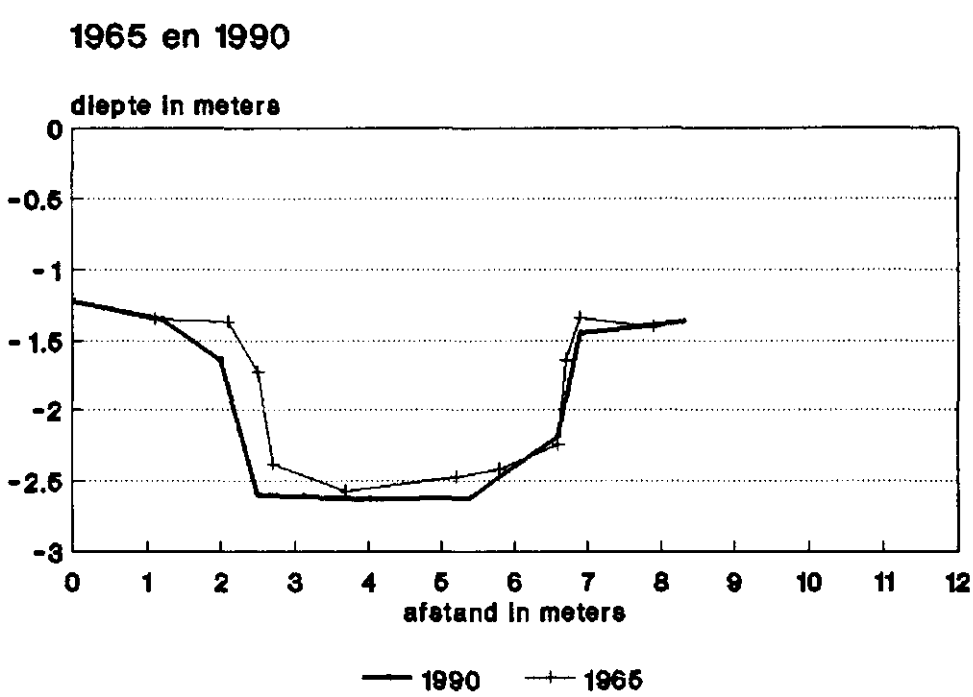
Dwarsprofiel 7.



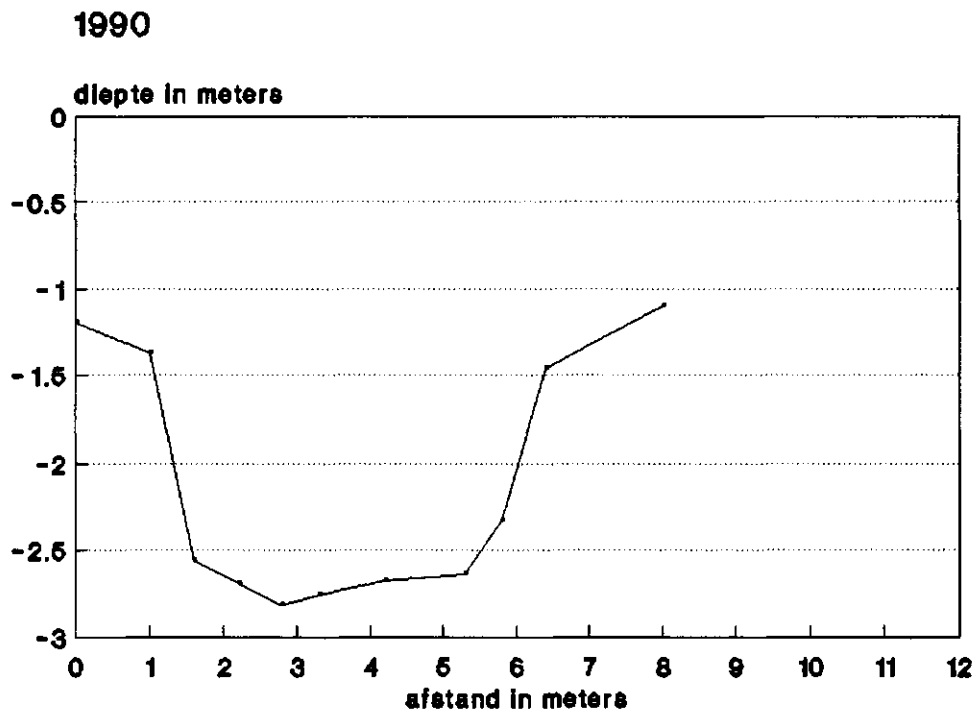
Dwarsprofiel 8.



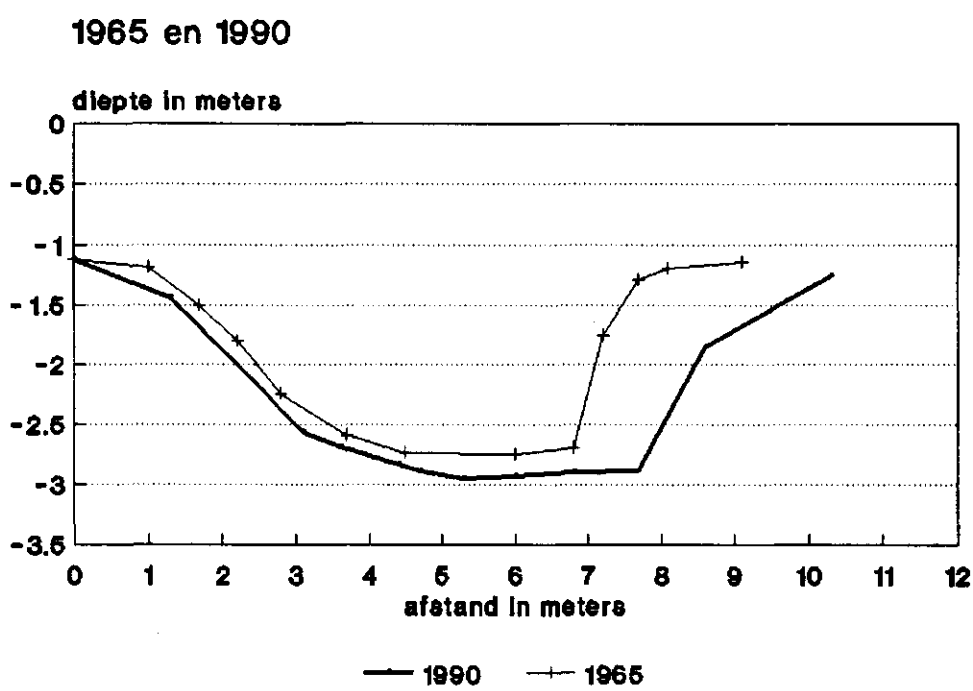
Dwarsprofiel 9.



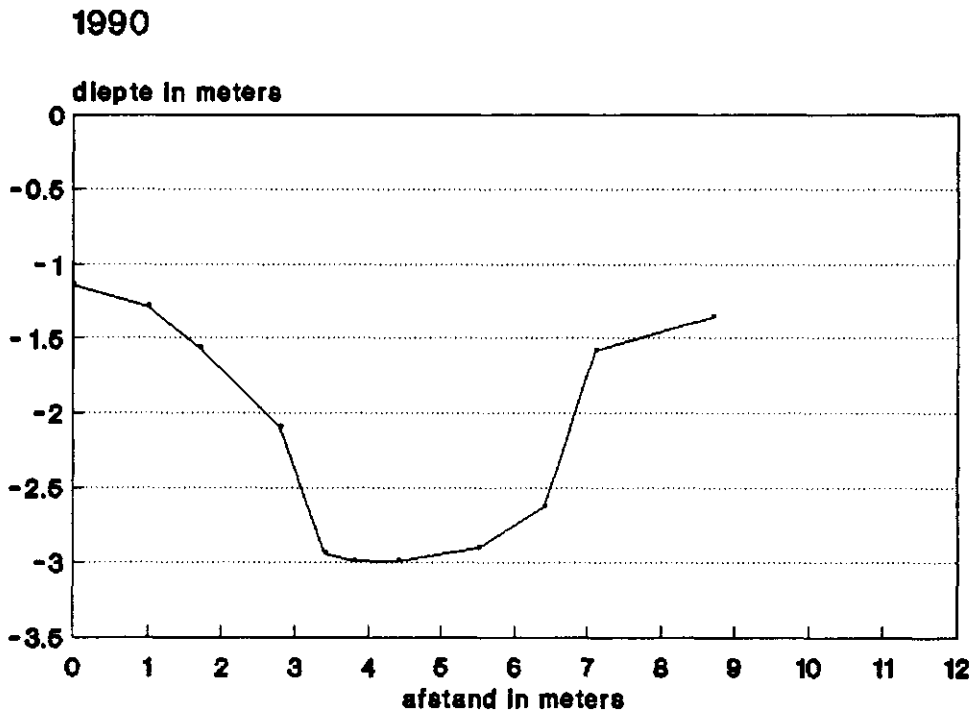
Dwarsprofiel 10.



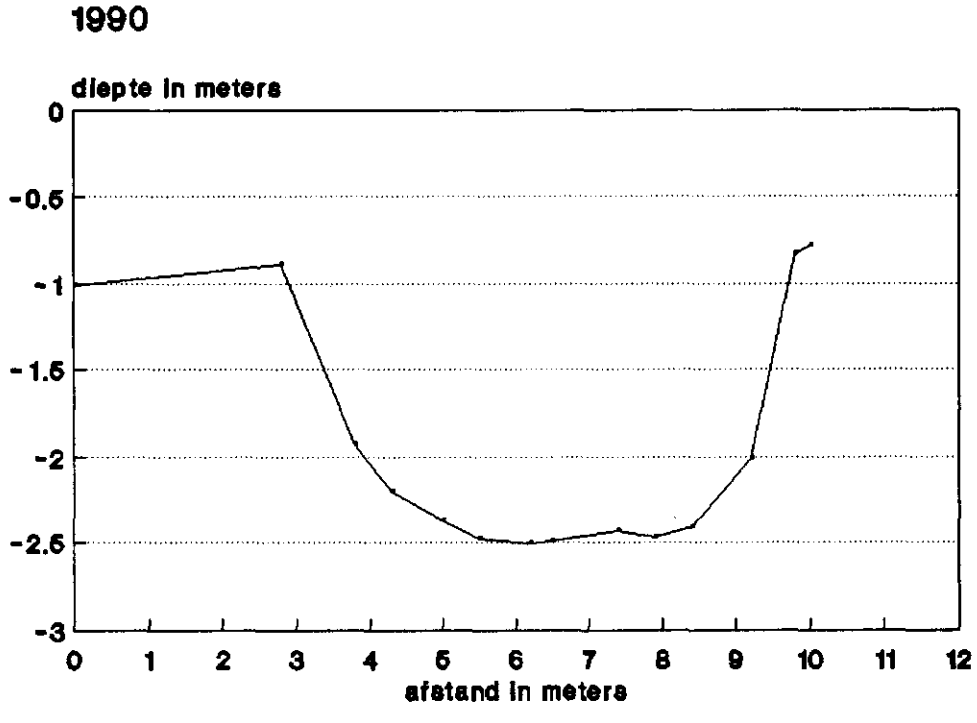
Dwarsprofiel 11.



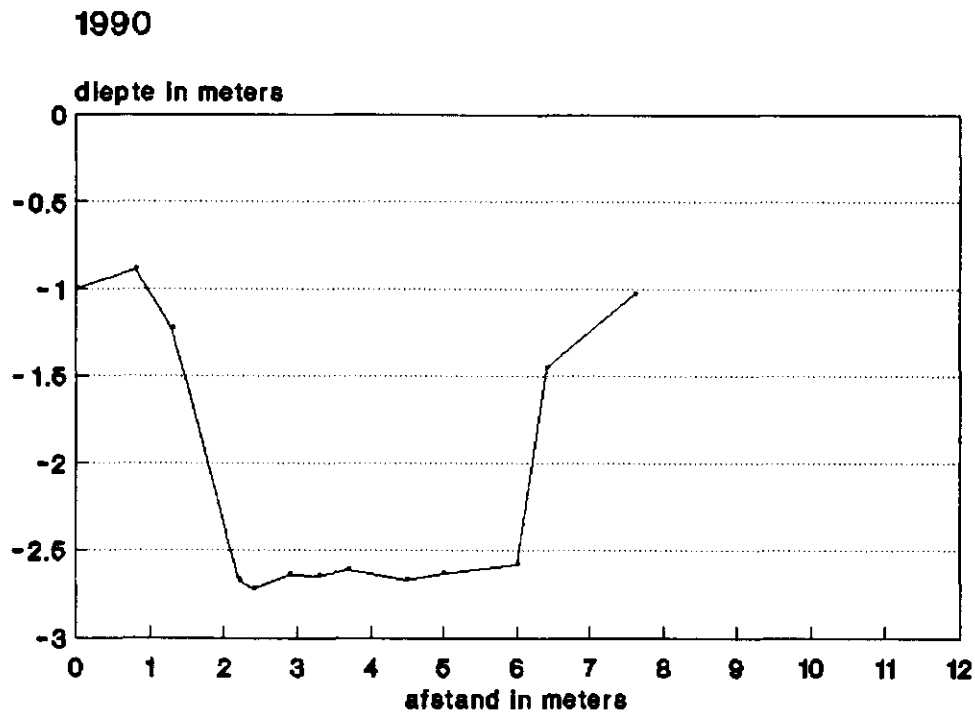
Dwarsprofiel 12.



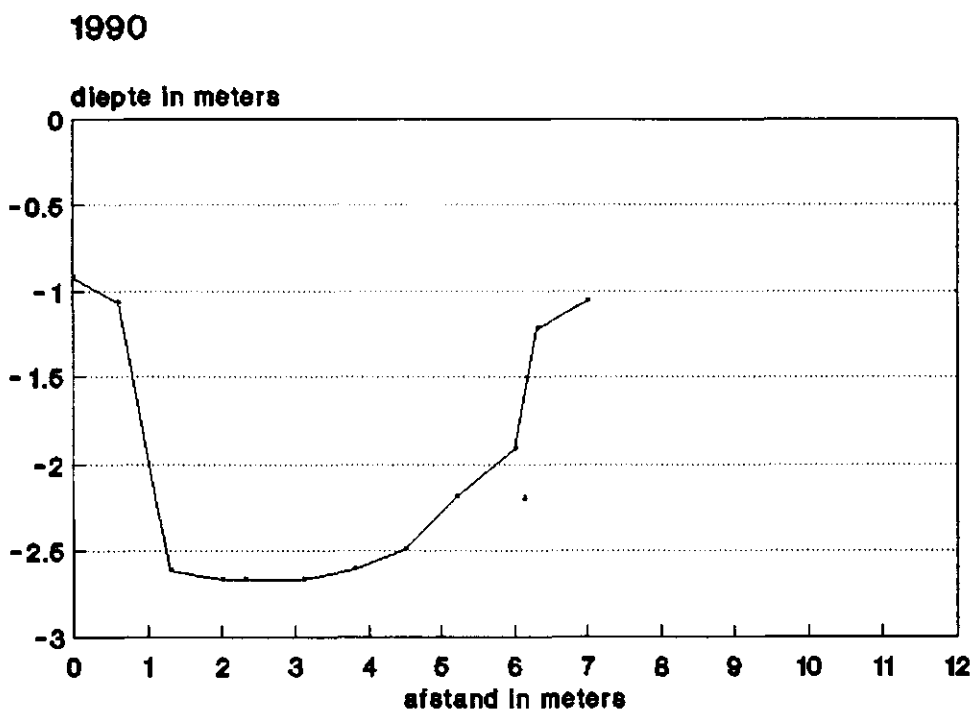
Dwarsprofiel 13.



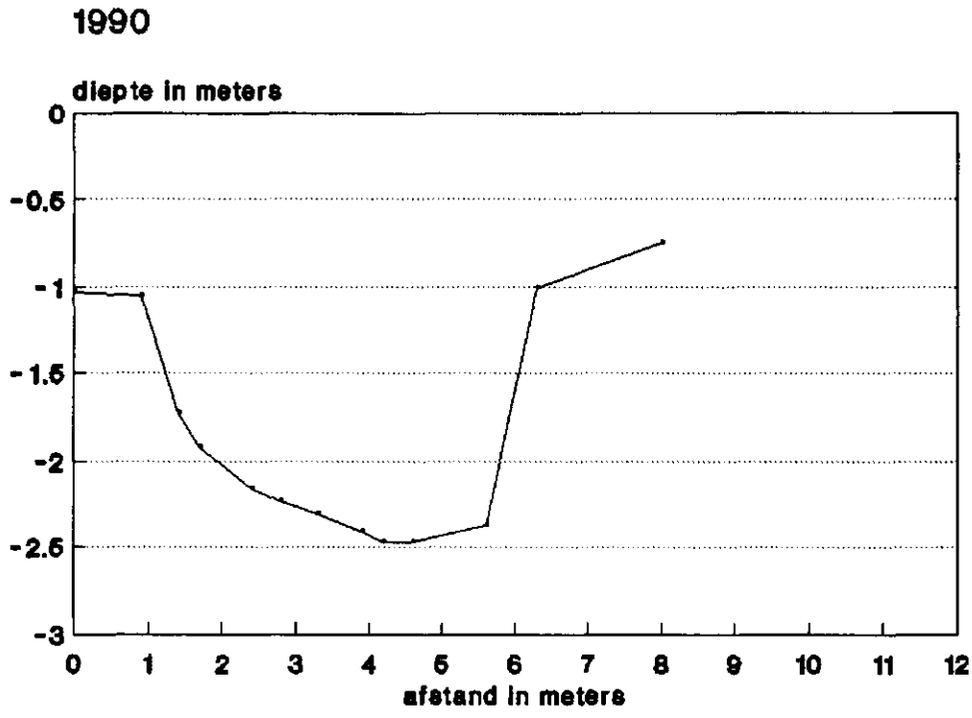
Dwarsprofiel 14.



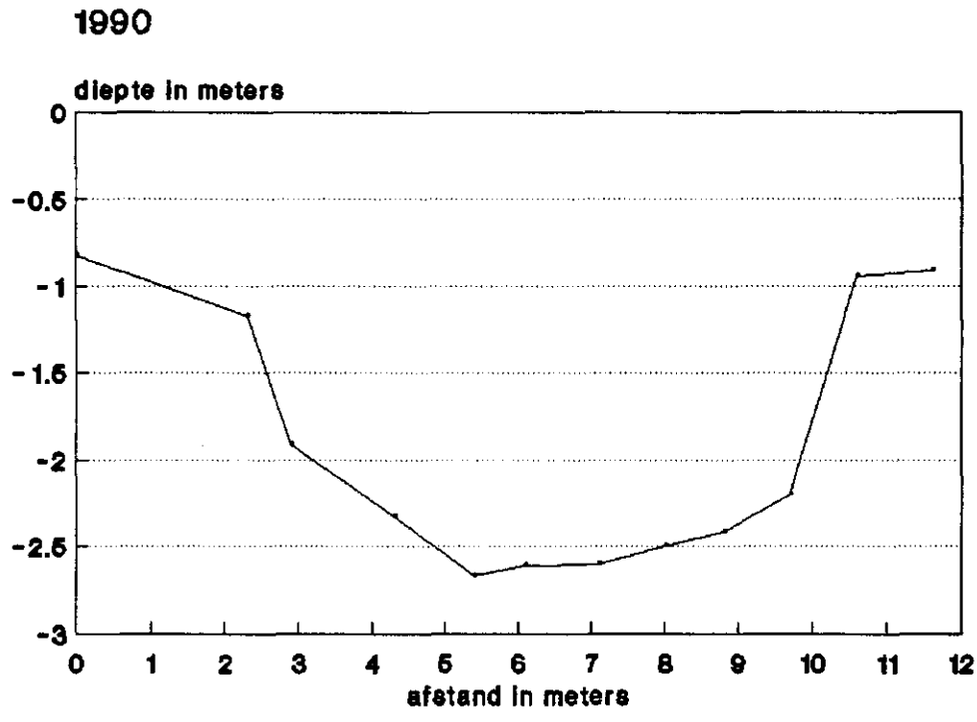
Dwarsprofiel 15.



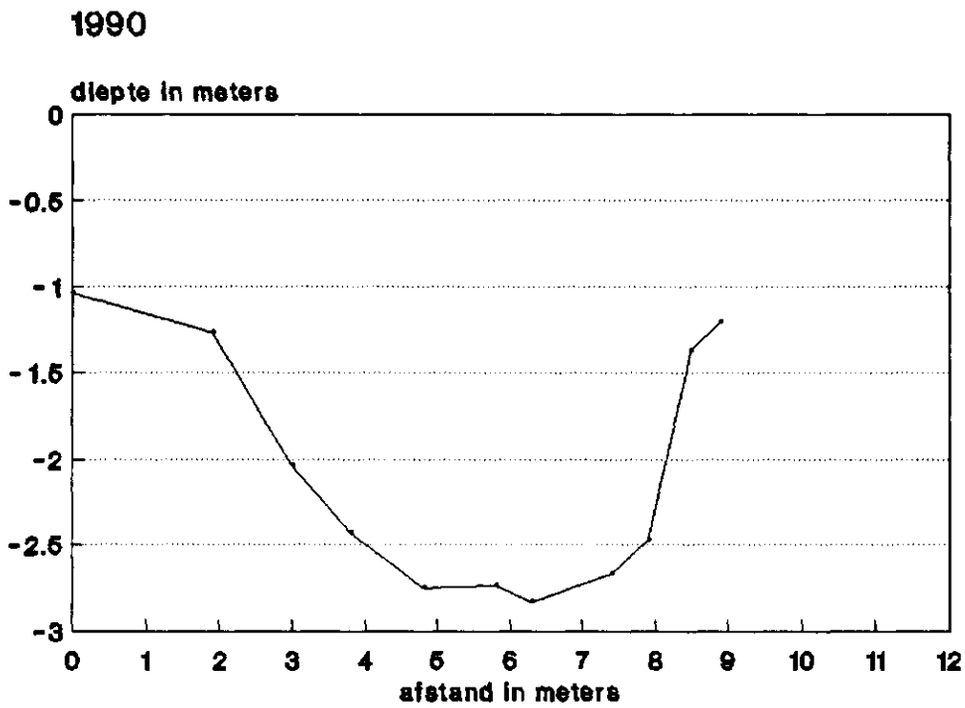
Dwarsprofiel 16.



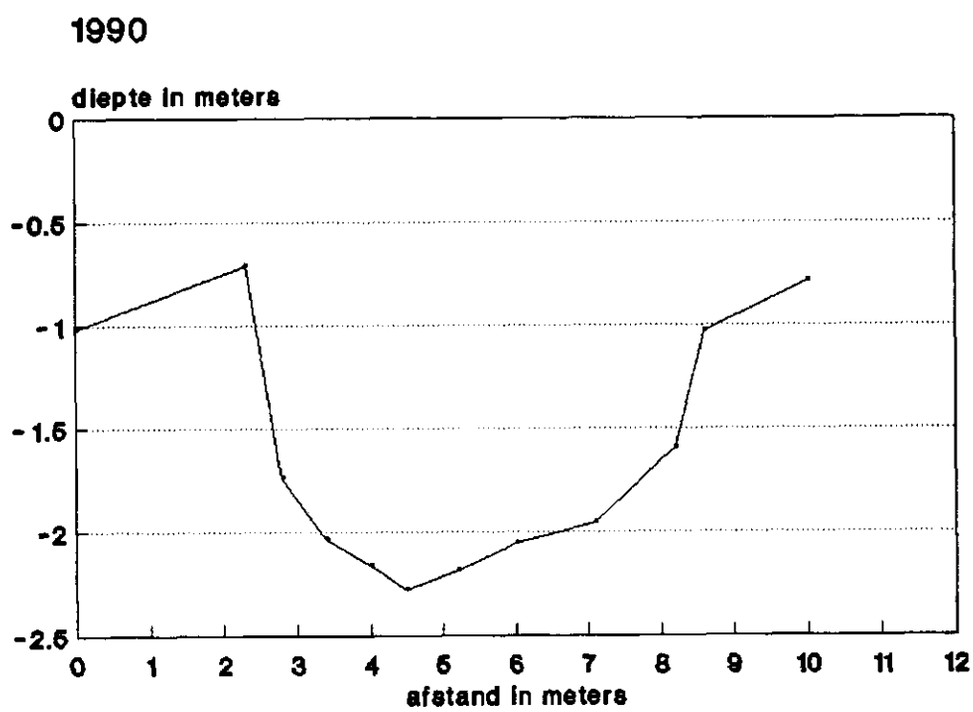
Dwarsprofiel 17.



Dwarsprofiel 18.



Dwarsprofiel 19.



Dwarsprofiel 20.