HOOFDRAPPORT VAN DE WERKGROEP BEEKBEGELEIDENDE BEPLANTINGEN

BEPLANTINGEN LANGS WATERLOPEN ALS BEHEERSMAATREGEL

ISSN: 0920-8992

In het kader van de serie "Mededelingen Landinrichtingsdienst" zijn van de werkgroep Beekbegeleidende Beplantingen tevens de volgende deelrapporten verschenen:

--Inventarisatie oeverbeplantingen (№ 180)
--Natuurbouw in Münsterland (№ 181)
--Oeverbeplanting en waterbeheer (№ 182)

Werkgroep Beekbegeleidende Beplantingen

Contactadres Nederland:
Rijkskantorengebouw "Westraven"
Postbus 20021, 3502 LA Utrecht
Telefoon: 030-852505/852579

Contactadres provincie Gelderland:
Provinciaal kantoor Gelderland
Postbus 9079, 6800 ED Arnhem
Telefoon: 085-579484/579526

INHOUD.

BLZ.

Samenvatting

1. Inleiding 1

1.1. Algemeen 1

1.2. Oprichting van de werkgroep 2

1.3. Doelstelling en toepassingsgebied 2

1.4. Werkwijze van de werkgroep 3

1.5. Inhoud van het rapport 3

2. Inventarisatie 5

2.1. Algemeen 5

2.2. Inventarisatie in de Achterhoek 5
2.2.1. Inleiding 5
2.2.2. Geologie en bodemkunde 6
2.2.3. Topografie 9
2.2.4. Ontstaan van het bekensysteem 9

2.3. Ervaringen in Duitsland 11

2.4. Gegevens uit Limburg en Overijssel 13

2.5. Analyse van de inventarisatie 14
2.5.1. Inleiding 14
2.5.2. Afvoer en stroomsnelheid 14
2.5.3. Het dwarsprofiel 15
2.5.4. Kunstmatige oever- en bodemverdediging 15
2.5.5. De beplanting 17
2.5.6. Beheer en onderhoud 19
2.5.7. Nabeschouwing 22

3. Hydraulische en technische aspecten 25

3.1. Inleiding 25

3.2. Berekeningsformules 25

3.3. Bepaling van de afvoer 25

3.4. Maatgevende afvoer 26

3.5. Keuze van de profielvorm 27

3.6. Toe te passen verhang 28

3.7. Stroomsnelheid 28

3.8. De parameters R, k_M en A 28

3.9. Kunstwerken 32

3.10. Materialen voor talud- en bodemvastlegging 33

4. Ecologie van beplante waterlopen 36

4.1. Inleiding 36

4.2. Typologie van de proefobjecten 37

4.3. Bovenloopjes 39

4.4. Laaglandbeken en grote laaglandbeken 41

4.5. Terrasrandbeken 42

4.6. Kleine rivieren 43

4.7. Sloten en kanalen 44

4.8. Oevers en houtwallen langs waterlopen 45

5. Beplantingsaspecten 46

5.1. Inleiding en probleemstelling 46

5.2. De functies van oeverbeplanting in de waterbeheersing 46

5.3. Overige functies 47

5.4. Soortenkeuze 48

5.5. Beplantingsvormen 50

6. Conclusies en aanbevelingen 56

6.1. Inleiding 56

6.2. Algemene aanbevelingen 56

6.3. Hydraulische en technische aspecten 57

6.4. Ecologische aspecten 57

6.5. Beplantingsaspecten 58

6.6. Aanbevelingen voor onderzoek 60

BIJLAGEN

Bijlage I Proefopzet Stortelersbeek

Bijlage II Samenstelling van de Werkgroep Beekbegeleidende Beplantingen

Bijlage III Literatuurlijst

Samenvatting.

De rapportage van de werkgroep beekbegeleidende beplantingen geeft inzicht in de rol van opgaande oeverbeplantingen in het waterbeheer en geeft een beeld van de ecologische effecten en mogelijkheden bij de toepassing van oeverbeplanting.
Het rapport is de neerslag van de inventarisatie van een aantal beken in de Gelderse Achterhoek, een uitgebreide literatuurstudie en enkele terreinbezoeken in Nederland èn in Duitsland.
Tevens is het resultaat van discussies met vakgenoten op ecologisch, cultuurtechnisch en beplantingstechnisch gebied hierin verwerkt.
De conclusies die getrokken worden hebben in principe betrekking op alle stromende waterlopen tot ca. 10 m breedte in zandgebieden in geheel Nederland.

Inventarisatie.

In de inventarisatie is aandacht besteed aan de gebiedskenmerken en worden vergelijkingen getrokken met ervaringen die in andere provincies en in Duitsland zijn opgedaan. Het blijkt dat, hoewel veel praktijkgegevens voorhanden zijn, aanleg en het beheer onvoldoende zijn gedocumenteerd.
Een gedegen analyse van de inventarisatiegegevens en het trekken van definitieve conclusies over de toepassing van oeverbeplanting als beheersmaatregel is daarom nog niet mogelijk. Uit de inventarisatie blijkt wel dat beplantingen een rol spelen bij de oevervastlegging en de beschaduwing van de waterloop. De toepassing van beplantingen in het waterbeheer lijkt daarmee goede perspectieven te bieden. Verder onderzoek naar de wijze van aanleg-/beheer en de kostenontwikkeling is echter wel noodzakelijk.

Hydraulische aspecten.

Beplanting in het talud heeft hydraulische en technische consequenties voor het doorstroomprofiel. In de hydraulische aspecten komt allereerst een aantal hydraulische berekeningsmethoden aan de orde waarin de verhoogde weerstand door de beplanting in het talud tot uitdrukking komt. Er zijn twee berekeningsmethoden, namelijk die van Felkel en van Obendorf, die beide van de formule van Manning/Strickler zijn afgeleid. Hiermee kunnen maatgevende afvoer, profielvorm in relatie tot het verhang en de in de oever aanwezige beplanting worden bepaald.
Kunstwerken en (tijdelijke) oeverbescherming zijn onlosmakelijk met waterlopen verbonden. Kunstwerken kunnen, mits juist van materiaalkeuze en vorm, het landschappelijke karakter van de waterloop ondersteunen. Door het aanreiken van materialen en methoden voor tijdelijke oeverbescherming wordt aangegeven hoe de oever vastgelegd kan worden tot aan het moment dat de beplanting het talud voldoende heeft doorworteld.

Ecologische aspecten.

In de ecologische aspecten wordt ingegaan op de betekenis die beplantingen voor het ecosysteem van de (aanliggende) waterlopen hebben. Dit resulteert in een aantal aanbevelingen voor de restauratie en instandhouding van de bestaande beekecosystemen en in aanbevelingen voor aanleg en beheer van waterlopen die de potentie hebben om een min of meer compleet beekecosysteem te ontwikkelen.

Opzet is, dat door gebruik te maken van de natuurlijke eigenschappen van waterlopen en oeverbeplantingen, integratie optreedt van waterbeheer enerzijds en natuur- en landschapsbeheer anderzijds. Door de grote rijkdom aan vooral diersoorten en de hiervoor benodigde water- en oevermilieus is het niet mogelijk (en ook niet nodig) concrete aanbevelingen te doen. De aanbevelingen zijn daarom veelal globaal van karakter en vooral gericht op het creëren van een gedifferentiëerde reeks van micromilieus, zowel in de lengte- als in de dwarsrichting.

Beplantingsaspecten.

In het onderdeel oeverbeplanting en waterbeheer wordt een overzicht gegeven van de houtsoorten en de beplantingsvormen die zich het best lenen voor toepassing.
Naast de belangrijke waarden die de aanleg van beplantingen toevoegt aan de ontwikkeling van het landschap dient de beplanting allereerst te voldoen aan een aantal functies in het waterbeheer: remming van de plantengroei in het water door beschaduwing en stabilisering van de oevers door beworteling.
De soortenkeuze in de oeverzône wordt met name bepaald door de dynamiek van water aan- en afvoermechanismen als: overstromingen, stagnatie van water, kwel en grondwaterstand.
Langs stromend water met kortdurende inundaties blijkt vooral de Zwarte boomels over een grote concurrentiekracht te beschikken op groeiplaatsen vlak boven het gemiddelde waterpeil. Hoger op de oever geldt hetzelfde voor de soorten Es, Eik en Hazelaar.
Met behulp van beplantingsvormen, afgestemd op de maat van het dwarsprofiel van de waterloop, wordt een middel aangereikt om te komen tot een eenduidige aanleg en beheer van oeverbeplantingen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen opgaande loofhoutbeplantingen en hakhoutbeplantingen.
Een gesloten struikenrand met bomen in het centrum is de meest ideale opgaande beplantingsvorm. Verwezenlijking hiervan vraagt echter veel ruimte (>15 m per oever), waardoor realisering niet overal haalbaar is. Waar minder ruimte is (8-15 m per oever), kan bovengenoemde beplantingsvorm met een beperkt sortiment, of een opgaande beplanting met afwisselend bomen en struiken in de rand worden toegepast. Wel moet worden bedacht dat dit hogere eisen stelt aan de intensiteit en kwaliteit van het beheer.
Als per oever een geringe breedte beschikbaar is (5-8 m per oever) kan slechts een opgaande beplanting met uitsluitend bomen worden verwacht. Een alternatief voor realisering van beplanting op relatief smalle oeverstroken (5-8 m per oever) wordt geboden door hakhoutbeplantingen. De aanleg van een beplanting die alleen uit struikvormende soorten bestaat, wordt om beplantingstechnische redenen en met het oog op duurzame oevervastlegging ontraden.

Proefprojecten.

Ook na het verzamelen van de vakkennis blijft een aantal vragen onbeantwoord en is er behoefte aan het toetsen van deze kennis. In bijlage I worden de actuele kennis en ervaring en vragen behandeld in inrichtingsvoorstellen voor één van de geïnventariseerde beken. Hierin wordt voor een viertal trajecten concrete voorstellen voor aanleg en beheer gedaan.
Voorgesteld wordt om, in onderlinge samenhang, hydraulische, ecologische en beplantingstechnische methodieken te toetsen en de ontwikkelingen een tijd lang te registreren.

1. Inleiding.

1.1. Algemeen.

In het verleden kwamen in het oosten van Nederland veel waterlopen voor met een beplanting op de oevers. Doordat de beplanting meestal op een wallichaam staat, worden deze waterlopen vaak houtwalbeken genoemd. Door normalisatie en cultuurtechnische ingrepen zijn de beplante waterlopen meer en meer verdwenen uit het Nederlandse landschap. De toenemende behoefte aan produktieverhoging en mechanisatie in de landbouw vereiste een snellere waterafvoer, een grotere drooglegging en rechte kavelvormen. De wens tot mechanisatie van het onderhoud leidde er bovendien toe dat de waterlopen werden geherprofileerd, ontdaan van beplanting en voorzien van onderhoudspaden, stuwen en talud- en bodemvastlegging.

Sinds de zestiger jaren groeit in steeds bredere kring het besef dat min of meer natuurlijke waterlopen die in de loop van een lange periode vorm hebben gekregen grote landschappelijke, ecologische en soms ook cultuurhistorische waarden vertegenwoordigen. De beplante waterlopen, waaraan in dit rapport aandacht wordt besteed, maken hier een onderdeel van uit.
Door de bovengenoemde verbeteringswijze worden deze waarden grotendeels teniet gedaan. Bovendien verhindert de huidige methode van onderhoud het herstel of de ontwikkeling van nieuwe landschappelijke en ecologische kwaliteiten.

Een opgaande begroeiing van bomen en struiken langs waterlopen levert zowel voor- als nadelen op. In de praktijk is gebleken dat door de schaduwwerking van de begroeiing de groei van de vegetaties in het natte profiel van de waterloop vaak zo sterk wordt onderdrukt dat het maaibeheer sterk kan worden beperkt.
Ook blijkt dat de oevers van waterlopen door de beworteling van de beplanting kunnen worden vastgelegd en gestabiliseerd. Daarnaast zijn er de hierboven genoemde positieve effecten voor landschap en natuur. Een belangrijk nadeel is dat de waterloop moeilijk bereikbaar is voor groot onderhoud en herstelwerkzaamheden. Ook kan er stagnatie van de afvoer optreden door afgevallen bladeren en takken.
In waterlopen met hoge stroomsnelheden kunnen bij oeveraantastingen zelfs bomen en stobben in het doorstromingsprofiel terechtkomen. Bovendien wordt opgaande begroeiing, gezien schaduwwerking, wortelconcurrentie en bladafval, door de landbouw als negatief ervaren.

Plaatselijk is in Nederland inmiddels gewerkt aan het behoud en herstel van de zogenaamde houtwalbeken. Zo hier en daar zijn ook nieuwe waterlopen met beplanting aangelegd.

Incidenteel zijn bepaalde aspecten van dergelijke waterlopen bestudeerd en beschreven. Een afgeronde visie op het functioneren van houtwalbeken in Nederland, waarbij voor- en nadelen tegen elkaar zijn afgewogen, ontbreekt echter nog. Met name het belangrijke aspect van beheer en onderhoud heeft te weinig aandacht gehad.

1.2. Oprichting van de werkgroep.

In de provincie Gelderland wordt door een aantal waterschappen al enige tijd aandacht besteed aan beplante waterlopen. Zo werden in de zestiger en zeventiger jaren, hoofdzakelijk om landschappelijke redenen, in de Achterhoek plaatselijk gedeelten van waterlopen ingeplant. Hoewel er wel aandacht was voor het functioneren van deze waterlopen, kon er toch niet gesproken worden van gericht onderzoek en bestudering van de resultaten.

Een directe aanleiding om wel tot een dergelijk onderzoek te komen was een excursie naar Duitsland in juni 1984, georganiseerd door de Directeur Landelijke Gebieden en Kwaliteitszorg en de Inspecteur Landinrichting in de provincie Gelderland. In Münsterland werden onder leiding van ambtenaren van de Regierungspräsident Münster door een veertigtal vertegenwoordigers van waterschappen en andere overheidsdiensten beplante waterlopen bezocht (14).

De belangstelling van de deelnemers ging met name uit naar het beheer en het onderhoud van beplante waterlopen. In Münsterland is jarenlang ervaring opgedaan met dergelijke waterlopen.
Vooral in ruilverkavelingsverband zijn de oevers van waterlopen over grote lengte ingeplant, inclusief een gedeelte van de taluds. Hoewel er aanvankelijk vrijwel alleen met zwarte els werd beplant, vond er later steeds meer variatie op dit thema plaats.

Hoewel de excursie leerzaam was, kwamen er toch veel discussiepunten naar voren. Zo was bijvoorbeeld niet duidelijk of het Duitse systeem, door de andere terreinomstandigheden, in Nederland zou kunnen worden toegepast.
Vervolgens was er de vraag of, gezien de ervaringen in Duitsland, niet voor een andere aanpak gekozen zou moeten worden. Bovendien bleven er nog veel onduidelijkheden ten aanzien van de aanlegkosten, het beheer en het onderhoud van de beplante waterlopen.

De ervaringen die op de excursie werden opgedaan en de wens om de toepassingsmogelijkheden van beplante waterlopen in Gelderland nader te bezien leidden tot de oprichting van de werkgroep "Beekbegeleidende beplantingen" in november 1984.
In deze werkgroep zijn vertegenwoordigd: de waterschappen "Van de Berkel", "Van de Oude IJssel", "IJsselland-Baakse Beek", het polderdistrict "Rijn en IJssel", de provincie Gelderland, en het Ministerie van Landbouw en Visserij. De samenstelling van de werkgroep is weergegeven in bijlage II.

1.3. Doelstelling en toepassingsgebied.

De werkgroep vroeg zich af welke lering er getrokken kan worden uit ervaringen die tot nu toe in Nederland en Duitsland werden opgedaan. De hoofddoelstelling van de werkgroep luidt: "Op grond van beschikbare ervaring en documentatie aanbevelingen voor aanleg, beheer en onderhoud van beplante waterlopen te doen en proeven voor te stellen."
Bij het onderzoek staan de volgende twee vragen centraal:

- In hoeverre is beplanting langs waterlopen een reëel alternatief voor het in deze tijd gehanteerde rationele systeem van beheer en onderhoud.

- Hoe kunnen de in paragraaf 1.1. genoemde voordelen optimaal worden benut en de daar opgesomde nadelen zoveel mogelijk worden beperkt.

De werkgroep heeft zich in eerste instantie gericht op de Gelderse Achterhoek. Door de topografie en de bodemkundige opbouw is dit gebied representatief voor de oostelijke zandgebieden. Hiertoe kunnen ook gerekend worden de nog meer geaccidenteerde gebieden in het uiterste oosten en zuidoosten van ons land.
De conclusies en aanbevelingen van dit rapport zijn daarom voornamelijk van toepassing op deze gebieden.

1.4. Werkwijze van de werkgroep.

De taak van de werkgroep kan als volgt worden omschreven:

- nagaan welke ervaringen in Duitsland en in andere delen van Nederland zijn opgedaan op het gebied van beplante waterlopen;

- het inventariseren van bestaande objecten in de Achterhoek en onderzoeken waar mogelijkheden zijn voor het aanleggen van proefobjecten;

- een analyse van de verzamelde gegevens;

- een nadere studie van het effect van de beschaduwing op beheer en onderhoud en de functie van de beworteling van de beplanting voor de vastlegging en de bescherming van de taluds;

- een beschouwing van de landschappelijke en de ecologische aspecten van beplante waterlopen;

- een beschrijving van de technische aspecten van beplante waterlopen;

- nagaan of er aanbevelingen zijn te doen voor aanleg, beheer en onderhoud;

- voorstellen doen voor nader onderzoek en een aantal gerichte proeven.

1.5. Inhoud van het rapport.

In dit rapport wordt verslag gedaan van de bevindingen van de werkgroep.

Na het inleidende hoofdstuk komen in hoofdstuk 2 de ervaringen in Duitsland en in Nederland en de inventarisatie in de Achterhoek aan de orde. Vervolgens worden in de hoofdstukken 3, 4 en 5 respectievelijk de hydraulische en technische, de ecologische en de beplantings(technische) aspecten behandeld. Op grond hiervan worden in hoofdstuk 6 aanbevelingen gedaan voor aanleg, onderhoud en nader onderzoek. In een bijlage wordt een aantal modellen uitgewerkt.

De ervaringen in Duitsland zijn uitvoerig beschreven in het deelrapport "Natuurbouw in Münsterland" (7). De inventarisatie in de Achterhoek is in detail uitgewerkt in het deelrapport "Inventarisatie oeverbeplantingen" (8). In het deelrapport "Oeverbeplanting en Waterbeheer" (16) wordt uitvoerige informatie gegeven over uiteenlopende soorten beplantingen en hun geschiktheid voor toepassing op oevers van waterlopen. Hoofdstuk 5 is een samenvatting van dit deelrapport.

In dit rapport is niet getracht om bij de beschrijving van de waterlopen een bepaalde typologie aan te houden. De woorden (houtwal-) beek, (begroeide) waterloop, leiding e.d. worden door elkaar gebruikt. Alleen in het hoofdstuk over de ecologie worden verschillende typen onderscheiden.

2. Inventarisatie.

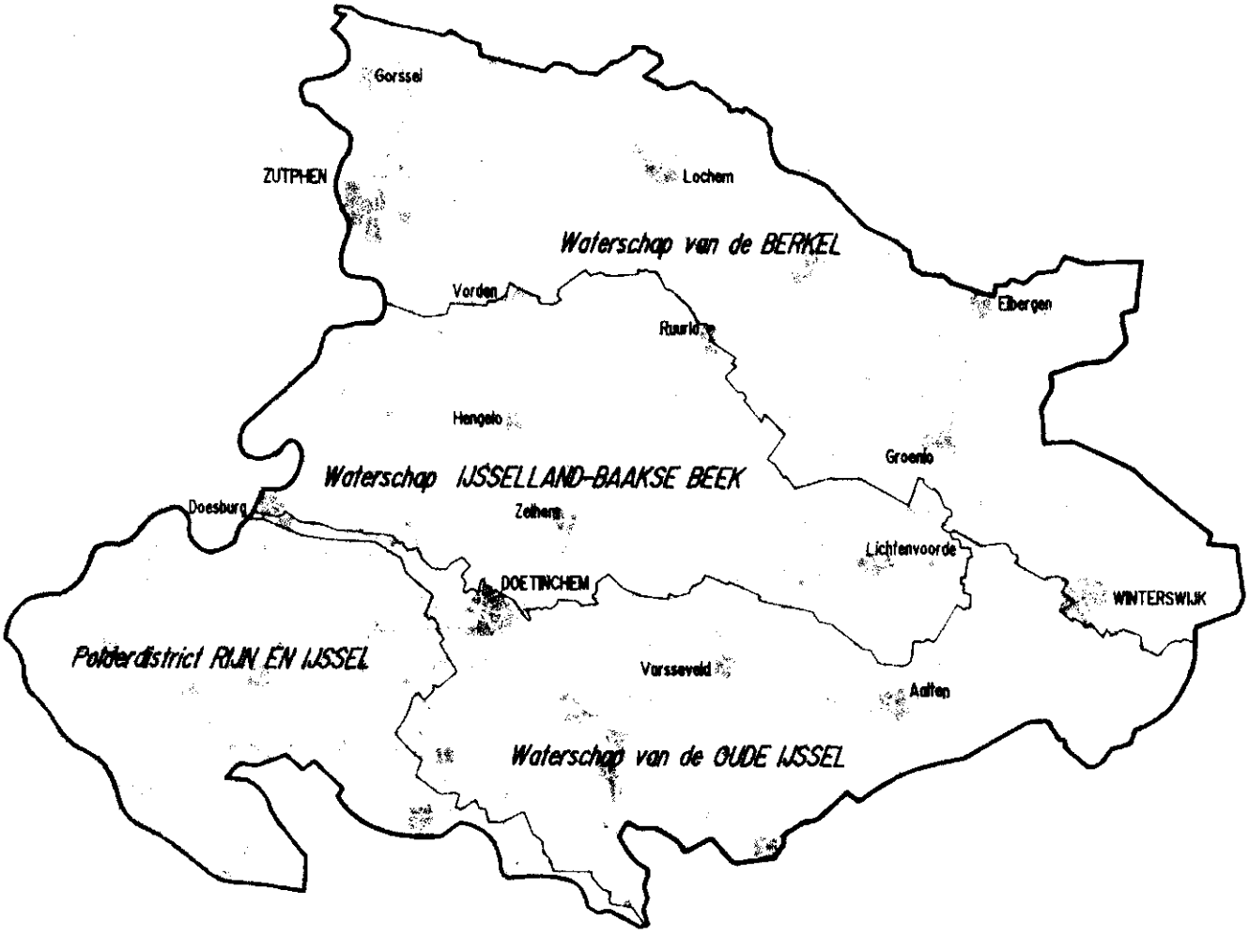
2.1. Algemeen.

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de inventarisaties van de werkgroep. In de Achterhoek is door de werkgroep een aantal waterlopen in detail bekeken. Paragraaf 2.2. geeft daarvan een samenvatting tegen de achtergrond van een beschrijving van de gebiedskenmerken.
In de paragrafen 2.3. en 2.4. worden opgedane indrukken en ter plaatse ingewonnen informatie in respectievelijk Duitsland en Limburg, Overijssel globaal besproken.
Hoofdstuk 2 sluit af met een analyse van bovengenoemde gegevens.

2.2. Inventarisatie in de Achterhoek.

2.2.1. Inleiding.

Als een van de deeltaken van de werkgroep wordt in hoofdstuk 1 genoemd het inventariseren van met opgaand hout begroeide waterlopen in Gelderland. Het doel van deze inventarisatie was tweeledig.



Figuur 1: het onderzoeksgebied met de begrenzing van de deelnemende waterschappen.

In de eerste plaats kan door het analyseren en bestuderen van de verzamelde gegevens een eerste indruk worden verkregen van het functioneren van deze waterlopen. Daarnaast kan worden nagegaan welke van deze waterlopen als proefobject kunnen dienen.

Hiervoor is in de jaren 1985 en 1986 in het gebied van de waterschappen "Van de Berkel", "Van de Oude IJssel", "IJsselland- Baakse Beek" en het polderdistrict "Rijn en IJssel" (figuur 1) een groot aantal waterlopen bezocht dat al beplant is of in aanmerking komen om ingeplant te worden. Een aantal van deze waterlopen werd in de laatste 5 à 10 jaar beplant, andere liggen reeds van oudsher in het hout. Vaak betreft het bovenlopen of gedeelten van beken waarvan door afkoppeling de afvoer sterk is verminderd. Een gedeelte van de geïnventariseerde waterlopen fungeerde reeds als proefobject. Zoals werd vermeld werden ook waterlopen bezocht waar beplanting zou kunnen worden aangebracht.

Bij het terreinbezoek kregen de verschillende aspecten van de met opgaand hout begroeide waterlopen de aandacht. Een vertegenwoordiger van het waterschap lichtte ter plaatse een en ander toe. De voorlopige bevindingen werden daarbij besproken. Ook stelden de waterschappen, voor zover aanwezig, gegevens over aanleg en onderhoud beschikbaar.

Zoals in paragraaf 1.5. al werd opgemerkt zijn de geïnventariseerde gegevens uitvoerig beschreven in het deelrapport "Inventarisatie oeverbeplantingen. Ervaringen met en mogelijkheden voor beplantingen langs waterlopen" (8). Daarin zijn van elk object achtereenvolgens de ligging, het karakter, de hydrologische en de hydraulische gegevens, de begroeiing en het beheer en het onderhoud beschreven.
Over het algemeen is de beschrijving beperkt gebleven tot de beplante gedeelten van de waterlopen.

Tabel 1 geeft een overzicht van de geïnventariseerde waterlopen. Voor een goed inzicht in de problematiek wordt in de volgende paragrafen een korte gebiedsbeschrijving gegeven.

2.2.2. Geologie en bodemkunde.

Het grootste gedeelte van het studiegebied vertoont globaal gezien qua bodemgesteldheid veel overeenstemming met grote delen van de oostelijke provincies van ons land. Alleen het meest oostelijke deel dat geologisch gezien een bijzonder gebied is, wijkt af van het normale patroon van de oostelijke zandgebieden.

Ten oosten van de lijn Bocholt - Aalten - Lichtenvoorde - Groenlo - Eibergen ligt het zogenaamde Oostnederlandse plateau, dat relatief hoog is gelegen. Ten gevolge van tektonische werking zijn op dit plateau horsten en slenken en plaatselijk ook plooiingen ontstaan. Door erosie en sedimentatie zijn naderhand de hierdoor ontstane hoogteverschillen weer sterk verkleind (6).
In dit oostelijk gebiedsonderdeel komen op veel plaatsen oude afzettingen aan de oppervlakte of dicht daaronder voor. In het kader van dit rapport zijn vooral de oude kleiige en lemige afzettingen uit de Jura in het Krijt en de oligocene en miocene kleien van belang. Op veel plaatsen op het plateau is in het Saalien door het landijs keileem afgezet. Door vermenging van de grondmorene met de oude kleien is het lutumgehalte van de keileem hoog.

Tabel 1: Indeling van de geïnventariseerde waterlopen naar gebiedskenmerken, met vermelding van afwaterende oppervlakte en verhang.

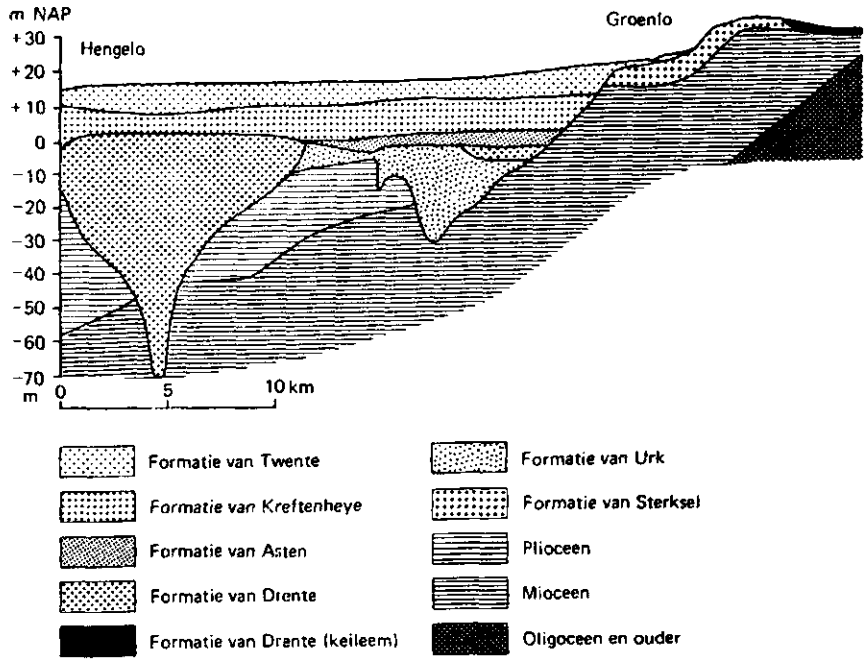
Gebiedsonderdeel	Afw. opp.	Verhang
Op het plateau.		
Beurzerbeek	1350 ha	1.1-1.3 o/oo
Afw. van Warfslat	320 ha	ca. 1.0 o/oo
Afw. van Schreurs	205 ha	2.5-3.0 o/oo
Ratumse beek	4000 ha	1.0-2.0 o/oo
Willink beek	1600 ha	1.0-2.0 o/oo
Stortelers beek	1020 ha	1.5-1.9 o/oo
Haartse waterleiding*		ca. 2.9 o/oo
Op de rand van het plateau.		
Bosch waterleiding*		ca. 4.8 o/oo
Huiskerbeek*		3.7.6.3 o/oo
Lievelderbeek	170 ha	2.0-4.7 o/oo
Visserijbeek	70 ha	4.8-5.7 o/oo
Vragenderbeek	320 ha	1.0-5.4 o/oo
Zilverbeek	250 ha	2.2-7.2 o/oo
Snijders Veerbeek*		ca. 6.5 o/oo
Dekzand landschap.		
Baakse beek*		ca. 0.4 o/oo
Oude Lindense laak*	200 ha	0.3-0.6 o/oo
Oude Veerbeek	650 ha	ca. 1.0 o/oo
Vlakke gebieden.		
Grenskanaal	2200 ha	0.1-0.2 o/oo
Proefobject Beek	60 ha	ca. 0.1 o/oo
Proefobject Eldrik	18 ha	< 0.1 o/oo

Noot: de met een * aangegeven waterlopen zijn zogenaamde afgekoppelde leidingen.

Plaatselijk liggen, zoals al werd opgemerkt, de oude kleien en de keileem aan de oppervlakte. Voor een groot gedeelte zijn zij echter afgedekt met fluvioglaciaal zand, dekzanden en holocene afzettingen zoals beekbezinking en veen. Op de rand van het Oostnederlandse plateau ligt een rivierterrasrest van het preglaciale Rijnsysteem.

Ten westen van de terrasrand duiken de oude afzettingen snel tot op grote diepte weg (zie figuur 2). Tijdens het afsmelten van het landijs is hier in dikke pakketten fluvioglaciaal zand afgezet. Daarna werd dit gebiedsonderdeel in verschillende perioden sterk beïnvloed door rivieren. Met name een tak van de Rijn heeft in een vlechtend riviersysteem veel grof en grindhoudend zand aangevoerd. Later zijn op deze sedimenten min of meer dikke lagen dekzand afgezet.

In het gebied komen ook grote oppervlakten voor met holocene afzettingen van zand en klei. Deze worden aangetroffen in de beekdalen en met name langs de west- en zuidwestrand van het gebied. Plaatselijk heeft er in het Holoceen veenvorming plaatsgevonden.



Figuur 2: geologische doorsnede van Hengelo (G) tot ten oosten van Groenlo (22).

Er is een nauwe relatie tussen de hierboven in het kort beschreven geologische ontstaanswijze en de bodemkundige opbouw van het gebied. In grote lijnen kunnen naar bodemtype drie gebiedsonderdelen worden onderscheiden.

In de eerste plaats het plateaugedeelte.
Dit is een erg gevarieerd gebied met beekeerd-, podzol-, enkeerd- en oude kleigronden. Vooral bij de poldzolgronden wordt vaak oude klei of keileem op een geringe diepte beneden het maaiveld aangetroffen. De meeste van de geïnventariseerde beken liggen in dit meest oostelijk gelegen gebiedsonderdeel.

Vervolgens kan ten westen van de plateaurand een gebiedsonderdeel worden onderscheiden dat duidelijk de kenmerken draagt van een oostelijk zandgebied. Aan de westkant wordt het globaal begrensd door de lijn Bocholt - Varsseveld - Zelhem - Hengelo - Vorden - Eefde - Gorssel. Plaatselijk komen hier podzol-, beekeerd-, enkeerd- en vaaggronden in een sterke afwisseling voor. Vaak liggen echter ook de podzol- en beekeerdgronden in grote min of meer aaneengesloten oppervlakten. Tussen Ruurlo en Groenlo en in het dal van de Berkel komen, in plaats van beekeerdgronden, zavelgronden en lichte kleigronden voor.

Het derde gebiedsonderdeel is het meest westelijk en zuidwestelijk gelegen en wordt gekenmerkt door recente rivierinvloeden. Het is een overgangsgebied tussen het hierboven beschreven deel en het huidige rivierlandschap van de IJssel en de Oude IJssel.
In het zuiden overheersen de vlakvaaggronden, in het midden de beekeerdgronden en in het noorden de vlakvaaggronden met een kleidek. Deze bodemtypen komen daar meestal voor in afwisseling met enkeerdgronden en podzolgronden.

Geologisch en bodemkundig gezien zijn de gebieden die in Limburg, Overijssel en Duitsland werden bezocht goed vergelijkbaar met het studiegebied in de Achterhoek.
Ook daar werden, naast zandgronden met de daarvoor karakteristieke bodemtypen, gronden aangetroffen waar de invloed van oude afzettingen zich duidelijk laat gelden.

2.2.3. Topografie.

Het onderzoeksgebied helt van 45 à 50 m+NAP langs de Duitse grens naar 8 à 9 m+NAP in de vallei van de IJssel. In het meest oostelijk gelegen deel is het verhang het grootst.
Bij de rand van het Oostnederlandse plateau is een duidelijke overgang in de hoogteligging. Daarnaast is het verloop van het terrein erg geleidelijk.

De topografie van het oostelijk gedeelte wordt in belangrijke mate bepaald door het patroon van horsten en slenken en oude erosiegeulen in de ondergrond. Hoewel de hoogteverschillen door erosie en afzettingen in latere perioden zijn genivelleerd is het oorspronkelijke patroon in het huidige reliëf herkenbaar.
De nog aanwezige hoogteverschillen worden in dit gebiedsonderdeel op veel plaatsen geaccentueerd door oude bouwlanden.

Het gebied ten westen van het plateau wordt gekenmerkt door een zacht glooiend dekzandlandschap. Soms wordt dit patroon onderbroken door duidelijke opduikingen. Hier en daar komen gebiedsonderdelen voor met een erg vlakke ligging. In het brede dal van de IJssel en de Oude IJssel zijn plaatselijk duidelijke hoogteverschillen aanwezig. Het reliëf wordt hier soms sterk bepaald door oeverwallen en stuifduinen.

2.2.4. Ontstaan van het bekensysteem.

Het ontstaan van de beken in de Achterhoek hangt nauw samen met de menselijke activiteiten in het gebied tijdens de vorming van het cultuurlandschap.
In vroegere tijden moest het water zich op een natuurlijke wijze een weg vinden via rivieren, beken en laagten in het gebied. De meeste beken in de Achterhoek vormden oorspronkelijk geen doorlopend systeem. In natte perioden verzamelde het water zich in laagten, waarna het in de bodem werd opgenomen en geleidelijk aan het grondwater werd afgegeven, dan wel werd afgevoerd naar nog lager gelegen gebieden. Bij het in cultuur brengen trachtte men de ontwatering te verbeteren door het graven van sloten en greppels. Hierbij werden de laagten met elkaar verbonden, zodat het water sneller afgevoerd kon worden.
Tevens vond aansluiting op van nature aanwezige beken plaats. Soms werden de beeklopen ook om bepaalde redenen verlegd. Op deze wijze is geleidelijk een patroon van waterlopen ontstaan. Veel waterlopen in de Achterhoek zijn dus, hoewel zij als beek worden betiteld, voor een groot gedeelte door de mens aangelegd.
De beken zijn veelal diep ingesneden in het landschap. Voor een belangrijk deel wordt die veroorzaakt door het natuurlijk reliëf. Plaatselijk is het echter ontstaan doordat hoge terreingedeelten werden doorgraven. Door het beperkte waterbergende vermogen, de geringe watervoerende mogelijkheden van de dekzandlaag en het grote verhang, reageert dit gebied snel en heftig op de neerslag.

Hierdoor komen vooral tijdens piekafvoeren vrij hoge stroomsnelheden voor. Ten gevolge van het hiermee gepaard gaande hoge zandtransporterende vermogen wordt een aanzienlijke hoeveelheid zand getransporteerd. Tevens worden plaatselijk beekoevers aangetast. De afvoerpieken en de hoge stroomsnelheden zijn vaak de oorzaak van het erosieve, diep ingesneden karakter van de beken in het studiegebied (9, 28).
Op plaatsen waar het verhang gering was hebben zich in het verleden ook beeksedimenten kunnen afzetten. Deze worden bijvoorbeeld aangetroffen langs de Beurzerbeek en de Haartse waterleiding. De plaatselijk voorkomende beeksedimenten dateren veelal uit de overgangsperiode tussen het min of meer natuurlijke landschap en het cultuurlandschap. Na het verbeteren van de afwatering nam de hoeveelheid water en de stroomsnelheid toe, waardoor minder mogelijkheden aanwezig waren voor sedimentatie.

Figuur 3: de Ratumse beek, een beek met een natuurlijk voorkomen.

Zoals al werd opgemerkt heeft het merendeel van de beken in het studiegebied van oorsprong een kunstmatig karakter. Door het reliëf van het landschap, de wijze waarop men zich bij de vorming van het oude cultuurland aansloot bij de natuurlijke gesteldheid van het gebied en erosie en sedimentatie kregen veel beken in de loop van de tijd een min of meer natuurlijk voorkomen.
Sinds het eind van de vorige eeuw wordt de afwatering van het gebied verzorgd door waterschappen. Deze instanties hebben het afwateringsstelsel steeds verder verbeterd en verfijnd. Door cultuurtechnische maatregelen, ook in het aangrenzende Duitse gebied, kwam daar ook steeds meer behoefte aan.

Veel beken hebben hierdoor hun natuurlijk karakter verloren. Ook zijn er veel nieuwe waterlopen aangelegd.
Op een aantal plaatsen werden koppelleidingen of laterale waterlopen gegraven om gedeelten van het bekensysteem te ontlasten.

Door bovengenoemde maatregelen is de waterhuishoudkundige toestand aanzienlijk veranderd.
Grote gebieden waar vroeger de grondwatertrappen II, III en V veelvuldig werden aangetroffen worden nu gekenmerkt door het voorkomen van de grondwatertrappen III*, V* en VI.
Ernstige wateroverlast in de vorm van overstromingen en langdurige plas-dras situaties behoren bijna geheel tot het verleden. Indien er nog inundaties voorkomen is dat vrijwel steeds op beperkte schaal en gedurende een korte periode.
Door een combinatie van de waterbeheersingswerken en onttrekking van grondwater kan de droogtegevoeligheid plaatselijk zijn toegenomen.

2.3. Ervaringen in Duitsland.

De werkgroep had zich onder meer ten doel gesteld om een beter inzicht te verkrijgen in het Duitse systeem van aanleg en onderhoud van met houtgewassen beplante waterlopen. Om die reden zijn er bezoeken gebracht aan vier ruilverkavelingsgebieden in Münsterland, zowel in de omgeving van Vreden, Stadtlohn, Bösensell en Appelhülsen, waar de waterlopen ongeveer 10 jaar geleden zijn aangelegd, als het gebied rond Heek waar dit later gebeurde. Er werden contacten gelegd met instanties die verantwoordelijk zijn voor de aanleg en het onderhoud van de waterlopen.

In deze paragraaf wordt in het kort een indruk gegeven van de ervaringen die in Duitsland werden opgedaan. Voor een meer uitvoerige informatie kan verwezen worden naar het deelrapport "Natuurbouw in Münsterland" (7).

Een van de eerste zaken die opvallen in Duitsland is de overdimensionering die bij de aanleg van de waterlopen wordt toegepast. Met name de bodemhoogte die over het algemeen ongeveer 2.00 m-maaiveld bedraagt, valt hierbij op. Een belangrijke reden hiervoor is het ontwateringssysteem dat gebaseerd is op een samengestelde drainage in combinatie met een ontwateringsdiepte die op de akkerbouw is afgestemd.

Door de overdimensie van de waterlopen kan een meerrijige beplanting in het talud worden aangelegd. De beplanting dient voor het vastleggen van het talud en het onderdrukken van de begroeiing met grassen en kruiden van het natte profiel. Daarnaast kan er een landschappelijke en een ecologische functie aan worden toegekend.

In de beginperiode werd er bij het beplanten van waterlopen in Duitsland praktisch alleen gebruik gemaakt van zwarte els.
De waterlopen werden aangelegd volgens een vast en strak patroon.
In latere jaren is er meer variatie gekomen in de manier van aanleg en de soortenkeuze.
Bij de hydraulische berekeningen van de waterlopen wordt er rekening mee gehouden dat er bij hoge afvoeren beplanting in het natte profiel staat.

Voor de wijze van berekening zijn verschillende methoden ontwikkeld.

Figuur 4: een beplante waterloop in Münsterland.

Het verhang van de waterlopen in Münsterland is over het algemeen groter dan in de vergelijkbare Nederlandse gebieden. Toch werden ook beplante waterlopen aangetroffen met een duidelijk geringer verhang, die goed bleken te functioneren.
De bodem en de onderkant van het talud zijn in Duitsland veelal vastgelegd en beschermd met materialen als stortsteen, glasas en kunstvezeldoek.
Uit navraag bleek dat de aanlegkosten van beplante waterlopen hoger waren dan van andere vergelijkbare waterlopen.

Voor een belangrijk deel wordt dit veroorzaakt door de combinatie van beplanting en extra bodem- en taludvoorzieningen.
Voor het jaarlijkse onderhoud is een vast systeem ontwikkeld. Er is een duidelijk verschil tussen de onderhoudskosten in de eerste jaren, als de aanplant nog jong en gering van afmeting is, en in de periode daarna. Goede voorbeelden van beplantingen die al een of meer keren waren afgezet, zijn niet aangetroffen. Op dit punt zal men ook in Duitsland nog ervaringen moeten opdoen.
In het algemeen kan worden opgemerkt dat het beeld van de kosten van het onderhoud te weinig concreet is om het direct voor Nederlandse omstandigheden te kunnen gebruiken.

2.4. Gegevens uit Limburg en Overijssel.

Naast een uitgebreide inventarisatie in het oosten van Gelderland, is ook nagegaan welke ervaringen in andere delen van Nederland zijn opgedaan met beplante waterlopen. Hiervoor zijn er bezoeken gebracht aan de provincies Limburg en Overijssel. In Limburg betrof dit het gebied van de waterschappen "Noord-Limburg", "Midden-Limburg", "Roer en Overmaas" en "Maasterras" en in Overijssel het gebied van het waterschap "Regge en Dinkel". Hierbij ging het zowel om beken die van nature in het hout lagen als om waterlopen waarbij de beplanting bewust was aangelegd.
Het is opvallend dat er, terwijl in bepaalde delen van Nederland houtwalbeken al enige tientallen jaren de aandacht hebben, geen duidelijk systeem is ontwikkeld zoals in Duitsland. Coördinatie en overleg heeft nauwelijks plaatsgevonden. Ook is er nog maar weinig aandacht besteed aan analyse en beoordeling van de bereikte resultaten.

In Limburg is met name door het waterschap "Maasterras" in de zestiger jaren een aantal genormaliseerde beken van een beplanting voorzien. Over het algemeen is daarbij de beplanting in stroken ter weerszijden van de schouwpaden aangebracht. De bodem en het onderste gedeelte van het talud zijn meestal beschermd met tegels of betonplaten. Omdat er geen directe relatie is tussen de waterlopen en de beplanting, heeft deze manier van aanleg vrijwel alleen een landschappelijk-visuele betekenis (17).

Na de zestiger jaren is er in Limburg op het gebied van begroeide waterlopen nog wel een en ander gebeurd (13). Van een duidelijke systematische aanpak is echter nog geen sprake. Hierdoor zijn er plaatselijk wel wat ervaringen opgedaan, maar er is nog geen totaalvisie ontwikkeld.

In Overijssel besteedt het waterschap "Regge en Dinkel" in bepaalde gebieden van Twente aandacht aan de landschappelijke en ecologische functie van waterlopen. Het gaat hierbij om nog niet verbeterde en genormaliseerde beken. Er bestaat een tendens om bij de planvorming gehele beeksystemen in de beschouwing te betrekken. Wat de uitvoering betreft moet echter worden geconstateerd dat er nog maar een aantal beken of beekgedeelten zij gerealiseerd. Ook hier blijkt dat er nog geen duidelijk beeld is van resultaten en ervaringen met beplante waterlopen.
Samenvattend kan er worden geconstateerd dat er in de bezochte provincies nog geen duidelijke richtlijnen bestaan voor de aanleg van met hout begroeide waterlopen.

Er is met name nog maar weinig ervaring opgedaan met de vastlegging en de bescherming van taluds door middel van beworteling. In Nederland is ook over het beheer en onderhoud en de kosten hiervan nog niet veel bekend.

2.5. Analyse van de inventarisatie.

2.5.1. Inleiding.

In de navolgende analyse is getracht om een aantal kenmerken uit de inventarisatie in de Achterhoek aan te geven en deze, voor zover mogelijk, te vergelijken met de ervaringen elders. Achtereenvolgens komen aan de orde afvoer en stroomsnelheid, het dwarsprofiel, kunstmatige oever- en bodemverdediging, beplanting en het beheer en onderhoud. Het geheel wordt besloten met een samenvatting en conclusies.

2.5.2. Afvoer en stroomsnelheid.

De slecht doorlatende ondergronden en de terreinhellingen zijn in sterke mate bepalend voor de waterhuishouding in het studiegebied.
De neerslag die in het oostelijk gedeelte slechts voor een gering deel in de grond geborgen kan worden, komt snel tot afvoer. Hierdoor kan wateroverlast optreden in nauwe gedeelten van beekdalen op het plateau, in gebieden op de overgang naar een minder sterk verhang en aan de voet van de helling.

Bij een onderlinge vergelijking van de gebiedsonderdelen kan worden geconstateerd dat de afvoeren en de daarmee gepaard gaande stroomsnelheden sterk variëren. In het verloop van de tijd kunnen er grote verschillen optreden. In perioden met weinig neerslag valt een aantal waterlopen zelfs geheel droog.

Uit metingen in het gebied kan de conclusie worden getrokken dat, op een enkele uitzondering na, de maatgevende afvoer niet extreem hoog is. Wel is van een aantal beken bekend dat er gedurende zeer korte perioden erg hoge pieken in de afvoer kunnen optreden.
De genoemde wateroverlast wordt voornamelijk veroorzaakt doordat het leidingstelsel het water bij deze piekbelastingen niet snel genoeg kan verwerken. De oevers kunnen dan in een korte tijd ernstig worden aangetast.

Rond Winterswijk en op de afhang van het plateau komen de hoogste snelheden voor. Ten westen en ten zuidwesten van dit gebied zijn de stroomsnelheden meestal aanzienlijk lager. Periodiek komt daar, onder andere in gestuwde panden, ook nagenoeg of geheel stilstaand water voor.

De stroomsnelheid is voor een groot gedeelte bepalend voor het erosie- en sedimentatieproces in de waterloop. De samenstelling van de ondergrond speelt hierbij een belangrijke rol.
Een bodem van tertiaire klei is bijvoorbeeld veel minder gevoelig voor erosie door stromend water dan een zandprofiel. Zowel in het studiegebied als bij de in andere provincies en in Duitsland bezochte objecten kon dit worden waargenomen.

In zandgebieden ontstaat een ideale situatie als erosie en sedimentatie met elkaar in evenwicht zijn. Dit betekent dat de afzetting en de opname van zand even groot zijn. Vaak is dit niet het geval en moet er periodiek sedimentatiemateriaal worden verwijderd. In een aantal gevallen is een oplossing gezocht in de vorm van een zandvang. Hiermee is het probleem echter niet altijd geheel ondervangen.

Voor waterlopen die begroeid zijn met opgaand hout is de stroomsnelheid ook van belang voor de afvoer van het afgevallen blad.
In het oosten zijn de stroomsnelheden in de regel groot genoeg om bladophoping te voorkomen, in de vlakkere gebieden is dit niet steeds het geval. Vooral bladeren die langzaam verteren leveren daar problemen op. Door periodiek droogvallen wordt het verteringsproces bevorderd.

2.5.3. Het dwarsprofiel.

Een groot aantal van de geïnventariseerde waterlopen heeft een dwarsprofiel dat, gezien de af te voeren hoeveelheden water, aan de krappe kant is. De taluds zijn over het algemeen steil en soms is er sprake van een overhangend talud. Stabiele situaties worden hierbij vaker aangetroffen bij oevers die goed doorworteld zijn door bomen en struiken dan op plaatsen met kale oevers.
Duidelijk kwam naar voren dat ook de samenstelling van de ondergrond een belangrijke rol speelt. In leemgronden ontstaat veel sneller een stabiele situatie dan in zandgronden.

Bij begroeide waterlopen die zijn geherprofileerd, is het profiel in de loop van de jaren aanzienlijk veranderd. Dit is met name het geval als er binnen het gegraven profiel weer meandering optreedt. Steeds verdergaande uithollingen en aanzandingen zijn hiervan het gevolg. Op den duur ontstaat er een dwarsprofiel dat ecologisch wel aantrekkelijk is, maar dat hydraulisch niet ideaal genoemd kan worden.
Aantastingen van de taluds zijn vooral aangetroffen op plaatsen waar het hout verdwenen is of waar de nieuwe aanplant nog niet goed was aangeslagen of alleen boven aan het talud is aangebracht.

2.5.4. Kunstmatige oever- en bodemverdediging.

De waterloop blijft net zolang van vorm veranderen tot dat er een min of meer stabiele situatie is ontstaan. Dit kan lang duren en het tracé van de waterloop kan inmiddels aanzienlijk zijn veranderd. Hierbij ontstaan al spoedig situaties waarmee aanliggende eigenaren niet akkoord kunnen gaan. Duidelijke voorbeelden hiervan zijn te vinden langs de Aaltense Slinge en de Ratumse en de Willink beek.

Een voortgaande aantasting van de oevers kan in Nederland niet worden toegelaten. Het grondgebruik is intensief en de oevers van de waterloop grenzen vaak direct aan de cultuurgrond. Door het afkalven van oevers kan cultuurgrond verloren gaan of raken bijvoorbeeld afrasteringen onderspoeld. Zowel aangrenzende grondgebruikers als waterschappen hebben in het onderzoeksgebied maatregelen genomen om oevers die worden aangetast te verdedigen.
Door particulieren is vaak gebruik gemaakt van puin en ander bouwafval. De waterschappen hebben met wisselend succes allerlei soorten van oeververdediging toegepast.

Er zijn in het gebied proeven genomen met heidebalen, verschillende soorten beschoeiingen en damwanden. Vaak bleken deze voorzieningen op den duur niet te voldoen omdat zij achterspoeld en onderspoeld raakten. Goede resultaten zijn bereikt met puin afgedekt met staalslakken. Deze oeververdediging is onder andere toegepast in buitenbochten van opnieuw ingeplante waterlopen. De nieuwe aanplant wordt daarbij vlak boven de oeververdediging aangebracht.
Op enkele plaatsen is bij aangeplante waterlopen kunststofdoek als taludbescherming gebruikt.

In het algemeen kan worden gesteld dat de begroeide waterlopen in het onderzoeksgebied veel minder vaak voorzien zijn van een kunstmatige talud- en bodembescherming dan de bezochte waterlopen in Duitsland en Limburg. In de genormaliseerde waterlopen zonder beplanting zijn, met name in het oostelijke gebiedsonderdeel, vaak wel dergelijke voorzieningen aangebracht.

Bodem- en met name oeverbescherming kan landschappelijk als negatief worden ervaren. Sommige materialen zoals betonplaten en betonsteen zijn ook niet te combineren met een optimaal functionerende beplanting. Bovendien is een afdekking van taluds en bodems met dergelijke dichte materialen ecologisch gezien erg nadelig.

Figuur 5: puin en ander bouwafval, zoals hier op particulier initiatief aangebracht, kan landschappelijk en ecologisch als negatief worden ervaren.

Natuurlijke materialen, zoals wiepen van rijshout, zijn nog maar weinig toegepast. In de Zilverbeek zijn recentelijk enkele proefstukken aangelegd. De wiepen dienen als een tijdelijke voorziening. De aangebrachte beplanting zal na verloop van tijd de functie als oeververdediging moeten overnemen. Ook in Overijssel zijn voorbeelden aangetroffen van dit gebruik van natuurlijke materialen.

Figuur 6: het aanbengen van wiepen in de Zilverbeek.

2.5.5. De beplanting.

Bij een waterloop die op een natuurlijke wijze is begroeid, is meestal sprake van een zekere zonering. Dicht langs de waterkant komen houtgewassen en kruiden voor die in natte en vochtige milieu's thuishoren. Meer droogteminnende soorten hebben zich verder van de waterlijn gevestigd. Bij flauwe taluds en oevers die geleidelijk oplopen is de zonering duidelijk te herkennen. Op plaatsen waar op een natuurlijke of een kunstmatige manier oeverwallen of kaden zijn ontstaan is de overgang abrupter.
Dit is ook het geval als waterlopen diep ingesneden zijn in hoog gelegen gronden. De steile oevers die hier worden aangetroffen zijn vaak begroeid met levermossen en varens.

Langs de geïnventariseerde waterlopen wordt slechts op weinig plaatsen een min of meer natuurlijke begroeiing aangetroffen. Vaak is de beplanting bewust aangelegd aan een zijde of aan weerszijden van de leiding. Zoals in hoofdstuk 1 al werd opgemerkt is het doel dat hiermee werd beoogd moeilijk te achterhalen.

Voor een beoordeling van de beplanting is gelet op de huidige functie. Hierbij ging het in de eerste plaats om de beschaduwing van het natte profiel en de versteviging van de oevers door beworteling. Daarnaast hadden het landschappelijk en ecologisch aspect de aandacht.

Beschaduwing van het natte profiel heeft ten doel de groei van grassen en kruiden tegen te gaan. Het traditionele onderhoud dat voor een groot gedeelte uit maaien bestaat, kan hierdoor vrijwel geheel achterwege blijven. Zowel in het onderzoeksgebied als in de andere provincies en in Duitsland zijn veel duidelijke voorbeelden hiervan te vinden. Vooral een tweezijdige en meerrijige beplanting levert goede resultaten op. Eenzijdige beplanting biedt soms mogelijkheden indien deze aan de zuidzijde van smalle oost-west gerichte waterlopen wordt aangebracht. Elzen in een enkele rij geplant laten na verloop van tijd, als zij van onderen kaal zijn geworden, te veel licht door.
In principe zijn bijna alle houtsoorten geschikt voor beschaduwing. Het licht wordt erg goed weg gevangen door een afwisselende beplanting van bomen en struiken.
Bij de keuze van het sortiment moet echter wel rekening worden gehouden met bestaande beplantingen. Veel soorten, waaronder de zwarte els, komen in de schaduw namelijk moeilijk tot ontwikkeling. Andere soorten, zoals hazelaar, haagbeuk, vlier, voldoen goed en lijsterbes, meidoorn en sleedoorn onder bepaalde omstandigheden redelijk in de schaduw.

Uit de inventarisatie blijkt dat houtgewassen de taluds van waterlopen goed kunnen vastleggen. In bepaalde gevallen is er sprake van een zeer stabiele situatie. Zelfs bij hoge stroomsnelheden blijkt beworteling een stevige oeververdediging te kunnen vormen.

Evenals in Duitsland blijkt ook in het studiegebied de zwarte els op dit punt een belangrijke houtsoort te zijn. Dit komt doordat de wortels van de zwarte els ook onder de grondwaterspiegel voor een groot gedeelte verticaal blijven groeien. Hierdoor vindt er een stevige verankering in de ondergrond plaats. De es, de hazelaar en de eik spelen bij het vastleggen van de oevers ook een belangrijke rol. De es vormt lange horizontale wortels, evenwijdig aan de waterloop. De hazelaar is in staat om ook steile taluds goed te doorwortelen. Een combinatie van deze houtsoorten met zwarte els en klimop blijkt in de praktijk zeer stabiele oevers op te leveren. Voorbeelden hiervan zijn te vinden langs gedeelten van de Beurzerbeek, de Stortelersbeek en de Snijders Veerbeek.

In het verleden is de beplanting vaak op het maaiveld langs de waterloop aangebracht. Het duurt dan erg lang voordat de oevers door de beworteling vastgelegd en verstevigd zijn.
Hierdoor lopen de oevers en de beplanting lange tijd gevaar aangetast te worden door het stromende water. Langs de Afwatering van Scheurs zijn hiervan voorbeelden te vinden, waar de jonge beplanting bovendien veel hinder heeft gehad van schaduw van bestaande beplantingen. Steeds blijkt weer dat het aanbrengen van beplanting in het talud het snelst resultaten geeft.

Bij de terreinbezoeken viel het steeds weer op dat beekbegeleidende beplantingen erg waardevolle elementen zijn in het landschap. In gebieden zoals de Achterhoek, Twente en Limburg zijn deze verbindingszones niet weg te denken.

In de gebieden die in Duitsland werden bezocht zijn de waterlopen vaak in het landschap herkenbaar door de elzenbeplanting. Om dit monotone beeld te doorbreken wordt er nu meer variatie aangebracht.

De laatste jaren wordt hier meer aandacht besteed aan de ecologische waarde van het geheel.

Om landschappelijk en ecologisch een optimaal resultaat te bereiken, dient er een directe relatie te bestaan tussen de aangebrachte houtopstand en de waterloop. In Limburg zijn een aantal objecten bezocht waar dit beslist niet het geval was.
Tussen de beplanting en de leiding was namelijk een breed onderhoudspad aangelegd.

Aan het ecologisch aspect is bij de inventarisatie niet in detail aandacht besteed. In algemene zin kan echter wel worden gesteld dat er veel onderdelen van begroeide waterlopen zijn aangetroffen die goede mogelijkheden bieden voor flora en fauna van natte en vochtige milieu's. Dit geldt ook voor een deel van de waterlopen die in Overijssel en Limburg worden bezocht.

2.5.6. Beheer en onderhoud.

Bij het onderzoek naar het functioneren van beplante waterlopen zijn beheer en onderhoud van zowel de waterloop als de aangrenzende beplanting belangrijke aandachtspunten. Door het aanbrengen van beplanting wordt immers gestreefd naar een beheersvorm die afwijkt van de gebruikelijke. In het verleden is nogal eens de indruk gewekt dat deze vorm financieel aantrekkelijker zou zijn dan de traditionele aanpak (14, 17). Om meer inzicht te krijgen in het functioneren van de beplante waterlopen en de hoogte van de onderhoudskosten wordt in het volgende nader op deze aspecten ingegaan.

Het jaarlijks onderhoud aan beplante waterlopen kan gesplitst worden in werkzaamheden aan bodem en talud en werkzaamheden aan de beplanting. Langs kleinere waterlopen vindt het onderhoud hoofdzakelijk in handkracht plaats. Bij het onderhoud van grotere waterlopen worden ook machines ingezet.
De onderhoudswerkzaamheden aan beplante waterlopen bestaan uit de volgende onderdelen:
- het verwijderen van grassen en kruiden uit het natte profiel;
- het opruimen van blad en takken van bodem en taluds;
- het op diepte houden van de bodem door het verwijderen van aanzandingen;
- het herstel van afkalvingen en andere aantastingen van oever en eventuele beschoeiing;
- het onderhoud aan de beplanting, zoals inboeten, afzetten, maaien en onkruidvrij maken.

In tabel 2 worden een aantal problemen voor het beheer en onderhoud van de geïnventariseerde waterlopen weergegeven.
Er zou verwacht kunnen worden dat er een duidelijke samenhang is tussen erosie en sedimentatie. Dat het niet het geval is vindt zijn oorzaak in het feit dat het vrijwel steeds om gedeelten van waterlopen gaat.
Uit de tabel blijkt dat de aard van de onderhoudswerkzaamheden en de intensiteit van het onderhoud per object nogal kan verschillen. Sommige beektrajecten vragen vrijwel geen onderhoud. De onderhoudswerkzaamheden beperken zich hier voornamelijk tot het af en toe inspecteren van de waterloop op ingevallen blad en takken. Andere beektrajecten daarentegen moeten regelmatig op diepte worden gehouden door het in handkracht verwijderen van zand.

Tabel 2: Ophoping van blad en takken, erosie en sedimentatie.

Object/gebiedsonderdeel	verhang in o/oo	ophoping blad en takken	erosie	sedimentatie
Op het plateau				
Beurzer beek	1.1-1.3	+	+++	+
Afwatering van Warfslat	ca. 1.0	++	0	0
Afwatering van Scheurs	2.5-3.0	+	++	0
Ratumse en Willinkbeek	1.0-2.0	++	+++	+
Stortelersbeek	1.5-1.9	+	++	++
Haartse Waterleiding*	ca. 2.9	0	0	0
Op de rand van het plateau				
Bosch Waterleiding*	ca. 4.8	+	+	+
Huisker beek*	3.7-6.3	+	0	0
Lievelder beek	2.0-4.7	+	+	+
Visserijbeek	4.8-5.7	+	+	+
Vragenderbeek	1.0-5.4	+	++++	+++
Zilverbeek	2.2-7.2	+	++++	+++
Snijders Veerbeek*	ca. 6.5	+	+	++++
Dekzandlandschap				
Baakse beek*	ca. 0.4	++++	+	0
Oude Lindense Laak*	0.3-0.6	++++	0	0
Oude Veerbeek	ca. 1.0	+++	+	0
Vlakke gebieden				
Grenskanaal	0.1-0.2	+	0	0
Proefobject Beek	ca. 0.1	++	0	0
Proefobject Eldrik	ca. 0.1	++++	0	0

*	afgekoppelde beken
0	niet of nauwelijks
+	in geringe mate
++	matig
+++	veel
++++	zeer veel

Bij vergelijking van de objecten onderling kunnen op basis van deze globale analyse bepaalde opmerkingen worden gemaakt:

- de mate waarin bladophoping optreedt is afhankelijk van het verhang, de stroomsnelheid en de soort beplanting langs de waterloop. Uit de inventarisatie blijkt dat problemen met bladophoping zich hoofdzakelijk voordoen in het licht glooiende dekzandlandschap en de vlakke gebieden in het polderdistrict Rijn en IJssel. De verhangen in de geïnventariseerde waterlopen in deze gebieden bedragen maximaal 0,2o/oo. In de objecten met zeer veel bladophoping, zoals de Baakse beek, de Oude Veerbeek en de Oude Lindense laak is het steeds de beuk die de bladophoping veroorzaakt door de lage verteringssnelheid van het beukeblad. In het proefobject te Eldrik is de wilg verantwoordelijk is voor de bladophoping, dit weer in combinatie met een geringe stroomsnelheid;
- uit de inventarisatie blijkt dat in de meeste objecten op grotere of kleinere schaal oeveraantastingen voorkomen.

Alleen bij afgekoppelde waterlopen en bij waterlopen met geringe verhangen komen niet of nauwelijks oeveraantastingen voor. De grootste oeveraantastingen zijn te vinden in de zijbeek van de Vragenderbeek, de Zilverbeek, de Ratumse- en Willinkbeek en de Beurzerbeek. Als voornaamste oorzaken kunnen hiervoor worden genoemd het grote verhang en het afvoerregime. Opvallend is dat de oeveraantastingen merendeels voorkomen op plaatsen waar geen beplanting langs de waterlopen aanwezig is;

- in de beken met veel sedimenttransport wordt het sedimentatiemateriaal vaak opgevangen door zandvangen. Deze worden dan ook aan in vele van de geïnventariseerde beken aangetroffen.
  Sedimentatie treedt op bij een afname van de stroomsnelheid, veroorzaakt door een afname van het verhang of het verbreden van het stroombed. Verder blijkt uit de inventarisatie dat de mate waarin zandtransport optreedt sterk kan toenemen wanneer graafwerkzaamheden worden verricht aan taluds en bodem.

Op basis van de huidige gegevens is het niet mogelijk om na te gaan onder welke hydraulische omstandigheden beplante waterlopen het minste onderhoud geven.
In het voorgaande is al opgemerkt dat de manier van onderhoud en de intensiteit daarvan van vele factoren afhankelijk is. Niet alleen van object tot object, maar ook van waterschap tot waterschap kan dit sterk variëren (25). Uit gegevens over de proefobjecten van vier jaar oud te Beek en te Eldrik blijkt bovendien dat er een grote variatie van onderhoudskosten in de tijd kan worden waargenomen (8).
In de eerste jaren is er nog maar weinig schaduwwerking en zijn tegelijk de onderhoudskosten voor de beplanting hoog. Om een goed beeld te krijgen zal het onderhoud dus altijd over een ruim aantal jaren bekeken moeten worden. De ontwikkeling van de onderhoudskosten van de proefobjecten Beek en Eldrik zijn weergegeven in onderstaand overzicht.

Tabel 3: Ontwikkeling onderhoudskosten objecten Beek en Eldrik.

Ontwikkeling	onderhoudskosten in gld. per m. waterloop				
	1982	1983	1984	1985	1986
Proefobject Beek	11.10	3.68	4.70	2.62	
Proefobject Eldrik	7.39	5.33	8.27	4.29	

Uit de globale gegevens over andere waterlopen kan de volgende tabel worden samengesteld, waarin de gemiddelde kosten per jaar worden aangegeven.

Tabel 4: Gemiddelde onderhoudskosten per jaar.

Naam waterloop	gem. kosten per jaar in guldens per m.
Ratumse en Willinkbeek	1.80
Beurzerbeek	1.30
Afwatering van Warfslat	1.20
Baakse beek	1.95
Bosch waterleiding	0.50
Huisker beek	0.94
Haartse waterleiding	0.98
Stortelersbeek	1.42
Snijders-Veerbeek (benedenstr. Hamelandweg)	5.79
Snijders-Veerbeek (bovenstr. Hamelandweg)	0.77
Oude Veerbeek	1.43

Bij deze tabel dienen de volgende opmerkingen te worden gemaakt:
- bij de Ratumse en de Willinkbeek zijn door uitvoering van werken de graaf- en herstelwerkzaamheden voor het onderhoud beperkt gebleven. Bij deze beken zijn de onkosten van maaien en dunnen van de beplanting niet meegenomen;
- herstelwerkzaamheden aan door de beek aangetaste wegbermen langs de Beurzerbeek zijn niet toegerekend aan de onderhoudskosten;
- de onderhoudskosten bij de Afwatering van Warfslat zijn waarschijnlijk zo laag omdat het een afgekoppelde leiding betreft;
- de gegevens over de Baakse beek hebben betrekking op werkzaamheden in handkracht en met de machine in één jaar nl. 1985;
- bij de laatstgenoemde beken (Bosch Waterleiding tot en met Oude Veerbeek) bestaat het jaarlijks onderhoud voornamelijk uit het verwijderen van bodemverhogingen, blad en takken en maximaal 2 maaibeurten per jaar. De gegevens hebben alleen betrekking op 1986;
- de onderhoudskosten in het benedenstroomse gedeelte van de Snijders Veerbeek zijn hoog omdat in dit beekgedeelte zandafzettingen zijn verwijderd door ontgraving en herprofilering van de beek.

Uit de inventarisatie blijkt dat er weinig bruikbaar cijfermateriaal over het beheer en het onderhoud van beplante waterlopen voor handen is. Daarom kan niet worden nagegaan onder welke omstandigheden het onderhoud minimaal is. Op grond van de beschikbare gegevens kunnen slechts globaal een aantal zaken worden opgemerkt.
Er zijn grote verschillen te constateren in de methode en de intensiteit van onderhoud. De kosten variëren dan ook sterk van object tot object. Over het algemeen kan worden gesteld dat het onderhoud in de eerste jaren duur is en in de loop van de jaren goedkoper wordt. Dit komt doordat de beschaduwing van bodem en taluds nog niet voldoende is, terwijl de jonge aanplant nog extra onderhoud vergt. Oeveraantastingen worden met name aangetroffen op plaatsen waar geen beplanting langs de waterlopen staat. Langs beplante oevers zijn echter ook oeveraantastingen aangetroffen. In de geïnventariseerde objecten komt sedimentatie voornamelijk voor op plaatsen waar een vrij plotselinge afname van het verhang aanwezig is.
Problemen met bladophoping doen zich met name voor in het glooiende dekzandlandschap en de vlakke gebieden van het Polderdistrict Rijn en IJssel in waterlopen met een verhang van maximaal ca. 1o/oo. De stroomsnelheid bij maatgevende afvoer bedraagt veelal niet meer dan 25 cm/sec. Naast het verhang en de stroomsnelheid blijkt ook de verteringssnelheid van het blad een rol te spelen. Bladophoping wordt vaak veroorzaakt door perioden met stilstaand water.

2.5.7. Nabeschouwing.

De werkgroep "Beekbegeleidende beplantingen" heeft zich ten doel gesteld te komen tot aanbevelingen voor aanleg, beheer en onderhoud van beplante waterlopen en, indien nodig, het bevorderen van het aanleggen en volgen van proefobjecten. Om dit te bereiken heeft de werkgroep kennis genomen van bestaande documentatie en zelf gegevens verzameld en geanalyseerd. Er zijn bezoeken gebracht aan Münsterland, Limburg en Overijssel. In de Achterhoek zijn een groot aantal waterlopen, die met opgaand hout begroeid zijn of voor beplanting op de nominatie staan, geïnventariseerd.
Gelet op de geologie en de bodemkunde vertoont het studiegebied in Gelderland veel variatie.

In het oostelijk gedeelte komen oude afzettingen zeer ondiep in de ondergrond of zelfs aan het maaiveld voor. Hier wordt een grote afwisseling in bodemtypen aangetroffen. In westelijke richting verandert dit beeld geleidelijk. Globaal gezien wisselen de bodemtypen elkaar daar minder sterk af en komen in grotere aaneengesloten vlakken voor. Hetzelfde geldt in grote lijnen voor de topografie en het landschap, die nauw samenhangen met het bodemkundig patroon.
Gezien de geologische en bodemkundige opbouw van het studiegebied kunnen er goed vergelijkingen worden gemaakt met de gebieden die in Münsterland, Limburg en Overijssel werden bezocht.

Naar landbouwkundige maatstaven gerekend is in grote delen van het studiegebied de waterbeheersing in de laatste tientallen jaren aanzienlijk verbeterd. Aantasting van landschappelijke en ecologische waarden die hiermee gepaard ging gaf steeds meer aanleiding tot kritiek. Bovendien komt de laatste tijd de vraag naar voren of het huidige onderhoudssysteem op langere termijn gezien voor alle soorten waterlopen de meest ideale vorm is. Het ontwikkelen van een alternatieve aanpak waarbij met meerdere belangen rekening wordt gehouden is daarom gewenst.

In het onderzoeksgebied worden verschillende typen waterlopen aangetroffen. Naar afmetingen kunnen ze gerangschikt worden van klein naar groot. Afhankelijk van de wijze en de intensiteit van verbeteringswerken in het verleden kan een indeling worden gemaakt op grond van landschappelijke en ecologische kwaliteiten. Sommige beken of beekgedeelten hebben het natuurlijk karakter min of meer behouden. Andere lopen volgen een geheel ander tracé of zijn door normalisatie totaal veranderd. Weer andere zijn ondanks een afkoppeling landschappelijk nog wel herkenbaar, maar hebben wel een ander afvoerpatroon gekregen.

Op grond van de inventarisatie kan worden geconcludeerd dat in bepaalde situaties een beplanting langs waterlopen als beheersmaatregel goede perspectieven biedt. Om een duidelijk inzicht te krijgen in de voor- en nadelen van het systeem en om na te gaan welke situaties zich hiervoor lenen is echter nader onderzoek gewenst. Dit geldt met name voor de zwak-glooiende en vlakke gebieden, waar tot nu toe weinig proefobjecten liggen.
In grote lijnen kan worden gesteld dat de ervaringen in Duitsland, Limburg en Overijssel weinig veranderingen brengen in voorgaande conclusies.
Het in Duitsland toegepaste systeem is in tegenstelling tot de Nederlandse voorbeelden wel concreter van opzet. Bij een nadere beschouwing moet echter worden geconcludeerd dat het afwateringssysteem dat daar wordt toegepast principieel afwijkt van wat in ons land gebruikelijk is. Een vergelijking met Nederlandse proefprojecten is hierdoor erg moeilijk. Bovendien is men in Duitsland, gezien de objecten die recent zijn aangelegd, niet tevreden over het aanvankelijk toegepaste model.

Verder blijkt dat het evenals in Nederland erg moeilijk is om concrete gegevens te verkrijgen over de kosten van beheer en onderhoud van beplante waterlopen. Daarom zou het voorbarig zijn hieruit definitieve conclusies te trekken. Als een eerste indruk dient wel te worden vermeld dat de kosten van het beheer en het onderhoud van beplante waterlopen en van niet beplante waterlopen elkaar waarschijnlijk niet veel zullen ontlopen.
Hoewel het Duitse systeem moeilijk te vergelijken is met de Nederlandse proefobjecten levert het qua aanlegmethoden nuttige informatie.

De bezoeken aan Limburg en Overijssel betroffen deels een aantal objecten met een eenzijdige aanpak, waarbij alleen rekening was gehouden met het visuele aspect van het landschap. Daarnaast ging het om enkele experimenten, waarmee meerdere doeleinden werden beoogd. Het geheel was nog te weinig grijpbaar om er conclusies uit te kunnen trekken.

Samenvattend kan er worden gesteld dat uit de resultaten van het onderzoek de indruk wordt gewekt dat bij een uitgekiende aanleg en een adequaat beheer tenminste een kostenniveau bereikt kan worden dat vergelijkbaar is met de traditionele systemen. Bovendien worden op het gebied van landschap en ecologie voordelen geboekt die niet in geld zijn uit te drukken.

Hoewel nader onderzoek gewenst is, kunnen met behulp van de huidige kennis reeds aanbevelingen worden gedaan voor aanleg. In hoofdstuk 6 worden deze in samenhang met aanbevelingen voor onderzoek opgesomd en in enkele modellen verwerkt. Alvorens hiertoe over te gaan, worden in de volgende hoofdstukken het technisch functioneren, de ecologie en de beplantingsaspecten van de beplante waterlopen nader toegelicht.

3. Hydraulische en technische aspecten.

3.1. Inleiding.

In dit hoofdstuk zal nader worden ingegaan op de hydraulische en technische aspecten van waterlopen met bomen en struiken in het natte profiel.
De ontwerper wordt hierbij voor bijzondere problemen gesteld.
Een wezenlijk kenmerk van "natuurlijke waterlopen" is de onregelmatigheid van het profiel. Dit is het gevolg van de veranderlijke vorm van het geometrisch profiel en de onregelmatigheid van de begroeiing.
Het is mogelijk dat de begroeiing alleen het boventalud bedekt, zodat slechts bij zeer hoge afvoer de doorstroming wordt belemmerd, maar als lagere delen van het talud beplant worden moet ook bij de jaarlijks optredende afvoer de invloed van de beplanting worden ingerekend.
Bovendien zal er bij het ontwerp rekening mee dienen te worden gehouden dat zowel de profielvorm als de begroeiing zich binnen bepaalde grenzen moeten kunnen ontwikkelen. Daarnaast zal het inschatten van de diverse afvoersituaties, de vorm van het basisprofiel en de keuze en variatie van het verhang bijzondere aandacht vragen, om zo volledig mogelijk te kunnen voldoen aan de landschappelijke en ecologische doelstellingen.

3.2. Berekeningsformule.

Hoewel het duidelijk zal zijn dat de optredende variatie binnen een leidingvak groot kan zijn, zal de ontwerper toch gebruik moeten maken van een van de bekende berekeningsformules.
Veelal wordt gebruik gemaakt van de formule van Manning-Strickler:

$$Q = A.V. = A.k_M.R.^{2/3}S.^{1/2}$$

Q : debiet (m^3/sec.)

A : oppervlakte van de natte doorsnede (m^2)

V : gemiddelde snelheid in de dwarsdoorsnede (m/sec.)

k_M : ruwheidsfactor ($m^{1/3}$/sec.)

R : hydraulische straal (m) (R = A/u)

U : natte omtrek (m)

S : verhang van de waterspiegel (-)

In het onderstaande zullen de diverse parameters afzonderlijk worden behandeld.

3.3. Bepaling van de afvoer.

De afvoer, die een beek moet kunnen verwerken, kan worden bepaald door het debiet te meten, door berekening of, al naar gelang de omstandigheden, door een combinatie van beide.

Het opstellen en onderhouden van een meetpunt is echter een vrij kostbare zaak en betrouwbare gegevens kunnen slechts verkregen worden door meetresultaten over een reeks van jaren te analyseren. Gemeten gegevens die geschikt zijn voor een berekening zullen daarom slechts zelden voorhanden zijn. Veelal zal men er toe overgaan het totale afstroomgebied op te delen in significant verschillende deelgebieden, en per deelgebied een afvoerfactor bepalen aan de hand van het bodemtype, het bodemgebruik, de heersende grondwatertrappen en de aanwezige terreinhelling.
Ieder deelgebied voert een hoeveelheid water af die berekend kan worden door de oppervlakte van het deelgebied te vermenigvuldigen met de afvoerfactor. Het totale debiet voor een bepaald tracé van de waterloop, is gelijk aan de som van de bovenstrooms gelegen afvoeren.
Als de afvoer van een beek is samengesteld uit de afvoer van een bron of spreng en de agrarische afvoer, dan is de hoeveelheid water uit de bron of spreng veelal vrijwel constant over het hele jaar. Deze kan met een eenmalige meting met bijvoorbeeld een Ott-molentje gemeten worden en opgeteld bij de berekende agrarische afvoer.
De afvoerfactor waarvan verwacht kan worden dat deze gemiddeld een keer per jaar overschreden worden, de zogenaamde maatgevende afvoer, varieert van 0.3 l/sec./ha voor bosgebieden tot 1.5 l/sec./ha voor goed ontwaterde landbouwgebieden. In de Achterhoek worden waarden van maximaal 1.8 l/sec./ha gehanteerd.
De gemiddelde afvoer die uit deze berekeningen volgt blijkt veelal ca. 1 à 1.2 l/sec./ha te bedragen.

De Dienst Milieu en Water van de provincie Gelderland verricht op diverse punten reeds acht tot twaalf jaar metingen, zowel in de hellende gebieden van de Achterhoek als in de meer vlakke gebieden oostelijk van de IJssel. De gemeten waarden liggen iets lager dan de berekende waarden en variëren van 0.7 tot 1.0 l/sec./ha.
Deze gemeten waarden mogen echter niet zonder meer worden toegepast op andere stroomgebieden of geëxtrapoleerd over langere perioden. Hiertoe dienen de gegevens eerst te worden bewerkt. Wel is voor een aantal beken bekend dat er gedurende zeer korte perioden erg hoge pieken in de afvoer kunnen optreden. Omdat er bij de berekening met dag-gemiddelden is gewerkt, komen de korte en hoge pieken in de afvoer, die kenmerkend zijn voor de hellende gebieden in de Achterhoek, er echter niet uit. De optredende snelle peilstijgingen in de steilere bovenlopen bij neerslag wordt ook in belangrijke mate veroorzaakt doordat de beken in de bestaande situatie te klein zijn om de normale debieten te kunnen verwerken, of omdat het verhang in het lengteprofiel plaatselijk verflauwt.

3.4. Maatgevende afvoer.

De maatgevende afvoer is het debiet waarvan verwacht mag worden dat het niet meer dan een keer per jaar overschreden zal worden. Over het algemeen zal een waterstelsel zodanig gedimensioneerd worden dat bij deze maatgevende afvoer een minimale drooglegging en een maximale snelheid niet zal worden overschreden. Daarnaast zal een afvoer die een keer per tien of per vijftig jaar optreedt ook nog binnen de boorden van de waterloop moeten kunnen worden afgevoerd. Veelal wordt dit maximale debiet gelijkgesteld aan het dubbele van de berekende maatgevende afvoer. Tenslotte zal een ontwerp zo dienen te worden uitgevoerd dat bij een "reguliere" afvoer een bepaalde voor de landbouw gewenste drooglegging wordt bereikt.

Dit reguliere debiet wordt veelal gelijkgesteld aan de helft van de maatgevende afvoer.
Deze halve maatgevende afvoer zal circa 15 dagen per jaar worden bereikt of overschreden.
Hieruit volgt dat aan de dimensionering van een beek de volgende drie berekeningen ten grondslag zullen liggen.

- Berekening met maatgevende afvoer en een bijbehorende minimale drooglegging en maximum snelheid.
- Berekening met halve maatgevende afvoer en een minimale waterdiepte en een gewenste drooglegging.
- Berekening met de dubbele maatgevende afvoer, waarbij de beek niet buiten zijn oevers mag treden.

Voor landbouwgronden worden doorgaans drooglegging seisen gesteld die variëren van 0.70 m-m.v. tot 1.20 m-m.v. bij halve maatgevende afvoer, afhankelijk van bodemopbouw, gewaskeuze, aanwezige drainage e.d. Bij maatgevende afvoer wordt over het algemeen een drooglegging van minimaal 0.50 m-m.v. vereist (bron Landinrichtingsdienst).

3.5. Keuze van de profielvorm.

Voor de profielvorm is een breed scala van mogelijkheden aanwezig. De keuze van de profielvorm is afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden en de criteria die op grond van een afweging van belangen worden aangelegd.
Wil men een profiel ontwerpen waarop de aanleg en ook het beheer en onderhoud van een beplanting zo goed mogelijk plaats kan vinden dan leidt dit ertoe dat men zal kiezen voor flauwe taluds. Een profiel met dergelijke taluds heeft bovendien als voordeel dat ook grotere debieten zonder problemen afgevoerd kunnen worden. Daarnaast kan het gewenst zijn om bij lage debieten de afvoer te concentreren, wat tot een beperkte bodembreedte leidt met zo mogelijk steile taluds. De synthese van deze op zich tegenstrijdige wensen, kan gevonden worden in een geknikt profiel met een relatief smalle bodem en een talud van bijvoorbeeld 1:1; 1:3, waarbij de knik ligt ter hoogte van de waterspiegel die optreedt bij halve maatgevende afvoer. Beplanting kan dan plaatsvinden vanaf de rand van de knik, op de flauwere taluds.
Het is van belang voor het behoud van het karakter van de beek, dat de dimensies vrij nauwkeurig worden afgestemd op de te verwachten debieten. Overdimensionering leidt er al vrij snel tot afmetingen van de beek die niet meer in verhouding zijn met de afvoer, waardoor de waterloop aan landschappelijke waarde inboet. Bovendien kan overdimensionering ook tot een toename van de sedimentatie leiden.
Bij de reconstructie van bestaande waterlopen verdient het aanbeveling zoveel mogelijk bij het bestaande profiel aan te sluiten. In bepaalde gevallen zou kunnen worden overwogen om korte en hoge pieken in de afvoer voor een gedeelte tijdelijk op te vangen in een bergingsvijver of een natuurlijke laagte in het terrein.

3.6. Toe te passen verhang.

Over het algemeen zal de bodem van een bestaande beek vrij nauwkeurig de hoogte van het maaiveld volgen. Dit betekent dat het verhang van de bodem veelal ook over kleine lengte kan variëren.

Deze variatie in verhang en de daardoor optredende variatie in stroomsnelheid en waterdiepte vormt juist een van de meest waardevolle en karakteristieke eigenschappen van een natuurlijke beek. Toch zal men er bij de uitvoering van cultuurtechnische werken niet aan kunnen ontkomen het verhang, althans bij aanleg, te schematiseren, mede om een theoretisch profiel te kunnen bepalen. Uit ecologisch oogpunt verdient het echter aanbeveling ook in de ontwerpsituatie het terrein zoveel mogelijk te volgen, wat er toe zal leiden dat de te berekenen tracés relatief kort kunnen zijn. Uit oogpunt van beheer en onderhoud zijn wisselende verhangen over korte afstanden daarentegen niet wenselijk, omdat hierdoor het proces van erosie en sedimentatie wordt versterkt. Dit leidt al snel tot extra onderhoud dat bovendien vaak moeilijk uitvoerbaar is, omdat de waterloop onbereikbaar is geworden voor machinaal onderhoud door de aanwezigheid van beplanting. Per geval zal daarom een afweging moeten plaatsvinden over het toe te passen verhang. Dit en de eerder genoemde drie afvoersituaties en het gewenste gevarieerde profiel leiden er toe dat men voor een verantwoord ontwerp snel zal overgaan tot het gebruik van een computerprogramma, waarmee ook de werkelijk optredende waterspiegel nauwkeuriger te bepalen is.

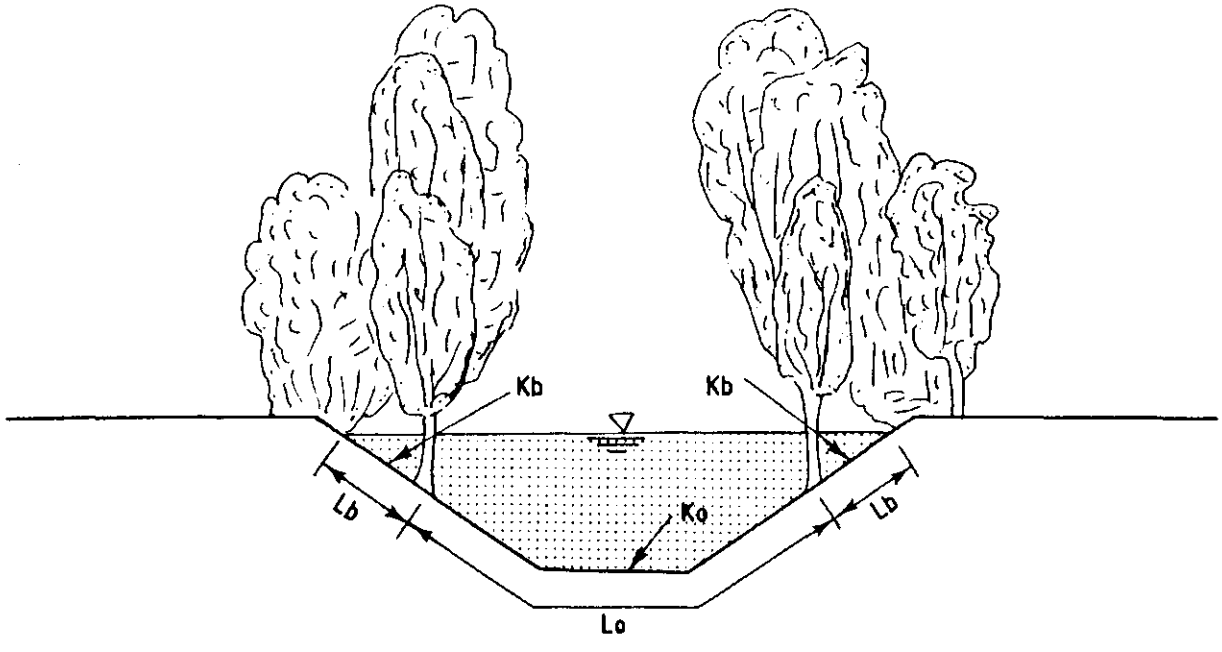
3.7. Stroomsnelheid.

In nieuw aan te leggen waterlopen zullen, om erosie te voorkomen, de berekende snelheden veelal de 0.50 m/sec. niet overschrijden. Bij verse taluds van pas verbeterde waterlopen kunnen bij deze snelheden bodem- en taludaantastingen optreden. Hierdoor kan het gewenst zijn, vooral als er hoge snelheden worden verwacht, de taluds tijdelijk dan wel permanent te versterken.
In verband met beperking van de onderhoudswerkzaamheden aan beplante waterlopen is het gewenst dat sedimentatie en erosie met elkaar in evenwicht zijn. Volgens het rapport van de werkgroep "Profilering" (27) kan voor de Gelderse situatie globaal gesteld worden dat bij maatgevende afvoer een minimale stroomsnelheid van 0.55 m/sec. vereist is om evenwicht te hebben tussen zandafzetting en -opname.
Bij lagere stroomsnelheden kan het dus nodig zijn, incidenteel dan wel periodiek, sedimentatiemateriaal uit de waterloop te verwijderen.
Hierbij moet worden opgemerkt dat deze snelheid mede afhankelijk is van de zandvracht in het aangevoerde water en het afvoerregime. Deze waarde moet dan ook met de nodige voorzichtigheid gehanteerd worden.

3.8. De parameters R, k_M en A.

Een bijzondere moeilijkheid doet zich voor bij de berekening of de schatting van de hydraulische straal en de weerstandsfactor.
Immers voor een goede beschaduwing en taludversteviging is het noodzakelijk dat de beplanting binnen het natte profiel wordt geplaatst. Dit brengt met zich mee dat niet alleen de nuttige doorsnede wordt verminderd met de oppervlakte die de beplanting inneemt, inclusief een contractiefactor, maar ook dat de natte omtrek wordt vermeerderd met de totale "wandlengte" van de beplanting.
Met name is een juiste benadering van de k_M-waarde van belang, omdat deze waarde een recht-evenredige invloed heeft op de mogelijke afvoercapaciteit.

Er zijn dan ook diverse onderzoekers die zich met deze problematiek bezig hebben gehouden (1, 2, 10). Het ligt niet in het kader van dit rapport uitvoerig in te gaan op de verkregen resultaten. Generaliserend kan gezegd worden dat bij deze onderzoeken getracht wordt de weerstandsfactor onder te verdelen in diverse relevante componenten en door het inschatten van een waarde per component voor diverse situaties te komen tot een nauwkeuriger bepaling van de k_M-waarde.
Nadeel van de meeste methoden is dat ze leiden tot ingewikkelde formules die de praktische toepasbaarheid belemmeren. Bovendien is de geldigheid van de formules veelal beperkt tot een specifiek onderzoeksgebied. Veelal gaat het dan om grotere beken of rivieren waar bijvoorbeeld hagen of andere beplanting voorkomen op de uiterwaarden.
In het navolgende worden twee methoden, die in Duitsland vaak worden toegepast voor de berekening van de dimensionering van beplante waterlopen, nader toegelicht. Het zijn respectievelijk die van Felkel (1) en die van Obendorf (2).
Een minder wetenschappelijk onderbouwde maar bijzonder praktische benaderingswijze is de methode van Felkel (1).



Figuur 7: de methode van Felkel.

In deze methode wordt de invloed van de beplanting op k-Manning berekend, door het bepalen van het gewogen gemiddelde van de weerstandsfactor van het begroeide en het onbegroeide deel van het doorstroomprofiel.

$$Kgem. = \frac{Ko.Lo + Kb.Lb}{Lo + Lb}$$

Kgem. : gemiddelde weerstandscoëfficiënt volgens Manning ($m^{1/3}$/sec.)

Ko : k-Manning voor het onbegroeide deel ($m^{1/3}$/sec.)

Kb : k-Manning voor het begroeide deel ($m^{1/3}$/sec.)

Lo : Natte bodemlengte ingenomen door het onbegroeide deel (m)

Lb : Natte bodemlengte ingenomen door het begroeide deel (m)

Als waarde voor Kb wordt door Felkel aangegeven een getal tussen 0 en 16 al naar gelang de dichtheid van de begroeiing.
Als zoals in Duitsland veel gebeurt, de waarde van Kb wordt gesteld op nul dan volgt:

$$Kgem. = Ko. \frac{Lo}{Lo + Lb}$$

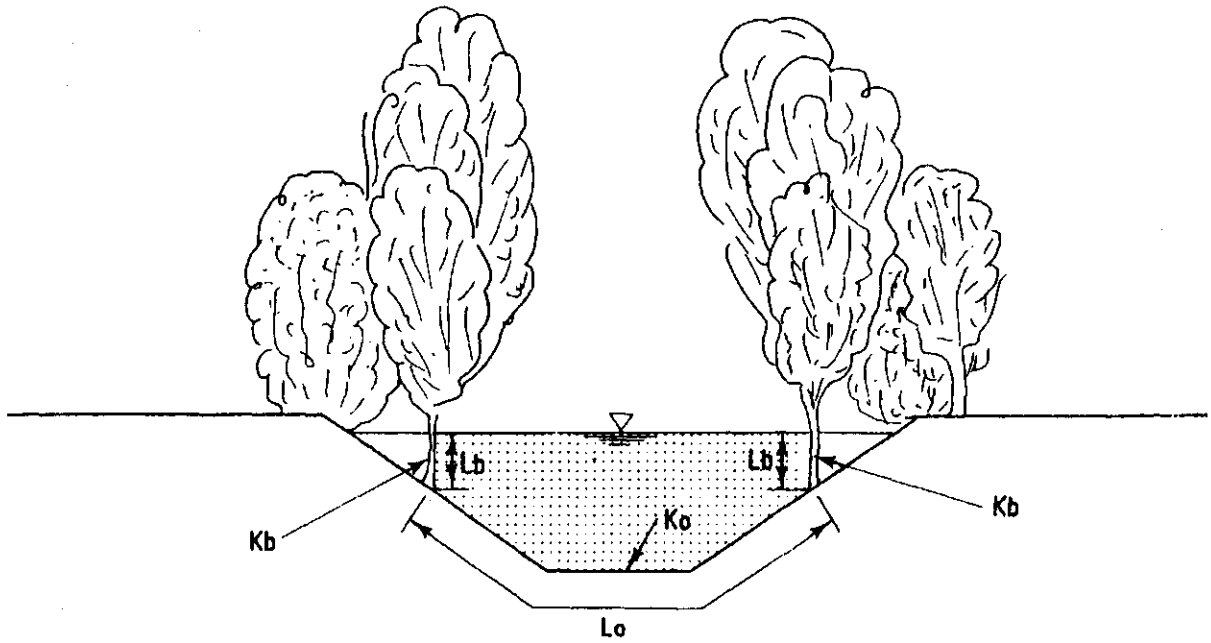
Hoewel deze methode dus een sterke vereenvoudiging is van de werkelijkheid, worden hier goede resultaten mee bereikt, zij het wat aan de veilige kant.

Om een inzicht te krijgen over de toepasbaarheid van deze methode en de waarde die men aan Kb kan toekennen zal men een beeld voor ogen moeten hebben van de mate van beplanting in het begin, en de ontwikkeling die in de loop der jaren te verwachten is.
Bij kleine waterlopen zullen op de taluds boven de "reguliere" waterspiegel bij aanplant meestal maximaal twee à drie rijen bomen worden geplant in het doorstroomprofiel.
De ondergroeiing van deze beplanting zal over het algemeen weinig afwijken van de normaal te verwachten grassen en kruiden.
In de beginfase zullen er relatief veel maar dunne bomen staan, terwijl in de eindfase rekening moet worden gehouden met minder maar dikkere bomen. In latere fasen zal de groei van grassen en kruiden onderdrukt worden ten gunste van schaduwminnende beplanting zoals klimop, die een met grassen vergelijkbaar weerstandspatroon zullen vertonen. Verder moet men in ogenschouw nemen dat de stamlengte van de beplanting in het talud, die zich in het natte doorstroomprofiel bevindt, ook bij forse peilstijgingen, doorgaans relatief gering is. Daarom hoeft in het algemeen niet of nauwelijks rekening te worden gehouden met in het water hangende takken, en kan er bij de berekening van het profiel veelal mee volstaan worden de invloed van de stamdikte van de bomen in te schatten. Vanuit die optiek gezien kunnen van de genoemde formule van Felkel (1) goede resultaten worden verwacht, waarbij voldoende veiligheid is ingebouwd voor plaatselijk of tijdelijk dichtere begroeiing, drijvend vuil en incidenteel in het water hangende takken.

Hierbij moet er rekening mee worden gehouden dat de beplanting doorgaans vrij hoog in het talud zal worden aangebracht, zodat het natte oppervlak dat door de beplanting in beslag wordt genomen relatief gering is, terwijl de beplanting een relatief grote lengte van de natte omtrek kan beslaan. Op deze wijze wordt het kleinste profiel berekend, terwijl in absolute zin uiteraard maar een beperkt deel van het lengteprofiel met bomen bezet is.
Indien de omstandigheden eisen dat de invloed van struiken en takken wel wordt meegerekend dan wordt aanbevolen voor struiken de gehele breedte en voor bomen met takken 1,50 m van de natte omtreklengte af te trekken.
Hoewel deze methode door zijn eenvoud erg aantrekkelijk is, moet toch de nodige voorzichtigheid in acht worden genomen bij de toepassing er van. De methode houdt geen rekening met optredende wervelingen en contracties, factoren die met name worden bepaald door de dichtheid van de begroeiing. Een andere methode, die rekening houdt met in het doorstroomprofiel aangebrachte beplanting, is de methode van Obendorf (2). In tegenstelling tot de methode van Felkel vindt bij deze methode naast een inschatting van een gemiddelde weerstandsfactor tevens een reductie van het natte oppervlak plaats.
Voor de hydraulische straal en de gemiddelde wandruwheidsfactor worden de volgende formules gehanteerd:

$$R = \frac{A}{Lo + 2Lb}$$

$$Km = \left[\frac{Lo + 2Lb}{\frac{2\,Lb}{Kb^{3/2}} + \frac{Lo}{Ko^{3/2}}} \right]^{2/3}$$



Figuur 8: de methode van Obendorf.

Deze methode wordt ook toegepast voor de bepaling van de dimensies van de beplante waterlopen in de ruilverkavelingsgebieden in Münsterland. Voor een uitgebreide beschouwing wordt verwezen naar bijlage I en naar het deelrapport "Natuurbouw in Münsterland" (bijlage IV) (7).
Voor Ko kan in normale gevallen een waarde tussen de 25 en 40 worden aangenomen, afhankelijk van het debiet en de waterdiepte.

Omdat de beplanting normaliter boven de waterspiegel van de halve maatgevende afvoer wordt aangebracht, kan voor berekening van het benodigde profiel bij halve maatgevende afvoer de normale weerstandsfactor worden ingevoerd, eventueel berekend met de formule van De Bos en Bijkerk:

$$k_M = j.H^d$$

k_M : weerstandsfactor volgens Manning ($m^{1/3}$/sec).

H : waterdiepte (m)

j en d : coëfficiënten

Als regel wordt voor d de waarde 1/3 aangehouden en voor j kan hier de winterwaarde 33.8 worden aangehouden.

Bij een geringe reconstructie moet vaak worden beoordeeld of een bestaande karakteristieke plaatselijke situatie, die een obstakel vormt in het ontwerpdoorstroomprofiel, kan worden gehandhaafd.
Bestaat het obstakel uit een enkele boom, dan kan deze worden ingerekend als een rechthoekige duiker. Strekt de waardevolle begroeiing zich echter over een bepaald traject uit, (b.v. een rij volwassen eiken, waarvan de wortels het talud goed hebben vastgelegd) dan dient de opstuwing van de bestaande situatie in de berekening te worden meegenomen. Veelal blijkt dat de optredende "extra" opstuwing bij een relatief steil verhang snel is uitgewerkt, zodat het goed mogelijk is op bepaalde intervallen dit soort karakteristieke omstandigheden te handhaven.

3.9. Kunstwerken.

In het algemeen zal de berekening van de kunstwerken in beplante waterlopen niet afwijken van die in andere afvoerleidingen. Wel zal er bijzondere aandacht moeten worden gegeven aan de vormgeving en de materiaalkeuze. Ronde of muilvormige duikers stemmen meer met het karakter van de beek overeen dan rechthoekige betonelementen. Met name bruggen, mits juist van vorm en materiaalkeuze, kunnen het landschappelijk waardevolle karakter van een beek ondersteunen.
Een uitzondering moet hier worden gemaakt voor eventuele stuwen. Stuwen onderbreken als het ware de vrije loop van de beek en vormen een obstakel voor vissen en ander in het water levende organismen. Bovendien zullen deze veelal sedimentatie veroorzaken bovenstrooms. Daarom is het wenselijk een plaatselijk te groot verval op te vangen met een cascade. Hierdoor wordt het natuurlijke karakter van een snelstromende beek zoveel mogelijk in stand gehouden, terwijl verhoging van het zuurstofgehalte van het water wordt bevorderd.

Figuur 9: de cascade in de Ratumse beek.

3.10. Materialen van talud- en bodemvastlegging.

Bij aanleg of reconstructie blijken de voorheen veelal door beworteling in stand gehouden taluds na vergraven niet meer stabiel. Ook kunnen plaatselijk instabiele situaties voorkomen, bijvoorbeeld in buitenbochten van meanders. Bij het vastleggen van bodem en taluds vergt de materiaalkeuze en de constructie bijzondere aandacht. Bij de materiaalkeuze is het van belang te weten of het om een permanente dan wel een tijdelijke oeverbescherming gaat. Een tijdelijke oeverbescherming kan aangelegd worden als overgangsconstructie wanneer er op het talud beplanting is aangebracht. De tijdelijke oeverbescherming kan het talud vastleggen totdat de beplanting het talud voldoende heeft doorworteld. De toepassing van permanente oevervoorzieningen als stortsteen wordt bekend verondersteld en in dit rapport niet verder behandeld.
Hierna worden enkele voorbeelden van materialen voor tijdelijke talud- en bodemvastlegging genoemd.

- wiepen: wiepen zijn bundels berke- of wilgehout (amandelwilg of katwilg), die in elkaar gevlochten zijn en in verschillende lengte verkrijgbaar zijn.
  De doorsnede van de wiepen bedraagt 10 à 20 cm.
  Wiepen kunnen worden opgestapeld tot de gewenste hoogte. Ze worden ingebouwd achter palen en moeten goed worden vastgebonden.
  Een nadeel van wiepen is dat ze onderspoeld kunnen raken.

Figuur 10: wiepen.

Figuur 11: vlechtwerk.

- kokosmatten: kokosmatten zijn in verschillende maaswijdten leverbaar. Kokosmatten zijn milieuvriendelijk, kunnen het talud vasthouden totdat de beplanting deze functie heeft overgenomen, behouden 3 tot 5 jaar hun structuur en verrotten daarna zonder schadelijke gevolgen voor het milieu. Kokosmat heeft een gering gewicht, is flexibel en daardoor eenvoudig aan te brengen.

- vlechtwerk : op afstanden van 30-50 cm worden palen loodrecht of schuin in de grond geslagen en met dikke rijshouttakken omvlochten. Deze eenvoudige constructie heeft slechts een beperkte levensduur maar is geschikt als overgangsconstructie tot het tijdstip waarop houtige oevergewassen zich in voldoende mate hebben ontwikkeld.

- vurenhout : een walbeschoeiing van vurenhout kan door zijn beperkte levensduur (3-5 jaar) als overgangsconstructie tot de houtige oeverbegroeiing de oeverbescherming kan overnemen goed bruikbaar zijn.

4. Ecologie van beplante waterlopen.

4.1. Inleiding.

In hoofdstuk 2 werd al opgemerkt dat er bij de inventarisatie weinig aandacht is besteed de ecologische aspecten. Wel is onderkend dat de waterlopen een duidelijke functie hebben voor flora en fauna. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de ecologie van beplante waterlopen. Hoewel een beek door de mens kan zijn gegraven ziet hij er doorgaans toch veel natuurlijker uit dan een andere waterloop.
Dat komt omdat stromend water de neiging heeft zijn bedding te laten meanderen. Waar dit proces lang genoeg heeft geduurd, de oevers niet te veel weerstand boden en het water voldoende kracht had, kon een waterloop tot beek worden.

De invloed van de mens beperkte zich in het verleden tot het schonen en uitgraven van de bedding, het maaien van de kanten en het plaatselijk verstevigen van de oevers door er bomen langs te planten, betuining aan te brengen of puin te storten. De kracht van het water domineerde. Deze vormende processen veroorzaken een maximum aan verschillende milieus, waardoor ook een maximale soortenrijkdom is ontstaan. In de beken van het Woold ten zuidoosten van Winterswijk bijvoorbeeld zijn in 1976 t/m 1978 door Dirkse, Sollman en Cuppen (11) 109 mossoorten en 180 macrofauna-soorten gevonden.

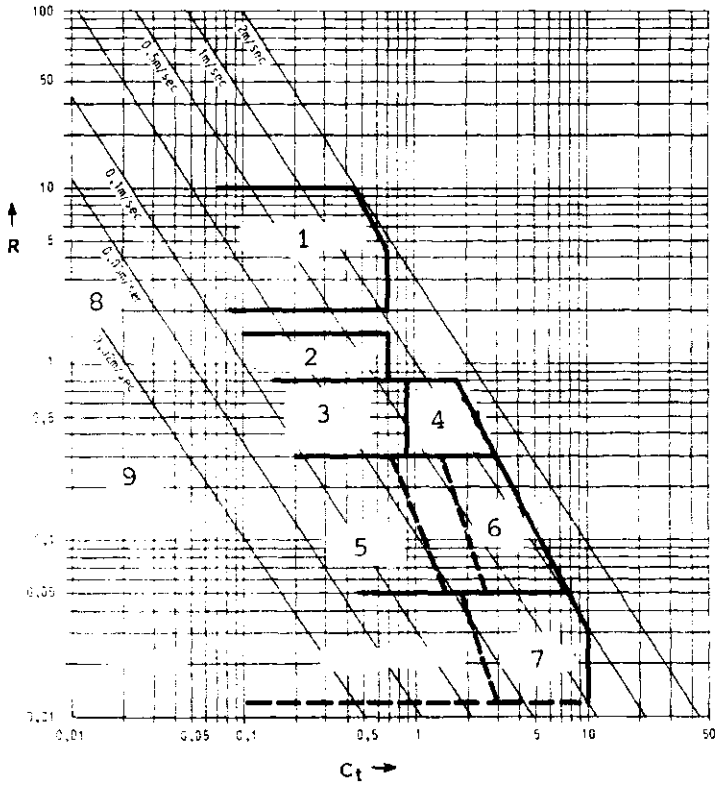
Door beschaduwing door bos of beplanting wordt de temperatuur van het beekwater laag en daarmee het zuurstofgehalte hoog gehouden. De uit de bomen vallende insecten vormen prooien voor de op het water levende beekschaatsenrijders. Takken en blad vormen voedsel en houvast voor onder water levende algen, dierlijk plankton en grotere diersoorten en leveren bouwmateriaal voor kokerjuffers. Daarnaast verfraaien de houtsingels het landschap, leveren hout en bieden veel dier- en plantesoorten een plaats en de gelegenheid om zich door het landschap te verspreiden.

Onze Nederlandse laaglandbeken behoren tot de beken van de Noordwest-Europese laagvlakte. Dit hydrobiologisch type beek komt nergens anders op de wereld voor. In Nederland komen ze voornamelijk voor in Overijssel, Gelderland, Brabant en Limburg. De meeste van deze beken zijn inmiddels genormaliseerd en hebben hun natuurlijke karakter verloren.
Het is daarom van belang het nog resterende in stand te houden en te restaureren.

In de waterschapswereld is de aandacht voor de beschaduwde beken vooral gewekt door de geringe begroeiing op de taluds en in het water. Hierdoor wordt het onderhoud beperkt terwijl de oevers door de boomwortels worden gestabiliseerd. Het is daarom van belang bij de aanleg van nieuwe of aanpassing van bestaande waterlopen buiten bos- en natuurgebieden gebruik te maken van de ecologie, cultuurtechniek en landschapsarchitectuur. Daardoor kunnen deze waterlopen functies voor wateraf-voer, natuur, landschap en houtproduktie gecombineerd vervullen die afzonderlijk niet of tegen hogere kosten kunnen worden gerealiseerd.

4.2. Typologie van de proefobjecten.

Om tot een ecologische indeling te komen van de in het inventarisatierapport beschreven waterlopen is de methode van Higler en Moll (18) toegepast. Met deze methode wordt tot een indeling gekomen op grond van het verhang, de wandruwheid en de hydraulische straal. Globaal komt het er op neer dat aan de hand van de terreinfactor (dit is het produkt van de wandruwheidsfactor en de wortel uit het verhang) en de hydraulische straal de categorie wordt bepaald waarin het desbetreffende traject van de waterloop thuishoort. Aangezien de hydraulische straal niet constant is, maar afhankelijk van het debiet en ook de wandruwheidsfactor en het verhang variëren in een bepaald traject, moet de methode met de nodige voorzichtigheid worden gehanteerd. De wandruwheidsfactor, het verhang en de hydraulische straal zijn voor zover mogelijk bepaald met behulp van de in het inventarisatierapport vermelde informatie.



Toelichting:

1) grote rivieren
2) kleine rivieren
3) grote laaglandbeken
4) grote terrasrandbeken
5) laaglandbeken
6) terrasrandbeken
7) bovenloopjes
8) kanalen
9) sloten

Figuur 12: CtR-diagram, ter bepaling van de typologie van de waterlopen in de Achterhoek gebaseerd op de wandruwheidsfactor, het verhang en de hydraulische straal.

De grotere waterlopen kunnen van bron tot monding een aantal typen doorlopen. Behalve de in figuur 12 genoemde specifieke typen zijn ook tussenvormen mogelijk. Voor de geïnventariseerde objecten komt men met behulp van de methode van Higler en Moll tot de in tabel 5 weergegeven indeling.

Hierbij dient men in ogenschouw te nemen dat de typologie afhankelijk is van de locatie van het geïnventariseerde gedeelte in het gehele beektraject.

Tabel 5: Typologie van de geïnventariseerde waterlopen in de Achterhoek volgens de methode van Higler en Moll. (18)*
(tussen haakjes zijn de Engelse benamingen aangegeven).

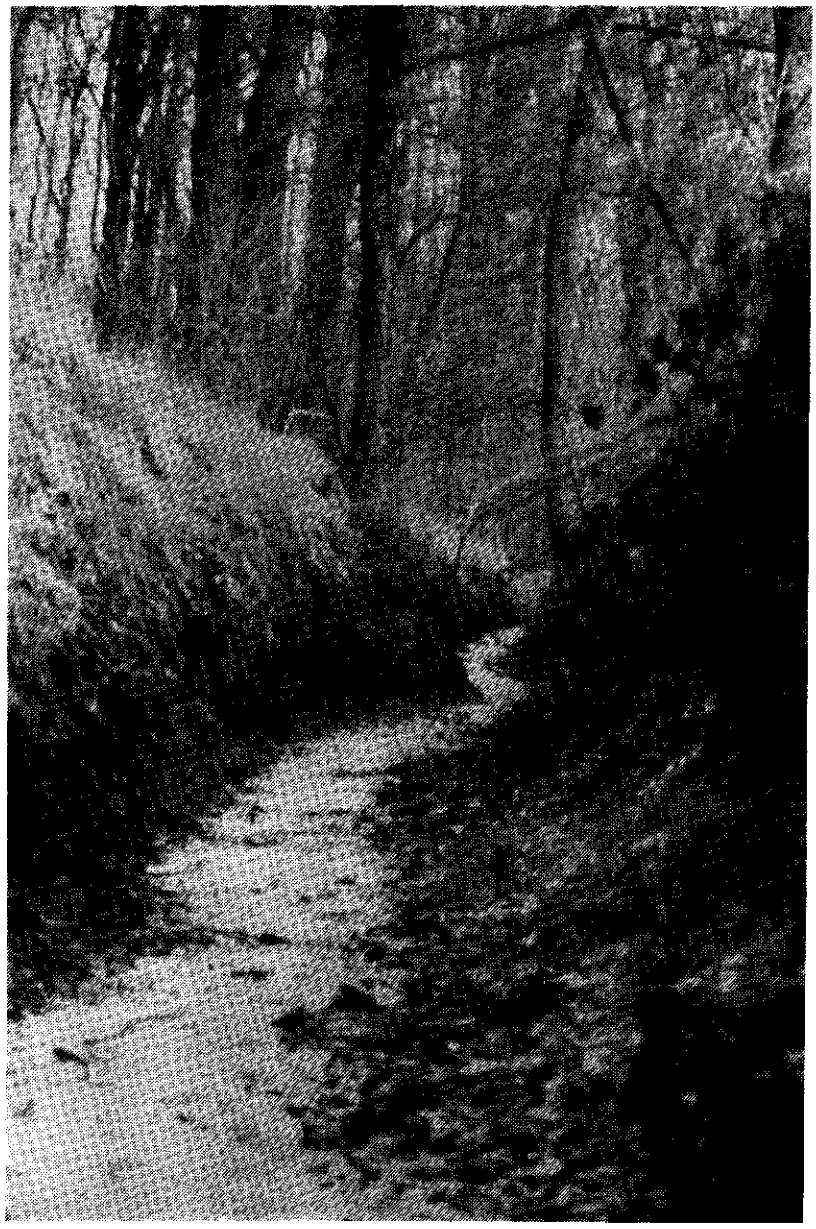
Typologie	Waterloop
Grote en kleine rivieren (large and small rivers)	-----
Grote laaglandbeken (large lowlandstreams)	Beurzerbeek Ratumse beek Willinkbeek Oude Veerbeek* Baakse beek*
Grote terrasrandbeken (large foothillstreams)	-----
Laaglandbeken (lowlandstreams)	Afwatering van Warfslat* Oude Lindense Laak*
Tussenvorm laaglandbeken en terrasrandbeken	Huiskerbeek* Stortelersbeek
Terrasrandbeken (foothillstreams)	Afwatering van Schreurs Snijders-Veerbeek* Haartse waterleiding* Bosch waterleiding Lievelderbeek Vragenderbeek Zilverbeek Visserijbeek
Bovenloopjes (springs)	-----
Kanalen (canals)	-----
Sloten (ditches)	Proefobject Eldrik Proefobject te Beek Grenskanaal

* Een aantal geïnventariseerde waterlopen zijn afgekoppeld. Hierdoor past de typologie van de waterloop veelal niet meer bij het huidige uiterlijk van de waterloop. Deze afgekoppelde waterlopen zijn aangegeven met een ster.

Het blijkt dat een aantal categorieën niet voorkomt onder de geïnventariseerde objecten. Aan deze categorieën wordt in het onderstaande in het geheel geen of slechts in geringe mate aandacht besteed.
De hierna geschatte afmetingen gelden voor het gehele dwarsprofiel.
Het natte profiel is sterk wisselend.

4.3. Bovenloopjes.

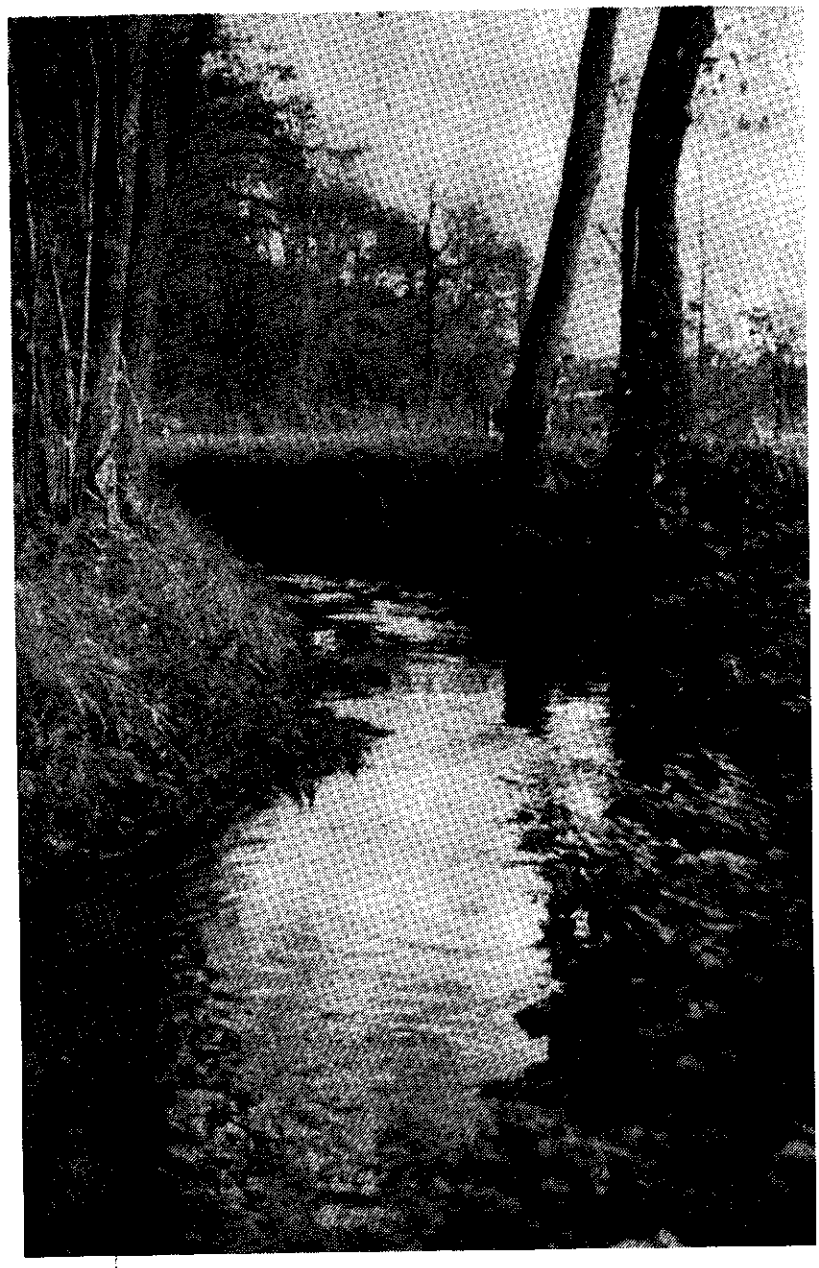
Dit zijn loopjes, geheel bovenstrooms gelegen die 's zomers droogvallen. Ze zijn meestal ruim 1 m diep. Waar de bodem lemig is zijn de taluds steil of zelfs loodrecht en meestal stabiel. De bovenbreedte is vaak niet meer dan ongeveer 0.60 m en de stroomsterkte bedraagt maximaal 0,4 m/sec. Zandtransport treedt nauwelijks op.



Figuur 13: zij-arm van de Stortelersbeek, een typische bovenloop.

Dit type beek is voor het eerst diepgaand onderzocht door H. Cuppen en G. Dirkse (11). Typische macrofauna-soorten die hier voorkomen zijn bijvoorbeeld de waterkever Agabus guttatus en de kokerjuffer Ironoquia dubia. Steenvliegenlarven nemen er de functie als detritus-eter over van de vlokreefjes die permanent stromend water nodig hebben.

De steile wand herbergt een rijke mossen- en levermossenvegetatie waarin onder meer opvallen Conocephalum, Pellia, Diplophyllum en Chiloscyphus.
De rijke mosvegetatie wordt veroorzaakt door: een vochtig milieu en beschaduwde steile, lemige oevers. Op enkele kwelplekjes achter duikers, komt een ondergronds levende platworm massaal voor. Deze soort is slechts op twee andere plaatsen in Nederland bekend en dan nog alleen in ondergrondse putten.
Het onderhoud aan deze categorie waterloopjes is gering omdat weinig of geen kruidenbegroeiing aanwezig is en hier nog geen zandtransport optreedt.
Voor de aanwezigheid van groenwieren, diatomeeën en hogere planten is het goed dat er hier en daar wat zon in de beekloop schijnt. Daarom is een geheel beschaduwde beek niet gewenst.



Figuur 14: de Ratumse beek, een laaglandbeek.

4.4. Laaglandbeken en grote laaglandbeken.

Dit zijn beken en andere waterlopen, die permanent water voeren. Voorbeelden zijn de Ratumse- en Willinkbeek. Ze vormen de hoofdmoot van de waterlopen. De bovenbreedte aan het maaiveld varieert van 1,5 tot 5 m bij een diepte van 1,5 à 2,5 m.
De stroomsnelheid varieert naar schatting van ca. 0,2 tot 1,0 m/sec. In deze beken worden stroomribbels gevonden die aangeven dat er zandtransport is opgetreden. Hiervoor is een stroomsnelheid van tenminste 0,5 m/sec. nodig.
Deze beken kunnen meanderen. Er zijn onderspoelde oevers en steile kale oevers in de buitenbochten en zandstrandjes in de binnenbochten. Plaatselijk wordt slib afgezet. De beken, die breder zijn dan 2,50 m, zijn geschikt voor IJsvogels en Grote gele kwikstaart, door respectievelijk de steile oevers en de zand- slibstrandjes.
Op sommige plaatsen, waar de stroming het sterkst is, achter duikers, in buitenbochten, of ook wel waar oude drinkkolkjes in de beek liggen is het water diep. Deze plekken worden door veel soorten gebruikt om te overzomeren. Sommige, zoals insecten, voltooien hier hun cyclus, andere waaronder vissen wachten er betere tijden af. Waar het water snel stroomt over bakstenen of keien is het milieu geschikt voor allerlei vastzittende organismen zoals de larve van kriebelmugjes en sommige soorten waterslakken. Typische vissoorten voor deze en nog grotere beken zijn bermpje en beekprik.
De diversiteit aan micromilieus in deze beken is veel groter dan bij de bovenloopjes. De soortenrijkdom is hier dan ook - vooral bij de macrofauna - veel groter.
Van belang is dat vlak naast elkaar in de beek een hele reeks micromilieus voorkomen door overgangen in stroomsterkte en korrelgrootte van bodemdeeltjes.
De verschillende levensstadia van bijvoorbeeld insecten en vissen kunnen daardoor in de beek doorlopen worden. De beekpriklarve bijvoorbeeld, leeft vier jaar in het bodemslib, maar de volwassen prik heeft snelstromend water en grind op de bodem nodig om te kunnen paaien. De beekschaatsenrijder heeft verschillende stroomsterkten nodig om van jong tot volwassen dier zich op het stromende wateroppervlak te kunnen handhaven.
Het al dan niet beschaduwd zijn speelt in deze beken om meer dan een reden een belangrijke rol. De temperatuur van het water wordt er door beïnvloed. Het oppervlak dat door de vorm van het profiel aan bezonning kan worden blootgesteld is groter en de periode is langer. Omdat door beschaduwing een constante, lage temperatuur wordt gegarandeerd is beplanting hier dus van groter belang dan bij de bovenloopjes.
In bezonde gedeelten komen grote aantallen slakken (algeneters), waterkevers en waterroofkevers voor, die elders ontbreken. Voorts leven er een bosbeek- en een weidebeekjuffer (libellen). De larven leven onder overhangende oevers. Aan- en afwezigheid van houtwallen langs de beek speelt voor deze soorten een rol.

Van de beekschaatenrijder is in de inleiding al bij wijze van voorbeeld verteld dat deze bomen boven de beek nodig heeft voor de levering van prooien. Voor zover vegetatie in het water aanwezig is bestaat die voornamelijk uit Sterrekroos en Mannagras.
Bij het beheer van de natuurlijke beken is het van belang zoveel mogelijk meandering toe te staan, op open plekken de vegetatie op de taluds te maaien en waar nodig aanvullende beplanting aan te brengen voor beschaduwing.

Natuurlijk zal regelmatig slib, takken en blad verwijderd moeten worden, maar het liefst zo dat bijvoorbeeld de beekprik nog voldoende slib voor zijn milieu overhoudt, de Grote gele kwikstaart zandstrandjes houdt om te fourageren en er stenen blijven liggen waarop kleinere dieren kunnen blijven leven. Het werken met machines op de oever en in de beek maakt veel kapot en moet daarom sterk worden afgeraden.

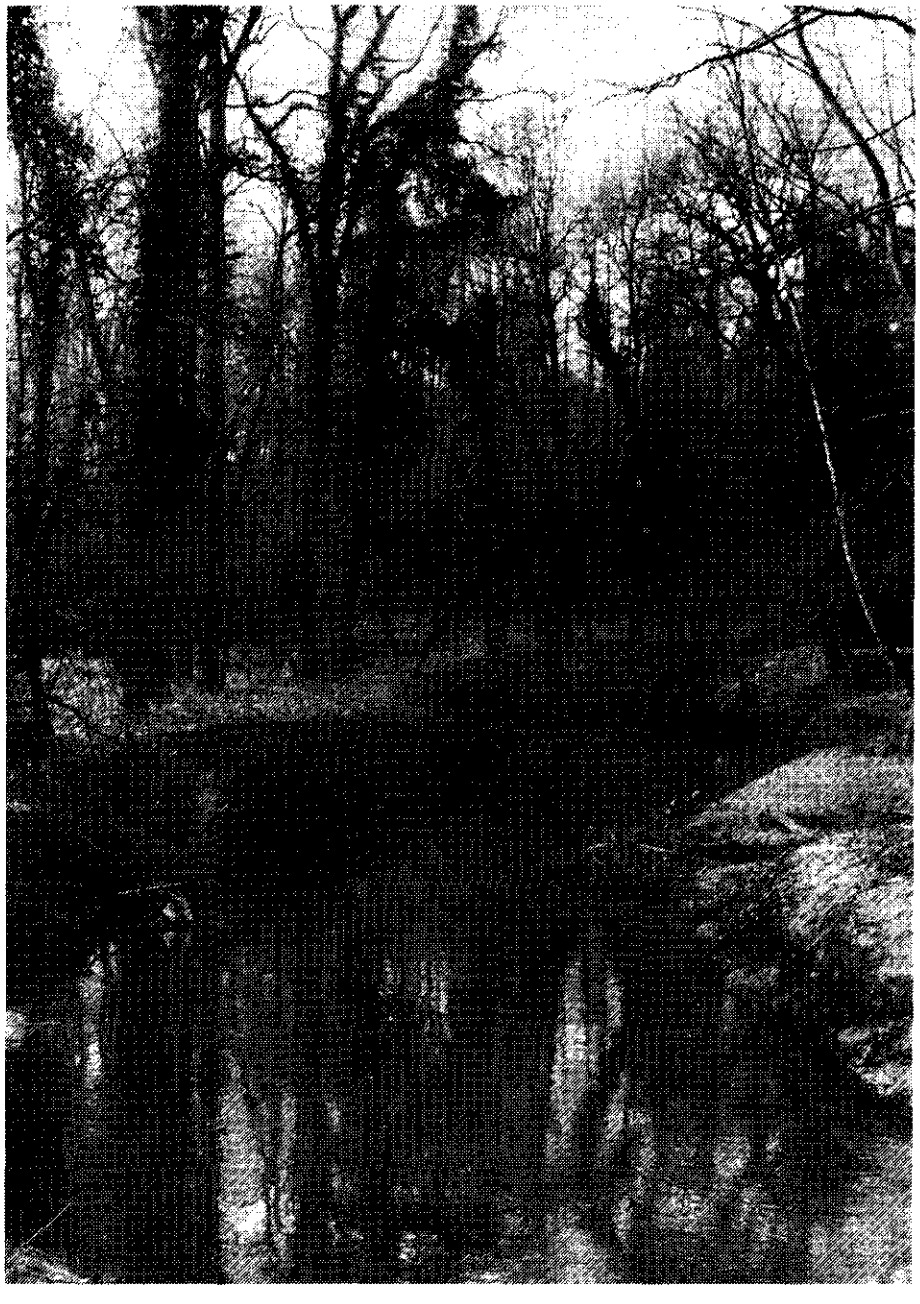
4.5. Terrasrandbeken.

Een klein deel van de proefobjecten wordt gevormd door waterloopjes die ontspringen op het plateau, dat gevormd wordt door de terrasresten van het praeglaciale Rijnsysteem van Eibergen tot Aalten. Ze hebben vaak dezelfde afmetingen als de laaglandbeken.
De bovenlopen van deze beken zijn nagenoeg permanent watervoerend en het verhang op de plateaurand is zo groot, dat bij maatgevend hoog water snelheden van meer dan 0,5 m/sec. voorkomen en veel zand wordt meegenomen. Deze waterlopen zetten stroomafwaarts, waar het landschap aanzienlijk minder helt, het meegenomen zand weer àf, zodat zandvangen daar noodzakelijk zijn. Door erosie en sedimentatie tracht de waterloop de ideale verhanglijn te vinden. Is die eenmaal gevonden dan treedt zandtransport minimaal op.
Bij het ontwerpen kan men wellicht hier mee rekening houden en zoveel mogelijk de ideaalverhanglijn benaderen. Het plotselinge hoogteverschil wordt gewoonlijk met behulp van een stuw annex zandvang overbrugd. Dat tast het karakter van de beek aan. Dit gebeurt ook, maar in mindere mate, wanneer men van een cascadestuw gebruik maakt. Afhankelijk van de steilte zal een cascadestuw ook voor veel soorten als barrière werken. Praktijkgegevens hierover ontbreken.

Figuur 15: de Vragenderbeek, een sterk meanderende terrasrandbeek.

4.6. Kleine rivieren.

Gedacht wordt aan waterlopen met een breedte van 5 à 10 meter, zoals bijvoorbeeld de Aaltense Slinge. In de inventarisatie zijn deze niet meegenomen.
Bij het vrij meanderen kunnen erosie en sedimentatie aanzienlijk zijn. Alleen de Aaltense Slinge in Winterswijk is nog grotendeels natuurlijk.



Figuur 16: de Aaltense Slinge bij Bekendelle.

In de binnenbochten zijn bijvoorbeeld bij Bekendelle aanzienlijke hoeveelheden zand afgezet, waarop soorten als Groot hoefblad hun natuurlijke standplaats hebben. Deze plekken zijn meestal goed bezond doordat het winterbed breed is. Hier komt ook als enige plaats in Nederland natuurlijk Elzen-Vogelkersenverbond voor, dat regelmatig wordt overstroomd.
De oevers kunnen in de buitenbochten enkele meters hoog en steil zijn. Hier broeden Grote gele kwikstaart en IJsvogel. De Grote gele kwikstaart fourageert op de zand- en slibstrandjes, de IJsvogel vist vaak vanaf een boven het water hangende tak. De IJsvogel en de Dodaars vissen er ook in de winter. Het is dan van belang dat het water door de stroming niet bevriest. Typische soorten zijn rivierkreeft, rivierdonderpad, bermpje en beekprik. De vissen missen een zwemblaas. Het zijn bodemvissen, die door de stroming naar beneden gedrukt worden.
De stroomsnelheid varieert van naar schatting 0,5 m/sec. tot meer dan 1 m/sec. In de gestuwde gedeelten is de stroomsnelheid aanzienlijk lager en wordt het water meestal niet beschaduwd. Bovendien is het water bovendien zeer voedselrijk, waardoor massale ontwikkeling van blauw- en groenwieren optreedt en het oppervlak groen kan zien van het kroos. Hierdoor treedt zo nu en dan vissterfte op.
In beschaduwde gedeelten is het zuurstofgehalte hoger en varieert het dag- en nacht zuurstofpercentage minder.
Uit een oogpunt van natuurbehoud is het van belang dat deze beken weer een natuurlijker karakter krijgen. Door beschaduwing zal vissterfte worden voorkomen en waterplanten- overlast tot het verleden behoren. Diverse van de waterlopen die in deze categorie thuishoren zijn afgekoppeld en hebben afmetingen die niet meer overeenkomen met de hoeveelheden af te voeren water. Uit een oogpunt van natuurherstel verdient het aanbeveling deze beken een zo natuurlijk mogelijk afvoerpatroon te geven.

4.7. Sloten en kanalen.

De waterlopen waar het in de proefprojecten bij Beek en bij Eldrik om gaat, zijn kopeinden in zandgrond waar zelden water staat en een kopeind van een sloot in kleigrond, waar permanent kwelwater uit de Oude IJssel wordt opgevangen en afgevoerd. Het aanbrengen van beplanting heeft beschaduwing en bladval tot gevolg. In de eerste jaren komen er veel ruigtkruiden voor zoals distels en brandnetels, maar ook moeraskruiden. Het voordeel van een sluitende boom- of struiklaag is dat de kruidengroei wordt belemmerd. Het blad verteert goed en pas zodra er teveel bladaarde ligt moet dit worden afgevoerd. Vooral de eerste jaren vergen onderhoud. De beplanting kan dan nog door de hoge kruiden worden overwoekerd. Bij goed onderhoud van aanliggend gras en akkerland hebben deze geen last van het onkruid. Afhankelijk van de toegepaste overdimensionering kan men langer wachten met het uithalen van blad en dergelijke. Van het veel grotere Grenskanaal dat ook in dit gebied ligt, is de stroomsnelheid erg gering.
De biologische waarde van zwakstromende waterlopen is sterk afhankelijk van de voedselarmoede van de omringende bodem en van het toestromende grondwater. De biologisch waardevolle waterlopen hebben altijd een lage waterplantengroei en vergen dus minder onderhoud. Soorten als Kranswier, Drijvende waterweegbree, Bronmos, Naaldwaterbies, Waterviolier, Kruipende waterweegbree en Ondergedoken moerasscherm zijn hier te verwachten.

4.8. Oevers en houtwallen langs waterlopen.

Voor alle categorieën beken geldt dat houtwallen de invloed van de bemesting op de beek tegengaan door deze zelf voor hun rekening te nemen. Gier- en drijfmest die langs de perceelsranden worden uitgereden bereiken de beek niet meer als de houtwal een minimale breedte van 6 meter heeft. Voor de goede ontwikkeling van een houtwal is naar schatting een minimale breedte van 10 m uit het hart van de boombeplanting gewenst. Wil een houtwal normaal kunnen uitgroeien dan heeft elke boom een straal van 8 m ruimte nodig. Daarnaast zijn struiken, slingerplanten en kruiden een onderdeel van de houtwal. Aan de rand vormen deze bij voldoende bezonning een mantel-, zoom- en sluiervegetatie. Omdat deze vegetatie deels onder de boometage groeit, hoeven slechts enkele meters in de breedte voor deze zone te worden gereserveerd. Bij een dergelijke ruimte kan de houtwal zich goed ontwikkelen (15). Een onderbreking van kleiner of gelijk aan 30 m. door grasland of akker geldt niet als barrière voor de levensgemeenschap van de houtwal. Elke grotere afstand gaat voor een of meer dier- of plantengroepen als barrière werken. Voor vleermuizen bijvoorbeeld mag de onderbreking niet meer dan ca. 50 m. zijn.

Door het schonen van de waterlopen in handkracht is leem, slib, blad en takken op de oever terecht gekomen. Hierdoor is op veel beekoevers een milieu ontstaan, waarin zich een rijke vegetatie kon ontwikkelen van het Elzen-vogelkersenverbond, of zelfs het Haag-beukenverbond. In de naaste omgeving is een bosvegetatie die tot het eikenberkenbos behoort normaal op de zure dekzandgronden. De rijkere oevers langs deze waterlopen vallen in het voorjaar direct op door de uitbundige bloei van de zoete kersen. In de kruidlaag worden vaak de slanke sleutelbloem, bosanemoon, vogelmelk, gulden boterbloem en witte klaverzuring aangetroffen.

De effecten van de beplanting op de biologische rijkdom van de beek zijn:
- door de beplanting worden voedingsstoffen, substraat en bouwmateriaal aan organismen in de beek geleverd;
- de beplanting zorgt voor schaduw waardoor de benodigde lage watertemperatuur en het hoge zuurstofgehalte in het water wordt bereikt;
- de oevers worden met boomwortels vastgelegd waardoor betuining, nylondoek en betonstenen of andere materiaal grotendeels overbodig worden. Het beekmilieu blijft natuurlijker en schept meer levensmogelijkheden;
- door de beplanting worden bezonning en beschaduwing verdeeld over de waterloop, waardoor meer soorten in de beek kunnen leven;
- de beplanting houdt bemesting via oppervlakkige afstroming of door het rechtstreeks in de waterloop sproeien tegen;
- de rijkdom aan broedvogelsoorten zal toenemen.

5. Beplantingsaspecten.

5.1. Inleiding en probleemstelling.

Zoals in paragraaf 1.5 al werd opgemerkt is dit hoofdstuk de samenvatting van het deelrapport "Oeverbeplanting en Waterbeheer" (16). In aansluiting op de hoofddoelstelling van de werkgroep luidt de probleemstelling van het deeladvies: welke beplantingssoorten en -vormen komen in aanmerking voor het gebruik op de oevers van waterlopen en welke specifieke eisen moeten aan oeverbeplantingen gesteld worden in verband met de functie ervan in het waterbeheer?
Het achterliggende doel is om door het aanbrengen van oeverbeplantingen een zo natuurlijk mogelijke vegetatie te laten ontwikkelen en in samenhang daarmee een zichzelf regulerend waterbeheersingssysteem tot stand te doen komen. De waterhuishouding zal zo efficiënt mogelijk en met een minimum aan beheer moeten functioneren.

5.2. De functies van oeverbeplanting in het waterbeheer.

De directe functies van de oevervegetatie in het waterbeheer zijn:

- beschaduwing: deze remt de plantengroei in het water, enerzijds door de afname van het instralende zonlicht, anderzijds door temperatuursdaling van het water. Een gunstig neveneffect is de hogere opname-capaciteit van zuurstof van water met een lage temperatuur, waardoor "zelfreinigende" processen beter verlopen;

Figuur 17: door beschaduwing wordt de plantengroei in het water geremd.

- beworteling: hierdoor worden instabiliteit en erosie van oevers voorkomen. Er kan onderscheid worden gemaakt in verankering ten behoeve van toestromend (kwel) water, het geleiden van het doorstromende water en het voorkomen van inzakkende taluds onder invloed van betreding door vee of het rijden met machines.

Figuur 18: beworteling van oevers voorkomt instabiliteit en erosie.

In het kader van de nagestreefde doelstellingen is alleen de toepassing van tweezijdige oeverbeplantingen aan de orde en wordt eenzijdige aanplant afgewezen. Het is van belang de eerste rij van de beplanting zo laag mogelijk in de taluds aan te brengen. Vanaf het begin is op deze wijze de kans op onderspoeling het kleinst en wordt tevens de plantafstand tussen de rijen aan weerszijden van de waterloop beperkt. Ook kan de periode waarin eventueel aanvullende oeverbescherming en maaiwerk in het natte profiel nodig is, hierdoor beperkt blijven.
Bij een eventuele toepassing van tijdelijke oeverbescherming bij snelstromende waterlopen dient bij voorkeur gebruik te worden gemaakt van niet-duurzame materialen (wiepen).

5.3. Overige functies.

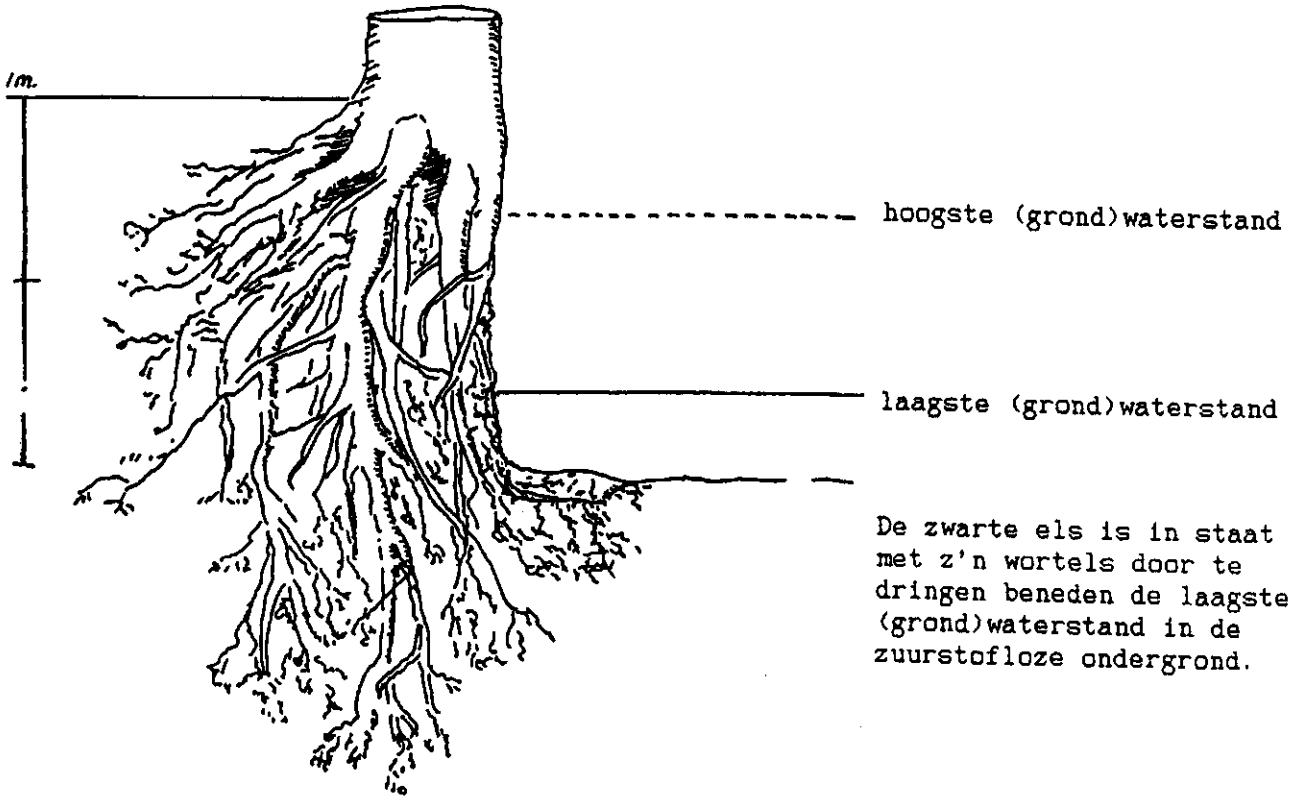
Vanuit een landschapsecologisch standpunt wordt het systeem van waterlopen, onder meer in de notitie "Ruimtelijke perspectieven" (20), structuurbepalend voor de oostelijke dekzandgebieden genoemd. Het beplanten van waterlopen levert een bijdrage aan de totstandkoming van een netwerk van natuurlijke oevervegetaties dat de grotere eenheden natuurgebied met elkaar verbindt.

Daarnaast vormt het aanleggen van beplanting in de boven- en middenlopen van het stroomgebied een visueel-ruimtelijke ondersteuning van de hoofdstructuur in het landschap.

Op zichzelf genomen zal het aanleggen van brede oeverbeplantingen ten koste gaan van het beslag dat andere functies, zoals de landbouw, op deze ruimte leggen. Hiertegenover staat dat naarmate de oeverbeplanting breder wordt de kansen voor combinatie met sommige functies, zoals recreatie en houtproduktie, weer toenemen.

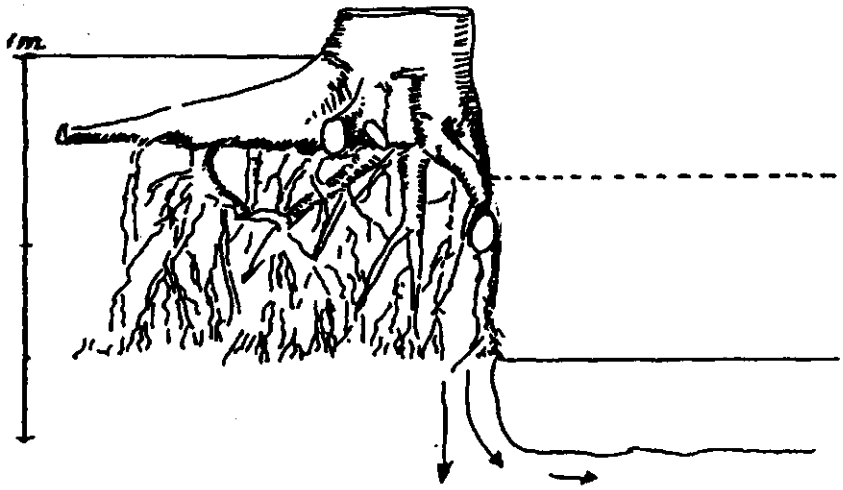
5.4. Soortenkeuze.

De soortenkeuze spitst zich toe op de in de taluds aan te brengen beplanting. De bodemsamenstelling en vooral de water- en zuurstofhuishouding in de oeverzone spelen daarbij een centrale rol. Water is een belangrijk mechanisme in de concurrentie tussen soorten. Daarbij is het aanpassingsvermogen aan de volgende factoren bepalend:
- overstromingen buiten de vegetatieperiode;
- perioden met een hoge grondwaterstand;
- kortdurende overstromingen in de vegetatieperiode;
- kwelomstandigheden waarbij het water wordt afgevoerd (niet stagnerend);
- langer durende overstromingen in de vegetatieperiode;
- kwelomstandigheden waarbij het water een groot deel van het jaar op of vlak onder het maaiveld stagneert.



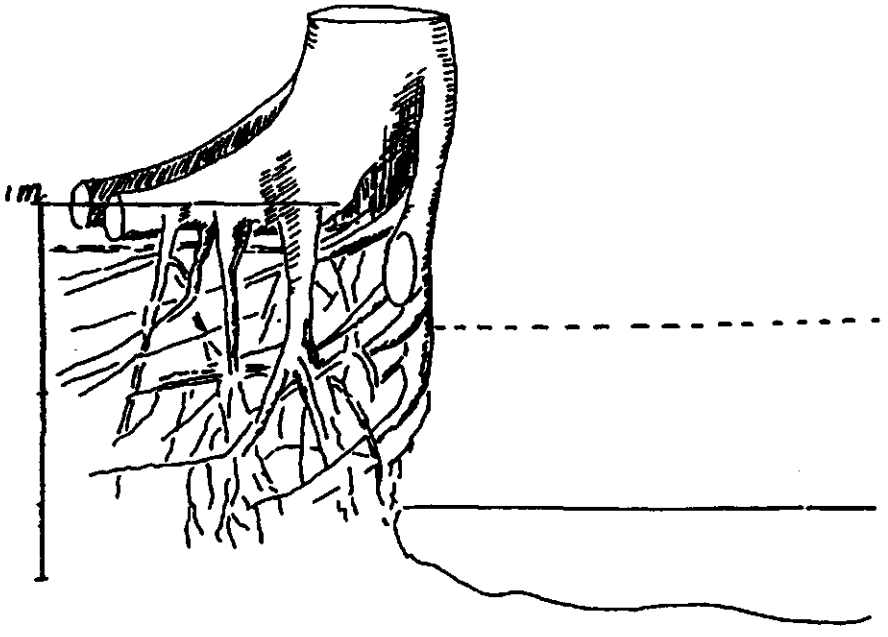
Figuur 19: de bewortelingskarakteristiek van de zwarte els.

Bomen en struiken, geschikt voor toepassing op oevers van waterlopen moeten zijn aangepast aan één of meer bovenstaande groeiplaatsfactoren. Van de in dit hoofdstuk te behandelen inheemse hoofdhoutsoorten blijken wilgen bij uitstek geschikt te zijn voor extreem natte groeiplaatsen. Hier kunnen zich langdurige overstromingen ook in het groeiseizoen voordoen of stagnatie van water op of net onder het maaiveld.
Wilgen bezitten op deze plekken door hun specialisatie als het ware alleenrecht. In gemengde loofhoutbossen langs de oevers van waterlopen komen wilgen van nature nauwelijks voor, onder meer omdat ze zich in concurrentie met de zwarte els niet kunnen handhaven. De zwarte els is evenals de wilg in staat met z'n wortels in de permanente grondwaterzône door te dringen en blijkt zeer geschikt voor aanplant laag in het talud.
De es is hiertoe ook in staat, maar dan alleen in zuurstofrijke omstandigheden. Juist de combinatie van de elkaar aanvullende, verticaal wortelende els en horizontaal wortelende es lijkt de moeite waard om in oeverbeplantingen beproefd te worden.



Figuur 20: de bewortelingskarakteristiek van de es.

Van de overige hoofdhoutsoorten zijn eik en hazelaar afhankelijk van de doorwortelbare ruimte boven het grondwater en kunnen daarom slechts op de hogere taludgedeelten worden gebruikt. Van deze soorten mag op grond van veldonderzoek wel verwacht worden dat ze periodiek hoge grondwaterstanden en kortdurende overstromingen verdragen en een bijdrage leveren aan de oevervastlegging en beschaduwing.



Figuur 21: de bewortelingskarakteristiek van de eik.

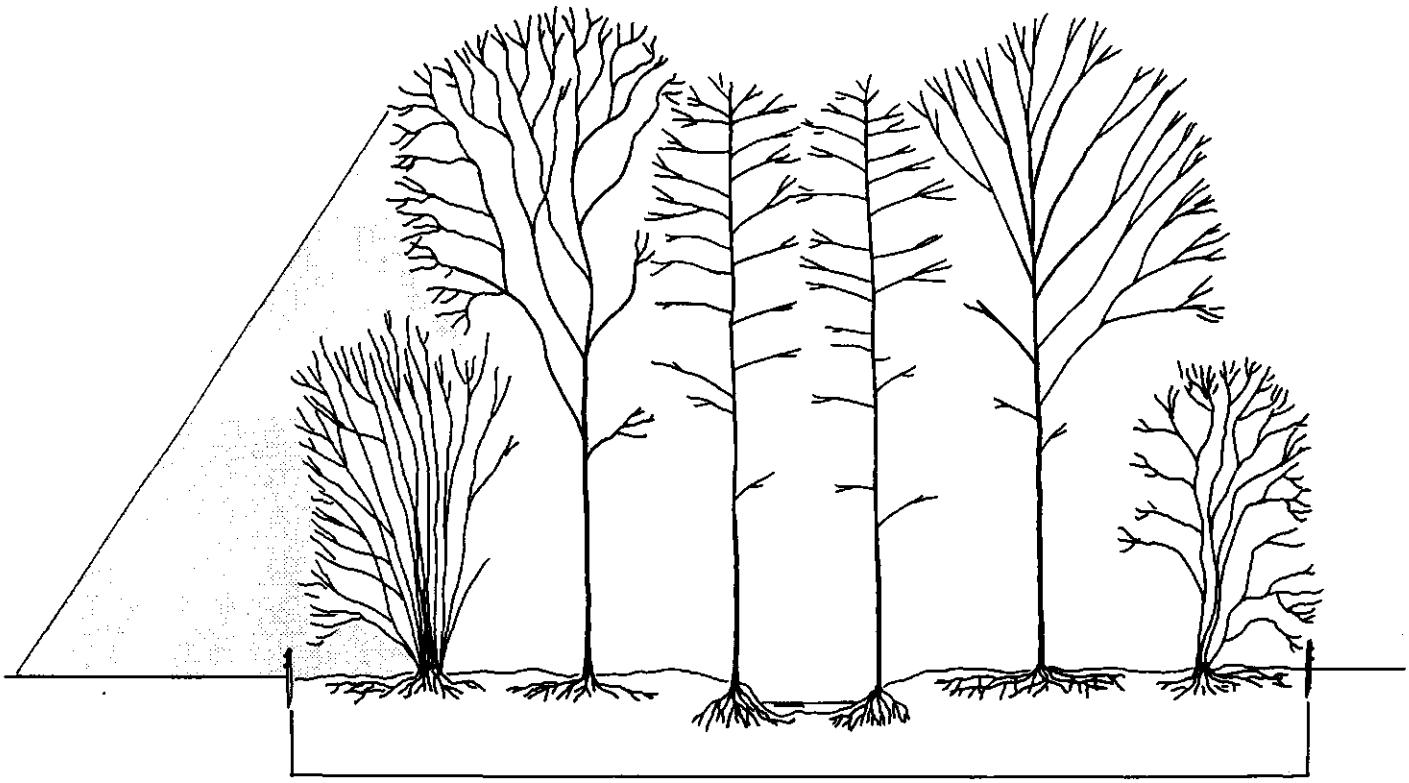
Van de hierboven genoemde hoofdhoutsoorten geven alle, behalve de es, een goede beschaduwing op het water. Omdat niet alleen de soortenkeuze, maar de beplantingsvorm bepalend is voor de beschaduwing mag niet worden geconcludeerd dat de es niet toepasbaar in oeverbeplantingen zou zijn. Juist de lichtdoorlatendheid van deze soort maakt dat gemakkelijk een struiklaag onder de bomen tot ontwikkeling kan komen. De beschaduwing van de waterloop komt dan via de boom- en struiklaag tot stand. Daarnaast is een groot aantal soorten te onderscheiden dat incidenteel in oeverbegeleidende beplantingen wordt aangetroffen, en in meer of minder mate vochttolerante eigenschappen bezit. Deze soorten, waaronder linde, zoete kers, haagbeuk, vogelkers, veldiep, gelderse roos, vuilboom, hulst, berk, lijsterbes, kornoelje en kardinaalsmuts zorgen voornamelijk voor de variatie in de beplantingsopbouw en in mindere mate voor de oeverstabilisering en beschaduwing van de waterloop.
Ze kunnen, indien gewenst, worden meegeplant of na spontane vestiging in het beheer worden bevoordeeld ten opzichte van de aangeplante soorten.
Enkele soorten moeten niet in de directe oeverzone worden gebruikt. Dit geldt met name voor esdoorn, beuk en populier die over andere soorten domineren en deze in de groei belemmeren. Doorslaggevend is dat deze soorten niet in staat zijn de oevers van waterlopen voldoende vast te leggen.

5.5. Beplantingsvormen.

In dit hoofdstuk wordt de wijze van aanleg en beheer van oeverbeplantingen afhankelijk gesteld van de keuze voor een beplantingsvorm. Hieronder wordt verstaan het geheel van bomen en/of struiken met een daarbij behorende planten- en dierengemeenschap (23). Het doel daarvan is te komen tot een afstemming van aanleg en beheer op basis van een gewenste eindtoestand.

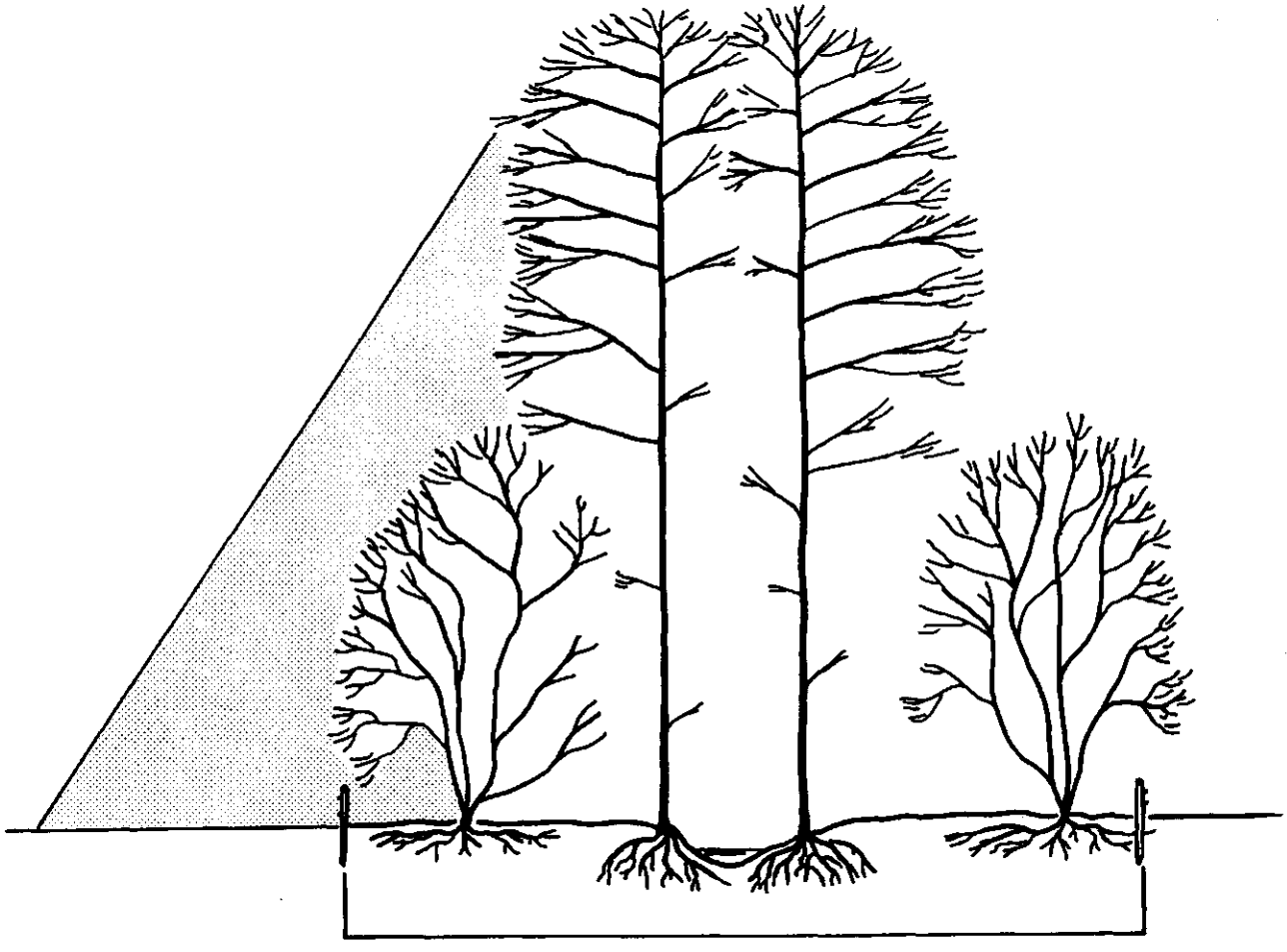
Door de vastlegging van de beplantingsvorm en de bijbehorende eindtoestand ontstaat een grotere duidelijkheid ten aanzien van het beheer, zodat ingrepen zoveel mogelijk kunnen worden beperkt.
Het eindbeeld van de beplanting wordt derhalve voor de aanleg bepaald en dient in de aanleg zichtbaar te zijn. Dit houdt in dat de beplanting zoveel mogelijk in stroken wordt aangebracht, op een zodanig wijze dat bij het oplopen van achterstanden in het beheersschema of zelfs het achterwege blijven van beheersingrepen toch het bedoelde eindbeeld wordt bereikt. De techniek van het aanleggen van de beplanting in de taluds is daarbij gebaseerd op een zo groot mogelijke selectie in relatie tot de wisselende waterstanden in de beek. Hiertoe wordt de oevervastleggende beplanting aangebracht met kleine afstanden tussen de rijen (0,5 meter) en een ruimere afstand in de rij zelf (2,0 meter).
Het is van belang plantmateriaal te gebruiken van zo mogelijk geselecteerde locale herkomst zodat zich ter plekke een zo natuurlijk mogelijke vegetatie ontwikkelt en er mogelijk elders in het stroomgebied vanuit dit genenmateriaal uitbreiding plaatsvindt.

Bepalend voor de beplantingsvorm is vooral de beschikbare ruimte in het dwarsprofiel. Op stroken van zo'n 15 meter per oever en breder kunnen opgaande beplantingen met een gesloten struikenrand (A) worden gerealiseerd.



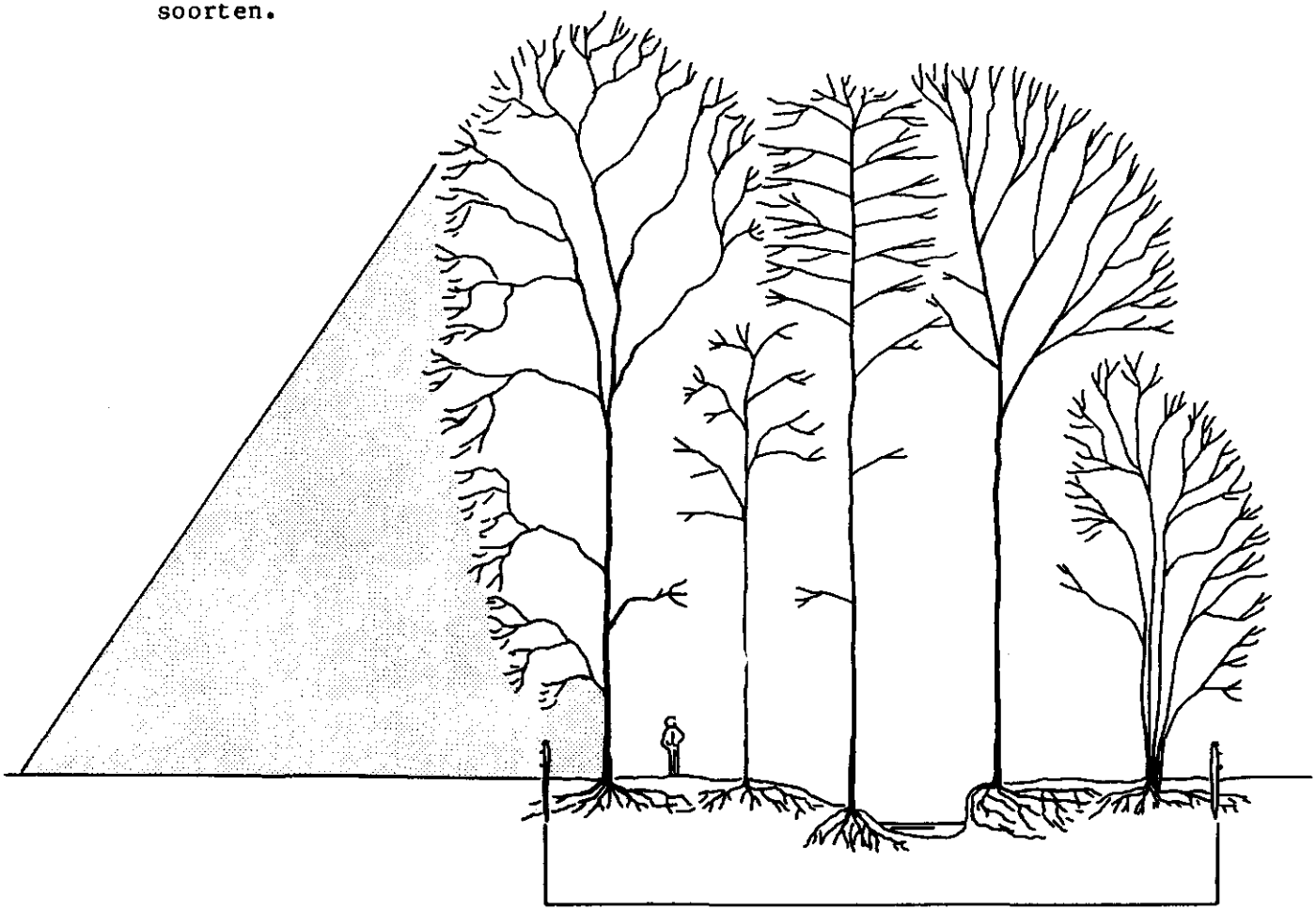
Figuur 22: (A) opgaande beplanting met een gesloten struikenrand (breed).

Deze vorm kan worden beschouwd als ideaalbeeld voor oeverbeplantingen. De geslotenheid levert een bufferende werking op naar buiten toe. De aanwezigheid van een gelaagde beplantingsopbouw draagt bij aan de beschutting en mogelijke vestiging van dieren in de oeverzone. De afmetingen van beplantingen met een dergelijke breedte bieden uitzicht op het ontstaan van een bosmilieu in het centrum.
Enige oevererosie en sedimentatie waarvan de effecten slechts op de beplantingsstrook zelf invloed hebben, kunnen worden getolereerd en hebben een gunstige invloed op het ontstaan van micromilieus in de waterloop. Een forse breedte geeft bovendien de mogelijkheid om een gedifferentieerd sortiment aan te planten zonder dat een intensief beplantingsbeheer noodzakelijk is.
De voordelen voor de aangrenzende landgebruikers zijn dat de geleidelijke overgang tussen cultuurgrond en de beplanting minder schade veroorzaakt door licht-, voedsel- en vochtconcurrentie. Bovendien hebben alle opgaande beplantingen invloed op het micro-klimaat in de naaste omgeving onder andere door de windremmende werking. Daar staat tegenover dat voor de beplantingsstrook zelf een aanzienlijke breedte nodig is.
Een smallere variant op deze beplantingsvorm kan worden gerealiseerd door de struikbeplanting direct aangrenzend aan de oevervastleggende soorten in het talud aan te brengen. De consequentie hiervan is dat de boomsoortenkeuze wordt ingeperkt.



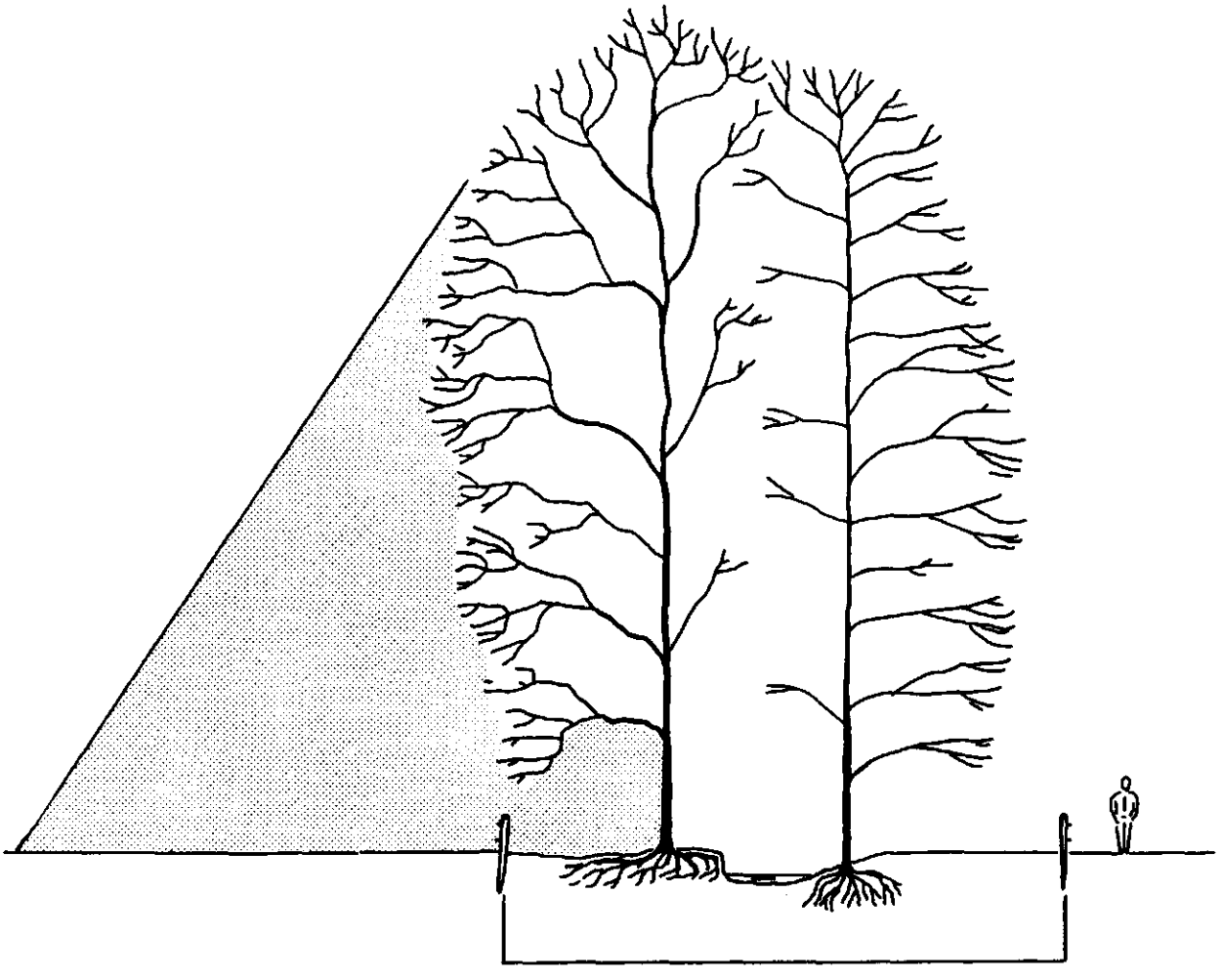
Figuur 23: (A) opgaande beplanting met een gesloten struikenrand (smal).

Opgaande beplantingen met afwisselend bomen en struiken in de randen (B) kunnen verwacht worden op breedtes variërend van 8 tot 15 meter per oever. Een doorgaande struikenrand is dan niet meer te realiseren. Op plaatsen waar de struikenrand is onderbroken is sprake van een toegenomen kwetsbaarheid. De afgenomen breedte beperkt de differentiatie in de soortenkeuze en maakt de beplanting als geheel meer beheersafhankelijk. Doordat hier en daar hoog opgaande bomen direct grenzen aan landbouwcultuurgrond ontstaan overgangsproblemen in de vorm van lange slagschaduws, en een relatief brede, minder rendabele strook grond langs de beplanting. De beperking van de breedte van de te beplanten strook levert dus nadelen op. Toch is deze vorm een goed alternatief voor beplantingsvorm A en levert de beplanting bij een gering ruimtebeslag een gevarieerd beeld op met goede vestigingsmogelijkheden voor vele soorten.



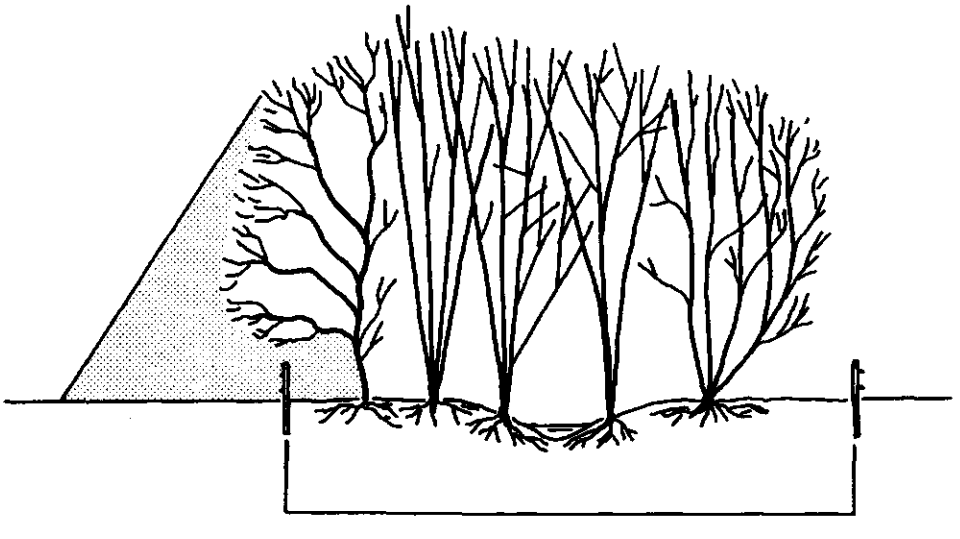
Figuur 24: (B) opgaande beplanting met afwisselend bomen en struiken in de rand.

Als per oever minder dan 8 meter ruimte voor de aan te leggen beplanting beschikbaar is, kan slechts een opgaande beplantingsvorm van uitsluitend bomen (C) worden verwacht. Dit is als het ware een grensgeval. Op deze wijze kan nog net aan de primaire functies, beschaduwing en oevervastlegging worden voldaan, waarbij overigens een vakkundig beheer noodzakelijk is. De beplanting is bijzonder gevoelig voor verstoringen zoals bijvoorbeeld het wegvallen van de onderste takken, waardoor de beschaduwing van de waterloop niet meer optimaal functioneert. Ook kan het uitvallen van één enkel exemplaar, als de beplanting al wat ouder is, problemen veroorzaken; de beplanting is dan onderbroken en nieuwe beplanting komt in deze "gaten" moeilijk tot ontwikkeling onder meer door schaduwwerking van de omringende beplanting.



Figuur 25: (C) opgaande beplanting met uitsluitend bomen.

Overwogen moet worden of op dergelijke breedtes (5-8 m per oever) niet beter voor hakhoutbeplantingen (D) kan worden gekozen. Hiermee kan een tot onderaan vertakte en gesloten beplanting worden gerealiseerd. De breedte hoeft niet of nauwelijks groter te zijn dan de ruimte die anders voor een waterloop met onderhoudspaden in beslag genomen zou zijn.



Figuur 26: (D) hakhoutbeplanting.

Daar staat tegenover dat voor de instandhouding van hakhoutbeplantingen een intensief beheer noodzakelijk is, waarbij parallel aan de kapcyclus de beschaduwing van het water enige tijd wordt onderbroken. Voor de aanliggende landgebruikers blijft de licht-, vocht- en voedselconcurrentie beperkt tot een smalle strook en in de meeste gevallen is geen extra cultuurgrond voor het aanleggen van de beplanting nodig.
De mogelijkheden voor recreatief medegebruik zijn bij deze beplantingsvorm nihil.

Vanuit ecologische overwegingen is vooral de bufferende en beschuttende werking ten opzichte van de naaste omgeving van belang. Die is groter dan van opgaande beplantingen met uitsluitend bomen die op een vergelijkbare breedte tot stand gebracht kan worden. Aan het ontbreken van een boomlaag bij hakhoutbeplantingen en bij hakhoutbeplanting met struiken in de randen kan enigszins tegemoet gekomen worden door incidenteel overstaanders toe te laten. Het gebruik van een gesloten beplanting met alleen struiken (E) moet worden afgeraden omdat tot op heden onvoldoende bekend is welke (struik) soorten geschikt zijn voor toepassing in de taluds boven de gemiddelde waterlijn.

6. Conclusies en aanbevelingen.

6.1. Inleiding.

De werkgroep heeft het gestelde doel, om op grond van ervaring en documentatie te komen tot aanbeveling voor aanleg, beheer en onderhoud van beplante waterlopen, voor een groot gedeelte bereikt. Dit geldt vooral voor de hydraulische, de technische en de beplantingsaspecten. Met name op het gebied van de ecologie blijven er nog vragen over. Ook is er nog te weinig duidelijkheid over de kosten van beheer en onderhoud. Hoewel het mogelijk is om op grond van bestaande gegevens reeds adviezen te geven, zullen een aantal zaken nader getoetst moeten worden in de praktijk.
In dit hoofdstuk worden op grond van wat er in de vorige hoofdstukken is behandeld conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan. Deze hebben betrekking op de aanleg en het onderhoud en op wensen die er nog zijn voor nader onderzoek. Na enkele algemene aanbevelingen worden achtereenvolgens suggesties gedaan voor de technische en hydraulische, de ecologische en de beplantingsaspecten. De aanbevelingen voor onderzoek komen in de laatste paragraaf aan de orde.

6.2. Algemeen.

* Het systeem van beplante waterlopen kan, als er aan bepaalde voorwaarden wordt voldaan, gezien worden als een reëel alternatief voor traditionele afwateringssystemen.

* Beplante waterlopen moeten in de eerste plaats gezien worden als hulpmiddelen voor de afvoer van overtollig water en zullen voor dat doel optimaal moeten kunnen functioneren. De beplanting op de oevers heeft naast een landschappelijke ook een ecologische functie.
Met de aanleg van beplante waterlopen wordt beoogd een zichzelf regulerend en zo natuurlijk mogelijk afwateringssysteem te ontwikkelen dat ook een duidelijke visueel-ruimtelijke functie heeft.

* Het ontwikkelen van plannen voor beplante waterlopen is een afwegingsproces. Enerzijds dient het ontwerp te voldoen aan technische en hydraulische eisen. Anderzijds zal zo veel mogelijk rekening moeten worden gehouden met de ecologische en landschappelijke belangen. Alle aspecten dienen goed op elkaar te worden afgestemd.

* Voor een doelmatig beheer en onderhoud en een goede ontwikkeling van het ecosysteem verdient het aanbeveling om in grote eenheden te denken. De te verbeteren waterloop moet altijd gezien worden als een onderdeel van een groter geheel.

* Om goed op de gegeven situatie te kunnen inspelen en de mogelijkheden optimaal te kunnen benutten zal goede nota moeten worden genomen van de bodemkundige en de hydrologische toestand en de topografie.

* Beleidsmatig dienen bewust die gedeelten van waterlopenstelsels gekozen te worden waar technisch gezien voor de aanleg ruime mogelijkheden zijn en waar de ontwikkeling in de toekomst een goede kans van slagen heeft.

* Waterloop en beplanting dienen een samenhangend geheel te worden dat een geïntegreerd onderdeel van het landschap gaat vormen.

6.3. Hydraulische en technische aspecten.

* Indien beplanting in het doorstroomprofiel van een waterloop wordt aangebracht of gehandhaafd, zullen de hydraulische berekeningen hierop moeten worden afgestemd. Het verdient aanbeveling om zowel met de methode van Manning/Strickler als met de methoden van Obendorf en Felkel te rekenen. Het blijkt namelijk dat de methoden van Obendorf en Felkel niet algemeen geldig kunnen worden verklaard, zodat per geval een afweging moet worden gemaakt over de toe te passen methode. Na meer ervaring kan wellicht een keus gemaakt worden uit beide methoden.

* Grote obstakels in het doorstroomprofiel, zoals te handhaven solitaire bomen kunnen als kunstwerken worden ingerekend.

* In verband met het behoud van het natuurlijke karakter van de waterloop verdient het aanbeveling:

  - de dimensies van het doorstroomprofiel zoveel mogelijk af te stemmen op de te verwachten debieten;
  - bij reconstructie van bestaande waterlopen zoveel mogelijk het bestaande tracé te handhaven;
  - bij het bepalen van het verhang van beplante waterlopen een afweging te maken tussen wat er ecologisch gezien wenselijk en wat er met het oog op het beheer en onderhoud haalbaar is.

* Bij aanleg of reconstructie van beplante waterlopen moet rekening worden gehouden met een tijdelijke oeververdediging ter bescherming van de oevers en de jonge aanplant tegen de gevolgen van erosie in de eerste jaren na aanleg.

* Kunstwerken dienen te worden afgestemd op het karakter en de functie van de waterloop.

* Bij het ontwerp kan de mogelijkheid van tijdelijke berging van korte en hoge afvoerpieken in een bergingsvijver of een laagte in het terrein overwogen worden.

6.4. Ecologische aspecten.

* Voor een optimaal milieu voor planten en dieren is een goede waterkwaliteit van groot belang. Bij de ontwikkeling van plannen voor beplante waterlopen moet daarom niet uit het oog worden verloren dat de waterkwaliteit beperkingen kan opleveren voor de ecologie van de waterloop. Anderzijds moet worden opgemerkt dat door de constante en lage watertemperatuur in beschaduwde waterlopen een goede waterkwaliteit wordt bevorderd.

* Het afkoppelen van beken dient zoveel mogelijk vermeden te worden. In die gevallen waar het toch nodig is of al is gebeurd, dient te worden nagegaan op welke wijze er voor gezorgd kan worden dat er het gehele jaar water door de beek blijft stromen.

* De stroomsnelheid en de mate van meandering zijn in sterke mate bepalend voor het karakter van de waterloop. Daarom is het van groot belang om na te gaan welke mogelijkheden daarvoor zijn.

* Een asymmetrisch dwarsprofiel vergroot de differentiatie in stroomsnelheden en vestigingsmogelijkheden op de oevers. Ecologisch gezien is een beek met overhangende oevers in de buitenbochten en zandstrandjes in de binnenbochten ideaal.

* Het verdient aanbeveling om een zo groot mogelijke gevarieerdheid na te streven. De stroomsnelheid en de vorm van het dwarsprofiel spelen hierbij een belangrijke rol. Daarnaast zou bij voorbeeld kunnen worden nagegaan in hoeverre de beschaduwde gedeelten kunnen worden afgewisseld met niet-beschaduwde gedeelten.

* Stuwen dienen zo weinig mogelijk te worden toegepast. Wanneer zij nodig zijn voor energievernietiging bij een groot verval, kan de mogelijkheid van een cascadestuw worden overwogen.

* Bodembescherming moet worden afgeraden. Als oeververdediging nodig is, verdient toepassing van materialen die binnen enkele jaren verteren, de voorkeur.

* Voor bepaalde organismen worden de overleveringskansen aanzienlijk vergroot door de aanleg van kunstmatige poelen, direct grenzend aan de waterloop. Afhankelijk van de soorten waarvoor de poel is bedoeld dient bewust gekozen te worden voor het al dan niet aansluiten op de waterloop.

* Het rijden met machines in beddingen vernietigt veel organismen die op of in de bedding leven. Bij reconstructie, maar ook bij het beheer moet dat dus worden voorkomen.

* Dood hout en blad hebben niet alleen een rol in de voedselvoorziening van de ecosystemen, maar vormen ook aanhechtingssubstraten voor de beekorganismen. Het is daarom van belang dat er niet méér takken, blad en slib wordt verwijderd dan noodzakelijk is voor de waterafvoer.

* Omgevallen bomen (door onderspoeling) betekenen een extra milieuverrijking. Wortelkluit en stam dienen als broedgelegenheid en brug voor allerlei dieren en als voedselbron voor schimmels en insecten. Wanneer een omgevallen boom geen belemmering vormt voor de doorstroming kan deze dan ook beter blijven liggen.

* Het is aan te raden het onderhoud van de beken zoveel mogelijk in handkracht in het najaar uit te voeren. Het op de kant zetten van slib en blad bevordert de ontwikkeling van plantesoorten zoals de Slanke Sleutelbloem.

6.5. Beplantingsaspecten.

* Oeverbeplantingen dienen een tweetal functies in het waterbeheer te vervullen; allereerst beschaduwing van de waterloop zodat plantengroei

in het water wordt geremd, ten tweede doorworteling van de oevers zodat de stabiliteit daarvan wordt gewaarborgd.

* Beide functies komen alleen tot hun recht bij de tweezijdige toepassing van oeverbeplantingen.

* De beplanting zal, afhankelijk van de waterstanden, zo laag mogelijk in de taluds moeten worden aangebracht met als doel een snelle overkoepeling van de waterloop en het beperken van onderspoeling.

* Wilgesoorten komen van nature voor op natte groeiplaatsen waar langdurige overstromingen, ook tijdens het groeiseizoen en stagnatie van water optreden; in gemengde loofhoutvegetaties op oevers van stromende waterlopen worden ze uiteindelijk verdrongen en wilgen dienen derhalve niet in oeverbeplantingen te worden opgenomen.

* Soorten die een belangrijke functie in de waterhuishouding kunnen vervullen zijn:
  a. voor toepassing onderin het talud: Alnus glutinosa (zwarte els) en Fraxinus excelsior (es);
  b. voor toepassing bovenin het talud: Quercus robur (zomereik) en Corylus avellana (hazelaar).

* Voor de kwaliteit van het plantmateriaal dient zoveel mogelijk gebruik te worden gemaakt van geselecteerde locale herkomsten.

* Vrijwel alle streekeigen houtsoorten komen in aanmerking om boven de hoogwaterlijn te worden aangeplant, zij het dat vele geen specifieke oevervastleggende kwaliteiten bezitten en enkele, waaronder beuk en esdoorn, voor toepassing in oeverbeplantingen moeten worden ontraden.

* De soortenkeuze wordt mede beïnvloed door de vooraf vast te stellen beplantingsvorm, die bepalend is voor de aanlegmethode en het toekomstig beheer.

* Opgaande beplantingen met bomen en een gesloten struikenrand kunnen op een breedte vanaf 8 meter per oever worden gerealiseerd.
  a. De brede variant van deze beplantingsvorm (meer dan 15 meter per oever) wordt beschouwd als meest ideale vorm omdat behalve aan doelstellingen met betrekking tot het waterbeheer ook aan wensen van natuur, recreatie en landschap kan worden voldaan.
  b. De smalle variant (tussen 8 en 15 meter per oever) die qua beplantingsopbouw gelijk is kent een beperking in de boomsoortenkeuze hetgeen voornamelijk van invloed is op de mogelijkheden voor recreatie, natuur en landschap.

* Opgaande beplantingen met afwisselend bomen en struiken in de rand, die op een breedte van gemiddeld 8 tot 15 meter per oever kunnen worden gerealiseerd, voldoen ruimschoots aan de doelstellingen voor de waterbeheersing; deze beplantingsvorm stelt echter hoge eisen aan het beheer wat betreft beplantingsdeskundigheid en (financiële) inspanningen.

* Opgaande beplantingen met uitsluitend bomen, die op oeverbreedtes van 5 tot 8 meter tot stand zullen komen, hebben nog juist het gewenste effect voor het beheer; men moet zich hierbij wel realiseren dat deze gevoelig zijn voor verstoringen en beïnvloeding van buitenaf.

* Hakhoutbeplantingen al of niet in combinatie met struiken bieden een alternatief voor de realisering van beplantingen op relatief smalle oeverstroken (5-8 m per oever). Deze beplanting vergt echter een blijvend intensief beheer.

* De tijdelijke toevoeging van snelgroeiende bomen, zoals populieren, aan oeverbeplantingen moet wegens te verwachten problemen in het beheer worden afgeraden.

* De aanleg van oeverbeplantingen met uitsluitend struikvormende soorten wordt om beplantingstechnische redenen en met het oog op de duurzame vastlegging van de oevers ontraden.

6.6. Aanbevelingen voor onderzoek.

Uit de voorgaande hoofdstukken is gebleken dat nader onderzoek gewenst is om een duidelijker inzicht te krijgen in het functioneren van beplante waterlopen. Dit onderzoek betreft de volgende aspecten:

- de toepassing en de toetsing in de praktijk van hydraulische berekeningsmethodieken;
- de keuze van lengte- en dwarsprofiel;
- het gebruik van tijdelijke oeververdedigingsmaterialen;
- de ontwikkeling van het effect van de beschaduwing in de loop van de tijd;
- de mate waarin en de snelheid waarmee de oevers worden vastgelegd door de beworteling;
- de geschiktheid van houtsoorten en beplantingsvormen;
- de methode van onderhoud in de verschillende ontwikkelingsstadia van de beplanting;
- de kosten van beheer en onderhoud en de verandering daarvan in de loop van de tijd;
- het probleem van de bladophoping ;
- de waterkwaliteit en de vestigingsmogelijkheden voor flora en fauna.

Voor het onderzoek is de locatiekeuze erg belangrijk. Veel van de hierboven genoemde zaken kunnen worden onderzocht in de reeds geïnventariseerde waterlopen. Daarnaast is het voor enkele aspecten gewenst om ook een aantal objecten in vlakkere gebieden te kiezen.

Het is van belang de proeven zo in te richten dat verschillende inrichtingsalternatieven met elkaar vergeleken kunnen worden. De ontwikkelingen ten aanzien van de te onderzoeken aspecten dienen nauwkeurig te worden gevolgd en geregistreerd.
In de hierna volgende bijlage I wordt de opzet voor een proefbeplanting voor de Stortelersbeek gegeven, waarin bovengenoemde onderzoeksaspecten zijn verwerkt. In de bijlage worden concrete inrichtingsvoorstellen voor trajecten langs deze beek uitgewerkt die tevens model kunnen staan voor gelijksoortige beplantingsproeven elders.

BIJLAGE I: PROEFOPZET STORTELERSBEEK

1. Inleiding.

Om tot een integratie te komen van de in dit rapport en de daarbij behorende deelrapporten behandelde materie wordt in het navolgende een zo concreet mogelijke proefopzet beschreven.

De uitgangspunten hierbij zijn:
- Vanuit de inventarisatie (samengevat in hoofdstuk 2): gebruik te maken van de geïnventariseerde gegevens in een door de werkgroep naar voren gebracht proeftraject.
- Vanuit het hoofdstuk waterbeheersing (hoofdstuk 3): het in de praktijk toetsen van natuurtechnische oeververdedigingstechnieken en de toepassing van hydraulische rekenmethoden voor de in het natte profiel aanwezige beplanting bij hoge waterafvoeren.
- Vanuit het hoofdstuk ecologie (hoofdstuk 4): toetsen van de te verwachten veranderingen in de waterkwaliteit, profielvorm, en veranderingen in de vestigingsmogelijkheden van flora en fauna.
- Vanuit het deeladvies beplantingen (samengevat in hoofdstuk 5): aanleg en beheer volgens de vier beplantingsvormen in het deeladvies, waarbij zowel beplantings- als bezaailingsproeven worden voorgesteld.
- Vanuit de conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 6): met name een aantal aanbevelingen voor nader onderzoek te concretiseren.

2. Keuze Stortelersbeek in relatie tot de doelstellingen van de proef. *)

De keuze van het gedeelte van de Stortelersbeek binnen de grenzen van de ruilverkaveling Winterswijk-West is gebaseerd op:
- De landschappelijke ligging van de beek op de overgang van bos, en beschaduwd water, naar een open weidegebied. Doel is door middel van metingen vast te stellen in welke mate de beplanting invloed heeft op de waterkwaliteit. Van belang zijn bepalingen van de watersamenstelling, -temperatuur en zuurstofgehalte voor, tijdens de aanloopjaren, en in de min of meer stabiele fase, mede in relatie tot omgevingsfactoren als grondgebruik en bemesting.
- De aanwezigheid van een zodanig verhang dat de oevervastleggende kwaliteiten van beplantingen met en zonder gebruikmaking van tijdelijke oevervoorzieningen beproefd kunnen worden. Het is hierbij allereerst van belang dat de ontwikkeling van de oevervastleggende kwaliteiten per soort nauwlettend wordt gevolgd. Doel is het nader in kaart brengen van de in het deeladvies "Oeverbeplantingen en waterbeheersing" naar voren gebrachte bewortelingskarakteristieken. Hiervoor is de bewortelingssnelheid, het bewortelingskarakter voor wat betreft diepte, breedte en spreiding in de bodem en de onderlinge relaties tussen wortelstelsels van uiteenlopende soorten belangrijk.
  Doel is eveneens het beproeven van natuurlijke, langzaam verterende materialen zoals wiepen; het vaststellen van de effecten op de stabiliteit van het dwarsprofiel in de aanloopjaren; de ontwikkeling van de profielvorm tijdens het wegrotten van de wiepen; de gelijktijdige totstandkoming van de beworteling in de oevers.

*) Zie voor inventarisatiegegevens: deelrapport inventarisatie oeverbeplantingen hoofdstuk 3.3.6.

- Het vóórkomen van wisselende waterstanden, onder meer door de geologische ondergrond (keileem en tertiaire klei) in de bovenloop van de beek. Dit gaat bij piekafvoeren gepaard met hoge stroomsnelheden en een hoge waterstand. Doel is onderzoek naar de toepassing van (zo laag mogelijke) planthoogten in het talud in relatie tot wisselende waterhoogten en de duur van hoge waterstanden, alsmede het beproeven van bezaaiingsmethoden om via natuurlijke selectie tot een zelfde resultaat te komen. Hiertoe worden vooraf hydraulische berekeningen volgens verschillende methoden (Manning, Obendorf, Felkel) gemaakt met als doel de keuze voor de in de praktijk best toepasbare berekeningswijze. In samenhang hiermee wordt voorgesteld metingen naar de werkelijke waterhoogten te verrichten, voor, tijdens de aanloopjaren en na de instelling van een min of meer stabiele situatie.
- Tevens is onderzoek naar de kostenontwikkeling van de beheersmaatregelen van belang.

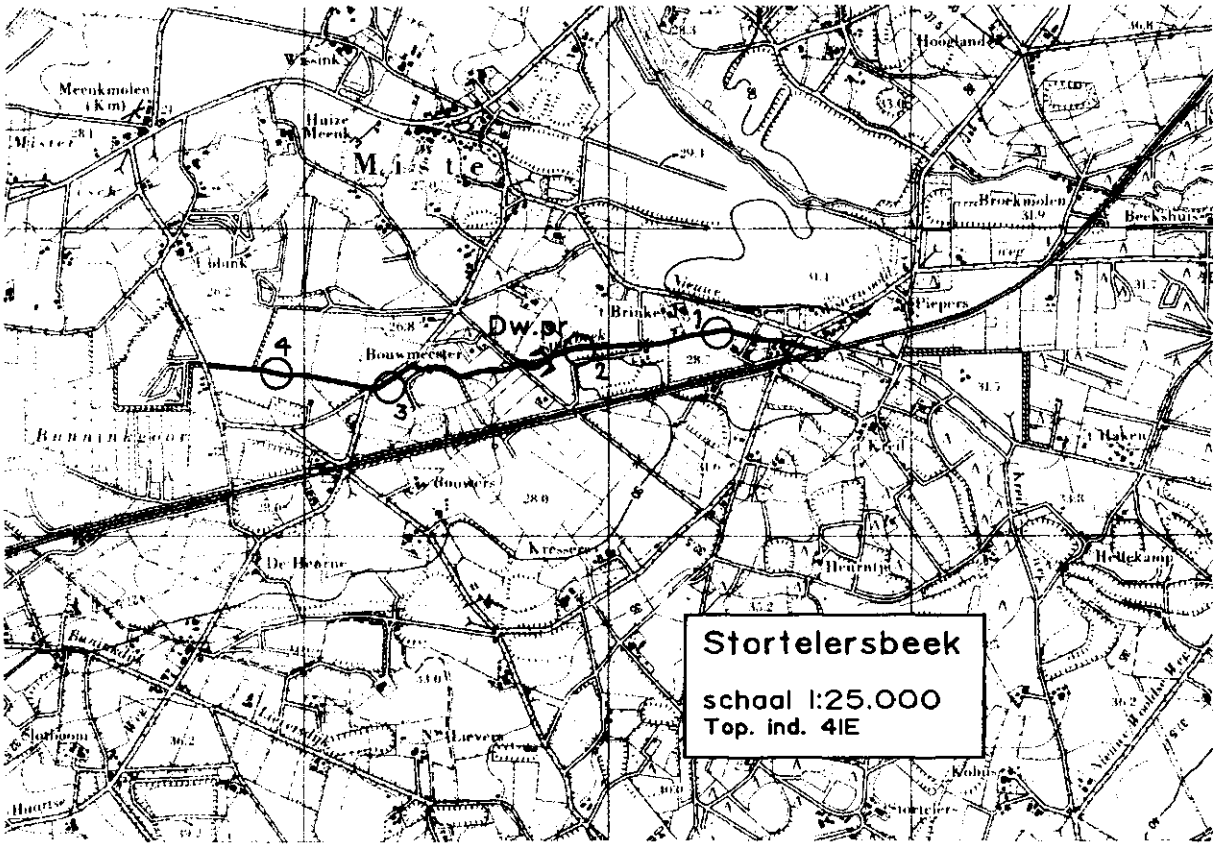


Fig. 1. Ligging van de proeftrajecten.

3. Proeftrajecten.

Er zijn voor de proeven met de aanleg van nieuwe beplantingen langs de Stortelersbeek vier trajecten gekozen. In elk traject wordt één beplantingsvorm toegepast (a), en per traject worden twee varianten voorgesteld voor een bepaald aanleg- of beheersaspect (b).

Traject 1:
a. Toepassing van hakhoutbeplanting met op enkele plekken groepsgewijze inmenging van struiksoorten in de rand.
b. Toepassing van wiepen in de ene helft van het traject tegenover het achterwege laten van deze tijdelijke oevervoorziening in de andere helft.

Traject 2:
a. Toepassing van opgaande beplanting met uitsluitend bomen.
b. Toepassing van verschillende profielvormen, met in het ene gedeelte een zo steil mogelijk talud (1:1,5) met kade, tegenover een flauw hellend geknikt talud (1:5) in het tweede gedeelte.

Traject 3:
a. Toepassing van de opgaande beplantingsvorm met bomen en een doorlopende struikenrand.
b. Toepassing van het inzaaien van boomvormende soorten, waaronder de oevervastleggende els en es.

Traject 4:
a. Toepassing van een opgaande beplanting met afwisselend struiken en bomen in de rand.
b. Toepassing van het groepsgewijs afzetten van de zwarte els in de oever, tegenover het geheel laten doorgroeien van de boomvormende elzen in het tweede gedeelte.

Alle proefopzetten zullen per traject zoveel mogelijk aan de hand van tekeningen worden toegelicht.

- een profielwijziging ten opzichte van de bestaande situatie indien hierin verandering optreedt;
- één of meer tekeningen waarin de maatvoering en aanlegmethode zijn aangegeven;
- een overzicht van het plantvak en het toe te passen sortiment;
- een aantal tekeningen die de ontwikkelingsstadia van de opgroeiende beplanting weergeven.

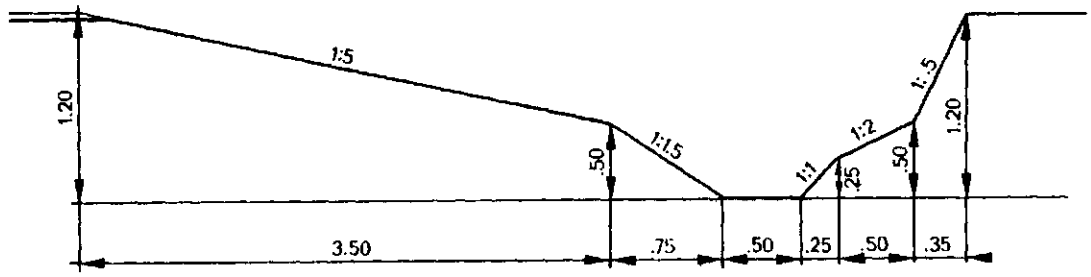
4. Hydraulische berekeningen.

4.1. Algemeen.

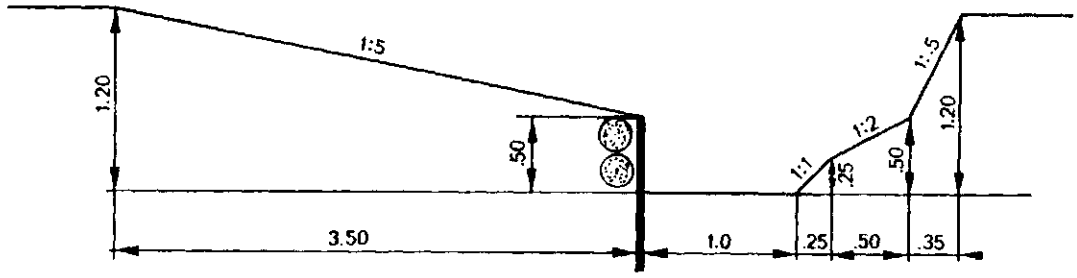
In het hiernavolgende worden de in hoofdstuk 3 van het onderhavige rapport beschreven berekeningsmethoden toegepast op traject 1 van de Stortelersbeek.

Hiermee worden verschillende doelen beoogd:
- het bepalen van de profielafmetingen;
- het bepalen van de evenwichtsdiepte bij halve maatgevende afvoer, zodat de minimale planthoogte in het talud bekend wordt;
- onderzoeken wat het effect is van de verschillende berekeningsmethoden op de berekende evenwichtsdiepten bij halve maatgevende afvoer, maatgevende afvoer en dubbele maatgevende afvoer;
- uitspraken doen over de geschiktheid van de toegepaste methoden.

De hydraulische berekeningen in deze bijlage beperken zich tot traject 1 van de Stortelersbeek.
Achtereenvolgens komen de methode van Manning/Strickler, Obendorf en Felkel aan de orde.
Voor het beschouwde traject zijn een tweetal dwarsprofielen doorgerekend. Deze dwarsprofielen zijn weergegeven in de onderstaande figuren.



Figuur 2: dwarsprofiel A.



Figuur 3: dwarsprofiel B.

In deze situatie is gekozen voor het eenzijdig aanpassen van het dwarsprofiel aan de zuidzijde. De noordzijde is in de bestaande toestand gehandhaafd. Deze zijde is in de berekeningen benaderd met een geknikt talud, waarbij voor de taludhelling achtereenvolgens waarden van 1:1, 1:2 en 1:0,5 zijn aangehouden.

In profiel A is geen oeververdediging aangebracht in de vergraven oever. Bij profiel B is dit wel het geval. Als tijdelijke oeverbescherming worden hier wiepen voorgesteld. De bodembreedte moet in zowel profiel A als in profiel B zodanig gekozen worden dat de evenwichtsdiepte bij halve maatgevende afvoer zich ongeveer op de knikhoogte in het talud bevindt. De beplanting kan dan direct op de hoogte van de knik in het talud worden aangebracht. Door het toepassen van geknikte taluds wordt tevens de basisafvoer geconcentreerd afgevoerd.
Voor het berekenen van de evenwichtsdiepten bij halve maatgevende afvoer, maatgevende afvoer en dubbele maatgevende afvoer met behulp van de methode van Manning/Strickler is gebruik gemaakt van het computerprogramma DIWA. Voor de methode van Obendorf en de methode van Felkel is toepassing van dit computerprogramma echter niet mogelijk, aangezien de invloed van de beplanting op de waterhoogten in rekening moet worden gebracht.
Met behulp van de methode van Manning/Strickler zijn de profielafmetingen van de in figuur 2 en 3 weergegeven dwarsprofielen bepaald.
Vervolgens is nagegaan wat de invloed van de beplanting is op de waterhoogten bij maatgevende afvoer en dubbele maatgevende afvoer volgens de methode van Obendorf en de methode van Felkel. Aangezien de beplanting niet lager dan de evenwichtsdiepte bij halve maatgevende afvoer zal worden aangebracht, is het niet nodig de profielen door te rekenen bij halve maatgevende afvoer met behulp van deze twee methoden.
Bij de methode van Obendorf is voor de weerstandsfactor van de beplanting een kB-waarde van 18 aangehouden.
Bij de methode van Felkel zijn een tweetal plantbreedten in de berekening toegepast om na te gaan wat de invloed hiervan is op de berekende evenwichtsdiepten.

4.2. Resultaten van de berekeningen.

In het hiernavolgende komen achtereenvolgens de resultaten van de methoden van Manning/Strickler, Obendorf en Felkel aan de orde.
Voor de formules van de verschillende methoden wordt verwezen naar hoofdstuk 3 van het onderhavige rapport.

Tabel 1: rekenresultaten van de methode van Manning/Strickler bij 50%, 100% en 200% van de maatgevende afvoer voor de profielen A en B.

	H	D	s	kM	V	Q	mga
Dwarsprofiel A	.52	.68	.00122	27	39	.248	50
	.68	.52	.00122	30	47	.496	100
	.87	.33	.00122	32	58	.992	200
Dwarsprofiel B	.49	.71	.00122	27	39	.248	50
	.68	.52	.00122	30	47	.496	100
	.88	.32	.00122	32	58	.992	200

H : waterdiepte (m)

D : drooglegging (m)

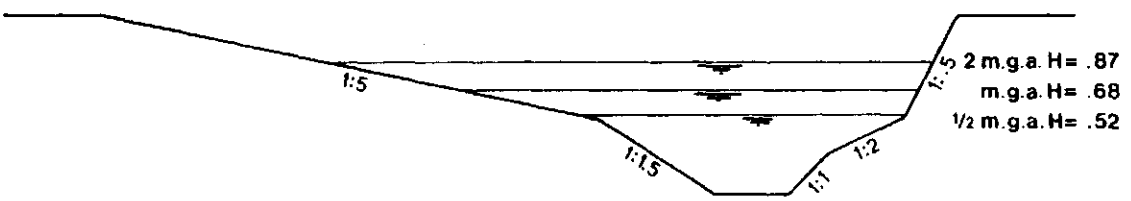
s : verhang (-)

kM : constante van Manning ($m^{1/3}$/sec.)

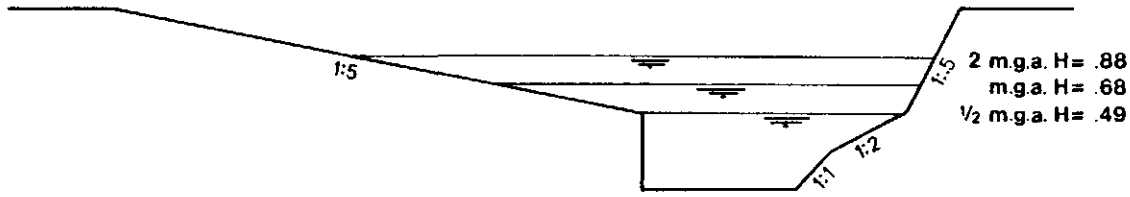
v : stroomsnelheid (cm/sec.)

Q : debiet (m^3/sec.)

mga : maatgevende afvoer (%)



Figuur 4: de evenwichtsdiepten berekend met de methode van Manning/Strickler bij 50%, 100% en 200% van de maatgevende afvoer voor dwarsprofiel A.



Figuur 5: de evenwichtsdiepten berekend met de methode van Manning/Strickler bij 50%, 100% en 200% van de maatgevend afvoer voor dwarsprofiel B.

Tabel 2: rekenresultaten van de methode van Obendorf bij 100% en 200% van de maatgevende afvoer voor de dwarsprofielen A en B.

H	A	2Lb	Lo	Ltot	R	kM	kB	kGem	V	Q	mga
Dwarsprofiel A:											
.71	1.01	.42	2.31	2.73	.37	30.2	18	27.0	.49	.494	100
1.07	1.73	1.14	2.31	3.45	.50	34.6	18	25.8	.57	.989	200
Dwarsprofiel B:											
.71	1.02	.42	2.41	2.83	.36	30.2	18	27.1	.48	.492	100
1.15	1.79	1.30	2.41	3.71	.48	35.4	18	25.7	.55	.993	200

H : waterdiepte (m)

A : natte oppervlakte (m^2)

Lb : gedeelte van het natte omtrek dat wordt begrensd door beplanting (m)

Lo : gedeelte van het natte omtrek dat niet is bezet door beplanting (m)

Ltot : totale natte omtrek (m)

R : hydraulische straal (m)

kM : constante van Manning ($m^{1/3}$/sec.)

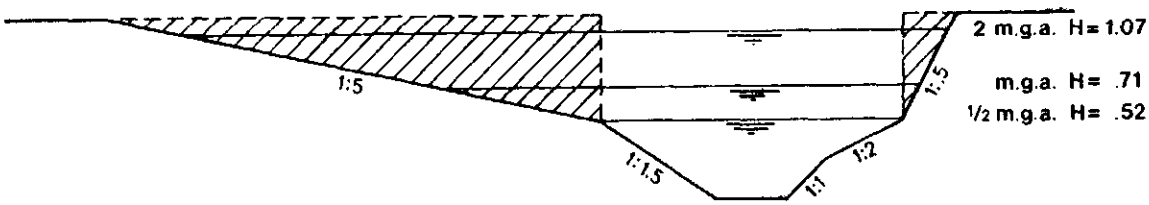
kB : weerstandsfactor van de beplanting ($m^{1/3}$/sec.)

Kgem : gemiddelde weerstandsfactor ($m^{1/3}$/sec.)

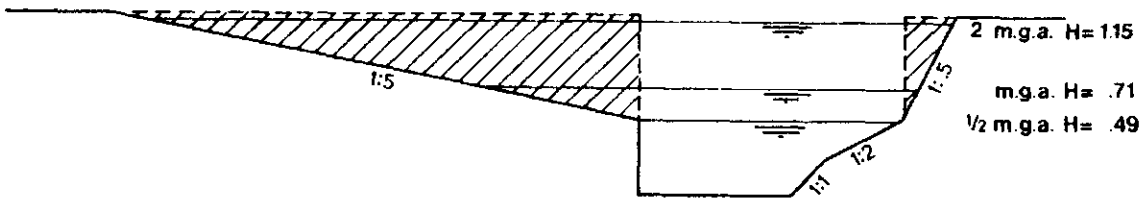
v : stroomsnelheid (m/sec.)

Q : debiet (m^3/sec.)

mga : maatgevende afvoer (%)



Figuur 6: de evenwichtsdiepten berekend met de methode van Obendorf bij 50%, 100% en 200% van de maatgevende afvoer voor dwarsprofiel A.

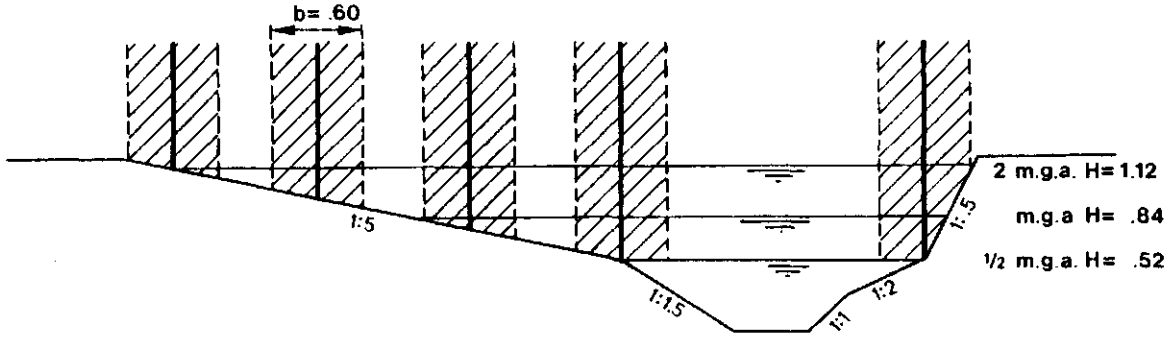


Figuur 7: de evenwichtsdiepten berekend met de methode van Obendorf bij 50%, 100% en 200% van de maatgevende afvoer voor dwarsprofiel B.

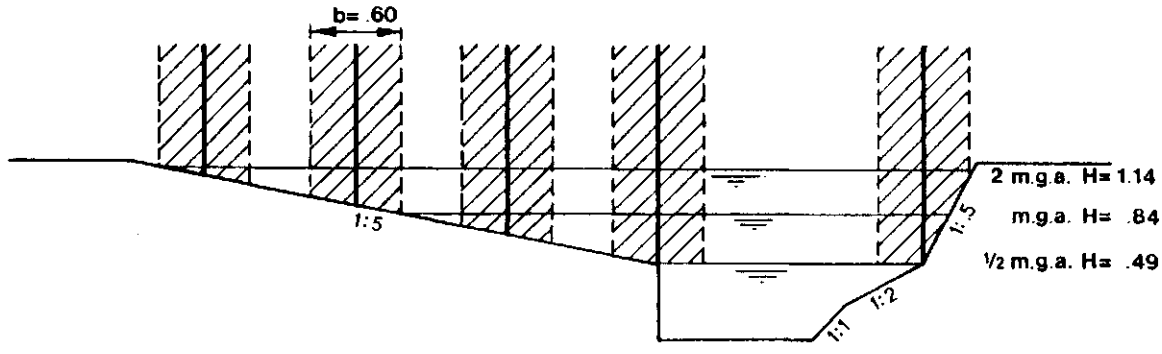
Tabel 3: Rekenresultaten van de methode Felkel bij 100% en 200% van de maatgevende afvoer voor de verschillende beplantingsbreedten voor dwarsprofielen A en B.

H	A	Ltot	Lo	Lo/Ltot	R	kM	V	Q	mga
Dwarsprofiel A, beplantingsbreedte b = .60 m									
.84	1.59	4.42	2.43	.55	.36	31.9	.31	.493	100
1.12	2.89	6.17	2.84	.46	.47	35.1	.34	.984	200
Dwarsprofiel A, beplantingsbreedte b = .80 m									
.99	2.23	5.36	1.84	.34	.42	33.7	.23	.504	100
.128	3.83	7.16	2.20	.31	.54	36.7	.26	.993	200
Dwarsprofiel B, beplantingsbreedte b = .60 m									
.84	1.57	4.52	2.58	.57	.35	31.9	.31	.492	100
1.14	2.90	6.39	3.00	.47	.45	35.3	.34	.992	200
Dwarsprofiel B, beplantingsbreedte b = .80 m									
.98	2.13	5.39	1.96	.36	.40	33.6	.23	.489	100
1.28	3.69	7.26	2.37	.33	.51	36.7	.27	.987	200

H : waterdiepte (m)
A : natte oppervlakte (m)
Ltot : totale natte omtrek (m)
Lo : gedeelte van de natte omtrek dat niet is bezet door beplanting (m)
R : hydraulische straal (m)
kM : constante van Manning ($m^{1/3}$/sec.)
v : stroomsnelheid (cm/sec.)
Q : debiet (m^3/sec.)
mga : maatgevende afvoer (%)



Figuur 8: De evenwichtsdiepten berekend met de methode van Felkel bij 50%, 100% en 200% van de maatgevende afvoer voor dwarsprofiel A bij een beplantingsbreedte b = .60 m.



Figuur 9: De evenwichtsdiepten berekend met de methode van Felkel bij 50%, 100% en 200% van de maatgevende afvoer voor dwarsprofiel B bij een beplantingsbreedte b = .60 m.

Methode van:	Manning/ Strickler		Obendorf		Felkel b=.60		Felkel b=.80	
Dwarsprofiel:	A	B	A	B	A	B	A	B
Evenwichtsdiepte H (M)								
bij 50% m.g.a.	.52	.49	-	-	-	-	-	-
bij 100% m.g.a.	.68	.68	.71	.71	.84	.84	.99	.98
bij 200% m.g.a.	.87	.87	1.07	1.15	1.12	1.14	1.28	1.28

Tabel 4: de berekende evenwichtsdiepten voor de verschillende methoden bij 50%, 100% en 200% van de maatgevende afvoer.

Bij vergelijking van de berekende evenwichtsdiepten in profiel A met die in profiel B blijkt dat deze elkaar slechts zeer weinig ontlopen voor de verschillende methoden. Dit wordt veroorzaakt doordat er in hydraulisch opzicht slechts weinig verschil is tussen de beide dwarsprofielen. Dit is van belang voor een objectieve vergelijking van de toe te passen tijdelijke oevervoorziening van wiepen in het ene gedeelte met het andere gedeelte. Tussen de uitkomsten van de verschillende rekenmethoden onderling bestaat wel degelijk verschil. De methode van Manning/Strickler geeft zoals verwacht de laagste berekende evenwichtsdiepten bij zowel maatgevende als dubbele maatgevende afvoer, omdat geen rekening wordt gehouden met de aanwezigheid van beplanting in het natte profiel (zie tabel 4).

Uit vergelijking van de uitkomsten van de methoden van Obendorf en die van Felkel blijkt dat met de eerste methode significant lagere evenwichtsdiepten worden berekend. De hogere uitkomsten van de methode van Felkel kunnen verklaard worden uit het feit dat de beplanting alleen op de hogere delen van het talud is aangebracht, terwijl de correctiefactor Lo/Ltot voor het gehele natte profiel geldt. Bij een debiet van .992 M3 per sec. en een beplantingsbreedte b van .80 M bedekt de beplanting ca. 70% van de natte omtrek, terwijl "slechts" ca. 50% van het doorstroomprofiel in beslag genomen wordt.
De methode van Felkel leidt voor de onderhavige profielen dus tot een overschatting van de berekende evenwichtsdiepten. Dit effect is vooral merkbaar op flauwe ondiepe taluds. Voor de beschouwde dwarsprofielen heeft de methode van Obendorf dan ook de voorkeur boven de methode van Felkel.
De toepassing van de methode van Obendorf geeft geen aanleiding tot het vergroten van de afmetingen van het dwarsprofiel. Bij halve maatgevende afvoer en maatgevende afvoer is er weinig verschil met de uitkomsten van de methode van Manning/Strickler, terwijl de dubbele maatgevende afvoer ook nog binnen de boorden van de waterloop kan worden afgevoerd. Het enkel en alleen toepassen van de methode van Felkel zou wel aanleiding kunnen geven tot het vergroten van de profielafmetingen.
Vergroting van het dwarsprofiel wordt zeker niet noodzakelijk geacht, omdat door deze methode de invloed van de beplanting voor de hier doorgerekende dwarsprofielen duidelijk wordt overschat.
Uit bovengenoemde beschouwing blijkt eens te meer dat de diverse methoden niet algemeen geldig kunnen worden verklaard en dat per geval een afweging moet worden gemaakt over de toe te passen methode.

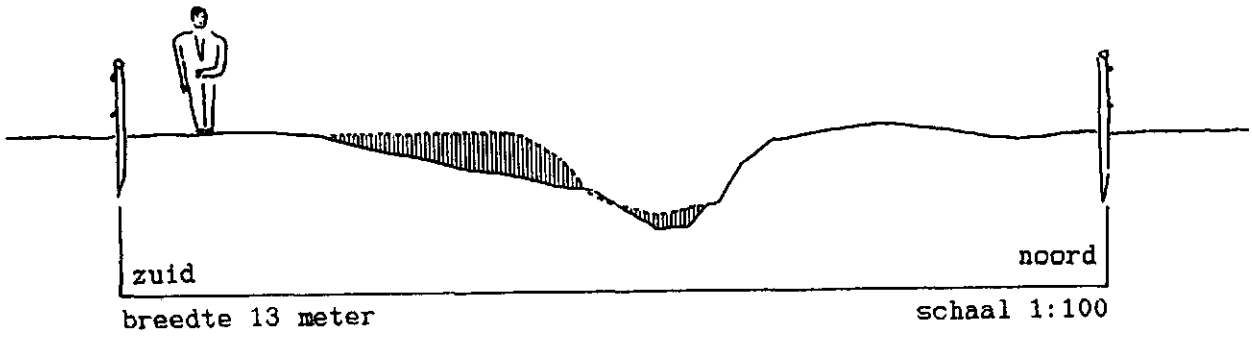
4.3. Opmerkingen.

Op grond van de hydraulische berekeningen kunnen samenvattend enkele opmerkingen worden gemaakt:
- de waterdiepten en de drooglegging bij halve maatgevende afvoer behoeven alleen met de methode van Manning/Strickler bepaald te worden, omdat de beplanting niet lager dan de waterdiepte bij halve maatgevende afvoer zal worden aangebracht;
- het verdient aanbeveling om met de verschillende methoden te rekenen omdat beplanting in het talud zal worden aangebracht.
  Hierdoor wordt een beter inzicht verkregen in de effecten van de beplanting op de waterhoogten bij maatgevende en dubbele maatgevende afvoer;
- bij flauwe ondiepe taluds verdient de methode van Obendorf de voorkeur boven de methode van Felkel, alhoewel de fout in de methode van Obendorf ook steeds groter wordt bij het vlakker worden van de taluds;
- de met behulp van de methode van Manning/Strickler bepaalde profielafmetingen behoeven voor de hier doorgerekende dwarsprofielen niet gewijzigd te worden op grond van de uitkomsten van de methoden van Obendorf en Felkel.

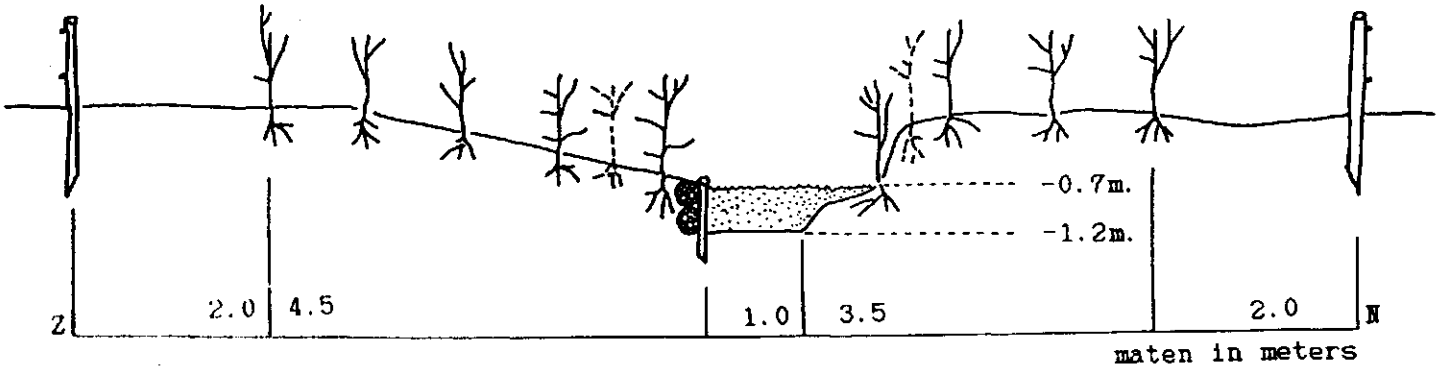
5. Beplantingen.

Traject 1: Hakhoutbeplanting.

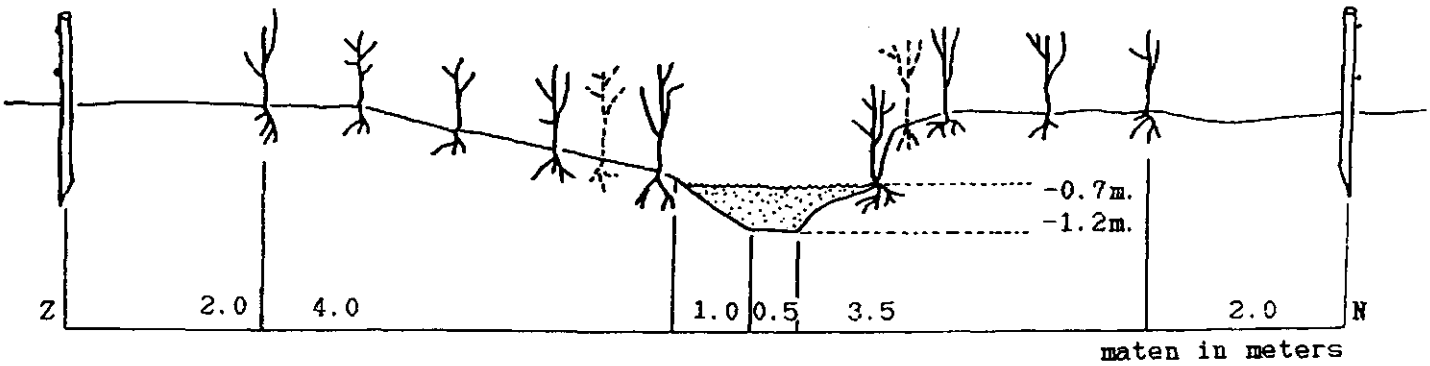
In de proefopzet van het eerste traject gaat het om toepassing van de beplantingsvorm hakhout, waarbij de vraag gesteld kan worden wat de effectiviteit van de beschaduwing is. Bij uitzondering wordt voorgesteld de hoofdsoorten van het toekomstige hakhout individueel gemengd aan te leggen.
Behalve de beheersvorm van de beplanting komen in dit traject de geschiktheid van een tijdelijke oevervoorziening met wiepen aan de orde, en het verschil tussen aanleg van beplanting in een bestaande oever tegenover een vergraven talud.
De hierbij behorende vraagstelling is tweeërlei:
- Hoe ontwikkelen de wortels van de oevervastleggende soorten zich op de tegenoverliggende oevers (ongewijzigd en vergraven)?
- Welke invloed heeft de aanleg van wiepen op de oeverstabilisering in de aanloopjaren en op de ontwikkeling van de beplanting, met name de beworteling?
  De verwachting is dat in het gedeelte zonder de tijdelijke oevervastlegging eerder sprake zal zijn van erosie en afkalving van de teen van het talud. Hierdoor is ook de kans op het wegspoelen van de eerste rij(en) beplanting groter.



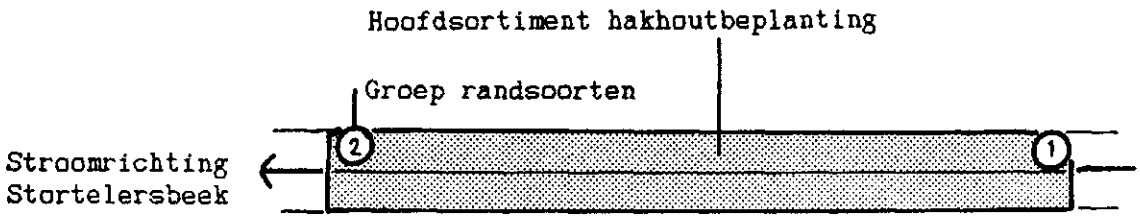
Figuur 10. Eénzijdige aanpassing van het dwarsprofiel aan de zuidzijde (zie arcering).



Figuur 11. Profielinrichtingsschets met analeg van oeververdediging.



Figuur 12. Profielinrichtingsschets met aanleg van een geknikt talud zonder oeververdediging.



Figuur 13. Overzicht plantvak: traject 1.

Inrichtingsvoorstel hakhoutbeplantingen traject 1.

Afmetingen vak: lengte 200 meter
breedte 13 meter

Hoofdsortiment: Zwarte els
Es

Menging: Individuele menging, behalve langs de waterkant waar alleen els wordt geplant. Deze menging is alleen mogelijk vanwege een vergelijkbare groeikracht tussen de toe te passen soorten.

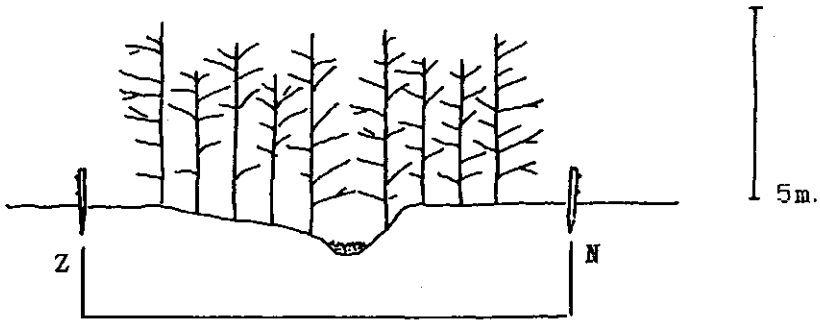
Plantverband: Driehoeksverband (1x1 meter) op het maaiveld. Rijgewijs in de taluds: afstand in de rij 2.0 m., tussen de rijen 0.50 m.

Strooksgewijs inmengen van struiksoorten

Groep 1: Hazelaar (noordzijde)
groepsgrootte: minimaal 30 exemplaren, 3 rijen.

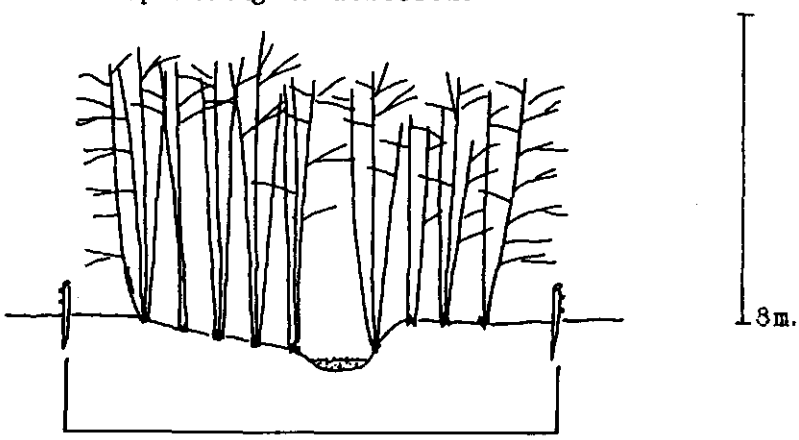
Groep 2: Vuilboom (noordzijde)
groepsgrootte: minimaal 30 exemplaren, 3 rijen.

Beheer: Eerste maal afzetten: na 6 jaar
Lengte hakhoutcyclus: 10 jaar
Struiken niet afzetten.



Hakhoutbeplanting vóór de eerste maal afzetten.

Hakhoutbeplanting na afzetten.



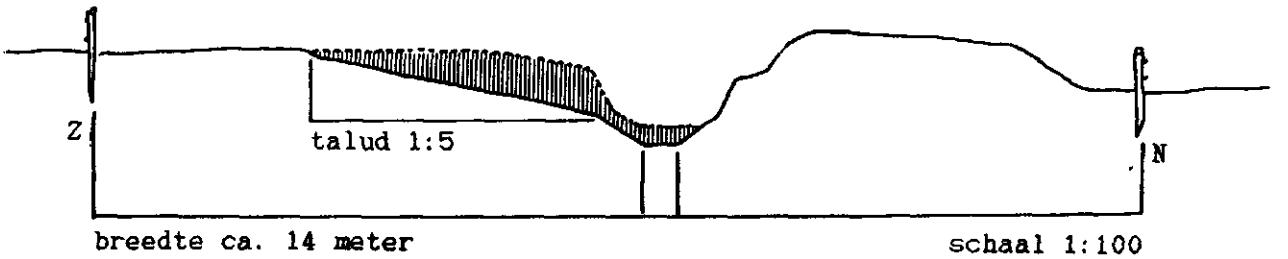
Hakhoutbeplanting vóór de tweede maal afzetten.

Figuur 14. Ontwikkeling hakhoutbeplanting.

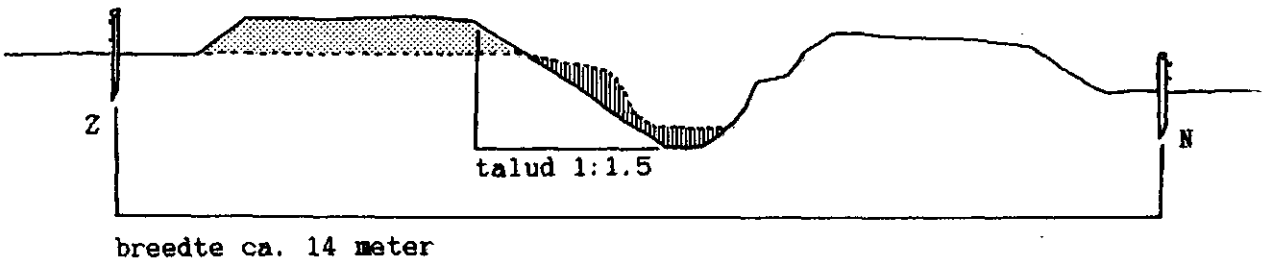
Traject 2: Smalle opgaande beplanting met uitsluitend bomen.

De proefopzet van het tweede traject sluit aan bij de beplantingsvorm waarin naast de oevervastleggende soort (zwarte els) een andere opgaande boomsoort wordt toegepast (in dit geval eik).
In verband met de verschillen in (jeugd) groeisnelheid tussen deze twee soorten en de verhouding tussen de strookbreedtes per aan te leggen soort (2 rijen els, 4 rijen eik) wordt voorgesteld de elzen groepsgewijs af te zetten.
Deze methode wordt eveneens gekozen om de eik als oevervastleggende soort te testen op die plekken waar de elzen worden afgezet en na verloop van tijd eventueel verdwijnen.
Daarnaast gaat het om registratie van de ontwikkeling van de jonge aanplant in relatie tot de bestaande eikebeplanting op de noordelijke oever.
De variatie in de twee profielvormen heeft tot doel:

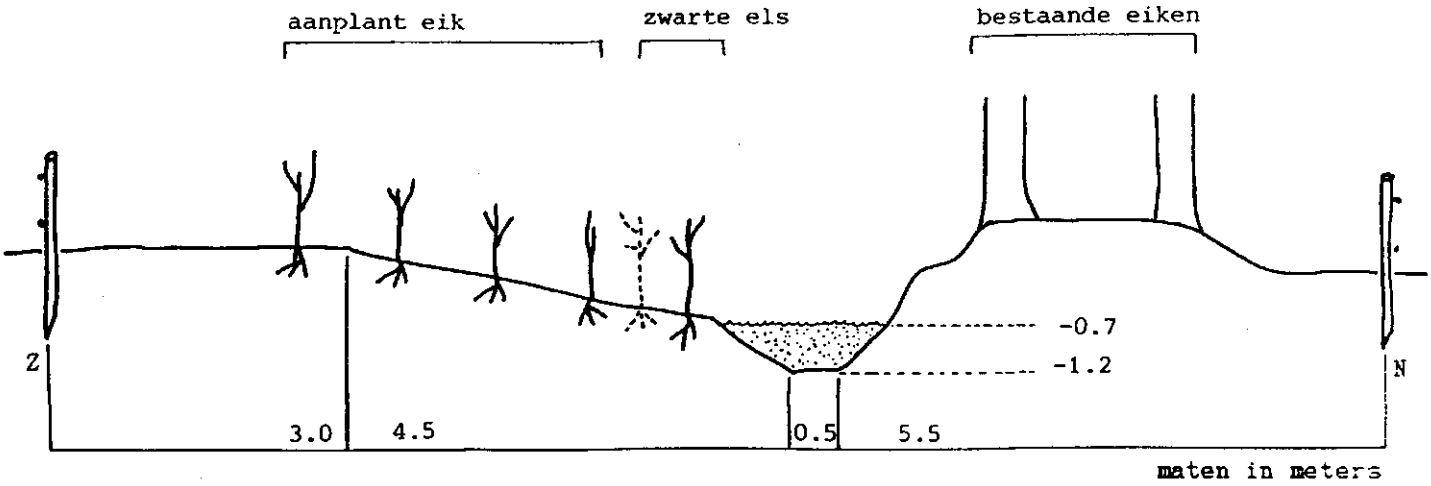
a. het effect op de aangeplante soorten te onderzoeken voor wat betreft de ontwikkeling in relatie tot de hoogte boven de (grond)waterstand;
b. het effect op de spontane (vooral kruidige) ondergroei te onderzoeken;
c. het effect op de waterbeheersing en de stabiliteit van de zuidelijke oever te onderzoeken in samenhang met de wortelontwikkeling bij uiteenlopende aanvangsprofielen.



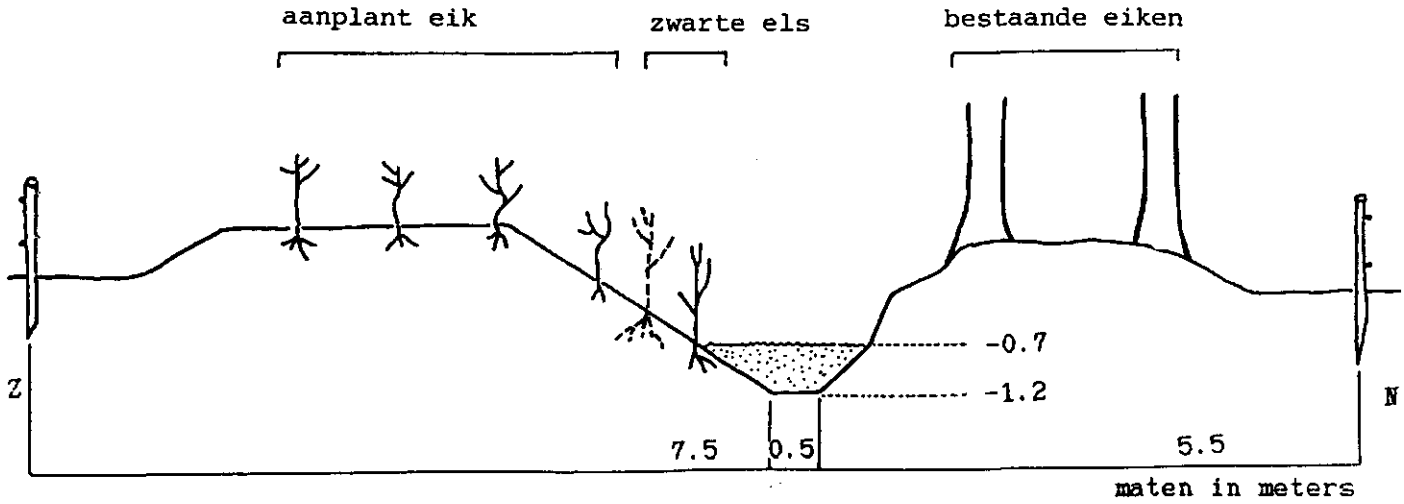
Figuur 15. Eénzijdige aanpassing van het dwarsprofiel aan de zuidzijde ten opzichte van de bestaande situatie (gearceerd); talud 1:1.5/1:5.



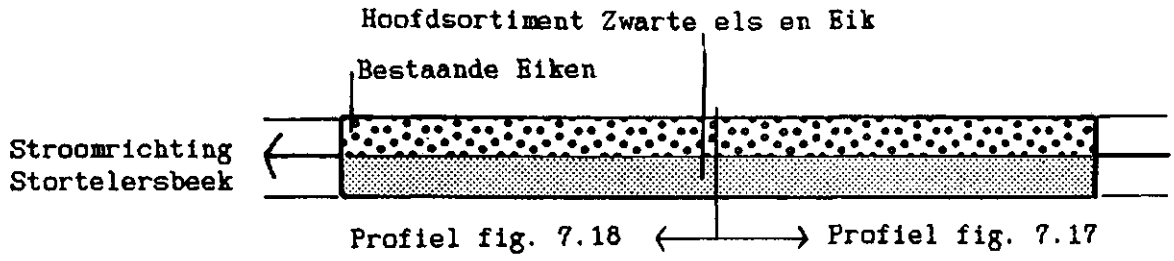
Figuur 16. Eénzijdige aanpassing van het dwarsprofiel aan de zuidzijde ten opzichte van de bestaande situatie (gearceerd); talud 1:1.5.



Figuur 17. Profielinrichtingsschets met geknikt talud.



Figuur 18. Profielinrichtingsschets met steil talud en kade.

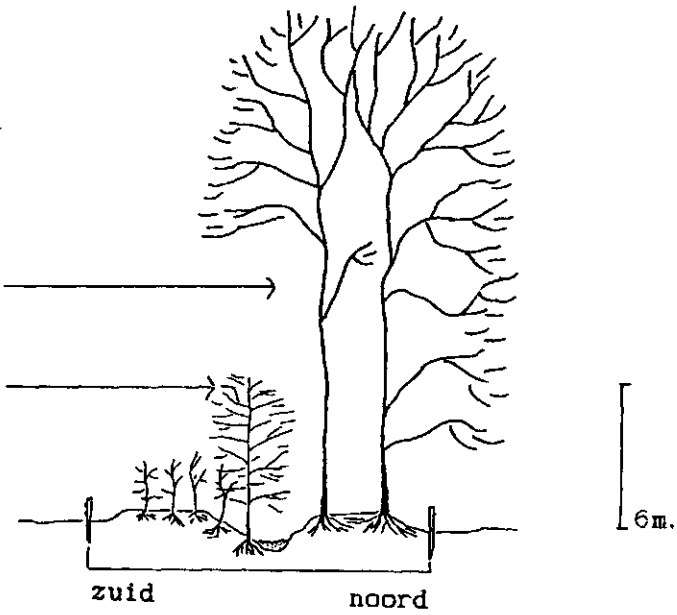


Figuur 19. Overzicht plantvak: traject 2.

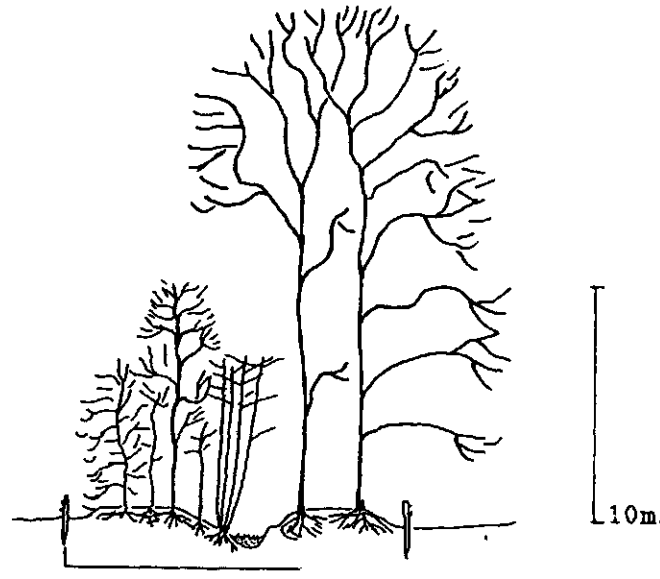
Inrichtingsvoorstel traject 2.

Afmetingen vak:	lengte ca. 360 meter breedte ca. 14 meter
Hoofdsortiment:	Zwarte els Eik
Menging:	Eén strook Zwarte els aan de waterkant (2 rijen). Eén strook eik aan de buitenzijde (4 rijen breed).
Plantverband:	Eik: Driehoeksverband (1x1 meter). Els: Rijgewijs, afstand in de rij 2.0 m., tussen de rijen 0.5 m.
Beheer:	Elzen groepsgewijs afzetten; per 30 meter in de lengte wordt 20 meter regelmatig afgezet, de resterende 10 meter wordt nooit afgezet. Eiken dunnen indien nodig.

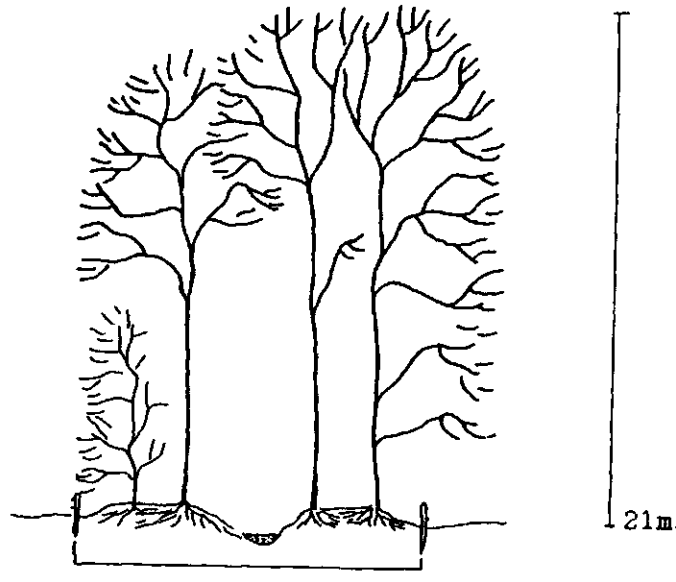
- Bestaande beplanting zonodig opsnoeien aan de zuidzijde met het oog op de ontwikkeling van de jonge aanplant.
- De jeugdgroei van de Zwarte els in de oever is sneller dan van de Eiken in de rand.
- Groepsgewijs afzetten van de elzen na ca. 6 jaar noodzakelijk.



- Deze elzen worden als groep over een lengte van 20 meter meer keren afgezet om de eiken hogerop in het talud groeimogelijkheden te bieden.
- Figuur 24 geeft een beeld van de situatie waarin de elzen in de oever niet worden afgezet.



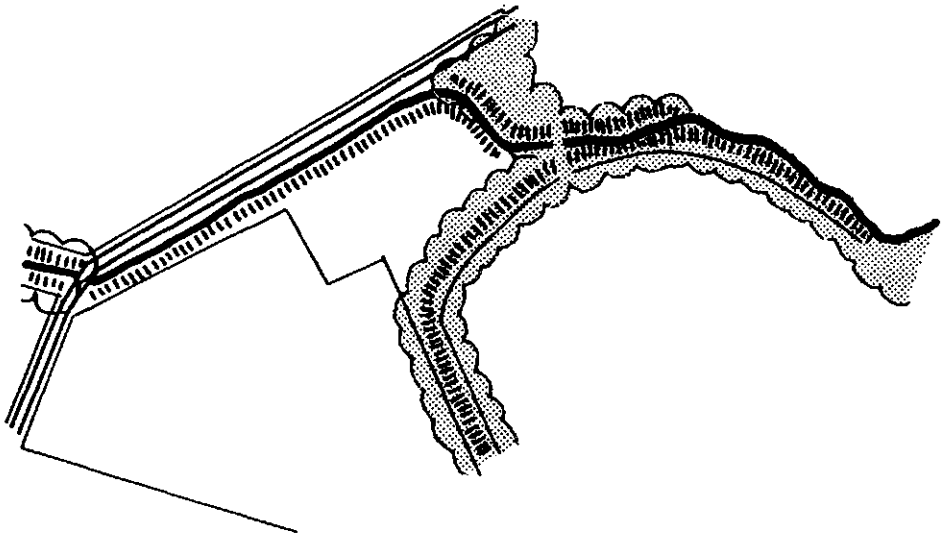
- Te verwachten situatie 60 tot 80 jaar na aanleg: De beplanting bestaat hoofdzakelijk uit bomen met incidenteel een achtergebleven eik of spontaan opgeslagen struik.



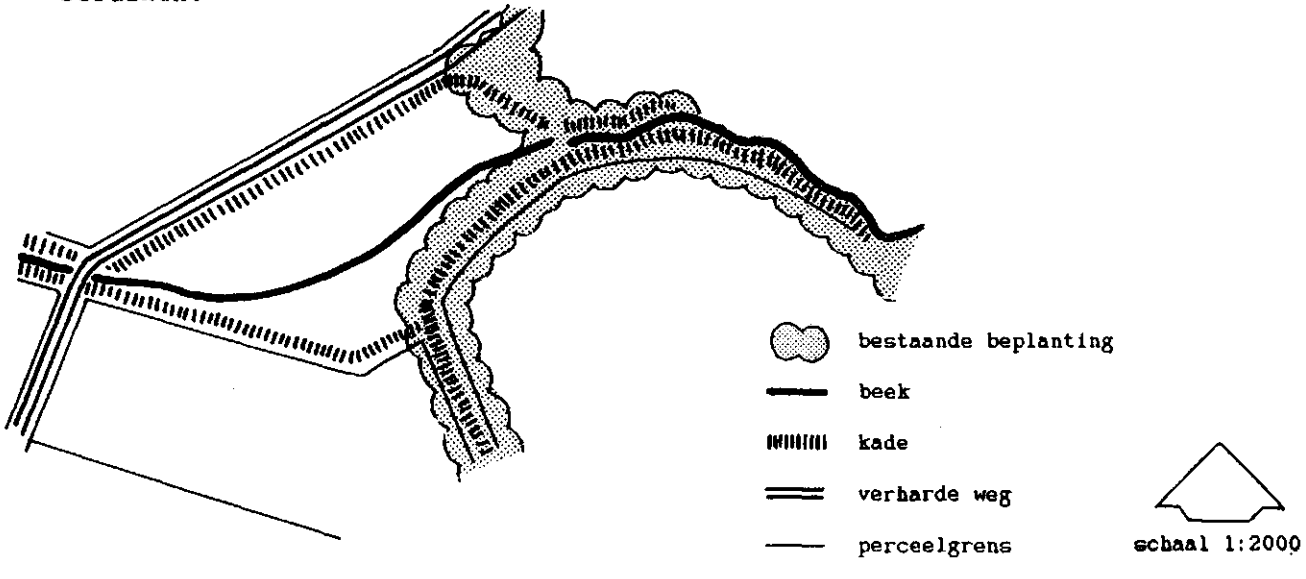
Figuur 20. Ontwikkeling tot een opgaande beplantingsvorm met uitsluitend bomen.

Traject 3: Opgaande beplanting met een gesloten struikenrand.

De proefopzet van het derde traject neemt ten opzichte van de andere een uitzonderingspositie in. In deze situatie is sprake van een tracé-wijziging van de beekloop (zie fig. 21). De waterloop, die nu langs de weg loopt, wordt verplaatst naar een aangrenzend, te omkaden terrein. Door de voorgestelde verbreding op deze wijze zijn op het terrein overstromingen en enige geulverleggingen mogelijk. Hierdoor is deze locatie uitermate geschikt voor aanleg en toetsing van de (brede) opgaande beplantingsvorm met een gesloten struikenrand en voor de realisering van een bezaaiingsproef.
De struikenrand rondom wordt groepsgewijs ingeplant.



Kades om het terrein, voor zover onbeplant, inplanten met groepen struiken.



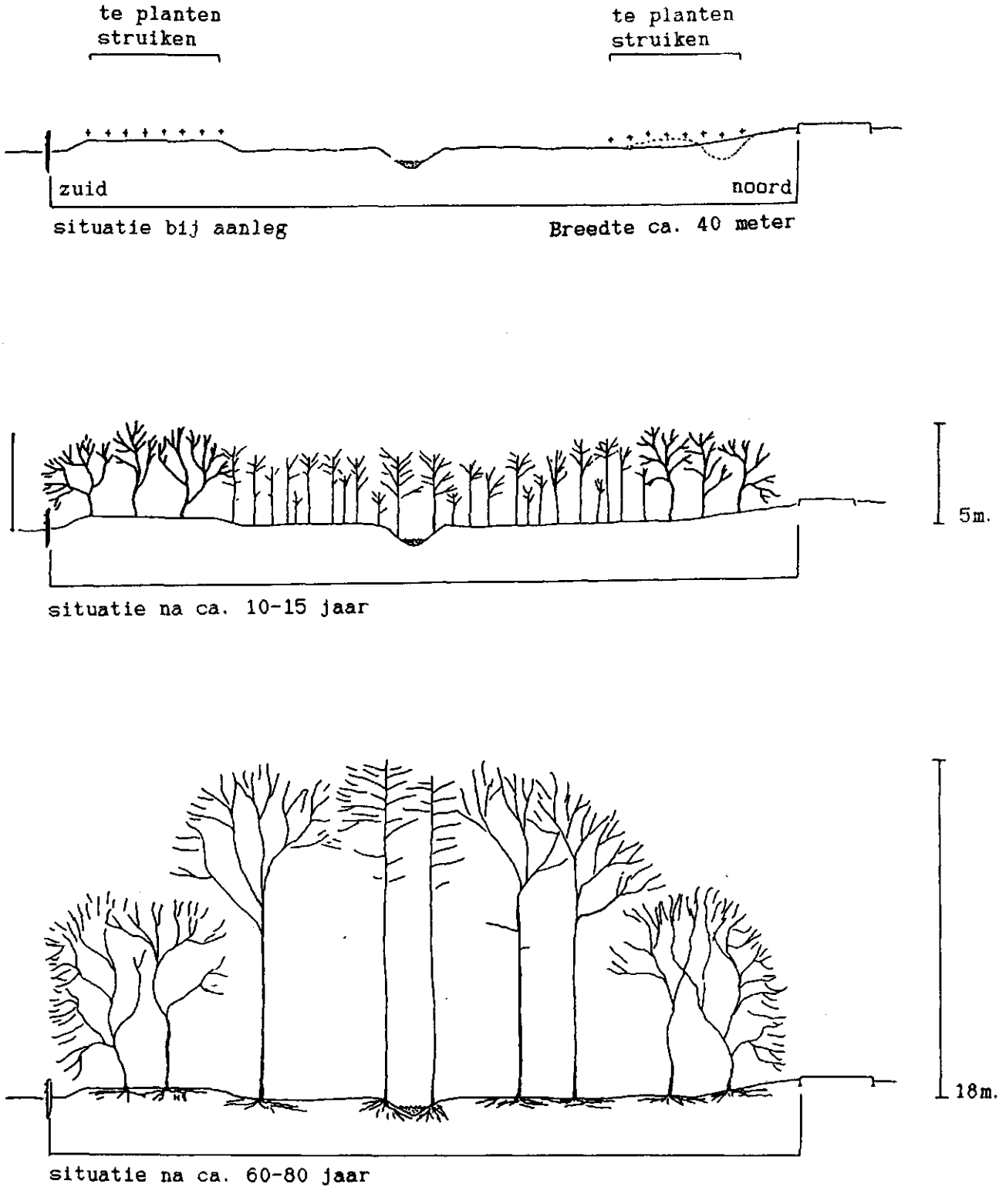
Op het middengedeelte vindt spontane vestiging van soorten plaats ten gevolge van natuurlijke bezaaiing en selectie onder invloed van het water.

Figuur 21. Bestaande situatie en inrichtingsvoorstel voor traject 3.

Doordat voldoende zaadbronnen in de omgeving aanwezig zijn, kunnen, hetzij via het stromende water, hetzij via andere verspreidingsmechanismen, in het middengedeelte op natuurlijke wijze boomvormende soorten tot ontwikkeling komen. Het doel van de proef is registratie van de ontwikkeling van de vegetatie in het geval van natuurlijke bezaaiing, met vooral aandacht voor de inundatiegevoeligheid van soorten. Hieruit kan waardevolle informatie worden verkregen die tot een verbetering van soortenkeuze en aanplantmethoden in de toekomst kan leiden. Een voorwaarde is dat dan ook de werkelijke waterstanden vanaf de aanleg een tijdlang worden geregistreerd.

Inrichtingsvoorstel traject 3.

Afmetingen vak:	lengte ca. 160 meter breedte ca. 50 meter (variabel)
Menging:	Een strook van 8 rijen struikvormers in de buitenrand met een minimale groepsgrootte van 80 stuks bij aanleg.
Plantverband:	Driehoeksverband (1x1 meter)
Samenstelling sortiment:	Nader te bepalen (keuze uit Hazelaar, Vuilboom, Vogelkers, Haagbeuk, Kornoelje, Sleedoorn, Gelderse roos e.a.).

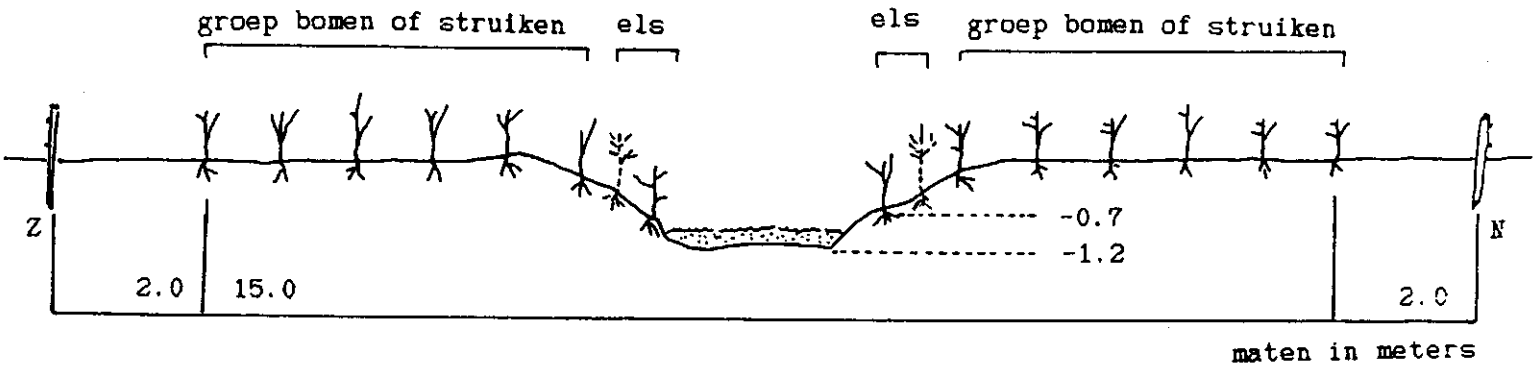


Figuur 22. Ontwikkeling van een opgaande beplanting met bomen en een gesloten struikenrand.

Traject 4:

Opgaande beplanting met afwisselend bomen en struiken in de rand.

In het vierde proeftraject staat de realisering van de opgaande beplantingsvorm met afwisselend bomen en struiken in de rand voorop.
Daarnaast wordt voorgesteld het traject in twee delen te splitsen. In het ene gedeelte wordt de concurrentie tussen de geplante elzen in de oeverzône en de geplante, langzaam groeiende bomen of struiken hogerop niet beïnvloed door het groepsgewijs afzetten van de elzen, in het andere deel gebeurt dit juist wel.
De vraag die aan deze opzet ten grondslag ligt, is of bij een strooksgewijze aanleg van twee rijen snelgroeiende elzen in de oever tegenover een strook van 6 rijen langzaam groeiende bomen of struiken in de rand zonder beheersingsingrepen voor de snelle groeiers zich de uiteindelijk gewenste beplantingsvorm ontwikkelt, en bij welke soortencombinaties dit het geval is.
Ter vergelijking wordt in het tweede gedeelte de beheersmethode volgens het groepsgewijze afzetten van de elzen in de oevers gehanteerd, zoals in het deeladvies "Oeverbeplanting en waterbeheersing" wordt voorgesteld.



Figuur 23. Profielinrichtingsschets van traject 4; geen profielaanpassingen.

Inrichtingsvoorstel traject 4.

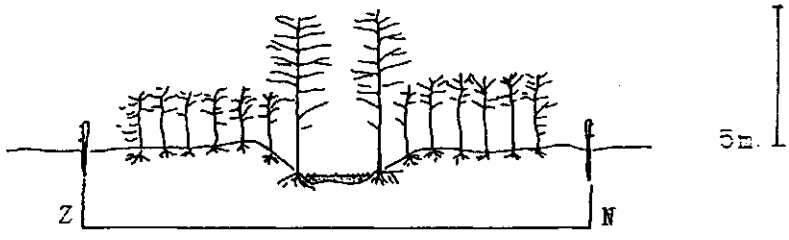
Afmetingen vak: lengte 320 meter
breedte 19 meter

Hoofdsortiment: Zwarte els
Es, Eik

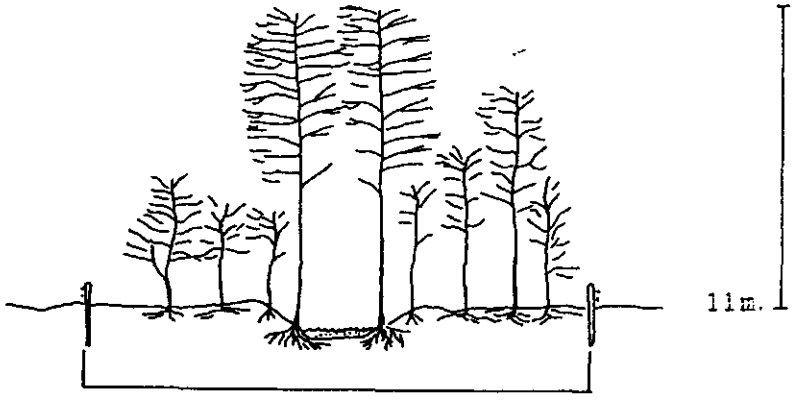
Menging: Strooksgewijs Zwarte els laag in beide oevers planten.
Stroken met Es (of Eik) aan de buitenzijde (6 rijen breed)

Plantverband:	Driehoeksverband (1x1 meter) in de rand. Rijgewijs in de taluds: afstand in de rij 2.0 m., tussen de rijen 0.50 m.
Groepsgrootte bomen:	minimaal 25 meter in de lengte
Groepsgewijs inmengen van struiken in de rand:	Groepsgrootte minimaal 10 meter in de lengte
Samenstelling:	Nader te bepalen

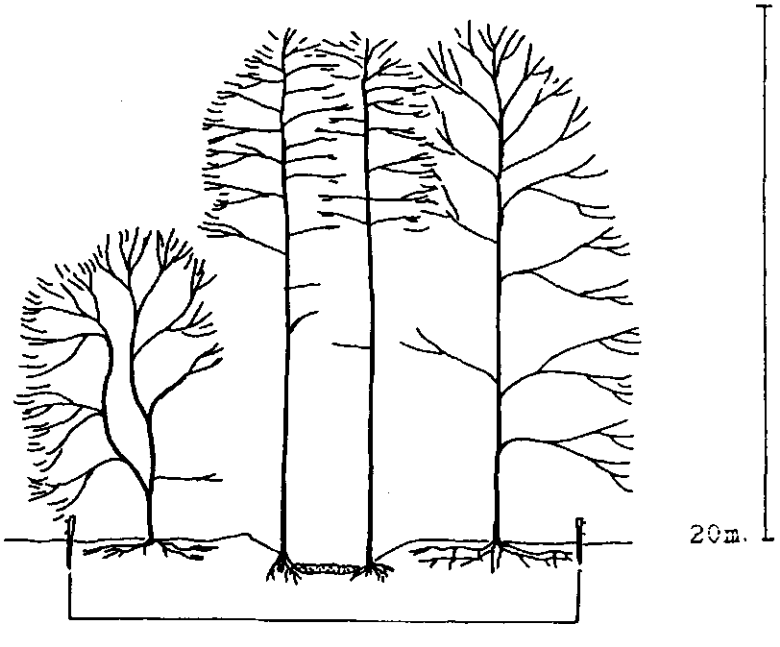
. De elzen in het talud groeien sneller.



. De beplanting in de rand wordt gedeeltelijk verdrongen door de elzen in de taluds.



. De langzaam groeiende soorten in de rand op enige afstand van de waterloop kunnen wel uitgroeien.



Figuur 24. Ontwikkeling tot een beplanting met afwisselend bomen en struiken in de rand.

BIJLAGE II: SAMENSTELLING WERKGROEP.

P. Aukes	Consulentschap Natuur, Milieu en Faunabeheer, provincie Gelderland
F.D. Bonnema	Landinrichtingsdienst, inspectie Onderzoek, Utrecht
B. Ensing	Waterschap "Van de Berkel"
A. Dijk	Waterschap "Van de Oude IJssel"
H.A. Gosselink	Polderdistrict "Rijn en IJssel"
G.N. de Groot	Landinrichtingsdienst, afdeling Civieltechniek, provincie Gelderland
P.L. van Halst	Waterschap "IJsselland-Baakse Beek"
C. Harmsen	Staatsbosbeheer, sector Landschapsbouw, Utrecht
H.M.A. Kempen	Landinrichtingsdienst, inspectie Techniek en Uitvoering, afdeling Waterhuishouding, Utrecht
G.J. Koerselman	Landinrichtingsdienst, afdeling Onderzoek, provincie Gelderland
H.J. Pennekamp	Provincie Gelderland, Dienst Milieu en Water
L. Pols	Staatsbosbeheer, sector Landschapsbouw, Utrecht
N. Zuurdeeg	S.B.B. Consulentschap Bos- en Landschapsbouw, provincie Gelderland

BIJLAGE III: LITERATUURLIJST.

1. Barnhard, E., e.a.
   Fliessgewässer in Nordrhein-Westfalen: Richtlinie für natuurnahen Ausbau und Unterhaltung. Aufl. Düsseldorf: Landesamt für Wasser und Abfall NW, 45 p., 1984

2. Bertram, H.U.
   Über die hydraulische Berechnung von Gerinnen mit Uferbewuchs. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung. 25e jaargang, Heft 2/1984 März/April, p. 77-87, 1984

3. Bodemkaart van Nederland. Schaal 1:50.000. Blad 33 west-33 oost, Apeldoorn; Stichting voor Bodemkartering, Wageningen 1979

4. Bodemkaart van Nederland, Schaal 1:50.000. Blad 34 west-34 oost. Enschede; Stichting voor Bodemkartering, Wageningen 1979

5. Bodemkaart van Nederland, Schaal 1:50.000. Blad 40 west-40 oost, Arnhem; Stichting voor Bodemkartering, Wageningen 1975

6. Bodemkaart van Nederland. Schaal 1:50.000. Blad 41 west-41 oost, Aalten; Stichting voor Bodemkartering, Wageningen, 1983

7. Bonnema, F.D., C. Harmsen en J.W. Jansens,
   Natuurbouw in Münsterland, Deelrapport van de Werkgroep Beekbegeleidende Beplantingen, Utrecht, januari 1987

8. Bonnema, F.D., C. Harmsen en G.J. Koerselman,
   Inventarisatie oeverbeplantingen. Deelrapport van de Werkgroep Beekbegeleidende Beplantingen, Utrecht, 1987

9. Brand, St. h. van den
   Winterswijk, landschap en vegetatie. Deel 1. Ontstaan en opbouw van het landschap. Wet. Med. Kon. Ned. Natuurhistorische vereniging, nr. 147, 1981

10. Bretschneider, H. en A. Schutz
    Anwendung von Fliessformeln bei natuurnahem Gewässerausbau. DVWK-schriften 72. Verlag Paul Parey, Hamburg, 175 p., 1985

11. Cuppen, H.P.J.J. en G.M. Dirkse
    Biologisch onderzoek van de watergangen in het Woold, RIN-rapport, 1978

12. Dirkse, G. en F. Sollman
    Notities betreffende de mosflora van enkele beken ten oosten van Winterswijk. Intern verslag afd. Geobotanie RIN, 1976

13. Geraats, P.J.H.
    Alternatieve methodes voor gewoon onderhoud van open waterlopen. Waterschapsbelangen nr. 67, 1982; blz. 199-209

14. Grandjean, A.J. en G.N. de Groot
    Excursie houtwalbeken in Münsterland. Waterschapsbelangen, oktober 1984; blz. 537-541

15. Grotenhuis, J. e.a.
Broedvogels van Winterswijk uitgave KMNV bibliotheekserie nr. 40, 1985

16. Harmsen, C., L. Pols en N. Zuurdeeg
Oeverbeplanting en waterbeheer. Deelrapport van de Werkgroep Beekbegeleidende Beplantingen, Utrecht, 1987

17. Hermens, L.C.M.
Groene beken in Limburg; Leven groen II; Tijdschrift Heidemij., november 1975, blz. 473-481

18. Higler, L.W.G. en A.W.M. Moll
Ecological types of running water based on stream hydraulics in the Netherlands. Hydrobiological bulletin 18 (1): 51-57 (1984)

19. Iersel, P. van
"Zuurstofritmiek in de Boven Slinge bij Winterswijk". L.H. Wageningen, 1975

20. Notitie Ruimtelijke Perspectieven - op weg naar de 4e nota over de ruimtelijke ordening, Ministerie van VROM, ´s-Gravenhage, juni 1986

21. Redeke, H.C.
Hydrobiologie. uitg. v.h. De Boer Amsterdam, 1948

22. Rees Vellinga, E. van and De Ridder
Notes on the tertiary and Pleistocene geology of East Gelderland, The Netherlands, 1973

23. Staatsbosbeheer, sector Landschapsbouw
Beplantingen buiten bosverband. Utrecht, 1987

24. Tolkamp, H. en Gardeniers, J.P.
Hydrobiological survey of lowlandstreams in the Achterhoek (The Netherlands) bij means of a system for the assisment of waterquality and stream charakter based on macro invertetbrates
Vakgroep Natuurbeheer Landbouwhogeschool Wageningen, 1979

25. Unie van Waterschappen
Methoden en kosten van het onderhoud van waterlopen, februari 1986

26. Werkgroep Biologische Waterbeoordeling
Biologische waterbeoordeling. Uitgave van het Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek. TNO-Delft, 1978

27. Werkgroep Profilering
Cultuurtechnische Dienst. Rapport inzake de eventuele aanleg van steilere leidingtaluds en van houtwalbeken in het bekengebied rond Winterswijk, Utrecht

28. Westeringh, W. van de
Ontstaan, ontwikkeling en ligging van de Winterswijkse beken. K.N.A.G. Geografisch Tijdschrift XVIII (1984) nr. 4, blz. 294-308