De morfodynamiek van de rivierduinen langs de Waal en de Lek.

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS
0000 0726 8697

Het project "Ecologisch Herstel Rijn en Maas' is een samenwerkingsverband van:
namens het Ministerie van Verkeer en Waterstaat:
- Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA);
namens het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer:
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM);
namens het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij:
- DLO-Rijksinstituut voor Visserijonderzoek (RIVO-DLO)
- DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN-DLO)
- DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)

Doel van het project is een bijdrage te leveren aan het ecologisch herstel van de Rijn en de Maas. Daartoe wordt onder andere de reeks Publicaties en rapporten van het project 'Ecologisch Herstel van de Rijn en de Maas' uitgegeven.

Opdrachtgever: RIZA Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling; onderzoek uitgevoerd door de Universiteit Utrecht

9)

DE MORFODYNAMIEK VAN DE RIVIERDUINEN LANGS DE WAAL EN DE LEK

BIBLIOTHEEK DE HAAFF
Droevendaalsesteeg 3a
Postbus 241
6700 AE Wageningen

R.F.B. Isarin

Instituut voor Aardwetenschappen, Vrije Universiteit Amsterdam
De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam

H.J.A. Berendsen

Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht
Heidelberglaan 2, 3508 TC Utrecht

M.M. Schoor

Rijkswaterstaat/RIZA
Gildemeesterplein 1, 6826 LL Arnhem

Publicaties en rapporten van het project 'Ecologisch Herstel Rijn en Maas' no. 49-1995

RIZA Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad, 1995

3

12 NOV 2001

920418

REFERAAT

R.F.B. Isarin, H.J.A. Berendsen & M.M. Schoor (1995), De morfodynamiek van de rivierduinen langs de Waal en de Lek. RIZA Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling. Publicaties en rapporten van het project: 'Ecologisch Herstel Rijn en Maas' no. 49-1995. 48 blz; 26 fig; 25 ref.

Verkennend onderzoek naar de actuele vorming van rivierduinen is in 1992 uitgevoerd op drie plaatsen langs de Waal en de Lek. Verstuiving van recent afgezet rivierzand vindt vooral plaats onder invloed van de overheersende westenwinden. Gunstige lokaties voor de vorming van rivierduinen liggen in de binnenbochten van de rivieren, waar als gevolg van de helicoïdale stroming, relatief veel zand wordt afgezet. Ten ZW van het strand dat als brongebied fungeert moet een langgerekt, vlak gebied voorkomen, zonder obstakels. Indien dit brongebied een ZW-NO oriëntatie heeft en regelmatig droog valt kunnen relatief grote rivierduinen, zoals het Millingerduin ontstaan. De preservatiekans is groter naarmate de duinen op hoger gelegen oevers van de rivieren worden gevormd. De geformuleerde voorwaarden voor de vorming van rivierduinen kunnen als richtlijn dienen bij natuurontwikkelingsprojecten. De invloed van de vorming van rivierduinen op de waterstanden van de rivier is te verwaarlozen.

Trefwoorden: rivierengebied, uiterwaarden, morfodynamiek, rivierduinen, Nederland

ISSN 1381-4656

©1995 RIZA Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Postbus 17, 8200 AA Lelystad
Tel: 03200-70411; telefax: 03200-49218

INHOUDSOPGAVE

LIJST VAN FIGUREN 6

SAMENVATTING 7

SUMMARY 7

VOORWOORD 9

1 INLEIDING 11

2 WERKWIJZE 13

3 DUINVORMEN 15

4 WAARNEMINGEN EN RESULTATEN 19

4.1 Onderzoekslokatie Boven Leeuwen 19
4.1.1 Beschrijving 19
4.1.2 Rivierkaart en luchtfoto-onderzoek 21
4.1.3 Eolische processen 23
4.1.4 Conclusies uit de waarnemingen bij Boven Leeuwen 28
4.2 Onderzoekslokatie Millingerduin 29
4.2.1 Beschrijving 29
4.2.2 Rivierkaart en luchtfoto-onderzoek 31
4.2.3 Eolische processen 32
4.2.4 Conclusies uit de waarnemingen bij het Millingerduin 39
4.3 Onderzoekslokatie De Bol/ Binnenlek 40
4.3.1 Beschrijving 40
4.3.2 Rivierkaarten en luchtfoto-onderzoek 41
4.3.3 Eolische processen 43
4.3.4 Conclusies uit de waarnemingen bij De Bol 44

5 HET EFFECT VAN RIVIERDUINEN OP EXTREME HOOGWATERSTANDEN 47

6 CONCLUSIES 49

7 TOEKOMSTIG ONDERZOEK 51

GERAADPLEEGDE LITERATUUR EN KAARTEN 53

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1	Overzichtskaartje van het rivierengebied	13
Figuur 2	Pantometer	14
Figuur 3	Enkele eenvoudige duinvormen	16
Figuur 4	Ligging onderzoekslokatie Boven Leeuwen	19
Figuur 5	Onderzoekslokatie Boven Leeuwen	20
Figuur 6	Fragment rivierkaart (Blad nr. 114, okt. 1982)	22
Figuur 7	Pantometer profiel Boven Leeuwen	22
Figuur 8	Zicht op het zuidelijk strand in oostelijke richting	24
Figuur 9	Ontwikkeling van een 'embryo' duintje	25
Figuur 10	Complex van streepduintjes	26
Figuur 11	Windstromingen langs een plant	26
Figuur 12	Ligging onderzoekslokatie Millingerduin	29
Figuur 13	Onderzoekslokatie Millingerduin	30
Figuur 14	Fragment rivierkaart (Blad nr.106, maart 1991)	31
Figuur 15	Grindvloer en windribbels	33
Figuur 16	Hindernisduintjes op het strand	34
Figuur 17	Duinvorming op krib 872.775	35
Figuur 18	Complex van tongduintjes	36
Figuur 19	Pantometer profiel Millingerduin	36
Figuur 20	Millingerduin	37
Figuur 21	De flank van het duin met 2 hoogwaterlijnen	38
Figuur 22	Profielkuil in het Millingerduin	39
Figuur 23	Ligging onderzoekslokatie De Bol	41
Figuur 24	Fragment rivierkaart (Blad nr.220, mei 1982)	42
Figuur 25	Rivierduin bij De Bol (zij-aanzicht)	44
Figuur 26	Geschematiseerd dwarsprofiel van de Waal ter hoogte van het Millingerduin	47

SAMENVATTING

Dit rapport behandelt de resultaten van een verkennend onderzoek naar de morfodynamiek van actuele rivierduinen op drie plaatsen in de uiterwaarden van de Waal en de Lek.
Verstuiving van recent afgezet rivierzand vindt vooral plaats in de herfst, bij lage waterstanden, en onder invloed van de overheersende westenwinden. Gunstige lokaties voor de vorming van rivierduinen liggen in de binnenbochten van de rivieren, waar als gevolg van de helicoïdale stroming, relatief veel zand wordt afgezet. Ten ZW van het strand dat als brongebied fungeert moet een langgerekt, vlak gebied voorkomen, zonder obstakels. Indien dit brongebied een ZW-NO oriëntatie heeft en regelmatig droog valt kunnen relatief grote rivierduinen, zoals het Millingerduin ontstaan. Kleinere duintjes kunnen zich in korte tijd (weken tot maanden) vormen. De preservatiekans is groter naarmate de duinen op hoger gelegen oevers van de rivieren worden gevormd. De geformuleerde voorwaarden voor de vorming van rivierduinen kunnen als richtlijn dienen bij natuurontwikkelingsprojecten.
De invloed van de vorming van rivierduinen op de waterstanden van de rivier zijn te verwaarlozen.

SUMMARY

This report summarises the results of preliminary research into the formation and mofodynamics of recently formed river dunes at three locations in the embanked floodplains of the river Rhine (Waal and Lek branches) in the Netherlands.
Recently deposited river sand may be transported by the wind, and small river dunes are formed especially during the fall, when water levels in the river channel are low. Conditions favoring dune formation seem to be:

- the occurrence of recently deposited river sand on the inner banks of the river. Helical flow plays an important role in the deposition of sand on the inner banks. On the outer banks less sand is deposited and dunes cannot be formed.
- the presence of sandy beaches, that are exposed to the prevailing (south-)western winds. Flat sand areas, lacking obstacles seem to be favourable for dune formation.
- If the sandy beaches are SW-NE oriented, relatively high river dunes may be formed, such as the 5 m high 'Millingerduin', that has been present for some 25 years.
- Smaller dunes may be formed within weeks or months. However, their preservation potential is low, except when they are formed on top of the natural levees.

These condions may be used as a prerequisite in projects aimed at the ecological rehabilitation of the river banks.
The influence of the formation of the river dunes on high water levels in the river is negligible.

VOORWOORD

Dit rapport behandelt de resultaten van een onderzoek naar de morfodynamiek van rivierduinen in de uiterwaarden. Het onderzoek is verricht in opdracht van Rijkswaterstaat / RIZA door de Universiteit Utrecht. Ten behoeve van het onderzoek is R.F.B. Isarin aangesteld bij de Universiteit Utrecht in de maanden september, oktober en november 1992 (2 maanden full-time). Het onderzoek stond onder leiding van Dr. H.J.A. Berendsen (Universiteit Utrecht), Drs. M.M. Schoor (Rijkswaterstaat / RIZA) en Ir. E.H. van Velzen (Rijkswaterstaat / RIZA) .

De auteurs danken de volgende personen: Dr.J.H.van den Berg voor de adviezen bij de totstandkoming van hoofdstuk 4 van dit rapport; J.A.Klein Wassink voor de assistentie in het veld en bij het vervaardigen van de figuren; Drs. H.S.M.van der Beek en Drs. M.A.Verschoor voor de assistentie in het veld en de fotografie, Dhr.J.W.A.M. Verpaalen van de Meetkundige Dienst te Delft en Ronald Dargel van de Fototheek van de Topografische Dienst te Emmen voor hun medewerking.

1 INLEIDING

In het Nederlandse rivierengebied zijn enkele lokaties bekend waar grote rivierduincomplexen van Laat-glaciale ouderdom liggen. Deze rivierduinen zijn onder zeer koude en droge omstandigheden opgewaaid uit de toenmalige riviervlakten. Aangenomen wordt, dat de toenmalige rivieren een vlechtend karakter hadden en dat er weinig begroeiing was. De aanvoer van zand door de wind was derhalve groot en de duinen konden grote afmetingen aannemen. Uit de ligging van de rivierduincomplexen, zoals bijvoorbeeld bij Wijchen, Gennep en Arcen, blijkt dat in de periode van afzetting de windrichting voornamelijk westelijk was. Het is algemeen bekend dat de vorming van de rivierduinen met name in het Jonge Dryas stadiaal van het Weichselien heeft plaatsgevonden (Bennema & Pons 1952). Over deze rivierduinen is relatief veel literatuur verschenen (Vink 1926, Pons 1957, Verbraeck et al 1974, Berendsen 1986, Hoek & Schorn 1990).

Op een aantal lokaties langs de oevers van de Nederlandse rivieren treedt ook onder de huidige klimaatsomstandigheden duinvorming op. Het betreft hier kleinschalige verstuivingen waardoor duintjes met een hoogte van enkele meters, en met betrekkelijk geringe afmetingen worden gevormd. De aanwezigheid van dergelijke duinen wordt genoemd door de Provincie Utrecht (1988) en De Bruin et al.(1987). Over de wijze van vorming van deze duinen is echter geen literatuur voorhanden.

Een eerste voorwaarde voor de vorming van duinen is de aanwezigheid van een brongebied dat als leverancier van zand kan fungeren. In de meeste gevallen wordt deze rol vervuld door stranden die bij een gemiddelde tot lage waterstand droogvallen. Droogvallende stranden komen voor bij de rivier de Waal, Nederrijn, Lek en IJssel. Bij beschoeide rivieroevers worden geen rivierduinen aangetroffen.
Gebieden waar rivierduinen gevormd worden hebben vaak een grote landschappelijke waarde; het zijn ecologisch en morfologisch diverse landschappen. In het kader van het "Ecologisch Herstel van Rijn en Maas' is het van belang te weten op welke lokaties rivierduinvorming zich kan voordoen, en waar dit juist weinig kansrijk is.
De aanwezigheid van rivierduinen zal in principe een remmende werking uitoefenen op de afvoer van het rivierwater bij hoge waterstanden. Hierbij moet worden gedacht aan een toename van de stromingsweerstand (c.q. ruwheidsfactor) van strand en oever. Ten behoeve van de veiligheid en de doorstroming moet met dit aspect rekening worden gehouden

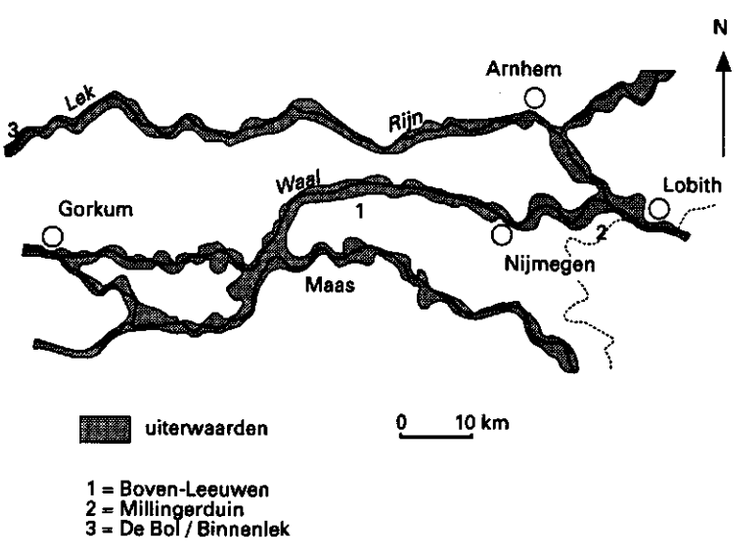
Doelstellingen van dit onderzoek zijn het vaststellen van de (1) *omstandigheden waaronder* en de (2) *snelheid waarmee rivierduinen thans gevormd worden.* Daarnaast is getracht globaal aan te geven wat de *invloed van de vorming van rivierduinen is op de waterstand* van de rivier.
Bij natuurontwikkelingsprojecten is het van belang de condities te kennen waarbij rivierduinvorming optimaal kan plaatsvinden.
De invloed van duinen op de afvoercapaciteit van de rivier speelt een grote rol bij de beslissing of duinvorming al dan niet ongehinderd mag plaatsvinden. Welke lokaties zijn geschikt en aan welke eisen moeten deze lokaties voldoen om tot een verantwoorde ontwikkeling en beheersing van de rivierduinvorming te komen?

2 WERKWIJZE

Op basis van bestudering van de Topografische Atlas van Nederland (1:25.000), aangevuld met informatie van de provincies Utrecht en Gelderland, zijn enkele lokaties langs de rivieren Waal, Nederrijn en Lek gekozen voor nader onderzoek naar het voorkomen en de vorming van rivierduinen. Het was gezien de beschikbare tijd niet mogelijk alle lokaties waar (mogelijk) duinvorming optreedt te onderzoeken.
Tijdens een eerste verkennend veldonderzoek is een aantal van deze lokaties bezocht. Dit heeft geresulteerd in een selectie van drie voor het onderzoek geschikt geachte lokaties. Dit zijn:

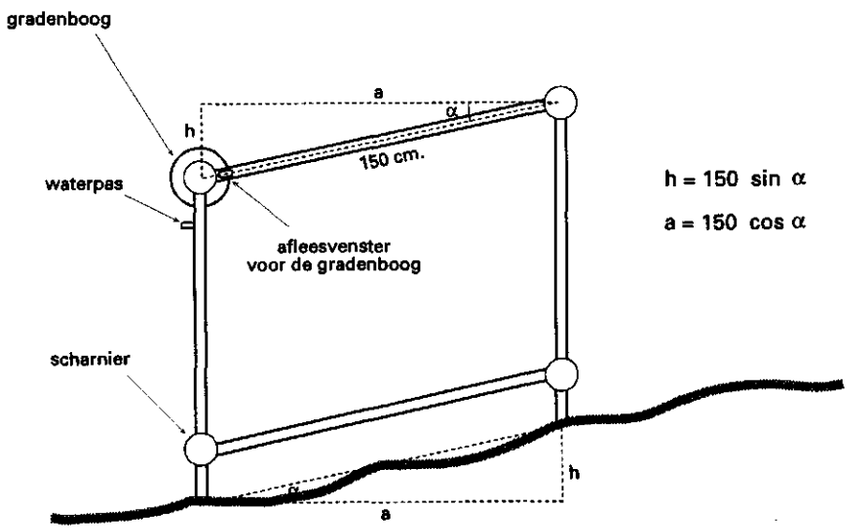
- een zandplaat bij Boven Leeuwen langs de Waal.
- het Millingerduin, gelegen langs de Waal bij Kekerdom in de Kekerdomsche en Millingerwaard.
- de duinen bij De Bol/ Binnenlek bij Ameide aan de rivier de Lek. Deze lokatie is gekozen mede op grond van een uiterwaarden-onderzoek van Provinciale Waterstaat van Utrecht (1988).

De ligging van de onderzoekslokaties is weergegeven in figuur 1.



Figuur 1 Overzichtskaartje van het rivierengebied

Tijdens het veldonderzoek zijn gegevens verzameld met betrekking tot de ligging van de lokatie ten opzichte van de rivier (binnenbocht, buitenbocht), hoogte, vorm en oriëntatie van de duinen, expositie van de lokatie ten opzichte van de windrichting, grootte van het zandoppervlak en begroeiing. Om een indicatie van de hoogteverschillen te krijgen is gebruik gemaakt van een pantometer (figuur 2).



Figuur 2 Pantometer

Er is gekozen voor een pantometer vanwege de beperkte mankracht in het veld en de aard van het terrein, waarin veel hoogte-verschillen op een korte afstand voorkomen.

Om de ontwikkeling van de rivierduinen in de tijd te bestuderen zijn luchtfoto's van de Topografische Dienst in Emmen en rivierkaarten (1 : 5.000) van de Meetkundige Dienst in Delft geraadpleegd. Met behulp van een stereoscoop zijn luchtfoto's uit de volgende jaren bestudeerd: 1949, 1950, 1955, 1964, 1966, 1974, 1977, 1980, 1981, 1983, 1985, 1986, 1987, 1989 en 1992.
Op de rivierkaarten, waarop het gebied tussen de winterdijken is afgebeeld, staat onder andere de hoogteligging ten opzichte van NAP. De dichtheid van de hoogtecijfers varieert per kaart, maar bedraagt maximaal ongeveer 50 tot 60 per 500 bij 500 meter. De kaarten worden vervaardigd met behulp van luchtfoto's en veldgegevens.
Bij de hierna volgende beschrijving van de onderzoekslokaties wordt onderscheid gemaakt tussen:

- verstuiving (verwaaiing van zand zonder duinvorming): vorming van grindvloeren, stuifkuilen e.d.;
- duinvorming. Bij de duinvorming is een onderscheid gemaakt tussen duinvorming op kleine en duinvorming op grote schaal.

Wanneer er bij de bespreking van de duinen gesproken wordt over lijzijde en loefzijde, dan wordt hiermee de positie van deze zijden *ten opzichte van de windrichting* bedoeld, en dus niet de positie van de zijden ten opzichte van de stromingsrichting van de rivier.
Bij de bepaling van de waterstanden bij Lobith is gebruik gemaakt van de betrekkingslijnen van 1986. Bij de bepaling van de afvoeren bij Lobith en de Waalafvoer is gebruik gemaakt van het Jaarboek Monitoring Rijkswateren 1991 van het RIZA.

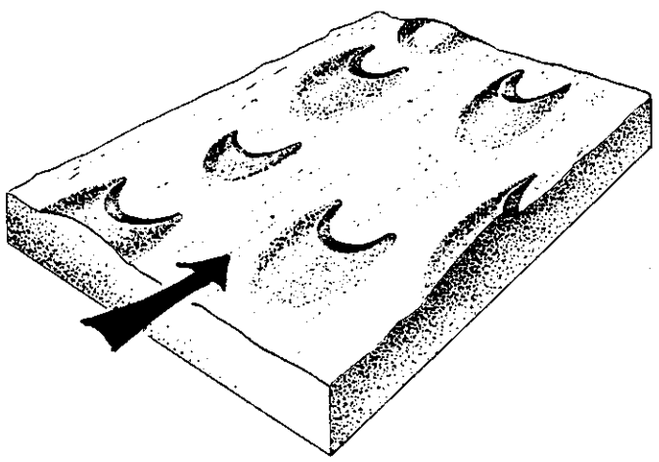
3 DUINVORMEN

Eolische afzettingen komen over de gehele aarde voor, onder zeer uiteenlopende klimaatsomstandigheden, variërend van Alaska tot de warme woestijnen van de Sahara, maar ook in de gematigde gebieden zoals aan de Nederlandse en Belgische kust.
Gebieden waar eolische afzettingen voorkomen zijn volgens Koster (1982) onder te verdelen in (1) duingebieden, (2) gebieden met een zwak golvende topografie en (3) vlakten. Op grond van de geografische positie van de duinen kan een onderscheid gemaakt worden in kustduinen, rivierduinen en landduinen.

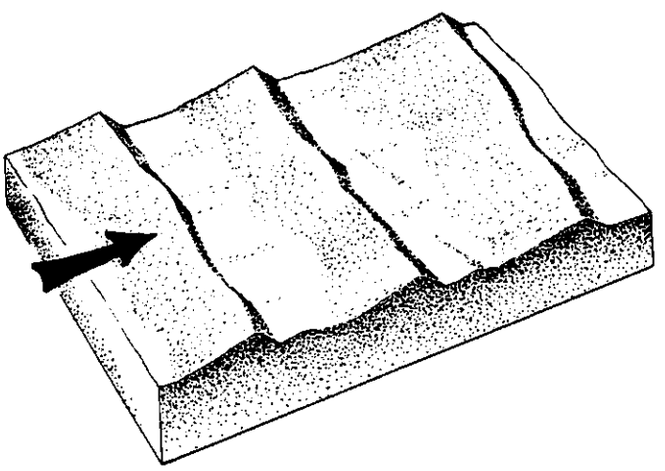
Factoren die van belang zijn bij de vorming van duinen zijn:
- de zee (of in het geval van rivierduinen; de rivier),
- het strand,
- de wind, en
- de vegetatie.

De zee (rivier) en de wind zijn werkzaam via accumulatie en erosie van het duinzand. Het strand is de zone die als brongebied fungeert en de vegetatie zorgt voor een groot deel voor de vastlegging (stabilisatie) van de duinen. Tevens speelt de vegetatie een rol bij het opnieuw verstuiven en de verplaatsing van duinen (secundaire verstuiving).
Deze factoren bepalen welke duinvormen ontstaan en wat de morfologische kenmerken van de duinen zijn. De windvariabelen die hierbij een rol spelen zijn de richting, snelheid, intensiteit en frequentie van de wind.
Uit de literatuur zijn vele duinvormen en duintypen bekend. Een uitvoerige en gedetailleerde beschrijving van de verschillende duinvormen en hun exacte wijze van ontstaan wordt bijvoorbeeld gegeven door McKee (1979).
Klijn (1981, p. 95) geeft in zijn studie van de Nederlandse kustduinen een korte beschrijving van de eolische legenda-eenheden van de geomorfologische kaart (1 : 25.000). In dit hoofdstuk wordt volstaan met een korte beschrijving van de belangrijkste hoofdgroepen en de duintypen die in het kader van dit onderzoek zijn onderzocht.

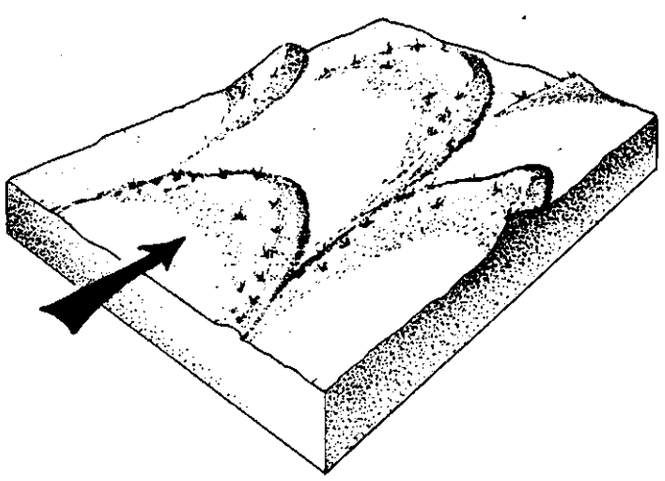
McKee (1979, p. 13) deelt de verschillende duinvormen in drie groepen in: (1) eenvoudige duintypen , (2) samengestelde duintypen en (3) complexe duintypen.
1. *Eenvoudige duinvormen.* Tot de *eenvoudige duintypen* behoren de *barchanen en transversaalduinen*, die gevormd worden wanneer de *wind steeds uit dezelfde richting* komt . Als gevolg hiervan ligt de steile lijzijde ('slipface') altijd in dezelfde richting. Barchanen liggen met hun bolle zijde (van bovenaf gezien) aan de windkant; de 'horens' wijzen met de wind mee. Geïsoleerde barchanen worden gevormd als de beschikbare hoeveelheid zand relatief gering is, bijvoorbeeld op natte stranden of op een grindrijke ondergrond.



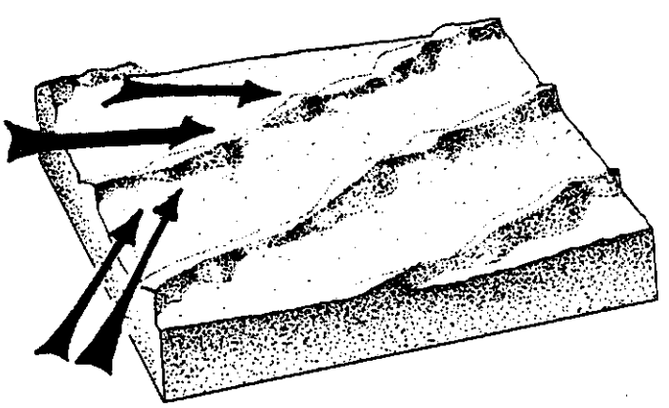
Barchanen



Transversaalduinen



Paraboolduinen



Lineaire duinen

Figuur 3 Enkele eenvoudige duinvormen (McKee 1979)

Ook de *paraboolduinen* behoren tot de eenvoudige duinen. Deze duinen ontstaan als gevolg van *uitblazing*. De (aantasting van de) vegetatie speelt bij de vorming van paraboolduinen een belangrijke rol. Bij paraboolduinen ligt de bolle kant (van bovenaf gezien) aan de lijzijde; de 'horens' wijzen tegen de windrichting in, en omsluiten gedeeltelijk een stuifkuil.
Lineaire of lengteduinen zijn parallel aan de windrichting geöriënteerde duinen of duinruggen. In figuur 3 zijn enkele eenvoudige duintypen weergegeven. De pijlen geven de windrichting aan, waarbij ze gevormd worden.

2. *Samengestelde duinen*. Er is sprake van een samengesteld duin wanneer een duin uit twee of meer duinen of duintjes van hetzelfde type bestaat. Let wel: een (samengesteld) duin dat bestaat uit een *aantal afzonderlijke gelijksoortige duinen* wordt aangeduid met de term 'duincomplex'. Een voorbeeld hiervan is een streepduin-complex.

3. *Complexe duinen*. Een complex of ingewikkeld duin bestaat uit *verschillende duintypen*.

Er zijn vele duintypen en overgangsvormen tussen duintypen mogelijk. In veel gevallen ontstaan bepaalde duinvormen uit andere duinvormen door secundaire verstuiving. Een voorbeeld hiervan zijn lengteduinen die kunnen ontstaan als gevolg van uitwaaiing van een paraboolduin.

Als laatste is voor dit rapport nog een korte beschrijving van een aantal duintypen van belang.

- *hindernisduintjes*. Deze duintjes ontstaan aan de loef- of lijzijde van een hindernis. De hindernis kan bestaan uit vegetatie en uit stenen ofwrakhout. De duintjes hebben in het algemeen geringe afmetingen en zijn vaak tongvormig.

- *'embryo' duintjes*. Dit zijn begroeide (strand)duintjes die vaak lineair gerangschikt zijn. Deze duintjes bestaan meestal uit een 'pol' van vegetatie en kunnen bij voldoende aanvoer van zand aaneengroeien tot een ononderbroken rug.

- *streepduintjes*. Streepduintjes zijn feitelijk kleine lengteduinen met afmetingen van enkele centimeters tot enkele decimeters. Ze komen vaak voor in complexen. Er is dan dus sprake van een samengesteld duin.

- *'precipitation ridge'*. Met de term 'precipitation ridge' wordt een loopduin bedoeld dat is vastgelopen in aaneengesloten vegetatie. Een loopduin wordt gekenmerkt door een flauwe loefzijde en een steile lijzijde ('slipface') die vaak de rusthoek van droog zand benadert (30-34°).

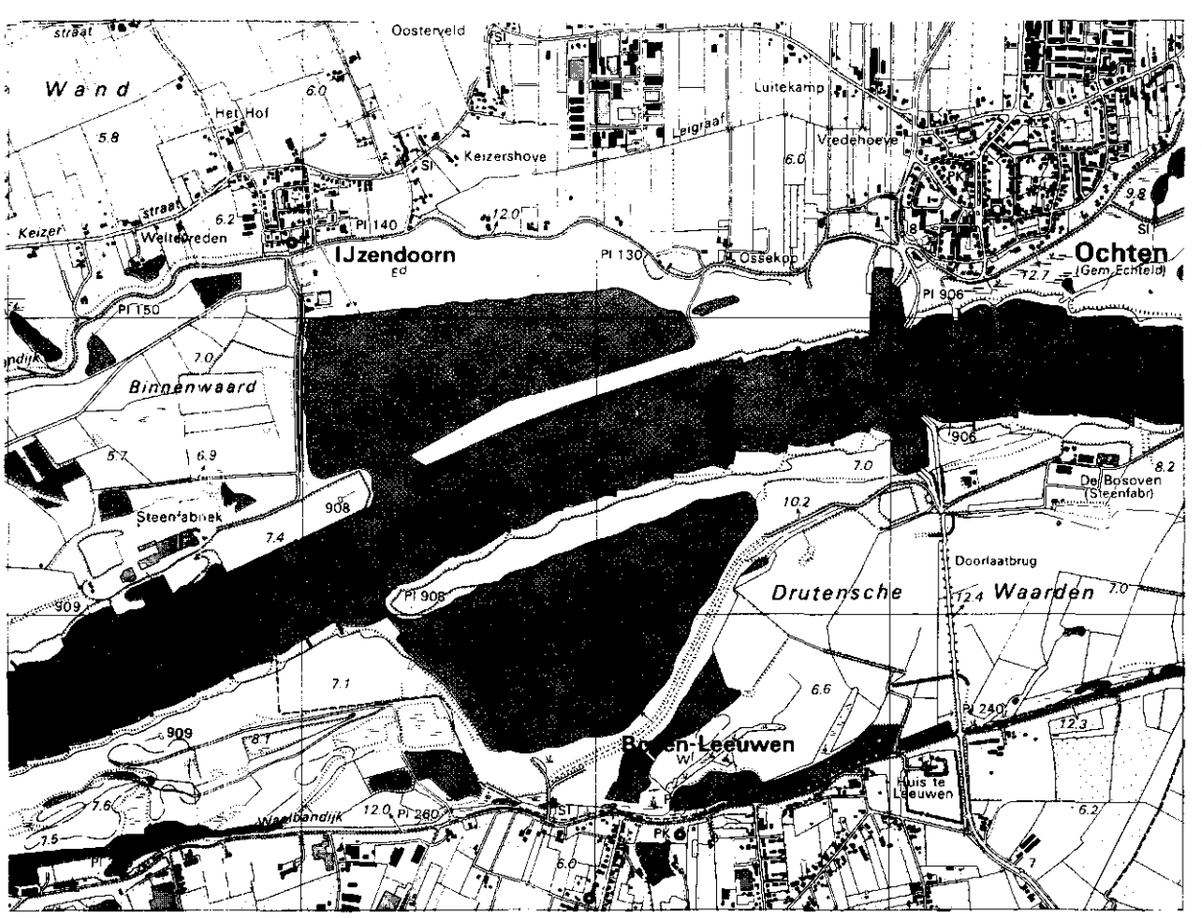
4 WAARNEMINGEN EN RESULTATEN

4.1 Onderzoekslokatie Boven Leeuwen

4.1.1 Beschrijving

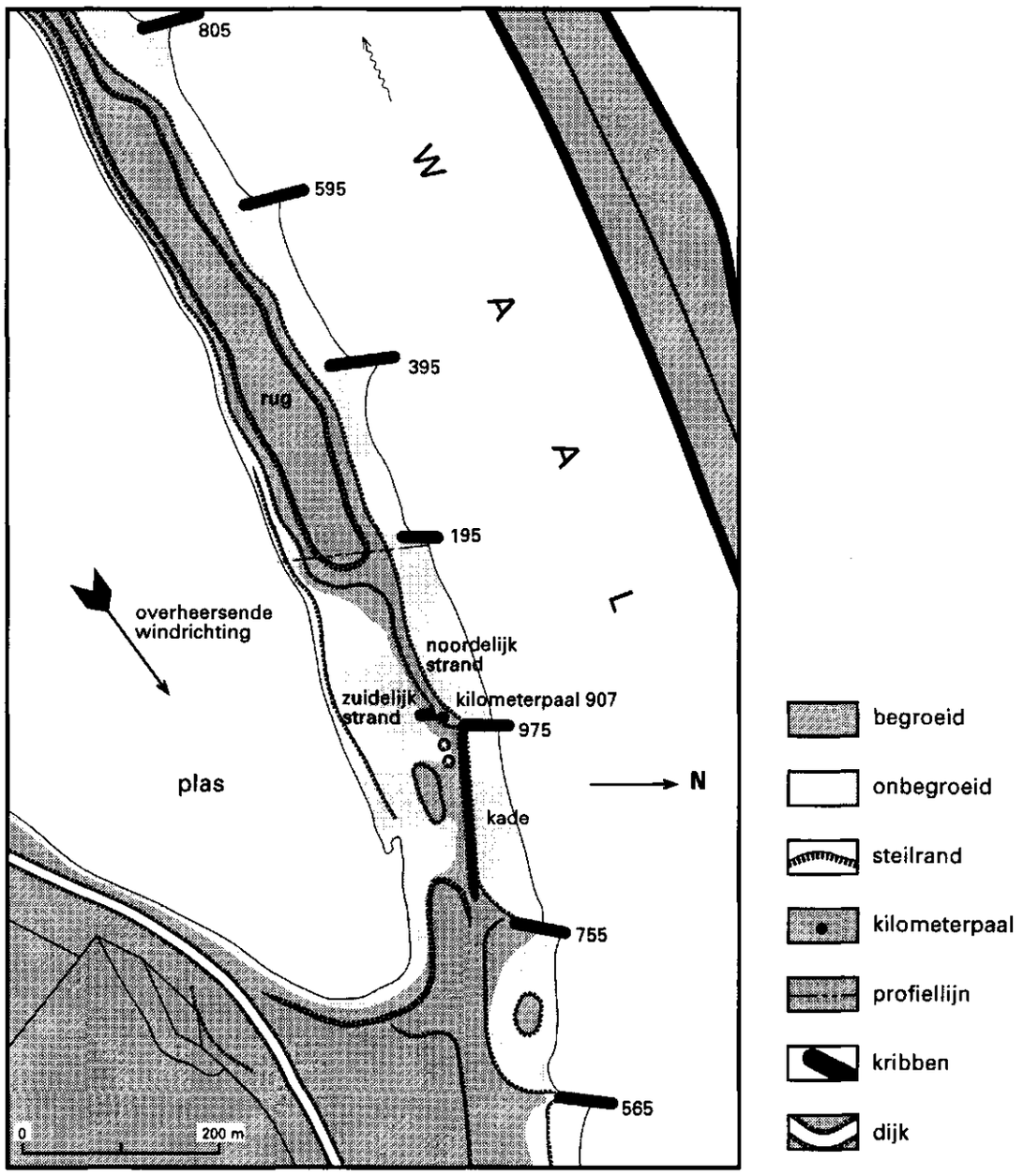
De onderzoekslokatie ligt langs de zuidoever van de Waal, ten noorden van Boven Leeuwen in de Drutensche Waarden (figuur 4). Een zandplaat vormt hier de afscheiding tussen de Waal en een plas die ongeveer 30 jaar geleden is ontstaan als resultaat van zandwinning. De zandplaat is feitelijk een 'schiereiland', waarvan het oostelijk deel aan het 'vasteland' is verbonden.

De lengte van de zandplaat is evenals de breedte afhankelijk van de hoogte van het waterpeil in de rivier. De lengte en breedte van de zandplaat zijn vastgesteld aan de hand van de rivierkaart van het gebied (1 : 5.000, Blad nr.114, oktober 1982) en bedragen respectievelijk circa 1300 m en 180 m.



Figuur 4 Ligging onderzoekslokatie Boven Leeuwen

De oriëntatie van de plaat is 245° (ongeveer WZW). De oever van de Waal vormt de noordzijde van de plaat. In de rivier zijn kribben geplaatst met een onderlinge afstand van 175 - 200 m. De zuidzijde van de plaat is tevens de noordoever van de plas.
De zandplaat is onder te verdelen in twee gedeelten; een westelijk gedeelte dat vrijwel geheel begroeid is en een oostelijk gedeelte dat voor een groot deel onbegroeid is. Duinvorming treedt met name op in het onbegroeide oostelijke deel van de zandplaat.



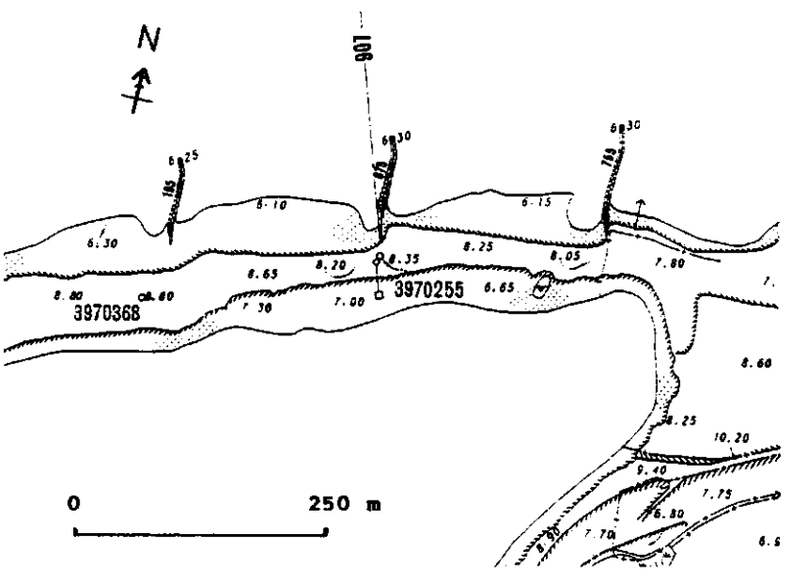
Figuur 5 Onderzoekslokatie Boven Leeuwen

Het westelijke deel van de zandplaat is ongeveer 800 m lang en wordt gekenmerkt door een in de lengterichting verlopende hoge rug (figuur 5). De rug is vrijwel geheel bedekt met grassen en wilgestruiken. Daarnaast komen vlieszaad (*Corispermum spp*) en ganzevoet (*Chenopodium spp*) voor. Beide laatstgenoemde soorten zijn algemeen op droge, open zandgronden en zijn kenmerkend voor 'gestoorde milieus'. Op de zuidelijke flank staan enkele wilgen. Op de rug komen hoogteverschillen van enige decimeters tot een meter voor.

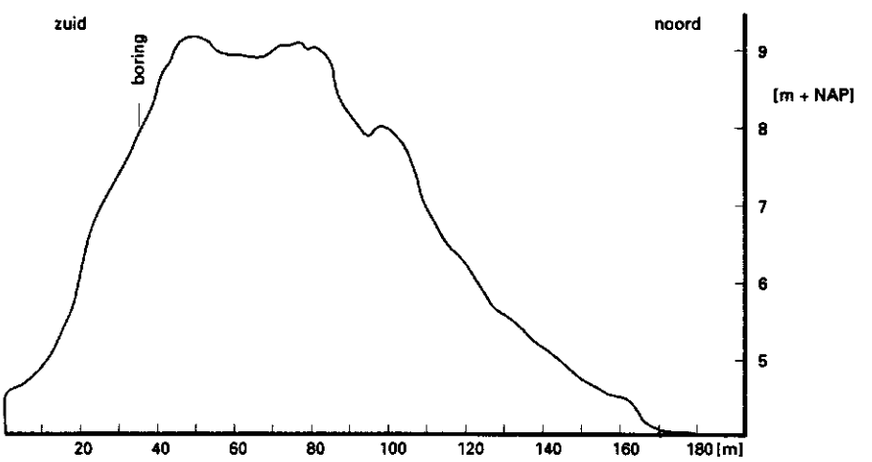
Het oostelijk gedeelte is ongeveer 400 m lang. Met dit deel wordt het gebied bedoeld dat ruwweg ligt ter hoogte van de kribben 907.195 tot 906.565. Het gebied ligt ongeveer 1 tot 1.5 m lager dan het aangrenzende 'vasteland' en het westelijk deel van de zandplaat.
In het oostelijk deel van de zandplaat is een in de lengte-richting van de zandplaat verlopende kade aangelegd. Deze kade bestaat uit tegels die aan weerszijden geflankeerd worden door basaltblokken. De kade is ongeveer 40 cm hoog gemeten vanaf het strand en loopt vanuit oostelijke richting gezien tot aan kilometerpaal 907. De vegetatie bestaat voornamelijk uit wilgestruiken en grassen.
Er treedt afkalving op van de noordoostelijke oevers van de plas. De wind heeft, wanneer deze uit zuidwestelijke richting waait, een tot 1 km lange strijklengte ('fetch') over het wateroppervlak. Hierdoor worden er windgolven opgewekt die voor afkalving van de oever kunnen zorgen.
In figuur 5 is de onderzoekslokatie gedetailleerd weergegeven.

4.1.2 Rivierkaart en luchtfoto-onderzoek

De meest recente rivierkaart van het onderzoeksgebied (Blad Nr. 114, oktober 1982) geeft een indicatie van de terrein-hoogten (figuur 6). Het noordelijke strand ligt op ruim 6.0 m + NAP. Het oppervlak van de rug ligt op 8.5 tot 9.0 m + NAP en het zuidelijke strand ligt op ongeveer 6.5 tot 7.5 m + NAP.
Op de rivierkaart is te zien dat de rug een restant van de oever van de rivier is, dat is overgebleven na de zandwinning. Deze zandwinning heeft plaatsgevonden in de periode 1960-1970. Op de luchtfoto's van 1964 is te zien dat de zandwinning in volle gang is; de foto's van 1974 laten zien dat de zandwinning is gestopt.
Uit luchtfoto's van 1989 blijkt dat in het oostelijk deel van de zandplaat de hoge rug verdwenen is. Hier is, vermoedelijk in 1986 of 1987, de al eerder genoemde kade aangelegd. Op luchtfoto's van 1989 is te zien dat het oostelijke deel geheel onder water staat. De lokale waterstand bedroeg op dat moment (29 april) circa 7.80 m + NAP. Het debiet gemeten bij Lobith bedroeg op dat moment circa 4397 $m^3/_s$ (Waalafvoer circa 2903 $m^3/_s$). De waterstand bij Lobith was op dat moment ongeveer 12.60 m + NAP. Het gemiddelde aantal overschrijdingen per 100 jaar bedraagt ca. 250. Bij een lokaal waterpeil van 9.0 m + NAP stroomt ook het westelijk gedeelte van de zandplaat onder. Het debiet bij Lobith bedraagt in deze situatie 6298 $m^3/_s$ (Waalafvoer 4217 $m^3/_s$); dit debiet wordt bereikt bij een waterpeil bij Lobith van 14.10 m + NAP. Het gemiddelde aantal overschrijdingen per 100 jaar bedraagt ongeveer 82. Dit betekent dat de kans op een lokale waterstand van 9.0 m + NAP bijna één keer per jaar bedraagt.



Figuur 6 Fragment rivierkaart (Blad nr.114, 1982)



Figuur 7 Pantometer profiel Boven Leeuwen

4.1.3 Eolische processen

Het westelijk gedeelte van de zandplaat

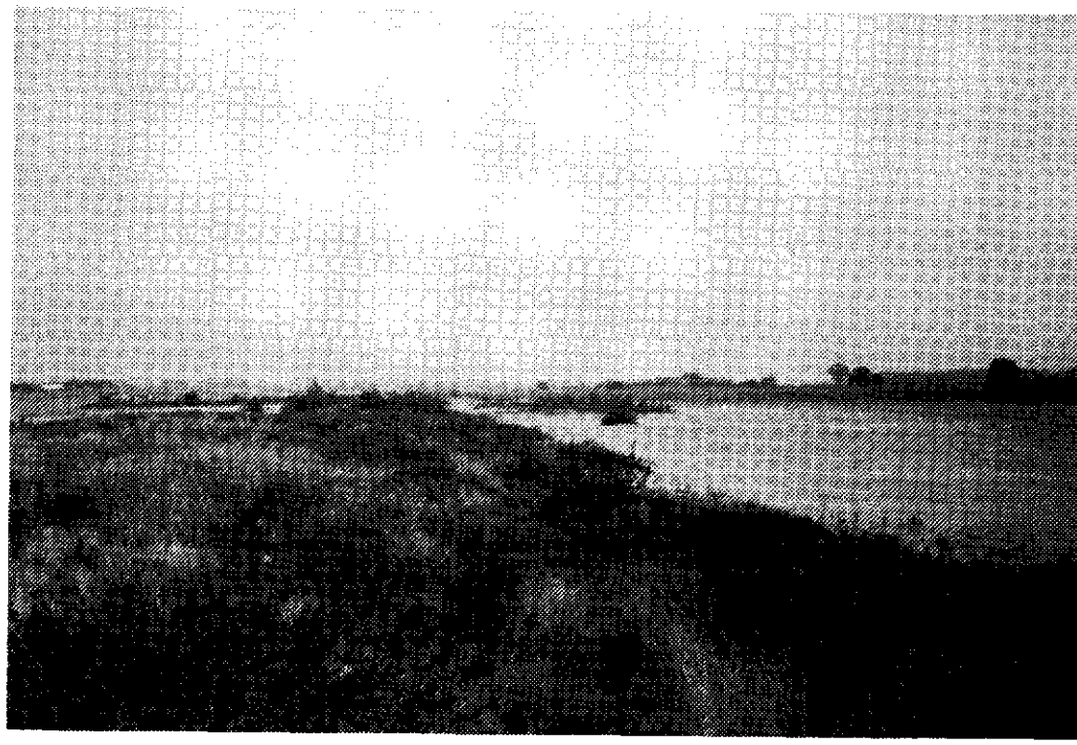
Het westelijk gedeelte van de zandplaat wordt gekenmerkt door de van west naar oost lopende rug. Tijdens het veldonderzoek (17 september 1992) zijn met behulp van een pantometer langs een profiellijn de hoogteverschillen bepaald tussen de rug en beide stranden (figuur 7).

De lokale waterstand (bij kilometerpaal 907) ten tijde van de veldopname bedroeg 3.97 m + NAP. De rug is gemeten langs de profiellijn ruim 5 m hoog. De absolute hoogte bedraagt dus circa 9.0 m + NAP. Deze waarde komt redelijk overeen met de waarden die zijn weergegeven op de rivierkaart.

Om de aard van de rug vast te stellen is op de flank van de rug een boring met een handboor gedaan. De boring bereikt een diepte van 4.80 m beneden maaiveld. De profielopbouw is uniform; het materiaal bestaat vrijwel geheel uit matig tot matig slecht gesorteerd, matig grof zand (300-420 μm). Onder andere op 80, 85 en 100 cm diepte zijn donkerbruin-grijze laagjes van kleiig zand en klei of slib aangetroffen. Met name in de bovenste 200 cm treedt deze bijmenging regelmatig op. De sedimenten zijn door de rivier afgezet. Dit is in overeenstemming met de informatie die uit luchtfoto's is verkregen, waaruit blijkt dat de rug een restant van de oever is.
Op de hoogste delen van de rug treden plaatselijk verstuivingen op van door de rivier afgezet zand. Ook kan verstuiving van eerder afgezet zand plaatsvinden door graafaktiviteiten van konijnen. Als gevolg hiervan is op een aantal plaatsen de vegetatie verdwenen. Die verstuiving heeft hoogteverschillen tot gevolg van meer dan 1 m. Tevens wordt het zand door de overheersende zuidwestenwinden op het noordelijke strand en oostelijk van de rug afgezet.

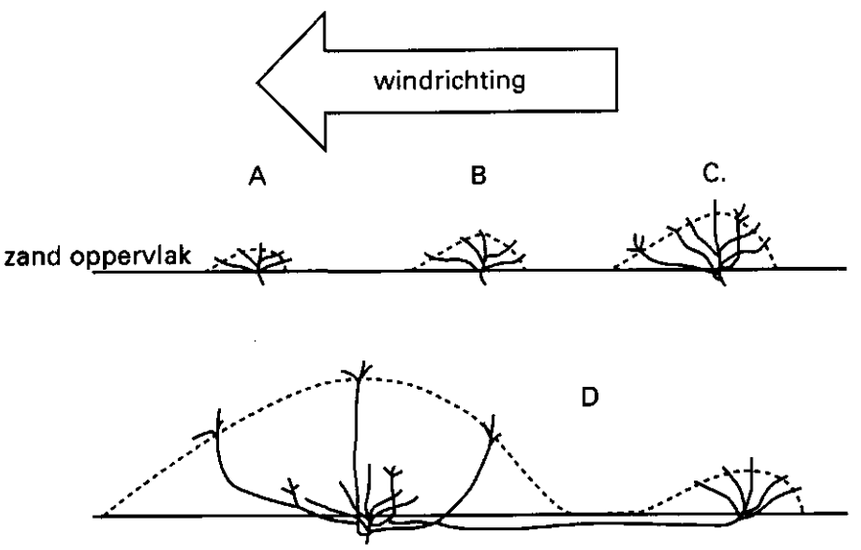
Het oostelijk gedeelte van de zandplaat

Het oostelijke deel van de zandplaat bestaat uit een zuidelijk en een noordelijk strand. Op beide stranden, die gescheiden zijn door de kade, treedt rivierduinvorming en overstuiving op.
Op het zuidelijke strand (figuur 8) bestaat het oppervlak in het westen grotendeels uit matig fijn tot grof zand en grind (210 μm tot > 1 cm). Dit gedeelte is vrijwel vegetatieloos en kan worden opgevat als een grindvloer. Een grindvloer, ook aangeduid als 'desert pavement', is een afzetting die bestaat uit grof zand en/of grind dat achterblijft nadat de fijne fractie (tot ca. 420 μm) is uitgewaaid. Een bekend voorbeeld hiervan is de Laag van Beuningen; een afzetting uit het Pleniglaciaal van het Weichselien. De dikte van de grindvloertjes bedraagt niet meer dan 0.5 tot 1 cm. Deze afzettingen liggen op ruggen die tot ongeveer 1 m hoog zijn. Gezien de grofheid van de sedimenten zijn dit waarschijnlijk kronkelwaardruggen. Een relatief laaggelegen grindvloer is waargenomen in een 15 tot 20 m lange strook langs de plas. Deze strook staat regelmatig onder water. Hier zijn kleiplaatjes en kleibrokjes aangetroffen.
Waarschijnlijk treedt vrij snel nà het droogvallen van dit gedeelte van de plaat uitwaaiing (deflatie) op, waarbij een grindvloer ontstaat.



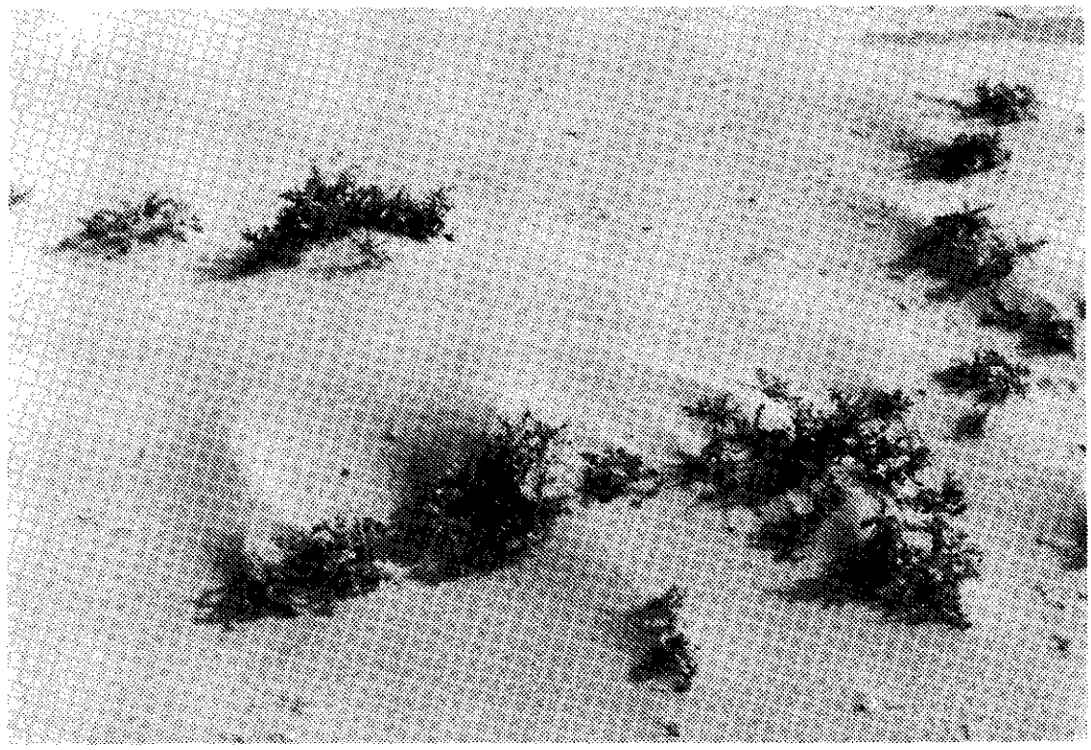
Figuur 8 Zicht vanaf de rug in oostelijke richting. Het zuidelijke strand ligt rechts op de foto.

Direct oostelijk van de eerder beschreven, laaggelegen grindvloer treedt de eerste duinvorming op. Het betreft een strook van ongeveer 20 m lang, op slechts 25 m afstand van de waterlijn, waarin kleine, ovale duintjes voorkomen. Er zijn ook nier-vormige en langwerpige duintjes waargenomen. De onderlinge afstand tussen de duintjes varieert van enige decimeters tot enige meters. De diameter van de duintjes varieert van ongeveer 30 tot 80 cm. De gemiddelde hoogte is 15 -à 20 cm. De lijzijde, aan de oostkant, is doorgaans steiler dan de westelijke loefzijde. De duintjes kunnen worden beschreven als vegetatieduintjes. Dat wil zeggen dat ze onder invloed van de vegetatie tot stand zijn gekomen. Pye & Tsoar (1990, p.196) noemen de waargenomen duintjes 'embryo dunes'. Deze term suggereert een vroege fase in de ontwikkeling van de duinen (figuur 9). Duinvorming treedt op doordat de primaire vegetatie, in dit geval bestaande uit vlieszaad, het zand invangt. De duintjes komen in enkele meters brede stroken dwars op de rivier voor. Een verklaring hiervoor is nog niet gevonden.

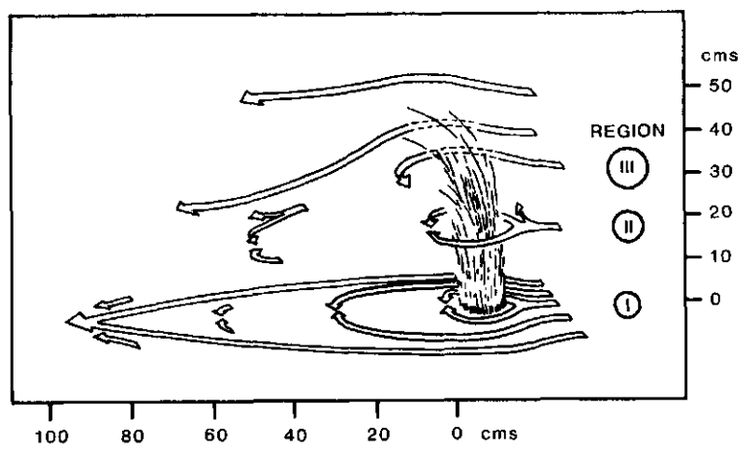


Figuur 9 Ontwikkeling van een 'embryo' duintje (Pye & Tsoar 1990).

Direct westelijk van het 'vasteland', zijn vijf complexen van langwerpige duintjes waargenomen. Eén van deze complexen is onderzocht.
De afmetingen van het onderzochte duincomplex zijn 5 bij 7.5 m. Het bestaat uit een twintigtal lengte- of streepduintjes die deels met elkaar verbonden zijn. Het betreft hier vegetatie-duintjes, waarvan de lengte varieert van enige centimeters tot enige decimeters. Pye & Tsoar (1990, p.198) spreken in dit geval van 'shadow dunes'; het meeste zand wordt afgezet aan de schaduwzijde, dus aan de lijzijde van de plant.
Door de verbinding lijkt het erop dat er sprake is van paraboolduintjes (figuur 10). Dit is echter niet het geval. Bestudering van de windribbels wijst uit dat de verbinding tot stand komt, doordat de wind aan beide zijden om de op het duintje aanwezige vegetatie heen waait, en zo aan beide zijden zand afzet (figuur 11). De hoogte van de lengteduintjes varieert van enige centimeters tot 50 cm. De oriëntatie van de duinruggen is ongeveer 60° (ONO). Tussen de ruggen is het zand dat aan het oppervlak ligt soms grover (420-600 μm) dan het zand waaruit de ruggen bestaan (210-300 μm).
Op de kop van de duintjes, dus aan de loefzijde, groeien distels. De afzonderlijke planten zijn verbonden middels een sterk vertakt wortelstelsel dat zich horizontaal tot meer dan 1 m uitstrekt in alle richtingen.
Tegen de zuidkant van de kade aan liggen plaatselijk lang-gerekte duinen met een hoogte tot ongeveer 1 m. Tevens zijn enkele kuilen waargenomen met een diepte van ongeveer 1 m, waarvan niet duidelijk is hoe ze zijn ontstaan. De begroeiing bestaat hier voornamelijk uit wilgestruiken en grassen.



Figuur 10 Complex van streepduintjes



Figuur 11 Windstromingen langs een plant (Pye & Tsoar 1990)

Op het noordelijke strand komen ook vegetatieduinen en streepduincomplexen voor. Met name tussen de kribben 907.195 en 906.975 liggen vele tientallen vegetatieduinen groeps- en strooksgewijs. Op de overgang van het strandgedeelte naar de hoger gelegen rug ligt het zand over een grote afstand aan het oppervlak. Complexen van lengteduintjes zijn hier algemeen, hoewel minder fraai ontwikkeld dan op het zuidelijke strand.
De grindvloeren die veelvuldig voorkomen op het zuidelijke strand ontbreken nagenoeg op het noordelijke strand. Dit kan toegeschreven worden aan overstuiving van dit strandgedeelte.

Aan de westzijde van de kribben (de loefzijde ten opzichte van de windrichting) wordt

over een afstand van enkele meters door de wind zand afgezet, evenals direct oostelijk van de krib. De lijzijde (waar het meeste zand wordt afgezet) is steiler dan de loefzijde. Gezien de ligging van de kribben wijst dit op een langere termijn windrichting die westelijk tot zuidwestelijk is. Er is sprake van een luwte-effect, waarbij de windkracht ten oosten van de krib snel afneemt zodat het zand wordt afgezet. De kribben zijn gedeeltelijk overstoven en er treedt zelfs duinvorming op.
Op krib 906.975 liggen enkele goed ontwikkelde duintjes op de krib. De hoogte van de duintjes varieert van circa 10 cm tot 80 cm, gemeten vanaf de krib. Op sommige plaatsen zijn deze duintjes begroeid met grassen. Op de flanken van de duintjes worden grovere korrels (600-1000 μm) aangetroffen, die ook door de wind zijn afgezet.

Op zowel de noordelijke als de zuidelijke stranden komen windribbels voor. De ribbels hebben een oriëntatie van ongeveer 150 ° (ZZO). De golflengte bedraagt gemiddeld 3 à 5 cm. De hoogte van de golftoppen bedraagt 0.5 -1 cm. Er bestaat geen duidelijke relatie tussen de golflengte van zandribbels en de windkracht (Allen 1984, p.313). Er kan alleen een uitspraak worden gedaan over de laatste (korte termijn) windrichting. De windribbels liggen dwars op de laatste krachtige windrichting. De oriëntatie van de ribbels is ongeveer 150 °; de richting van de voor de ribbels verantwoordelijke wind is dus ongeveer westzuidwestelijk (240 °).

Op de overgang van het zuidelijke strand naar het ongeveer 2 m hoger gelegen 'vasteland' treedt overstuiving op. De bovengrond van weilanden is kleiig. Plaatselijk ligt matig fijn tot matig grof, eolisch zand (210-420 μm) aan het oppervlak. Hieruit blijkt dat verstuiving op dit moment nog optreedt; van duinvorming is hier echter geen sprake.

Verstuiving en duinvorming nemen af met toenemende afstand (in oostelijke richting) van het brongebied. Het brongebied wordt gevormd door het zuidelijke strand (zie figuur 5) en de deels onbegroeide (flanken van de) rug (zie 4.1.2). Deze afname is te zien aan de geringere duinvorming en overstuiving op meer naar het oosten gelegen kribben, en aan het ontbreken van fijne zanden aan het oppervlak van de oostelijk van krib 906.565 gelegen strandgedeelten.
Tevens neemt de mate van overstuiving van de kade af. Direct oostelijk van kilometerpaal 907 is de overstuiving van de kade nog aanzienlijk. Hierbij worden duintjes gevormd die tot 10 cm hoog zijn.
Ten oosten van krib 906.755 liggen stranden die ingesloten liggen tussen hoge oevers. Hier vindt wel enige verstuiving plaats, maar door het optreden van (wind) turbulenties achter de obstakels worden er geen duinen gevormd. Hieruit blijkt dat naast de aanwezigheid van een brongebied, een aaneengesloten, vlak en onbegroeid gebied zonder obstakels essentieel is voor de vorming van duinen. De lengte van het brongebied zelf lijkt minder belangrijk te zijn: vaak worden al op enkele meters afstand van de waterlijn duintjes gevormd.

Het zand van de duinen is afkomstig uit de rivier, en wordt bij hoge waterstanden vanuit de kribvakken op de oevers afgezet. In het najaar kan dan bij relatief lage rivierstanden duinvorming optreden, omdat de stranden dan geheel droogvallen, en de wind vrij krachtig is. Recente waarnemingen (1994/1995) hebben dit bevestigd. De preservatiekans van de duintjes is laag; bij de volgende hoogwaterstand worden ze grotendeels weer weggeërodeerd.

4.1.4 Conclusies uit de waarnemingen bij Boven Leeuwen

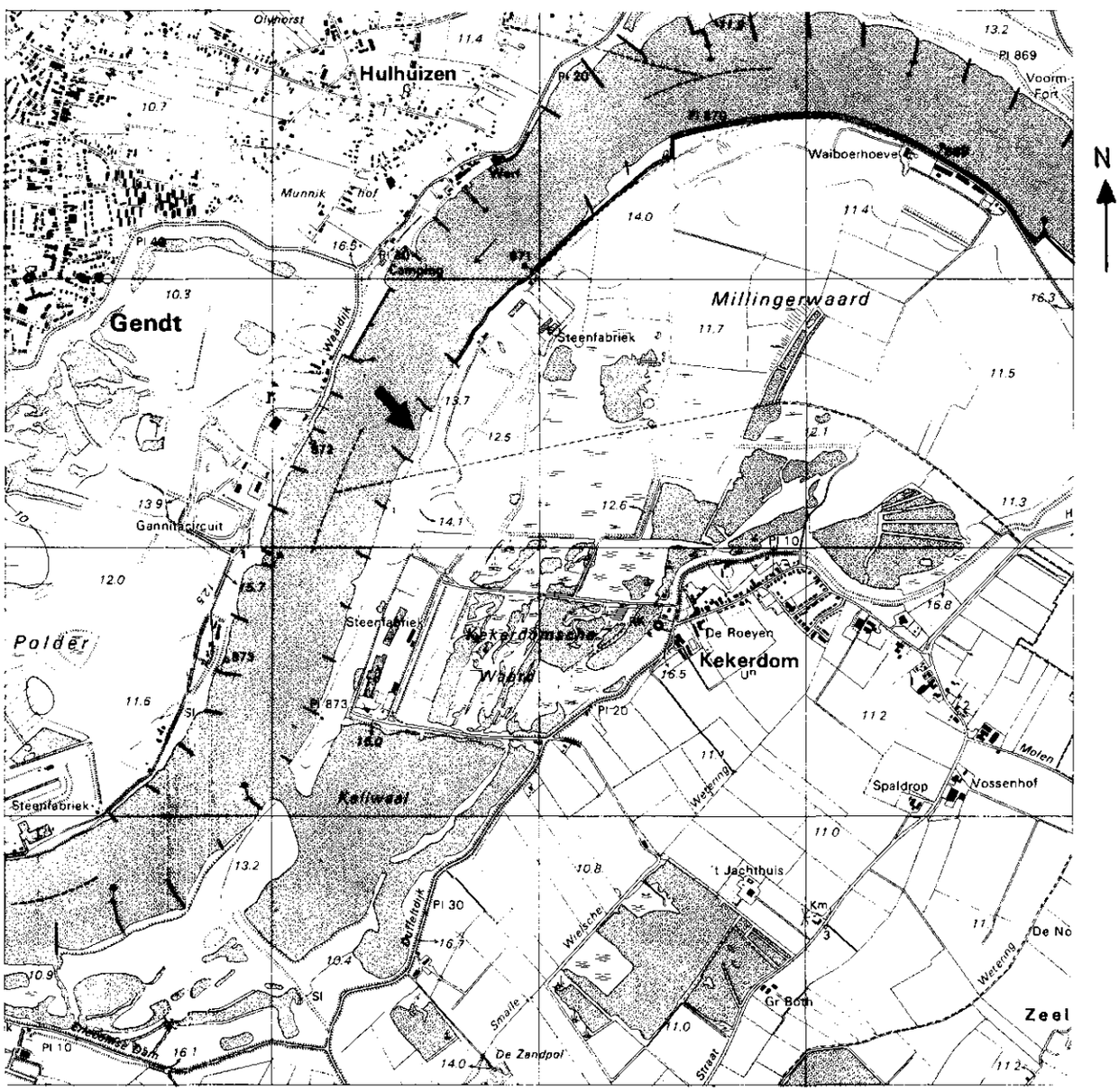
De duinvorming op de zandplaat bij Boven Leeuwen vindt vooral plaats op het oostelijk gedeelte door overheersende westzuid-westen winden.
Op de kribben ontstaan duinen met een maximale hoogte van 80 cm. Op de relatief laag gelegen stranden worden vegetatie-duintjes ('embryo dunes') en complexen van lengte- en tongduintjes gevormd. Deze duintjes hebben afmetingen in de orde van enkele centimeters tot enkele decimeters. Het brongebied van het duinzand wordt gevormd door het zuidelijke strand en de op het westelijk gedeelte gelegen (flanken van de) rug. De aanwezigheid van een vlak, op het zuidwesten geëxponeerd, onbegroeid gebied zonder obstakels, zoals het zuidelijke strand, is van groot belang voor de duinvorming.
Als gevolg van het uitstuiven van de fijne fractie ontstaan plaatselijk dunne (enkele cm dikke) grindvloeren.

De snelheid waarmee de duintjes ontstaan is hoog: ze lijken te ontstaan binnen een periode van enkele dagen tot enkele maanden, en kunnen in ieder geval tijdens één najaar ontstaan. Gezien de relatief lage ligging van de duintjes is de kans op preservatie klein. Uit waarnemingen na de hoogwaterstanden van januari 1994 bleek, dat alle duintjes weer waren weggeërodeerd.
Reeds bij een lokale waterstand van 7.80 m + NAP (= debiet bij Lobith van circa 4397 $m^3/_s$) overstroomt het oostelijk gedeelte van de plaat, inclusief de duinen op de kribben.

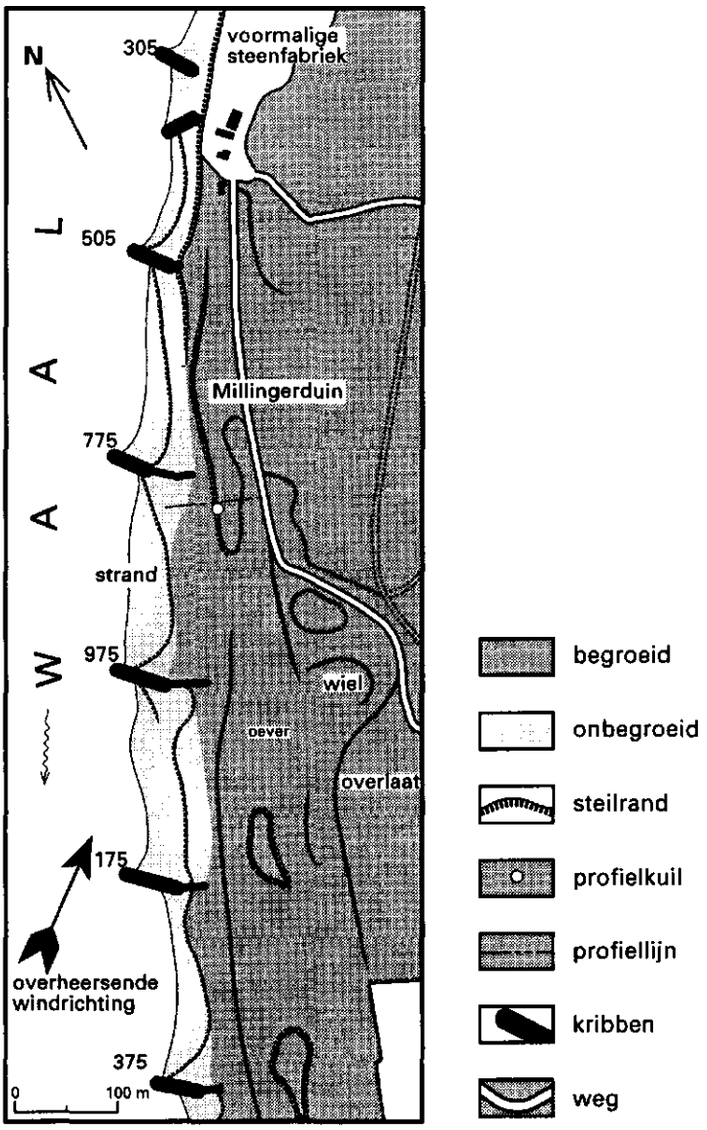
4.2 Onderzoekslokatie Millingerduin

4.2.1 Beschrijving

De onderzoekslokatie ligt langs de Waal bij Kekerdom in het oostelijk rivierengebied, ten noordoosten van Nijmegen in de Millinger en Kekerdomsche Waard (figuur 12). Sinds de zomer van 1992 maakt het gebied deel uit van het 'Rivierenpark Gelderse Poort' (Litjens 1992). Het beheer van het gebied is in handen van de Stichting ARK.



Figuur 12 Ligging onderzoekslokatie Millingerduin



Figuur 13 Onderzoekslokatie Millingerduin

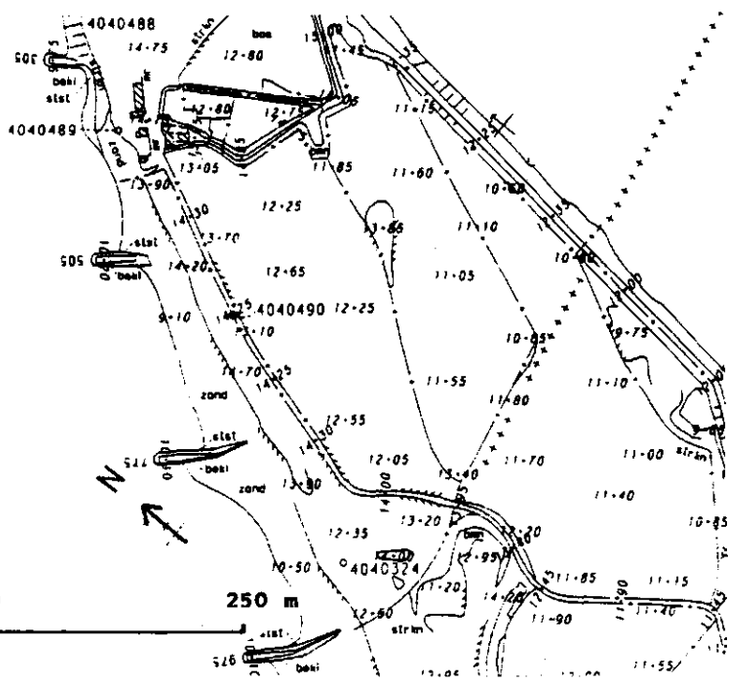
Het gebied waar duinen voorkomen ligt in een binnenbocht van de rivier. De Waal stroomt hier in een zuidwestelijke richting. De oriëntatie van het duingebied langs de rivier is ongeveer 235° (ZW). Het onderzoeksgebied is ongeveer 800 m lang en ligt tussen twee voormalige steenfabrieken in. De oostelijke begrenzing valt samen met de weg die beide fabrieksterreinen verbindt. Deze weg ligt gedeeltelijk op een overlaat, die zichtbaar is op de Historische Atlas van Gelderland (Kaartblad 534 Gendt, 1908). In figuur 13 is de onderzoekslokatie weergegeven.

Het onderzoeksgebied is onder te verdelen in drie zones; het strand, de oeverwal en een overgangszone tussen strand en oeverwal.

Met het strand wordt de grotendeels onbegroeide zone aangeduid die direct grenst aan de rivier. Het strand heeft een flauwe helling en is maximaal ongeveer 75 m breed. De oeverwal is vrijwel geheel begroeid met gras, struiken en enkele bomen. Tussen het strand en de oeverwal ligt een overgangszone. Deze zone is vrijwel onbegroeid en bestaat soms uit een steilrand, soms uit een iets minder steile helling die strand en oeverwal verbindt.

4.2.2. Rivierkaart en luchtfoto-onderzoek

Op de meest recente rivierkaart van het gebied (Blad Nr.106, maart 1991) is te zien dat het gemiddelde hoogteverschil tussen het strand en de oeverwal ongeveer 3 m bedraagt. Het strand is gelegen op 9 tot 9.5 m + NAP. De oeverwal ligt ruwweg tussen 12 en 13 m + NAP (figuur 14).



Figuur 14 Fragment rivierkaart (Blad nr.106, 1991)

Ter hoogte van de kribben 871.775 en 871.505 ligt op de oeverwal een rivierduin. De zuidelijke begrenzing van dit lineaire duin, dat het 'Millingerduin' wordt genoemd, is af te leiden uit de rivierkaart (figuur 14): het lokale hoogteverschil bedraagt, gezien vanaf het strand, ongeveer 5 m. De absolute hoogte van het duin bedraagt maximaal ongeveer 15 m + NAP.
Op de rivierkaart van 1976 (Blad 106, januari 1976) is het duin niet te zien. Op de plaats waar nu het duin ligt zijn op deze kaart steilranden aanwezig die de overgang van strand naar oeverwal vormen. De rivierkaart van 1976 is getekend op basis van luchtfoto's uit 1970. Uit de luchtfoto's van 1969 blijkt nog niets van duinvorming in het gebied. Echter,

op de opnames van 1974 zijn al wel duinen te zien. Op basis van deze informatie lijkt het dat de conclusie moet worden getrokken dat de vorming van het Millingerduin kort na 1970 is begonnen. Uit informatie van de lokale bevolking blijkt echter, dat op deze plaats al veel langer verstuiving en mogelijk ook duinvorming heeft plaatsgevonden.

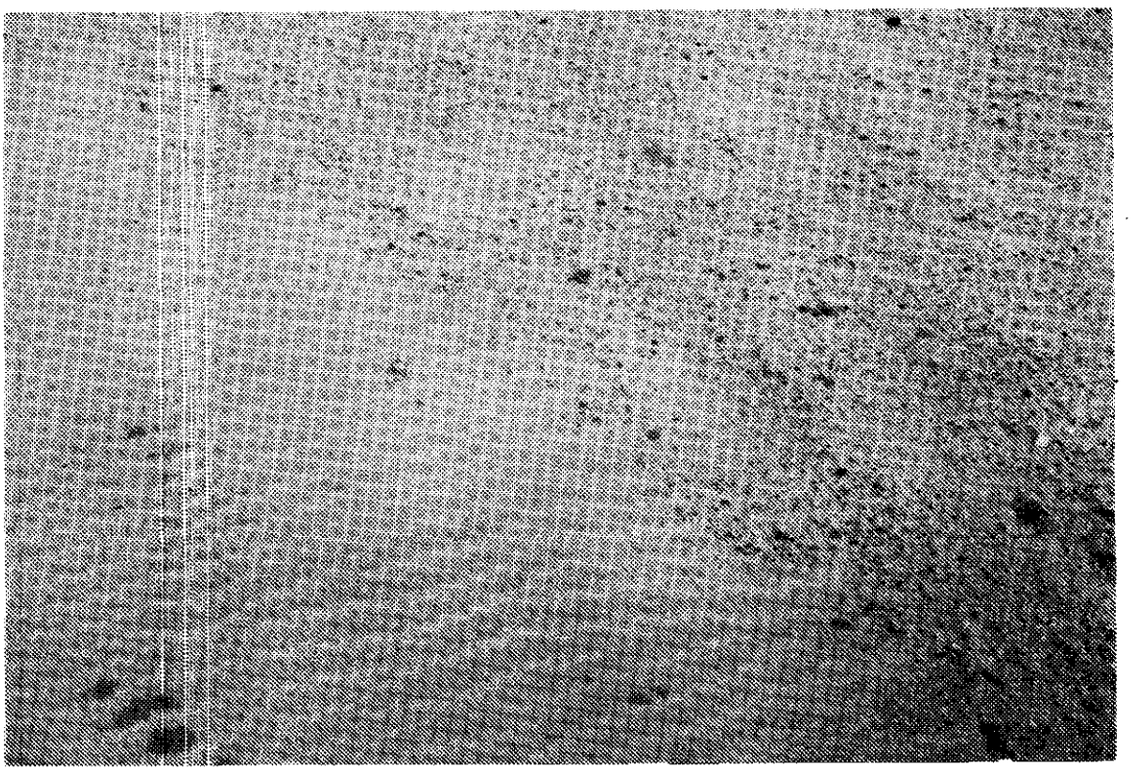
Een situatie waarbij het Millingerduin onder water staat, is op de luchtfoto's niet waargenomen. Het gebied overstroomt in zijn geheel wanneer het lokale waterpeil ongeveer 15 m + NAP bedraagt. Dit betekent een waterpeil bij Lobith van 16.4 m + NAP. Dit waterpeil wordt bereikt bij een debiet bij Lobith van circa 11134 $m^3/_s$ (Waalafvoer 7065 $m^3/_s$). Voor dit debiet is de gemiddelde overschrijdingskans per 100 jaar: 2. Dit betekent dat de kans op een dergelijk waterpeil eens per 50 jaar is.
Op alle foto's van nà 1974 is het duin te zien, en bovendien steeds op dezelfde plaats. Uit de luchtfoto's blijkt niet, dat bij hoge waterstanden erosie van het duin optreedt; waarschijnlijk ligt het duin zo hoog dat de erosie door stromend water beperkt is.

4.2.3 Eolische processen

Duinvorming in de strandzone

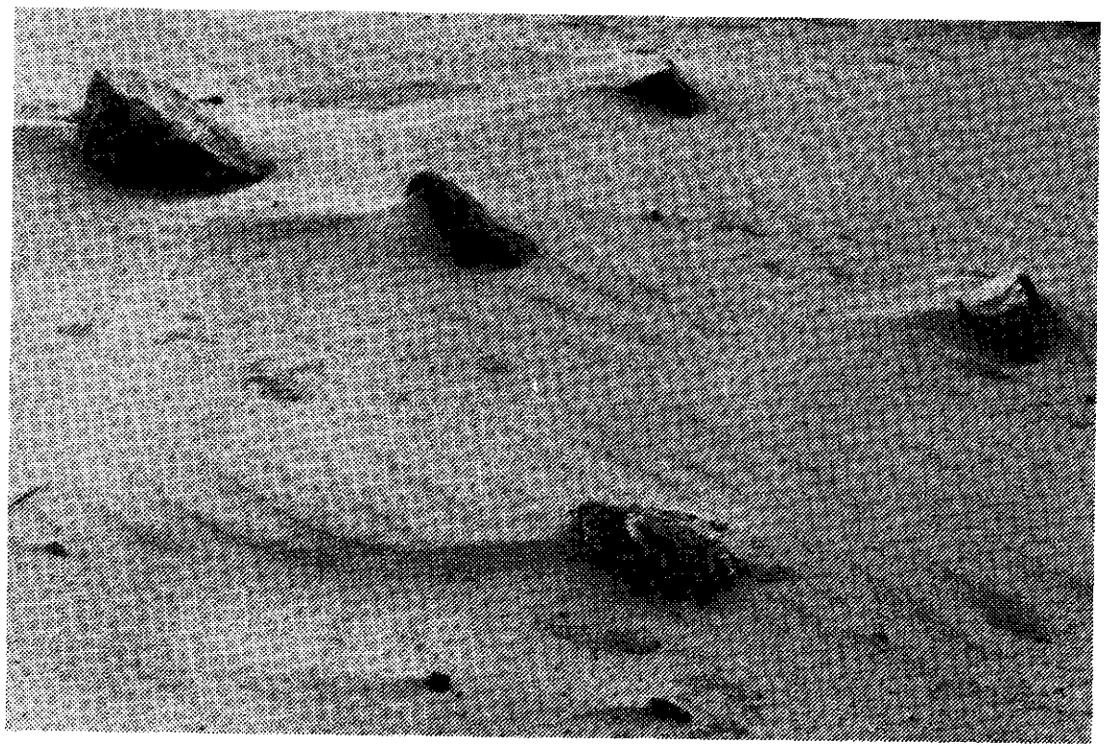
De stranden worden gekenmerkt door de aanwezigheid van vrij grof materiaal aan het oppervlak: grof zand, grind en stenen (> 1000 μm) in een fijnzandige matrix (210-300 μm). Dit oppervlak vertoont de kenmerken van een grindvloer, zoals die ook is aangetroffen op de onderzoekslokatie Boven-Leeuwen (figuur 15). De fijne fractie wordt uitgeblazen en in de nabijheid van de kribben afgezet.
Een relatief dik pakket (enkele decimeters) van eolisch zand bedekt het strandgedeelte ten NO van krib 871.505. Het strand is hier smal; de breedte bedraagt niet meer dan 25 m en het is voor een groot gedeelte begroeid met lage populieren, wilgestruiken, en distels.

Bij de lokatie Millingerduin is geen sprake van duinvorming op het strand zelf. De eolische processen die zijn waargenomen zijn zeer geringe verstuivingen achter stenen, uitwerpselen en aangespoelde takken (figuur 16). De bij Boven- Leeuwen waargenomen 'embryo dunes' ontbreken hier. De oorzaak waarom duintjes op het strand nauwelijks voorkomen, kon in het kader van dit beperkte onderzoek niet worden vastgesteld. Wel is geconstateerd dat er op het strand in dit gebied vaak dunne klei- of sliblagen voorkomen, waardoor de verstuiving kan worden beperkt. De vraag blijft dan wel, waarom er verder in het 'binnenland' wel een groot duin kon ontstaan.

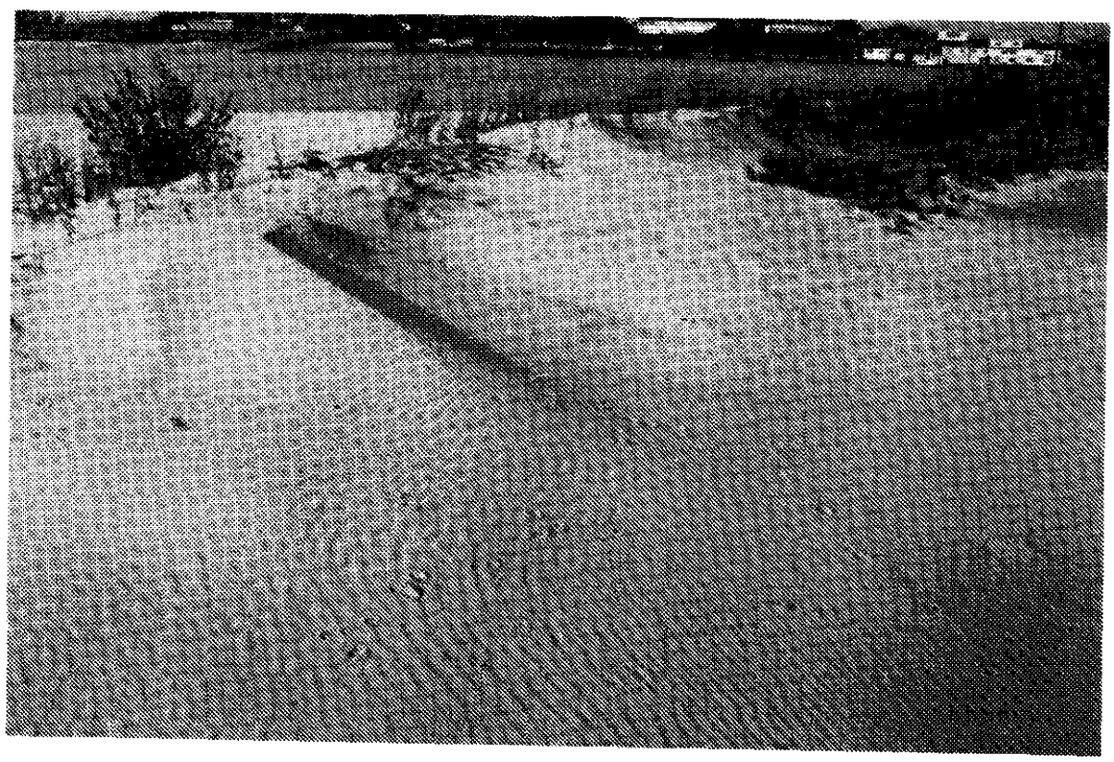


Figuur 15 Grindvloer en windribbels

De duinvorming in de strandzone vindt hoofdzakelijk nabij en op de kribben plaats. De onderlinge afstand tussen de kribben bedraagt ongeveer 200 m. Tot enkele meters vóór (loefzijde) en achter (lijzijde) de kribben bestaat het oppervlak uit homogeen, eolisch zand met een korrelgrootte van 210-300 μm. Uit de vorm van de duintjes, die gedeeltelijk over de kribben heen liggen, blijkt dat ze gevormd zijn door zuidwesten winden. De loefzijde (ZW) is namelijk vlakker dan de lijzijde (NO). De lijzijde heeft de maximale hellingshoek (rusthoek) van droog zand; 35 °.
De meest noordelijk gelegen kribben in het onderzoeksgebied, de kribben 871.505 en 871.775, zijn het meest overstoven. De oorzaak hiervan is de aanwezigheid van een goed brongebied (relatief brede stranden), en het luwteeffect dat optreedt direct achter de kribben (NO) bij zuidwesten winden. De oriëntatie van het strand is 235 ° (ZW). De overheersende zuidwesten wind heeft een grote strijklengte ('fetch') over de rivier en het strand. Door de aanwezigheid van voldoende zand en de grote strijklengte bij ZW winden kan een grote hoeveelheid fijn zand worden getransporteerd en afgezet.



Figuur 16 Hindernisduintjes op het strand



Figuur 17 Duinvorming op krib 871.775

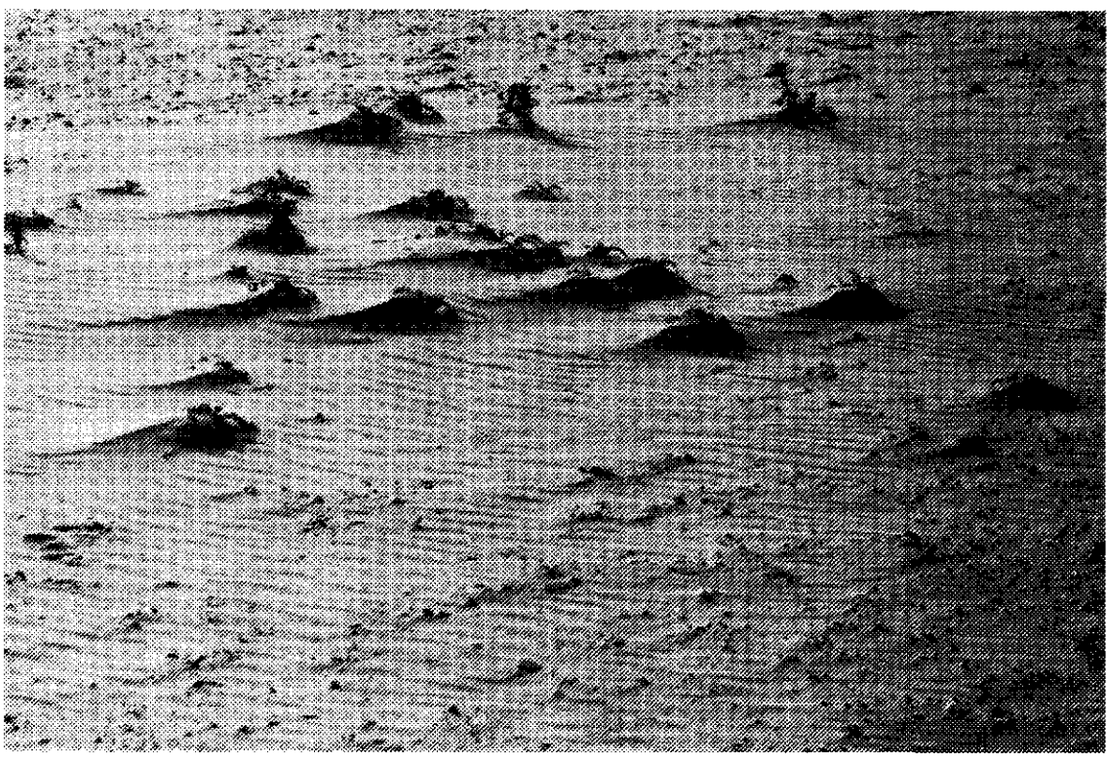
Goed ontwikkelde duintjes hebben zich gevormd bij krib 871.775. Deze duintjes zijn tot circa 50 cm hoog en zijn met elkaar verbonden, waarbij de krib slechts gedeeltelijk zichtbaar is (figuur 18). De duintjes vertonen een grote gelijkenis met de duintjes die zijn waargenomen op enkele kribben bij de zandplaat van Boven-Leeuwen. Op de duintjes zijn windribbels zichtbaar. De golflengte van de ribbels varieert van 3 tot circa 12 cm. De oriëntatie van de ribbels varieert van 210 ° (ZZW) tot 235 ° (ZW).
Aan de noordzijde van de krib loopt het eolische zand vast in de vegetatie. Deze vegetatie bestaat voornamelijk uit distels. Op deze wijze ontstaat een soort transversaal duin. Een Engelse benaming hiervoor is 'precipitation ridge' (Pye & Tsoar 1990, p.205). Bij krib 871.505 is het transversale duin gemeten vanaf de krib maximaal 5 m lang en 80 cm hoog. De (noordoostelijke) lijzijde van het duin is steil. Hieruit blijkt, dat ook de lange-termijn overheersende windrichting waarbij duinvorming optreedt (zuid)westelijk is.

Duinvorming in de overgangszone

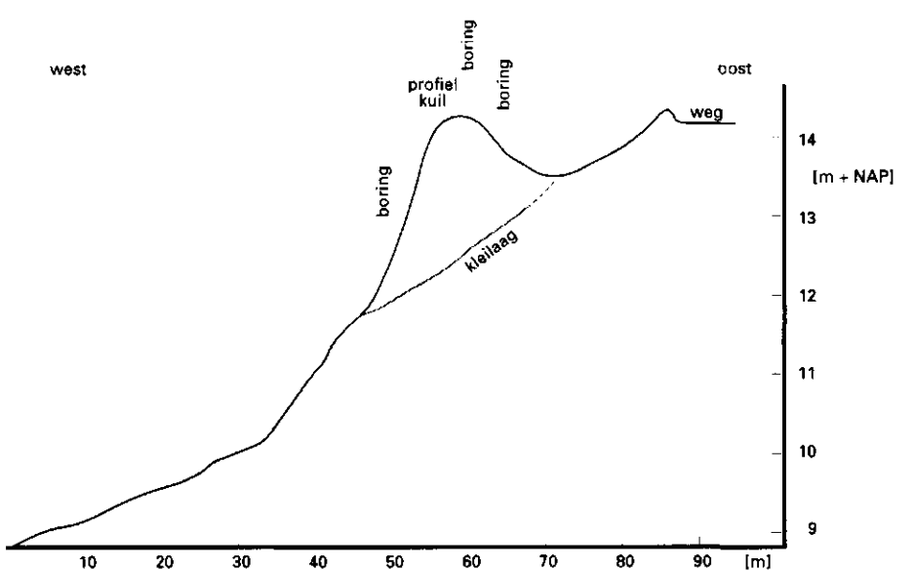
De overgangszone wordt gevormd door het terreingedeelte dat het strand met de oeverwal verbindt. Het steile gedeelte van deze zone is feitelijk de flank van de oeverwal. Deze flank is vrijwel onbegroeid. De steilrand is het gevolg van laterale erosie van de rivier bij hoge waterstanden.
In het gedeelte waar de helling relatief flauw is, dus nabij de hoger gelegen gedeelten van het strand, wordt het fijne, door de wind getransporteerde, zand afgezet in complexen van lengteduintjes. Deze duincomplexen vertonen veel gelijkenis met de duincomplexen die zijn aangetroffen bij Boven Leeuwen. Een verschil is dat de duintjes meer tongvormig zijn en niet echt een rechte vorm (streep) hebben (figuur 18). De complexen bij het Millingerduin zijn bovendien talrijker.
De vegetatie op de duintjes bestaat uit distels. Deze planten staan ook hier op de kop van de duintjes, aan de loefzijde. Duincomplexen zijn regelmatig langs grote delen van de overgangszone aangetroffen. De meest fraaie exemplaren zijn gelegen ten zuiden van krib 871.975.

Duinvorming in de oeverwalzone

De oeverwalzone is vrijwel geheel begroeid met grassen. De soort is niet vastgesteld. De hoogteverschillen op de oeverwal bedragen meestal niet meer dan enkele decimeters. Deze hoogteverschillen zijn het gevolg van de afzetting van fijn eolisch zand op de oeverwal; op een aantal plaatsen is de vegetatie afwezig en ligt het zand aan het oppervlak.
In het noordelijk gedeelte van de oeverwal is de duinvorming het duidelijkst. Hier ligt het in paragraaf 3.2.2 besproken 'Millinger-duin'. Het betreft een lineair duin waarvan het hoogteverschil vanaf het het strand gezien meer dan 5 m bedraagt (zie pantometer profiel, figuur 19). Vanaf de oeverwal gezien bedraagt het hoogteverschil maximaal 1.5 m. De lengte van het duin is ongeveer 300 m. In het veld is de noordelijke begrenzing van het duin moeilijk aan te geven. Het duin ligt in de lengterichting van het strand. De oriëntatie van het duin is ongeveer 235 ° (ZW), parallel aan de overheersende windrichting. De breedte van het duin bedraagt ongeveer 25 m (figuur 20).



Figuur 18 Complex van tongduintjes



Figuur 19 Pantometer profiel Millingerduin



Figuur 20 Millingerduin

De begroeiing bestaat voornamelijk uit grassen. Op de flank van het duin zijn twee hoog water lijnen, in de vorm van drijfmateriaal, aangetroffen (figuur 21).
De hoogwaterstanden hebben niet tot zichtbare erosie geleid.

In het duin is een profielkuil gegraven om de sedimentaire structuren te bestuderen (figuur 22). Gelaagdheid ontbreekt nagenoeg als gevolg van de zeer uniforme korrelgrootte van het zand. Deze uniformiteit bevestigt dat het hier om een rivierduin gaat. Het ontbreken van sedimentaire structuren als gevolg van de zeer uniforme korrelgrootte is ook bekend van Laat-glaciale rivierduinen (Bennema & Pons 1952).



Figuur 21 De flank van het duin met twee hoogwaterlijnen

Op 205 cm diepte is in de profielkuil een kleilaag aangetroffen. Het verloop van deze kleilaag is met behulp van 3 boringen vastgesteld. De kleilaag (de donkere laag iets boven de bodem van de kuil in figuur 22) is in feite het 'oude' oppervlak dat op grond van luchtfoto's is gedateerd (zie 3.2.2). De kleilaag is afgezet in de periode 1969-1974 of was in ieder geval aanwezig op het moment dat de duinvorming begon. Dit betekent dat er in een periode van ongeveer 20 jaar een pakket eolisch zand van circa 2 m dikte is afgezet. De gemiddelde jaarlijkse sedimentatie bedraagt dus ongeveer 10 centimeter.



Figuur 22 Profielkuil in het Millingerduin

4.2.4 Conclusies uit de waarnemingen bij het Millingerduin

In het onderzoeksgebied is de *duinvorming op het strand* beperkt tot de kribben. Met name op de meest noordelijk gelegen kribben (871.505 en 871.775) zijn duinen gevormd, waarbij de kribben vrijwel geheel overstoven raken. Aan de lijzijde van krib 871.505 heeft zich een transversaal duin gevormd.
Op de overgang van het strand naar de 3 m hoger gelegen *oever* zijn complexen van streep- en tongduintjes waargenomen. Deze vertonen een grote gelijkenis met de in Boven-Leeuwen waargenomen duincomplexen.

Op de *oeverwal* ligt een lengteduin met een lengte van 300 m. Dit duin, dat het Millingerduin wordt genoemd, bereikt een hoogte van 5 m, gezien vanaf het strand.

Uit de rivierkaarten en luchtfoto's van het gebied blijkt dat de gemiddelde *accumulatie-snelheid van eolisch zand ongeveer 10 cm per jaar* bedroeg: sinds het begin van de jaren '70 is er ongeveer 2 m zand afgezet.

De onderzoekslokatie ligt juist voorbij een binnenbocht van de rivier. De naar de binnenbocht gerichte helicoïdale beweging zorgt voor een continu zandtransport naar de binnenoever, waar het zand door de wind kan worden opgenomen zodra de waterstand daalt. Tevens is de oriëntatie van het strand vrijwel parallel aan de zuidwestelijke wind (235 °). Hierdoor heeft de overheersende zuidwestenwind een lange strijklengte ('fetch') over het brede strand, waarbij grote hoeveelheden fijn zand kunnen worden getransporteerd.

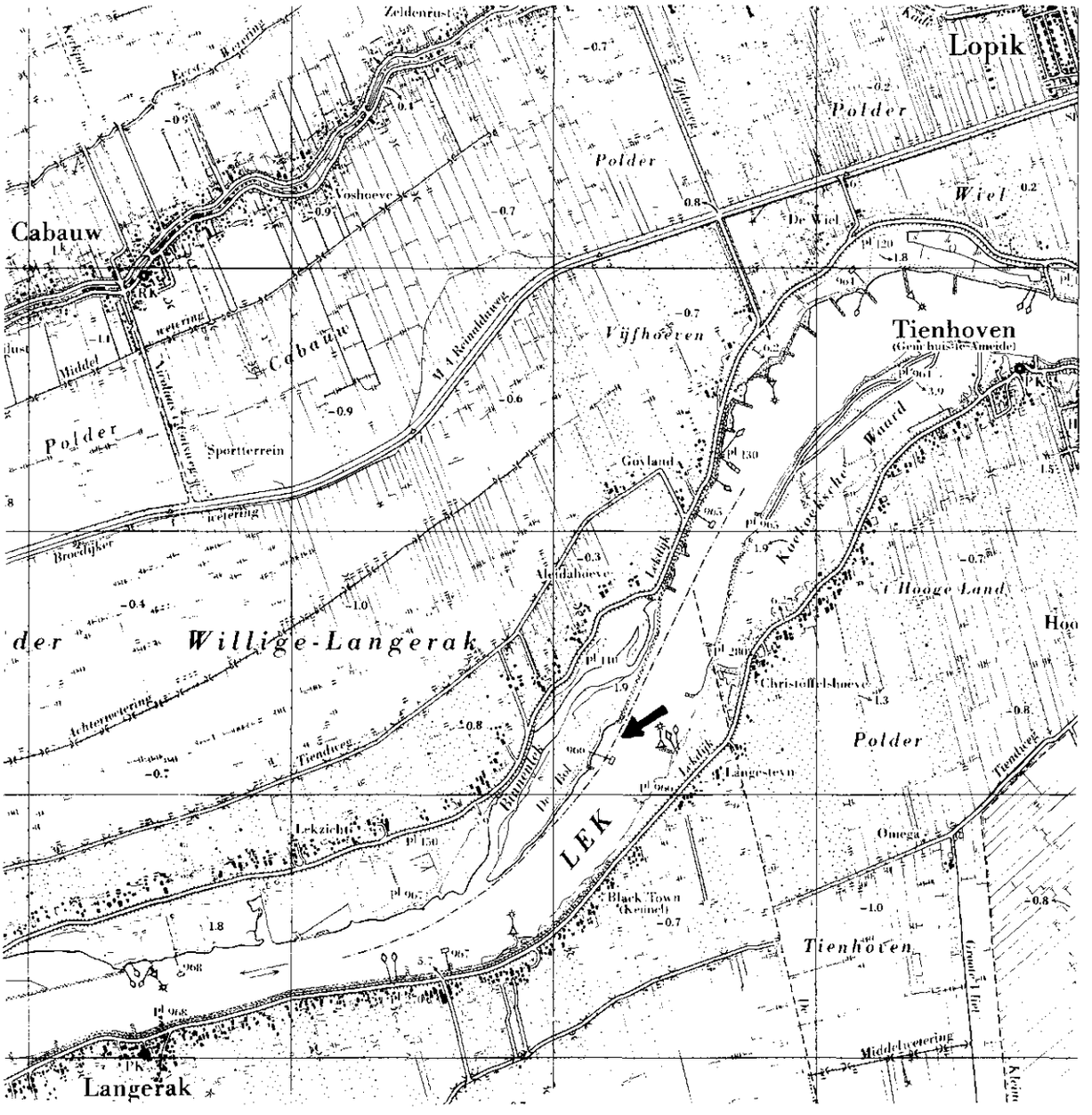
Het duingebied komt onder water te staan bij een lokaal waterpeil van ongeveer 15.0 m + NAP. Dit betekent een debiet gemeten bij Lobith van circa 11.134 $m^3/_s$ (waterpeil bij Lobith: 16.40 m + NAP). De kans dat deze situatie optreedt is ongeveer eens per 50 jaar. In een dergelijke sitatie zal er geen klei sedimenteren op het duin, omdat het duin dichtbij de stroomdraad van de rivier ligt. Hierbij treden blijkbaar zulke hoge stroomsnelheden op, dat geen kleisedimentatie plaats vindt.

4.3 Onderzoekslokatie 'De Bol/Binnenlek'

4.3.1 Beschrijving

De onderzoekslokatie ligt op de noordoever van de rivier de Lek, westelijk van Ameide (figuur 23). Het betreft een gedeelte van de uiterwaard, 'De Bol' genaamd, dat ingesloten is door enerzijds de Lek en anderzijds een nevengeul van de Lek: de Binnenlek. De Binnenlek maakt in het zuidwestelijke deel van het gebied contact met de Lek. In het noordoostelijk deel van het gebied is dit niet het geval. Daar is een ongeveer 500 m lange strekdam aangelegd die de verbinding verbreekt. Het gebied van de afgedamde oude Lekbedding, ligt gemiddeld 1 tot 2 m lager dan 'De Bol'.

De Lek stroomt in dit deel van het rivierengebied in zuidwestelijke richting; de oriëntatie van de oever is circa 210 ° (ZZW). Het onderzoeksgebied is gelegen in een binnenbocht van de Lek.
Opvallend zijn de concave oever tussen de kribben 966.070 en 965.870, en de vergraven, laag gelegen weilanden in het centrale deel van de uiterwaard. In de noordoostelijke punt van 'De Bol' treedt duinvorming op. Het is mogelijk, dat het duin in eerste aanleg een erosierest is van een rivierduin, dat in het Laat-Weichselien is gevormd. Dit is in het kader van dit onderzoek niet nader onderzocht.
Het beheer van het terrein is in handen van Staatsbosbeheer.

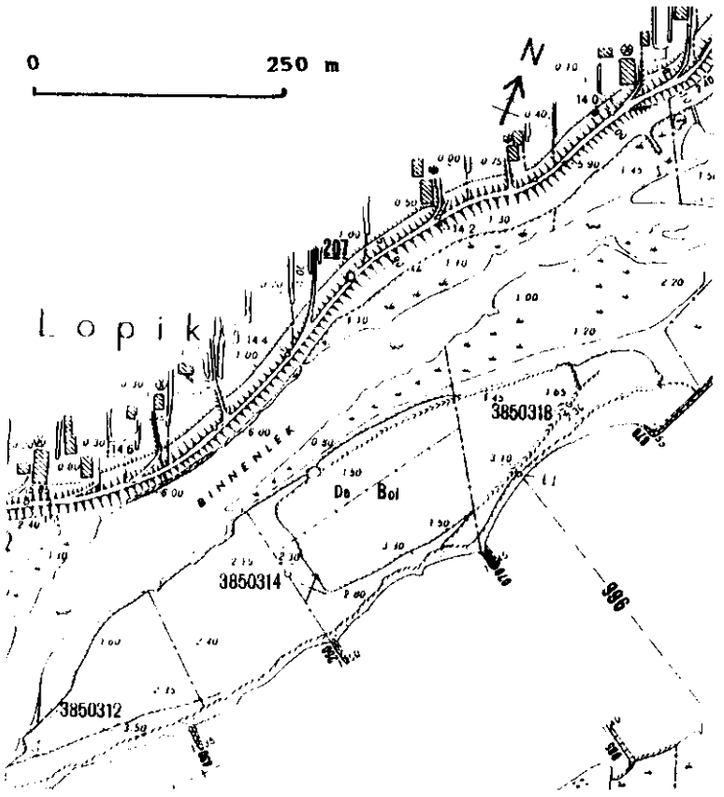


Figuur 23 Ligging onderzoekslokatie De Bol

4.3.2 Rivierkaart en luchtfoto-onderzoek

Op de rivierkaart van het gebied (Blad No. 220, mei 1982) zijn de terreinhoogten weergegeven (figuur 24). Het relatief hoog gelegen 'De Bol' ligt op circa 1.5 tot 3.5 m + NAP. Het gebied van de Binnenlek ligt op circa 0 tot 1.5 m + NAP. De rivierkaart geeft hier een moerassige zone aan. De kade en de kribben liggen op een hoogte van ongeveer 1.5 m + NAP.
Op luchtfoto's zijn (in tegenstelling tot de sitatie langs de Waal) geen of nauwelijks stranden waargenomen die gedurende langere tijd droog liggen.
Op alle foto's is te zien dat de verstuivingen en duinvorming beperkt blijven tot de

noordoostelijke punt van 'De Bol'. Op luchtfoto's van 1955 zijn verstuivingen al zichtbaar en op de luchtfoto's van 1977 zijn hoogteverschillen te zien die wijzen op rivierduinvorming. Er wordt door de wind ook zand afgezet in de laag gelegen zone noordoostelijk van, dus achter het duin. Een dergelijke situatie is te zien op de luchtfoto's van 1981. Dit zand wordt bij hoge waterstanden weer opgeruimd door de rivier.



Figuur 24 Fragment rivierkaart (Blad nr.220, 1982)

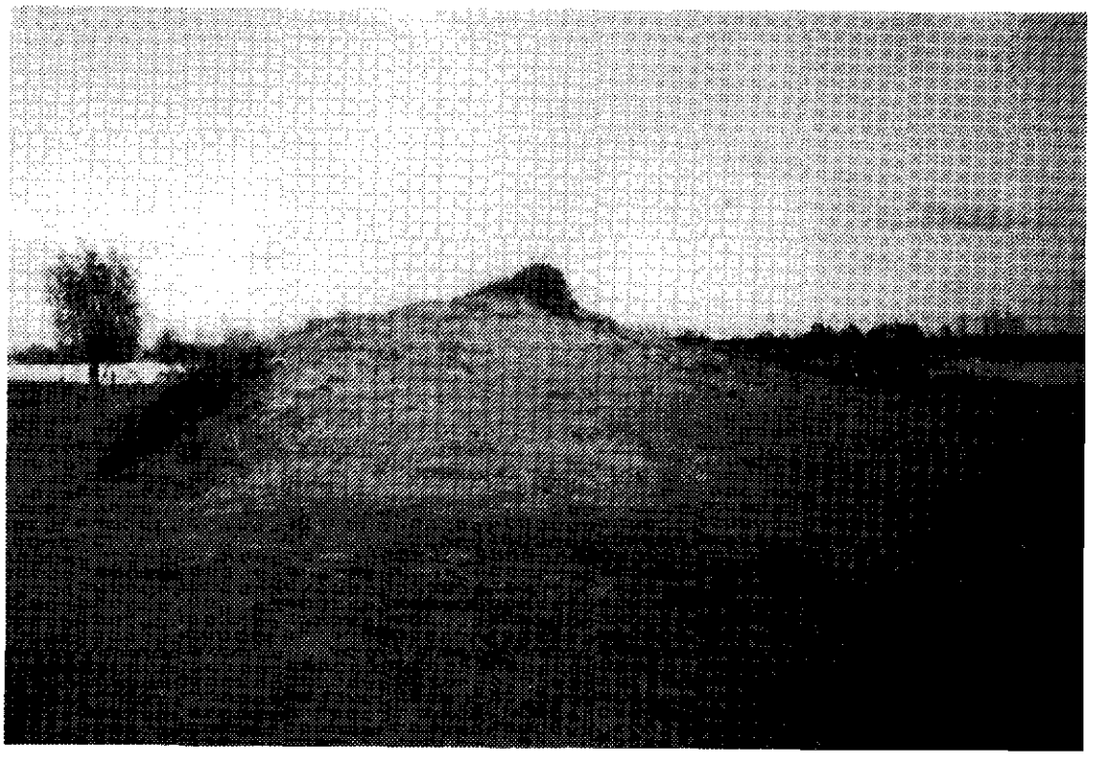
Op geen van de luchtfoto's is waargenomen, dat het duingebied van 'De Bol' onder water staat. De mogelijke mate van erosie van het duin als gevolg van hoge waterstanden is dus niet bekend.
Het duingebied staat geheel onder water bij een lokale waterstand van ongeveer 3.6 m + NAP. Dit is het geval bij een waterstand van circa 16.40 m + NAP bij Lobith. Het debiet bij Lobith bedraagt dan circa 11.134 $m^3/_s$. Deze waarden zijn gelijk aan de waarden die voor het overstromen van het Millingerduin gelden (4.2.4). Het gemiddelde aantal overschrijdingen per 100 jaar bedraagt 2. De erosie door stromend water is daardoor beperkt.

4.3.3 Eolische processen

De aktuele eolische processen beperken zich voornamelijk tot een zone van ongeveer 75 bij 50 m, gelegen in de noord-oostelijke punt van 'De Bol'.
De eolische aktiviteit bestaat uit (1) afzetting van fijn zand op de oever en verstuiving van op de oeverwallen afgezet zand; (2) de vorming van kleinschalige duintjes en complexen van duintjes op de overgang van het strand naar de oeverwal en (3) de vorming van duinen op de relatief hoog gelegen oeverwal.
Het oppervlak van het strand wordt gekenmerkt door fijn tot grof zand en grind. In tegenstelling tot de andere onderzochte lokaties zijn geen goed ontwikkelde grindvloeren aangetroffen. De strandzone is smal; de breedte van het strand bedraagt niet meer dan enkele meters.
Op het relatief hoog gelegen gedeelte van het strand zijn drie lengteduincomplexen waargenomen. Deze complexen zijn zeer verstoord, waarbij de oorspronkelijke, afzonderlijke duintjes slecht herkenbaar zijn. De complexen vertonen grote gelijkenis met die op de twee andere onderzoekslokaties, zowel wat betreft de afmetingen als wat betreft de vegetatie die aanwezig is op de duintjes.

Er zijn twee afzonderlijke duinen waargenomen, waarvan het meest noordoostelijk gelegen duin het best ontwikkeld is. Dit duin is ongeveer 25 m lang, 10 m breed en 2 m hoog. De oriëntatie in de lengterichting is ongeveer 160 °; de lengterichting van het duin ligt dus dwars op de heersende windrichting. Het duin is echter wel gevormd door westenwinden. Dit blijkt uit het feit dat de noordoostelijke zijde van het duin (lijzijde) steiler is dan de zuidwestelijke zijde (loefzijde) (figuur 25). Aan de zuidwestelijke zijde lijkt een soort stuifkuil aanwezig te zijn. De lijzijde is in tegenstelling tot de loefzijde begroeid. De begroeiing bestaat voornamelijk uit grassen. Het duin is vrijwel recht; alleen het noordwestelijke uiteinde van het duin buigt iets in westelijke richting af, waardoor een zwak parabolische vorm ontstaat. Naar alle waarschijnlijkheid is er sprake van een gedegenereerd (verwaaid of anderszins door erosie aangetast) paraboolduin. Beide duinen bestaan uit homogeen, matig fijn zand (210-300 μm)

Op deze lokatie is geen sedimentologisch onderzoek verricht. Het is dus niet bekend of er kleilaagjes zijn ingesloten in de duinen die kunnen duiden op overstroming of mogelijke erosie van de duinen. Een indicatie van de accumulatie snelheid kan gegeven worden op grond van luchtfoto-onderzoek.
Op luchtfoto's van 1977 is er voor het eerst iets te zien van duinvorming. Het duin is thans circa 2 meter hoog. In ongeveer 15 jaar is er dus netto ongeveer 2 m duinzand afgezet. Dit betekent een *gemiddelde sedimentatiesnelheid van ongeveer 13 cm per jaar.*



Figuur 25 Rivierduin De Bol (zij-aanzicht). De foto is genomen in oostelijke richting.

4.3.4 Conclusies uit de waarnemingen bij 'De Bol'

In het onderzoeksgebied beperkt de duinvorming zich tot de noordoostelijke punt van het relatief hoog gelegen 'De Bol'. Hier ligt een duin waarvan de lengte-as loodrecht staat op de windrichting (160 °, d.w.z. ZZO). Het duin is wel ontstaan onder invloed van een ongeveer westzuidwestelijke windrichting; dit blijkt uit het verschil in helling tussen de ZW-kant en de NO-kant. Het is mogelijk dat het duin in feite een erosierest is van een rivierduin uit het Pleistoceen; dit is echter niet onderzocht.

Verstuivingen in de noordoostelijke punt van het gebied zijn al op luchtfoto's uit 1955 te zien. Gezien de geringe hoogte-verschillen is niet duidelijk of er toen al sprake was van rivierduinen. Op luchtfoto's uit 1977 is er iets van duinvorming te zien.

De omstandigheden voor de vorming van duinen zijn vergelijkbaar met de omstandigheden waaronder het Millingerduin is ontstaan (zie 3.2.4). Het gebied ligt in een binnenbocht van de rivier en parallel aan de overheersende zuidwestelijke windrichting. Echter bij Millingen is er een lengteduin en bij 'De Bol' is er een, in een later stadium gedegenereerd, paraboolduin ontstaan. De oorzaak van dit verschil is op grond van dit onderzoek vast te stellen. Mogelijk is de geringe hoeveelheid sediment bij De Bol de oorzaak voor het verschil in duinvormen. Mogelijk speelt ook de invloed van de mens een rol.
Bij De Bol zijn in elk geval geen brede, regelmatig droogvallende stranden waargenomen.

Dit betekent dat er een relatief geringe hoeveelheid sediment beschikbaar is voor verstuiving. Hieruit blijkt dat dit geen reden is om de vorming van duinen c.q. verstuivingen onmogelijk te maken.
Het duingebied overstroomt wanneer het lokale waterpeil ongeveer 3.60 m + NAP bedraagt. Deze waterstand wordt bereikt bij een debiet bij Lobith van 11134 $m^3/_s$. Uit het onderzoek van luchtfoto's zijn geen situaties waargenomen waarop de duinen onder water staan. Dit is gezien de geringe kans op overstroming van eens per 50 jaar ook niet verwonderlijk. De gevolgen van een eventuele overstroming zijn dan ook niet van de foto's af te leiden.

5 HET EFFECT VAN RIVIERDUINEN OP EXTREME HOOGWATERSTANDEN

Rivierduinen vormen een obstakel in de doorstroming bij hoog-waterafvoeren en leiden dus tot een verhoging van de hoogwaterstand. In dit hoofdstuk wordt nagegaan wat de orde van grootte van deze verandering is in het geval van een rivierduin, zoals dit is aangetroffen bij Kekerdom in de Millingerwaard.
Voor deze indicatieve berekeningen wordt gebruik gemaakt van de bekende vergelijking van Chézy:

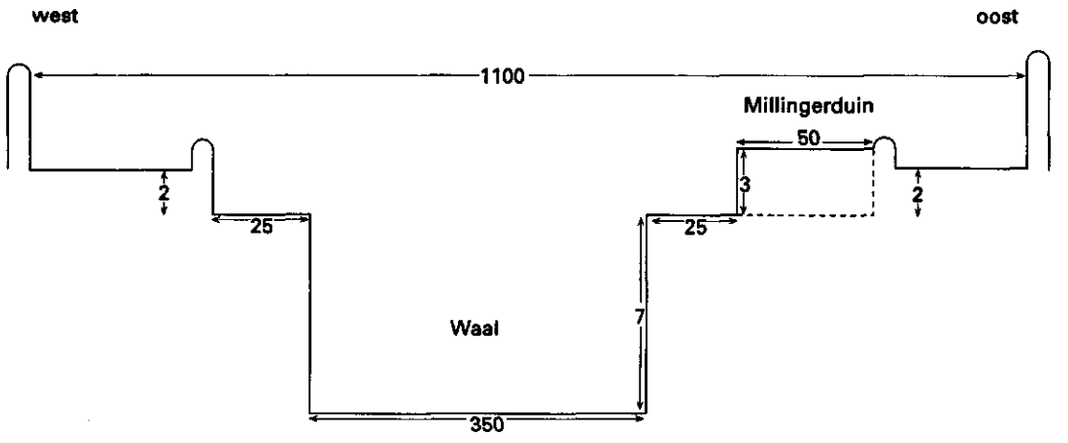
$$u = C\sqrt{Ri}$$

en de vergelijking van White-Colebrook:

$$C = 18\log 12R/k_s$$

waarin:
$R \approx h$ = hydraulische straal (m)
h = waterdiepte (m)
C = Chézy coëfficiënt ($m^{1/2} .s^{-1}$)
i = verhang (-)
u = stroomsnelheid, gemiddeld over de waterdiepte (ms^{-1}), en
k_s = Nikuradse's ruwheidslengte (m)

Deze vergelijkingen zijn toegepast op een sterk geschematiseerde weergave van het dwarsprofiel van de rivier ter plaatse van de Millingerwaard, voor de situaties zonder en met de aanwezigheid van het rivierduin (figuur 26).



Figuur 26 Geschematiseerd dwarsprofiel van de Waal ter hoogte van het Millingerduin

Ter plaatse is de hoogte van de winterdijk 16.3 m + NAP. Voor de berekening voor de situatie zonder rivierduin is daarom gekozen voor een extreme waterstand van 15.0 m + NAP.
Het rivierduin is in de figuur 50 m breed en 3 m hoog; het gebied tussen de winterdijken is 1100 meter breed.

Als ruwheidswaarden zijn aangenomen:
- rivierbodem: k = 0.2 m (Ogink 1984, tabel 3.1)
- uiterwaard tussen de zomerkades: k = 0.2 m (Van Urk 1981, p.36)
- overige uiterwaard: k = 0.4 m (gedeeltelijk beboste uiterwaard)

Voor het verhang is uitgegaan van de waarde $I = 1.21. 10^{-4}$ (Ogink 1984, tabel 4.12)

Voor de situatie zonder rivierduin is de aldus berekende totale rivierafvoer: 10085 $m^3/_s$.
De aanwezigheid van het rivierduin verlaagt de afvoer bij een gelijkblijvende waterstand met 2.14 %. De berekeningen geven aan dat een waterstandsverhoging van ongeveer 1 decimeter nodig is om eerdergenoemd debiet weer te bereiken.
Dus, bij een waterstand van 15.0 m + NAP staat het gebied tot aan de winterdijken, inclusief het rivierduin, onder water en is de waterstandsverhoging als gevolg van de aanwezigheid van het duin circa 1 decimeter.
De kans dat een dergelijke situatie zich voordoet bedraagt ongeveer eens per 50 jaar (zie 4.2.2).

6 CONCLUSIES

Op drie plaatsen in de uiterwaarden van de rivieren Waal en Lek zijn aktuele rivierduinen onderzocht. Er kunnen verschillende typen van eolische fenomenen worden onderscheiden:

- verstuivingen
- vegetatieduintjes
- complexen van streepduintjes
- duinen met een hoogte van enkele meters.

Eolische processen vinden plaats waar zand aan het oppervlak ligt. Dit is het geval op plaatsen waar na een overstroming zand is afgezet, op drooggevallen strandgedeelten, op de flanken van duinen en op plaatsen waar de vegetatie is verwijderd of aangetast. De oorzaken voor dit laatste zijn met name graafaktiviteiten van konijnen, begrazing en menselijk handelen. De korrelgrootte van door de (westen) wind verplaatst zand varieert van 150 tot 420 μm (fijn tot matig grof zand). Op de flanken van de duinen wordt grover zand en fijn grind aangetroffen dat door de wind in saltatie is getransporteerd.

In de relatief laag gelegen strandzone vindt accumulatie van eolisch zand plaats in de nabijheid van kribben en op het strand zelf. Op de kribben zijn duintjes aangetroffen met een hoogte van meer dan een halve meter. Op het strand komen vegetatieduintjes voor. Grindvloeren die het gevolg zijn van deflatie (uitblazing van fijne deeltjes) komen algemeen voor op het strand.
Op de overgang van het strand naar de oeverwal zijn complexen van streep- en tongduintjes waargenomen. Op de oever van de Waal bij Kekerdom (Millingerduin) is een lineair duin ontstaan met een hoogte van ongeveer 5 m. Bij Ameide aan de Lek (lokatie 'De Bol') ligt een duin met een hoogte van ongeveer 2 m. Dit is mogelijk een gedegenereerd paraboolduin van pleistocene ouderdom.

De meest ideale omstandigheden voor de vorming van rivierduinen
zijn (in volgorde van belang):

1. Het gebied moet liggen *in een binnenbocht* van de rivier. De naar de binnenbocht gerichte helicoïdale beweging (spiraalstroming) zorgt voor een continu transport van relatief fijn zand naar de binnenoever, waar het zand door de wind kan worden opgenomen zodra de waterstand daalt. Ook langs relatief rechte trajecten van de rivier, die voorbij een binnenbocht liggen, kunnen duinen voorkomen. Aan de convexe oevers (buitenbochten) zijn geen duinen waargenomen. De oorzaak hiervan ligt in de naar beneden en van de oever afgerichte helicoïdale beweging, waardoor er aan de convexe oever slechts weinig (fijn) zand tussen de kribben terecht komt.
2. Ten ZW van het strand dat als brongebied fungeert moet een *langgerekt, vlak gebied* voorkomen, *zonder obstakels*. Daardoor heeft de *wind een grote strijklengte* ('fetch'). Door deze grote strijklengte neemt de transportkracht van de wind toe, waardoor fijn zand van het strand kan worden opgenomen en landwaarts kan worden afgezet. Een voorbeeld hiervan is Boven-Leeuwen waar ten zuiden van de zandplaat een plas gelegen is, terwijl aan de noordkant van het duingebied de rivier ligt. Bij een zuidwesten wind bedraagt de strijklengte hier circa 1000 m.

3. Wanneer de *stranden bovendien een ZW-NO oriëntatie* hebben en regelmatig droog vallen zijn de omstandigheden voor duinvorming nog gunstiger. De stranden fungeren als een brongebied van zand, waarbij de lange 'fetch' (bij een overheersende zuidwesten wind) zorgt voor transport en afzetting van dit fijne zand. Onder deze omstandigheden kunnen grote rivierduinen zoals het Millingerduin ontstaan. In de praktijk betekent dit, dat duinen vooral gevormd worden op plaatsen waar de *rivier in (zuid)westelijke richting stroomt*. Duinen worden vaak al op enkele meters afstand van het brongebied gevormd; de afstand tussen brongebied (strand) en accumulatiegebied (duinen) lijkt dus geen grote rol te spelen bij de vorming van duinen.
4. De *preservatie kans* van duinen is *groot* wanneer de duinen zijn afgezet op *relatief hoog gelegen oevergedeelten* van de rivier. De kans op overstroming en mogelijke erosie als gevolg van hoge waterstanden is hier kleiner dan in de strandzone.

De bovengenoemde voorwaarden voor de vorming van rivierduinen kunnen als richtlijn dienen bij natuurontwikkelingsprojecten.

Op basis van het onderzoek zijn enkele kwantitatieve uitspraken te doen over de snelheid waarmee rivierduinen gevormd worden. De snelheid waarmee kleine eolische fenomenen in de strandzone ontstaan, lijkt groot: enkele dagen tot enkele maanden. Eolisch transport vindt vrij snel na het droog vallen van strandgedeelten plaats, maar vooral de hefst lijkt gunstig te zijn voor de vorming van duintjes. De kans op erosie, waardoor de duintjes weer worden opgeruimd, is echter groot.
Het luchtfoto- en veldonderzoek wijst uit dat de vorming van rivierduinen op de relatief hoog gelegen oeverwallen een vrij continu proces is. Bij het Millingerduin en bij 'De Bol' is op basis hiervan een *gemiddelde sedimentatiesnelheid van 10-13 cm per jaar* afgeleid. Het is in principe mogelijk, dat bij hoge waterstanden erosie van de duinen optreedt, waardoor de werkelijke sedimentatie snelheden hoger zouden zijn dan uit dit onderzoek blijkt.

Ook wat betreft de veranderingen van de oppervlakteruwheid (c.q. stromingsweerstand) zijn enkele kwantitatieve uitspraken te doen. Er is een berekening uitgevoerd om een indicatie te krijgen van het effect van rivierduinen op extreme hoogwaterstanden. Bij een lokale waterstand van 15.0 m + NAP komt het Millingerduin onder water te staan. De verhoging van de waterstand als gevolg van de aanwezigheid van dit duin bedraagt ongeveer 1 decimeter. De *hinder die duinen zouden kunnen opleveren voor de afvoer van het rivierwater lijkt dus beperkt* te zijn. Gezien de hoge ligging en de stabiliteit van de duinen als gevolg van de vegetatie is een regelmatig optredende erosie niet waarschijnlijk. Bij extreem hoge waterstanden (bijvoorbeeld 15.0 m + NAP bij het Millingerduin en 3.6 m + NAP bij 'De Bol') komen deze duinen onder water te staan. Hierbij wordt op de duinen geen klei afgezet als gevolg van de hoge stroomsnelheden die optreden bij overstromingen. De kans op een dergelijke waterstand is ongeveer eens per 50 jaar, waardoor de fluviatiele erosie van de duinen beperkt blijft.

7 TOEKOMSTIG ONDERZOEK

Om gedetailleerde kwantitatieve uitspraken te doen over de snelheid waarmee rivierduinen ontstaan is monitoring van de eolische processsen nodig. Hierbij moet vooral gekeken worden naar de ontwikkeling van de duinen na hoge waterstanden, omdat dan waarschijnlijk het meeste zand voor duinvorming ter beschikking is, en dan de mate van erosie van de duinen kan worden vastgesteld.

Voor de monitoring van kleischalige rivierduinvorming is de zandplaat bij Boven-Leeuwen zeer geschikt. Het gebied ligt vrij afgelegen. Het oostelijk deel van de plaat, waarop kleine duinen voorkomen, komt al bij een lokale waterstand van 7.8 m + NAP (debiet bij Lobith: 4397 $m^3/_s$) onder water te staan. Voor monitoring van rivierduinvorming op grotere schaal is het Millingerduin geschikt.

Een ander aspekt van toekomstig onderzoek betreft de vraag waar het zand van de (krib)duinen heen gaat dat bij erosie door de rivier wordt meegenomen. Blijft dit achter de kribben beschikbaar voor eolische processen zodra de waterstand daalt of wordt dit meegenomen door de rivier? Deze vraag kan alleen beantwoord worden in het kader van een grootschalig onderzoek naar de sedimenthuishouding van kribvakken.

Onbekend is in welke mate de waterstaatkundige werken zoals kribben en strekdammen van invloed zijn op de vorming van rivierduinen. De kribben fungeren in principe als 'sedimentvanger'; sediment dat bij een verlaging van de waterstand beschikbaar komt voor eolische processen. Kwantitatieve uitspraken over het verschil tussen de situaties meét en zoònder deze waterstaatkundige werken zijn pas na verder onderzoek te doen.

Onduidelijk is nog hoe groot de duinen kunnen worden (lengte, hoogte), en in hoeverre erosieresten van pleistocene rivierduinen een rol spelen bij de vorming van actuele rivierduinen. Deze vraag kon in het kader van dit onderzoek niet worden beantwoord.

GERAADPLEEGDE LITERATUUR EN KAARTEN

Literatuur

Allen, J.R.L. (1984), Sedimentary structures, their characterand physical basis. Developments in sedimentology, Elsevier: Amsterdam, 663 pp.

Bennema, & L.J.Pons (1952), Donken, fluviatiel Laagterras en Eemzee-afzettingen in het westelijk gebied van de groterivieren. Boor en Spade 5, pp.126-137.

Berendsen, H.J.A. red.(1986), Het landschap van deBommelerwaard. Nederlandse Geografische Studies 10, 184 pp.

De Bruin, D., D.Hamhuis, L.van Nieuwenhuijze, W.Overmars,D.Sijmons & F.Vera (1987), Ooievaar; de toekomst van het rivierengebied. Stichting Gelderse Milieufederatie, Arnhem,128 pp.

Hoek, W.Z. & E.A. Schorn (1990), De geologische ontwikkeling van het Land van Maas en Waal vanaf het Pleistoceen tot heden. Rapport Geopro 1990.15. Geografisch Instituut R.U. Utrecht, 68 pp.

Klijn, J.A. (1981), Nederlandse kustduinen - Geomorfologie en bodems. Dissertatie Wageningen. 188 pp.

Koster, E.A. (1982), Terminology and lithostratigraphic division of (surficial) sandy eolian deposits in The Netherlands: an evaluation. Geologie en Mijnbouw 61: pp. 121-129.

Litjens, G. (1992), Wereld Natuur Fonds bouwt aan rivierenparkin Gelderse Poort. In: Panda (WWF) nr.10, pp. 12-14.

McKee, E.D. ,ed., (1979), A study of global sand seas. Geological Survey Professional Paper 1052, Washington, 429 pp.

Ogink, H.J.M. (1984), Hydraulische ruwheid van de Bovenrijn en Waal. Rapport R 2017, Waterloopkundig Laboratorium Delft.

Pons, L.J. (1957), De geologie, de bodemvorming en de waterstaatkundige ontwikkeling van het Land van Maas en Waal en een gedeelte van het Rijk van Nijmegen. Dissertatie, Bodemkundige Studies 3, Wageningen. 155 pp.

Provincie Utrecht (1988), De Utrechtse uiterwaarden van Nederrijn en Lek. Provinciale Waterstaat van Utrecht, Afdeling Ecologie, 60 pp.

Pye, K. & H. Tsoar (1990) ,Aeolian sand and sand dunes. Unwin Hyman: London, 396 pp.

RIZA (1992), Jaarboek Monitoring Rijkswateren 1991 (presentatie van fysische, chemische en biologische kenmerken). Den Haag, 132 pp.

Urk, A. van (1981) Hydraulische ruwheid van grasland in de uiterwaarden. Nota WWZO 81.21, Rijkswaterstaat Directie Waterhuishouding en Waterbeweging.

Verbraeck, A., H. Kok & M. van Meerkerk (1974), The genesis and age of the riverdunes (donken) in the Alblasserwaard. Mededelingen van de Rijks Geologische Dienst, nieuwe serie 25 (1), pp.1-8.

Vink, T. (1926), De lekstreek, een aardrijkskundige verkenning van een bewoond deltagebied. Dissertatie Amsterdam.

Kaarten

Grote Provincie Atlas (1:25.000), deel Gelderland/ Betuwe. Wolters-Noordhoff Groningen, 1990.

Grote Topografische Atlas van Nederland (1:50.000), deel 1. West-Nederland. Wolters-Noordhoff Groningen, 1987.

Grote Topografische Atlas van Nederland (1:50.000), deel 3. Oost-Nederland. Wolters-Noordhoff Gronongen, 1987.

Historische Atlas Gelderland (1:25.000), blad 534 Gendt. (1908), 1989.

Rivierkaart gedeelte Waal, Blad nr.106 (1:5.000). Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst, Delft, maart 1991.

Rivierkaart gedeelte Waal, Blad nr.106 (1:5.000). Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst, Delft, januari 1976.

Rivierkaart gedeelte Waal, Blad nr.114 (1:5.000). Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst, Delft, oktober 1982.

Rivierkaart gedeelte Lek, Blad nr.220 (1:5.000). Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst, Delft, mei 1982.

PUBLICATIES EN RAPPORTEN VAN HET PROJECT "ECOLOGISCH HERSTEL RIJN EN MAAS"

1 - 1988 Ecological rehabilitation of the river Rhine: a proposal for a Netherlands research programme. (RIZA, RIVM, RIVO-DLO)

2 - 1988 Fish and their environment in large european river ecosystems; the Dutch part of the river Rhine. W.G. Cazemier, Science de l'Eau 7, 95-114 (1988). (RIVO-DLO)

3 - 1988 High rates of denitrification in a storage reservoir fed with water of the river Rhine. W. Admiraal and J.C. van der Vlugt, Arch. Hydrobiol. 113, 593-605 (1988). (RIVM)

4 - 1988 Impact of biological activity on detritus transported in the lower river Rhine: an excercise in ecosystem analysis. W. Admiraal en B. van Zanten, Freshwater Biology 20, 215-225 (1988). (RIVM)

5 - 1988 Continue signalering van toxische stoffen in het aquatische milieu met behulp van biologische bewakingssystemen - literatuurstudie. J. Botterweg, 31 pp., Den Haag (1988). (RIZA)

6 - 1988 Environmental stress in five aquatic ecosystems in the floodplain of the river Rhine. W. Admiraal, E.D. de Ruyter van Steveninck en H.A.M. de Kruijf. The Science of the Total Environment 78, 59-75 (1988). (RIVM)

7 - 1989 Bioaccumulation in yellow eel (*Anguilla anguilla*) and perch (*Perca fluviatilis*) from the Dutch branches of the Rhine- mercury, organochlorine compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons. F. van der Valk, H. Pieters en R.C.C. Wegman. (RIVO-DLO)

8 - 1989 Beoordeling en evaluatie van biologische alarmeringssystemen op het meetstation Lobith. Bio-alarm projekt fase I. J. Botterweg. (RIZA)

9 - 1989 Ecologisch herstel Rijn - beleid en onderzoek. Symposium- verslag 26 mei. E.C.L. Marteijn (red.). (RIZA)

10 - 1989 Summary of results and conclusions from the first phase (1988-1989) of the Netherlands research programme "Ecological Rehabilitation Rhine". J.A.W. de Wit, W. Admiraal, C. van der Guchte and W.G. Cazemier. (RIZA)

11 - 1989 Literature survey into the possibility of restocking the River Rhine and its tributaries with Atlantic salmon (*Salmo salar*). S.J. de Groot. (RIVO-DLO)

12 - 1989 Literature survey into the possibility of restocking the River Rhine and its tributaries with sea trout (*Salmo trutta trutta*). S.J. de Groot. (RIVO-DLO)

13 - 1989 Water- en oeverplanten in het zomerbed van de Nederlandse grote rivieren in 1988. Hun voorkomen en relatie met algemene fysische en chemische parameters. M.M.J. Maenen. (RIZA)

14 - 1989 Ecologisch herstel van de Rijnmakrofauna. B. van Dessel. (RIZA)

15 - 1989 Comparison of nitrification rates in three branches of the lower river Rhine. Biogeochemistry 8, 135-151. W. Admiraal and Y.J.H. Botermans. (RIVM)

16 - 1990 Vegetatie in de uiterwaarden: de invloed van hydrologie, beheer en substraat. M.C.C. de Graaf, H.M. van de Steeg, L.A.C.J. Voesenek en C.W.P.M. Blom. (RIZA)

17 - 1990 Chemicals affecting the spawning migration of anadromous fish by causing avoidance responses or orientational disability, with special reference to concentrations in the River Rhine. T.C. van Brummelen. (RIZA)

18 - 1990 Biomonitoring met de larven van Chironomiden en kokerjuffers. F. Heinis en T. Krommentuijn. (RIZA)

19 - 1990 Changes in plankton communities in regulated reaches of the lower River Rhine. E.D. de Ruyter van Steveninck, W. Admiraal and B. van Zanten. (RIVM)

20 - 1990 Fixation of dissolved silicate and sedimentation of biogenic silicate in the lower River Rhine during diatom blooms. W. Admiraal, P. Breugem, D.M.L.H.A. Jacobs and E.D. de Ruyter van Steveninck. (RIVM)

21 - 1990 On the potential of basing an ecological typology of aquatic sediments on the nematode fauna: an example from the River Rhine. T. Bongers and J. van de Haar. (RIVM)

22 - 1990 Monitoring the toxicity of organic compounds dissolved in Rhine water. D. de Zwart and A.J. Folkerts. (RIVM)

23 - 1990 The kinetics of the degradation of chloroform and benzene in anaerobic sediment from the River Rhine. P. van Beelen and F. van Keulen. (RIVM)

24 - 1990 Phases in the development of riverine plankton: examples from the rivers Rhine and Meuse. E.D. de Ruijter van Steveninck, B. van Zanten and W. Admiraal. (RIVM)

25 - 1990 Typologie en waardering van stagnante wateren langs de grote rivieren in Nederland, op grond van waterplanten, plankton en macrofauna, in relatie tot fysisch-chemische parameters. F.W.B. van den Brink. (RIZA)

26 - 1990 Ecologische ontwikkelingsrichting grote rivieren. Aanzet tot kwantitatieve uitwerking van ecologische doelstellingen voor de grote rivieren in Nederland. J.A.M. Vanhemelrijk en A.L.M. van Broekhoven. (RIZA)

27 - 1991 Monitoring macroinvertebrates in the River Rhine. Results of a study made in 1988 in the Dutch part. A. bij de Vaate and M. Greijdanus-Klaas. (RIZA)

28 - 1991 Voedselecologie van vissen in de Nederlandse Rijntakken. P.J.M. Bergers. (RIZA)

29 - 1991 Natuurontwikkeling in uiterwaarden. Perspectieven voor het vergroten van rivierdynamiek en het ontwikkelen van ooibossen in de uiterwaarden van de Rijn. H. Duel. (RIZA)

30 - 1991 Phytoplankton in the river Rhine, 1989. Comparison between Lobith and Maassluis. R. Bijkerk. (RIVM)

31 - 1991 Inventarisatie van en verbeteringsplanning voor de fysieke belemmeringen voor de migratie van vis op de grote Nederlandse rivieren. A.W. de Haas. (RIZA)

32 - 1991 Visintrekmogelijkheden in de Rijn in Nederland. J.A.M. Vanhemelrijk. (RIZA)

33 - 1991 Nevengeulen - onderzoek naar de mogelijkheden, de consequenties en de te stellen eisen bij de aanleg van nevengeulen in de uiterwaarden. A.W. de Haas. (RIZA)

34 - 1991 The Asiatic clam, *Corbicula fluminea* (Müller, 1774), a new immigrant in the River Rhine. A. bij de Vaate (ed.). (RIZA)

35 - 1991 The effects of micropollutants on components of the Rhine ecosystem. Ed. J.A.W. de Wit *et al.*. (RIZA)

36 - 1991 Aquatische makro-evertebraten in de Duursche Waarden 1989- 1991. A. Klink, E. Marteijn, J. Mulder en B. bij de Vaate. (RIZA)

37 - 1991 Sensitivity of bacterioplankton in the Rhine river to various toxicants measured by thymidine incorporation and activity of exoenzymes. D.M.J. Tubbing and W. Admiraal. (RIVM)

38 - 1992 Schatting van risico's van microverontreinigingen in de Rijn voor groepen organismen van de rivier-AMOEBE. J.W. Dogger, F. Balk, L.L. Bijlmakers en A.J. Hendriks (RIZA)

39 - 1992 Macrofauna in de diepe waterbodem van het noordelijk Deltabekken. H.C. Dudok van Heel, H. Smit en S.M. Wiersma. (RIZA)

40 - 1992 Ecological rehabilitation of the Rivers Rhine and Meuse: Netherlands research programme(1992-1995). Anonymous. (RIZA, RIVM, IBN-DLO, RIVO-DLO, SC-DLO).

41 - 1992 Projekt Ecologisch Herstel Maas. J. Botterweg en W. Silva (RIZA).

42 - 1992 Groei en overleving van Vlottende waterranonkel (Ranunculus Fluitans Lam.) in de Maas: transplantatie en semi-veldexperimenten. M. de la Haye (RIZA).

43 - 1992 Microverontreiniging in Blankvoorns en schelpdieren uit de Maas en Maasplassen, 1991. B. van Hattem en S. Dirksen (RIZA).

44 - 1992 Vegetaties en het oevermilieu van de Grensmaas: I Veldopname en verwerking van gegevens. D. de Boer (RIZA).

45 - 1992 Waterplanten en de Maasplassen: inventarisatie 1990 - 1991. B. Paffen, P. van Avesaath en W. Overmars (RIZA).

46 - 1992 De visstand in de Grensmaas. T. Vriese (RIZA).

47 - 1992 Methode voor de schatting van milieurisico's in de Gelderse uiterwaarden (RIZA).

48 - 1993 Macro-evertebraten op de bodem van het Hollandsch Diep - Haringvliet. A. Klink en H.C. Dudok van Heel. (RIZA)

49 - 1995 De morfodynamiek van rivierduinen langs de Waal en de Lek. R.F.B. Isarin, H.J.A. Berendsenen en M.M. Schoor. (RIZA)

50 - 1993 Ecologisch herstel van de Rijn, van onderzoek naar beleid (1988-1992). Ecological rehabilitation of the River Rhine, The Netherlands summary report (1988-1992). G.M. van Dijk en E.C.L. Marteijn (eds.). (RIZA, RIVM, IBN-DLO, RIVO-DLO, SC-DLO)

51 - 1993 Documentation of zooplankton species in the Lower River Rhine. B. van Zanten and P. Leentvaar. (RIVM)

52 - 1993 Monitoring macroinvertebrates in the River Rhine. Results of a study executed in the Dutch part in 1990. A. bij de Vaate and M. Greijdanus-Klaas. (RIZA)

53 - 1993 Worden groei, overleving en kieming van Vlottende Waterranonkel (*Ranunculus fluitans Lamarck*) in Maaswater beïnvloed door waterstandsfluctuaties? Semi-veldexperimenten. M.A.A. de la Haye. (RIZA)

54 - 1993 Paai- en opgroeigebieden voor vis in de Maas. S. Semmekrot en F.T. Vriese. (RIZA)

55A - 1993 Biologische bewaking van Rijn en Maas: ervaringen met vissen en watervlooien (1988-1992). D.A. Stouten, F. Noppert, F. Balk en A.J. Hendriks (RIZA)

55B - 1993 Reports of the project "Ecological Rehabilitation of the river Meuse". Zware metalen en organische microverontreinigingen in bodem, regenwormen en dassen in het winterbed van de Maas bij Grave. M.J.J. Kerkhofs, W. Silva en W. Ma (RIZA)

56 - 1994 Nevengeulen: verkenning naar de ecologische betekenis van inrichtingsvarianten. H. Duel, R. During en B. Specken. (RIZA)

57 - 1994 Biennial report (1992-1993) "Ecological rehabiltation of the rivers Rhine and Meuse. G.M. van Dijk (ed.) (RIZA, RIVM, IBN-DLO, RIVO-DLO, SC-DLO)

58 - 1995 Rhine-Econet. Ecological networks in river rehabilitation scenarios: a case study for the Lower Rhine. R. Reijnen, W.B. Harms, R.P.B. Foppen, R. de Visser en H.P. Wolfert (RIZA).

59 - 1994 Vismigratie door de bekkenvistrappen Lith en Belfeld in de Maas. R.L.P. Lanters (RIVO-DLO)

60 - 1994 Evaluatie van de Duursche Waarden 1989 t/m 1993. M.J.R. Cals (red.). (RIZA)

61 - 1994 Het Rivier-Ecotopen-Stelsel. Een indeling van ecologisch relevante ruimtelijke eenheden ten behoeve van ontwerp- en beleidsstudies in het buitendijkse rivierengebied. J.G.M. Rademakers en H.P. Wolfert. (RIZA)

62 - 1994 Reports of the project "Ecological Rehabilitation of the River Meuse". A. bij de Vaate en M. Greydanus-Klaas (RIZA)

63A- 1994 Ontwikkelingsmethoden voor zachthoutooibos in het zomerbed van de Grensmaas. N.Geilen (RIZA)

63B- 1994 Ecotoxicologisch onderzoek naar het sediment in de Maas over het traject Annevoie-Rouliillon (F) tot Keizersveer (NL). R.A.E. Knoben, P.J.M. Duteweert (RIVM)

Aanvragen/requests:

(RIZA): Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment, P.O. Box 17, 8200 AA Lelystad, The Netherlands.

(RIVM): National Institute for Public Health and Environmental Protection, P.O. Box 1, 3720 BA Bilthoven, The Netherlands.

(RIVO-DLO): Netherlands Institute for Fishery Investigations, P.O. Box 68, 1970 AB IJmuiden, The Netherlands.

(IBN-DLO): Institute for Forestry and Nature Research, P.O. Box 9201, 6800 HB Arnhem, The Netherlands.

(SC-DLO): The Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research, P.O. Box 125, 6700 AC Wageningen, The Netherlands.