

Bodemtransport naast vaste laag St. Andries

*Haalbaarheid Dune Tracking in
bochtsituaties.*

Drs A.W.E. Wilbers

juli 2000
Vakgroep Fysische Geografie
Universiteit Utrecht
Heidelberglaan 2
3584 CS Utrecht

C 23128



Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	2
1. Inleiding	3
2. Onderzoeksgebied	4
3. DT2D berekeningen	6
4. Berekende bodemtransporten	7
5. Conclusie	13
6. Aanbevelingen	14
Literatuur	15

1 Inleiding

In 1999 werd een project afgerond dat de bevaarbare breedte van de Waal in een meanderbocht bij St. Andries moest vergroten. Het belangrijkste onderdeel van dit project was de aanleg van een zogenaamde "vaste laag". Dit is een aangebrachte laag stenen (diameter ± 60 cm) waarmee de bodem van de buitenbocht werd vastgelegd op een bepaalde diepte. Bij het aanbrengen van de "vaste laag" is de grotere waterdiepte in de buitenbocht sterk gereduceerd. Het doel van deze ingreep is een verlegging van de stroom naar de binnenbocht te bewerkstelligen, waardoor daar de waterdiepte groter wordt en daardoor de vaarbreedte van de rivier bij lage waterstanden groter wordt.

Na de aanleg van de "vaste laag" wilde Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland inzicht krijgen in de invloed van de "vaste laag" op de verdeling van het bodemtransport over de dwarsdoorsnede. Voor dit doel werd de bocht van St. Andries, na de aanleg van de vaste laag, in het najaar van 1999 drie maal met een multibeam peiling bemeten. De omstandigheden van deze metingen zijn aangegeven in tabel 1.

Tabel 1: Overzicht van de hydraulische omstandigheden tijdens de metingen

Datum	26 oktober	27 oktober	1 november
Afvoer (m ³ /dag)	1098	1126	1237
Waterstand (m t.o.v. NAP)	3.53	3.62	3.89

In maart 2000 werd door genoemde Dienst, via het RIZA, opdracht verleend aan de vakgroep Fysische Geografie van de Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen der Universiteit Utrecht om met behulp van deze gegevens en het software programma Dune Tracking in 2 Dimensies (DT2D) het bodemtransport vast te stellen. Bij Dune Tracking wordt aangenomen dat het met verplaatsende duinen gemoeide transport overeenkomt met het bodemtransport. Uit eerdere analyses is gebleken dat deze aanname goed voldoet (Wilbers, 1997; Wilbers, 1998a&b; Wilbers, 1999).

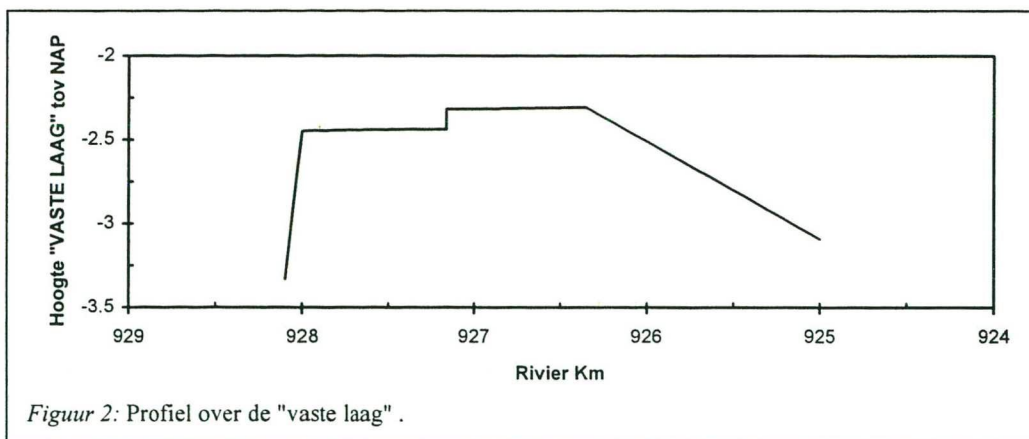
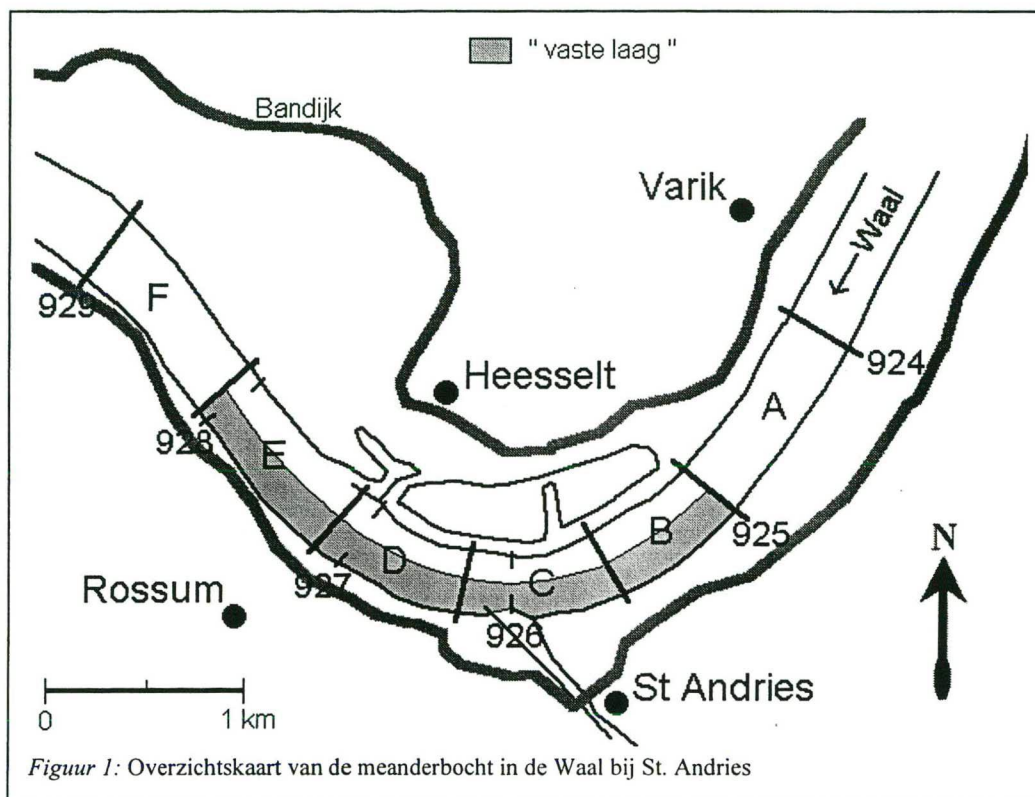
In voorliggend rapport wordt verslag gedaan van de analyse die met het programma DT2D is uitgevoerd. Na een korte omschrijving van het onderzoeksgebied, de daarin aangebrachte vaste bodemlaag en flankerende overgangsgebieden naar de niet vastgelegde rivierbodem, zal ingegaan worden op de uitgevoerde berekeningen met DT2D en de daaruit afgeleide bodemtransporten. De resultaten gaven aanleiding tot een reflectie op de volgende vraag:

Aan welke eisen moet een meetcampagne voldoen om Dune Tracking in deze situatie optimaal toe te passen?

Het antwoord op deze vraag heeft geleid tot een aantal aanbevelingen, die aan het rapport zijn toegevoegd.

2 Onderzoeksgebied

Het gebied waar de "vaste laag" werd aangelegd en waarvoor met Dune Tracking moet worden berekend wat het bodemtransport was, ligt tussen km 924 en 929 in de Waal bij St. Andries. Het bestaat uit een, voor de Waal, scherpe meanderbocht met de apex bij Km 926.35. In figuur 1 wordt de ligging van de "vaste laag" in de buitenbocht getoond. In figuur 2 wordt een lengteprofiel getoond over de vaste laag. Daaruit blijkt dat de "vaste laag" tot aan de apex van de bocht oploopt en daarna vlak is. Vanaf Km 927.165 ligt de "vaste laag" 12 cm lager.



Het programma DT2D is met succes toegepast in een aantal trajecten van de Rijntakken (Wilbers, 1997; Wilbers, 1998a&b; Wilbers & Kleinhans, 1999). Dit waren allemaal min of meer rechte stukken rivier. Het programma kent geen mogelijkheid om in rivierbochten te rekenen. Om dit in het geval van de bocht bij Sint Andries toch mogelijk te maken, is het gebied in secties verdeeld die als "recht" beschouwd kunnen worden (zie tabel 2). De verdeling sluit aan op de begrenzing van de vaste laag (zie ook figuur 1).

Tabel 2: Beschrijving van de gebruikte secties

Sectie	Km – Km	Omschrijving
A	924 – 925	Stroomopwaarts van de "vaste laag".
B	925 – 925.675	Oplopende deel van de "vaste laag".
C	925.675 – 926.35	Oplopende deel van de "vaste laag".
D	926.35 – 927.165	Vlakke deel van de "vaste laag".
E	927.165 – 928.1	Verlaagde, vlakke deel van de "vaste laag".
F	928.1 – 929	Ontgrondingsgat stroomafwaarts van de "vaste laag".

Sectie A ligt stroomopwaarts van de "vaste laag" en bevatte over de hele breedte van de geul (tussen de kribkoppen) beddingvormen. Deze beddingvormen bestonden uit grote duinen met een lengte van $\pm 70\text{m}$ en een hoogte van $\pm 0.95\text{m}$. Op deze grote duinen kwamen, vooral op de loefzijde, veelvuldig ook kleine duinen voor, met een lengte van enkele meters en een hoogte van enkele decimeters. Secties B t/m E liggen over de "vaste laag". Op de "vaste laag" kwamen geen beddingvormen voor, behalve in het begin van sectie B waar nog enig (naar de binnenbocht gericht) bodemtransport was over de "vaste laag". De beddingvormen naast de "vaste laag" bestonden in deze secties uit grote duinen met een lengte van $45 - 75\text{m}$ en een hoogte van $0.75 - 1.00\text{m}$. Op deze grote duinen kwamen evenals in sectie A kleinere duinen voor, zowel op de loefzijde als op de lijzijde. Ook deze kleine duinen waren enkele meters lang en enkele decimeters hoog. Sectie F ligt stroomafwaarts van de "vaste laag". Deze sectie ligt over een gedeelte van het ontgrondingsgat dat achter de "vaste laag" is ontstaan. In het ontgrondingsgat achter de "vaste laag" waren geen beddingvormen aanwezig. De beddingvormen in de rest van de geul in sectie F bestonden uit grote duinen met een lengte van $40-45\text{m}$ en een hoogte van $\pm 0.75\text{m}$, met daarop (zowel loef- als lijzijde) kleine duinen van enkele meters lang en enkele decimeters hoog.

3 DT2D berekeningen

De kleine duinen die gesuperponeerd voorkwamen op de grote duinen (in alle secties) kunnen in dit onderzoek om verschillende redenen niet worden gebruikt voor Dune Tracking met behulp van DT2D. Als er gerekend wordt met twee metingen die één dag of meer (5 dagen tussen 27 oktober en 1 november) na elkaar zijn uitgevoerd dan blijkt dat deze kleine duinen te ver waren verplaatst om de migratiesnelheid te berekenen. Ook het feit dat de dimensies van de kleine en grote duinen zoveel van elkaar verschilden, maakt het moeilijk om de migratiesnelheid te bepalen. In de kruiscorrelatie techniek, die in DT2D wordt gebruikt voor het bepalen van de migratie, worden (in dit soort gevallen) de kleine duinen beschouwd als ruis (Wilbers & Kleinhans, 1999). Als wordt uitgegaan van de korte tijdstappen die optreden tussen twee multibeambanen (dat zijn de losse banen die het schip inneemt bij het op en neer varen in het gebied; twee banen overlappen elkaar met 50%) dan migreerden de kleine duinen niet te ver maar juist te weinig. Uit enkele proeven blijkt dat de kleine duinen op 26 oktober in sectie B ongeveer 35cm migreerden in ongeveer 30 minuten (de tijd tussen de opnames van twee multibeambanen, zie ook tabel 5). Omdat vanwege de ruimtelijke resolutie van multibeam metingen de stapgrootte van de migratieberekening, in dit geval, minimaal op 50 cm moet staan (Wilbers, 1997; Wilbers & Kleinhans, 1999), kunnen dit soort kleine migratiesnelheden niet worden bepaald.

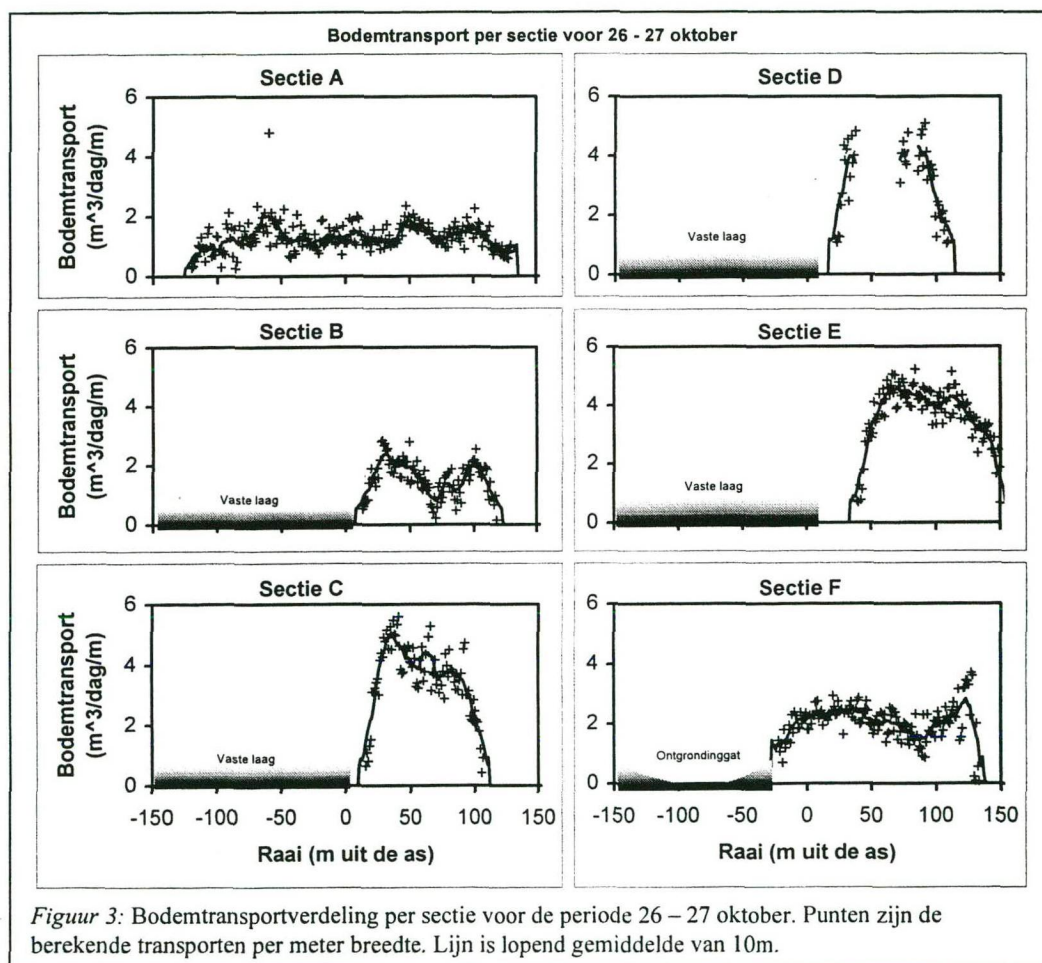
Voor de berekening van het bodemtransport, met behulp van DT2D, is dus alleen gebruik gemaakt van de migratie van de grote duinen. De migratie hiervan over 1 of meer dagen is redelijk goed te bepalen. Om duinkarakteristieken van deze grote duinen te bepalen zijn zij gelokaliseerd met een minimale lengte die voor elke sectie visueel is bepaald. Deze minimale duinlengten staan in tabel 3. Voor het berekenen van de bodemtransporten zijn alleen die raaien gebruikt waarin ook werkelijk duinen voorkwamen. Ook deze raainummers staan vermeld in tabel 3. Als laatste moet nog worden gemeld dat er in de metingen van 26 oktober in sectie D een meetfout voorkwam, waardoor enkele raaien niet konden worden gebruikt voor de bepaling van het bodemtransport. Ook deze raaien worden genoemd in tabel 3. De bodemtransporten in deze raaien zijn gelijk gesteld aan het gemiddelde van alle gebruikte raaien in sectie D op 26 oktober.

Tabel 3: Beschrijving van de bij de berekening gebruikte parameters.

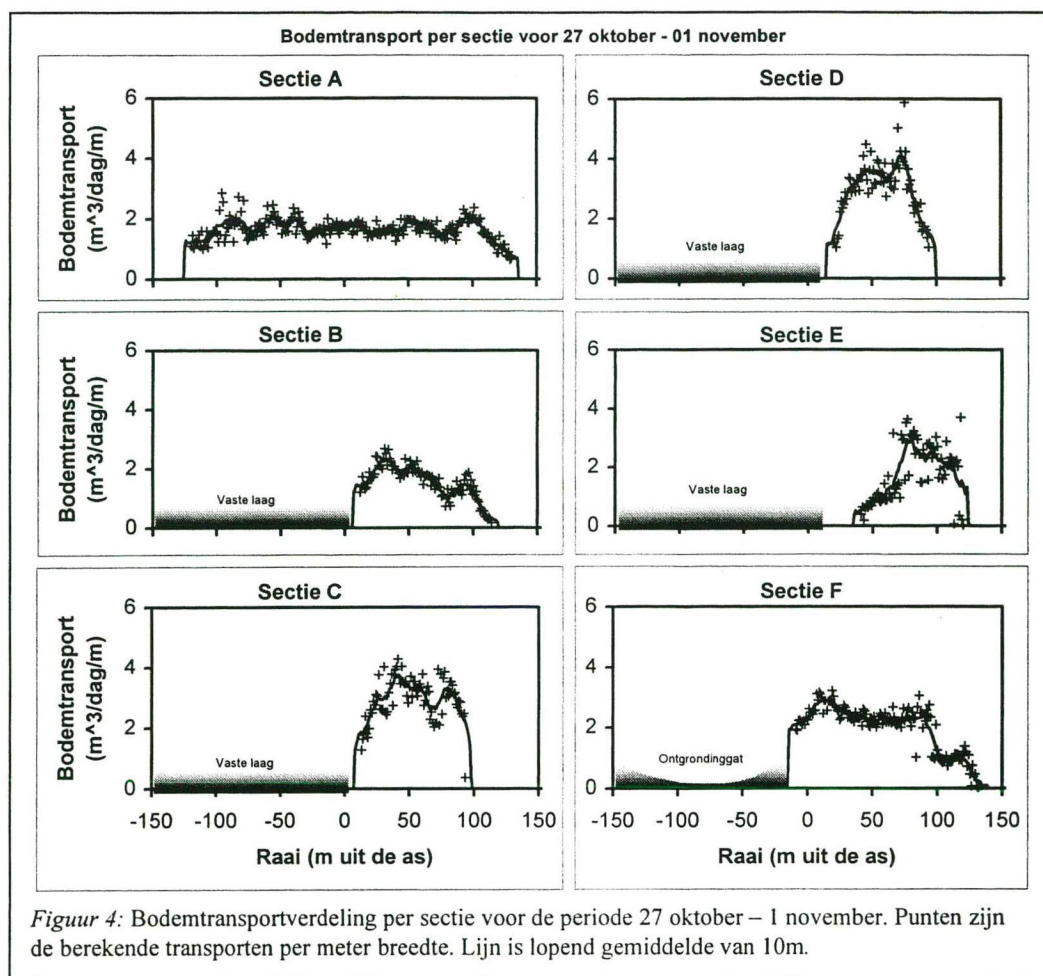
Sectie	Minimale duinlengte	raaien met bodemtransport		Uitzonderingen
		26 – 27 okt.	27 okt. – 1 nov.	
A	25	-120 – 130	-120 – 130	-
B	25	13 – 118	12 – 114	-
C	25	15 – 106	13 – 93	-
D	25	22 – 109	20 – 94	38 – 71 & 79 – 85
E	20	39 – 152	41 – 120	-
F	20	-22 - 133	-10 – 134	-

4 Berekende bodemtransporten

De aan de grote duinen verbonden, met DT2D berekende transporten voor elke meter over de breedte van de geul, in elke sectie en elke periode, staan afgebeeld in figuur 3 en 4. Met behulp van deze resultaten is tevens berekend wat het gemiddelde bodemtransport en de gemiddelde afwijking daarvan, per meter breedte, was. De resultaten hiervan staan vermeld in tabel 4. Het gemiddelde transport is berekend als het gemiddelde van de transporten per meter over dat deel van de geul waar beddingvormen voorkwamen (zie tabel 3). De gemiddelde afwijking is berekend ten opzichte van een lopend gemiddelde met een venster van 10m (zie figuur 3 en 4) zodat de natuurlijke variatie in het bodemtransport niet wordt meegenomen in de afwijking van de berekening.



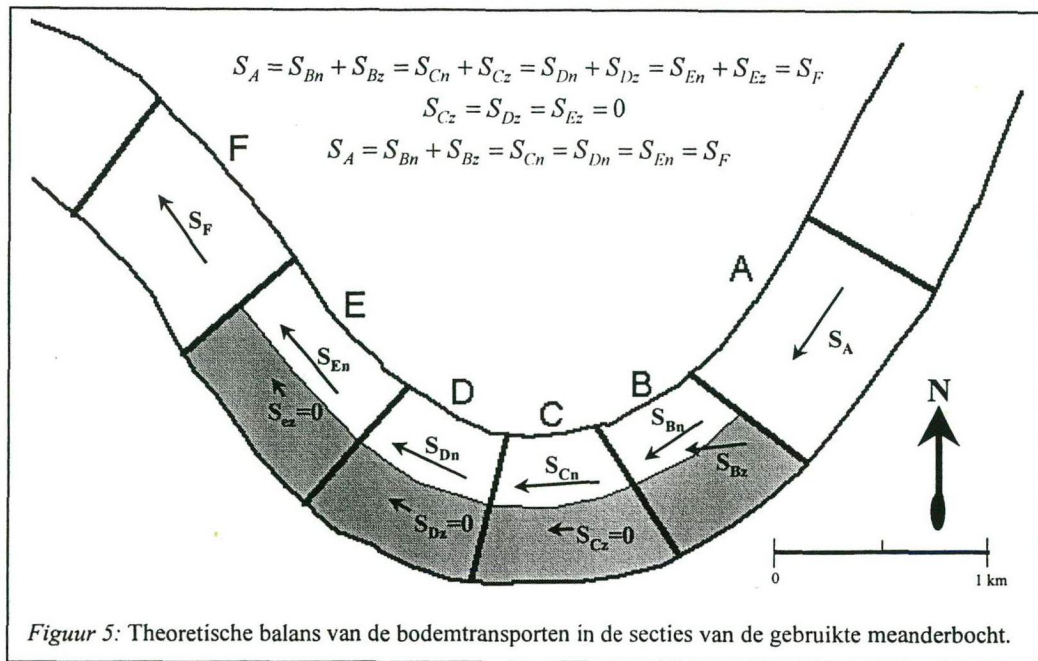
Het gemiddeld transport vermenigvuldigd met de breedte van de geul waarin transport door duinen voorkwam geeft de totale grootte van het bodemtransport per sectie. De gemiddelde afwijking vermenigvuldigd met dezelfde breedte geeft een maat voor de onnauwkeurigheid van het totale berekende bodemtransport. Uit tabel 4 blijkt duidelijk dat de onnauwkeurigheid in de berekening van de totale transporten ligt tussen de 10 en 25%. Dit wordt onder meer veroorzaakt doordat de migratie van de duinen relatief klein is. Daardoor zijn de fouten die door DT2D worden gemaakt relatief groot. In de periode 27 oktober – 1 november zijn de onnauwkeurigheden kleiner dan in de periode 26 – 27 oktober omdat de migratie in 5 dagen groter is en dus beter te berekenen en omdat de migratiesnelheid (en dus het bodemtransport) een gemiddelde is van 5 dagen in plaats van 1 dag.



Tabel 4: Berekende bodemtransporten en gemiddelde afwijkingen voor elke sectie in beide periodes.

	Sectie	F	E	D	C	B	A
Periode 26 – 27 oktober	Totale bodemtransport (m^3/dag)	324	412	278	335	166	330
	Gemiddelde afwijking	51	40	48	42	29	60
Periode 27 oktober – 1 november	Totale bodemtransport (m^3/dag)	302	144	226	241	160	417
	Gemiddelde afwijking	27	36	23	28	15	39

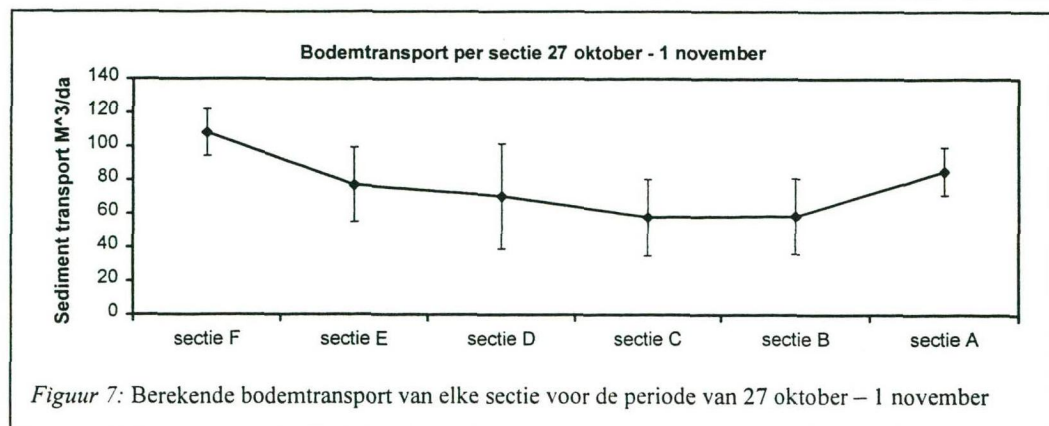
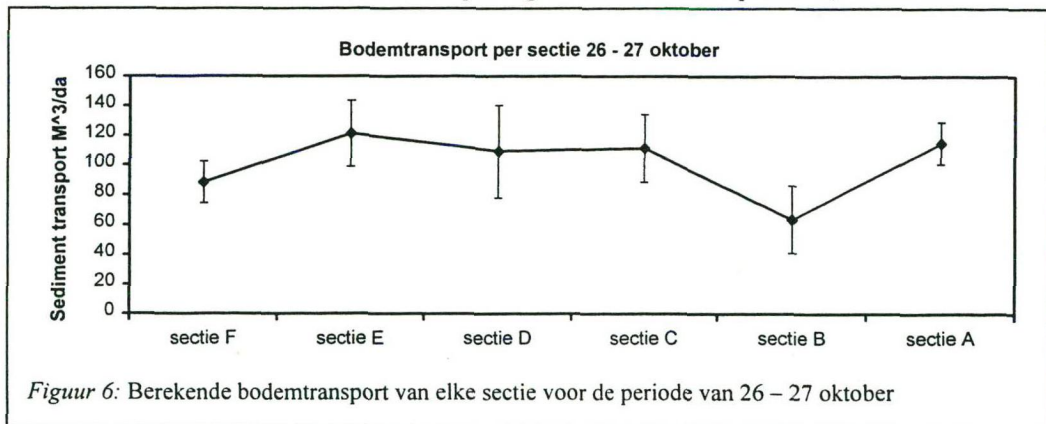
De resultaten van de bodemtransport berekeningen kunnen worden getoetst aan een theoretische bodemtransport balans. Als wordt aangenomen dat er buiten sectie B geen bodemtransport is over de "vaste laag" en er geen netto erosie of sedimentatie in elk van de sectie optreedt, dan moet het transport in sectie A (S_A) gelijk zijn aan het bodemtransport in de noordelijke helft van sectie C (S_{Cn}), D (S_{Dn}) en E (S_{En}). In sectie B mag worden verwacht dat er nog enig bodemtransport is over de "vaste laag", dat echter gericht is naar de binnenbocht. Dat betekent dat het transport in sectie A (S_A) gelijk moet zijn aan de som van de transporten in sectie B over de "vaste laag" (S_{Bz}) en naast de "vaste laag" (S_{Bn}). Het bodemtransport in sectie F (S_F) moet gelijk zijn aan dat van sectie A. Dit alles is samengevat in figuur 5.



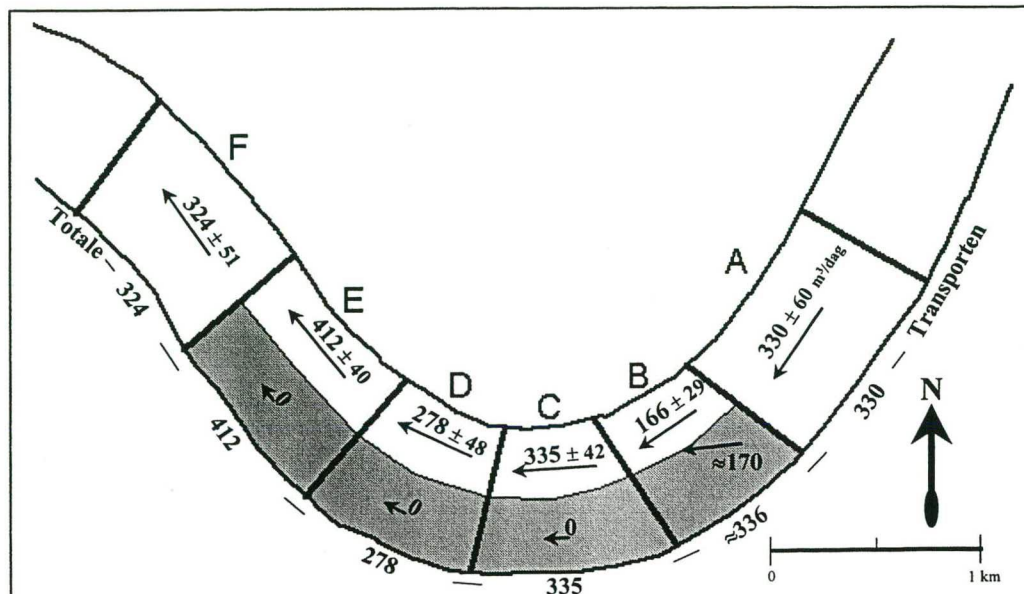
Het is echter mogelijk dat er in enkele secties toch erosie of sedimentatie (D) optreedt. Hiermee moet dus rekening worden gehouden in de balans. Vergelijking 1 is de resulterende balans voor deze meanderbocht. Deze zal hierna worden toegepast op de resultaten van DT2D.

$$S_A + D_A = S_{Bn} + S_{Bz} + D_B = S_{Cn} + D_{Cn} = S_{Dn} + D_{Dn} = S_{En} + D_{En} = S_F + D_F \quad (1)$$

In tabel 4 en de grafieken van figuur 6 en 7 staan de resultaten van de meetperiodes uitgezet. Als wordt gekeken naar de theoretische balans dan kunnen de berekende transporten tussen 26 en 27 oktober (binnen hun nauwkeurigheid) geheel worden verklaard zonder dat er erosie of sedimentatie in de secties hoeft te hebben plaatsgevonden. Het transport was, binnen de

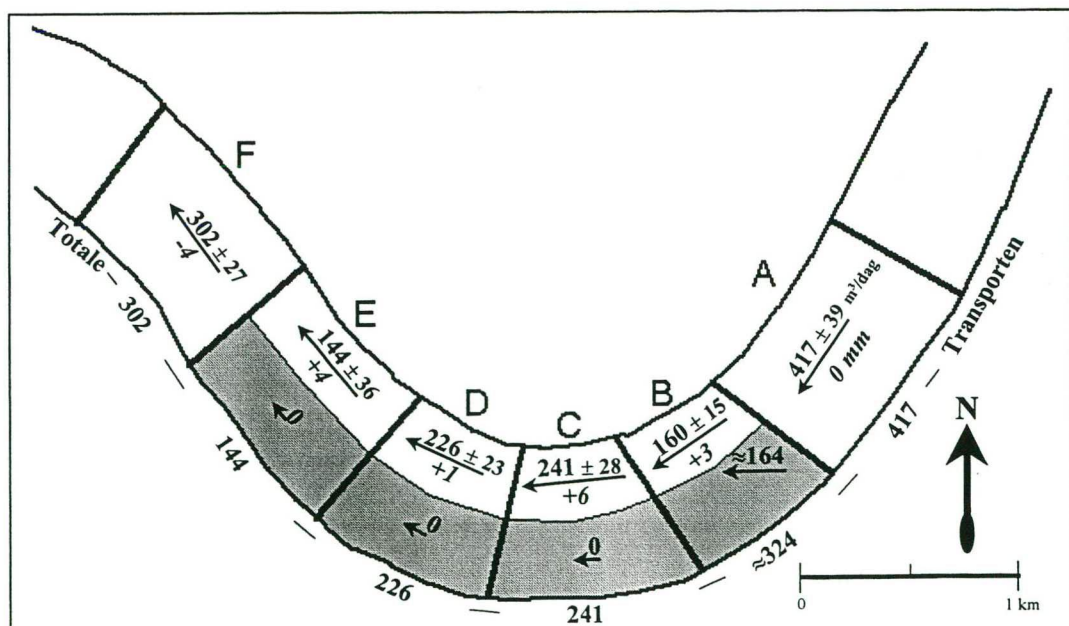


nauwkeurigheid, in alle secties gelijk, behalve in sectie B. In sectie B is alleen S_{Bn} berekend met DT2D en dus moet S_{Bz} worden geschat. Uitgaande van de aanname dat het totale transport in sectie B ($S_{Bn} + S_{Bz}$) gelijk was aan het gemiddelde transport van de andere secties kan S_{Bz} worden geschat op $170 \text{ m}^3/\text{dag}$ (zie figuur 8).



Figuur 8: Geschatte verdeling van de bodemtransporten over de totale breedte, de noordelijke helft naast de "vaste laag" en de zuidelijke helft op de "vaste laag".

Zonder rekening te houden met erosie of sedimentatie in verschillende secties, voldoen de berekende transporten over de periode 27 oktober – 1 november helemaal niet aan de theoretische balans. De transporten in secties B, C, D en E waren ongeveer gelijk maar veel kleiner dan in secties A en F. Ook in deze periode was er natuurlijk bodemtransport in sectie B over de "vaste laag" (en geen transport over de "vaste laag" in secties C, D en E). Aangenomen kan worden dat de verhouding tussen S_{Bn} en S_{Bz} gelijk was aan die in de periode 26 – 27 oktober. Daarmee komt het totale bodemtransport in sectie B op $324 \text{ m}^3/\text{dag}$ ($S_B = S_{Bn} + S_{Bz} = 160 + 164 = 324 \text{ m}^3/\text{dag}$). Dat is nog altijd $93 \text{ m}^3/\text{dag}$ minder dan in sectie A. Mogelijk werd er



Figuur 9: Geschatte verdeling van de bodemtransporten over de totale breedte, de noordelijke helft naast de "vaste laag" en de zuidelijke helft op de "vaste laag". De erosie of sedimentatie is cursief gedrukt aangegeven onder de pijltjes in mm laagdikte.

dus materiaal afgezet in sectie B. Daarbij wordt aangenomen dat de hoeveelheid zwevend transport niet veranderde. Het is niet waarschijnlijk dat, bij deze lage afvoeren, het materiaal waarmee de duinen zijn opgebouwd (grof zand; ten Brinke, 1997) kan worden opgenomen als zwevend transport.

Om na te gaan of deze hoeveelheid materiaal werkelijk kan zijn afgezet kan worden berekend hoe dik de toegevoegde laag zou zijn in 5 dagen. 5 dagen lang, 93 m^3 per dag, betekend 465 m^3 materiaal. Sectie B is 675m lang en 240m breed (inclusief de "vaste laag") wat een oppervlakte is van 168750 m^2 . Over de hele sectie gezien zou de gesedimenteerde laag dus ongeveer 3 mm dik moeten zijn. Dit is zo dun dat het zeker mogelijk is dat deze hoeveelheid materiaal is gesedimenteerd zonder dat dit uit bodempeilingen is af te leiden. In werkelijkheid zal het materiaal niet worden gesedimenteerd als laag maar als opvulling van de diepste gaten in de bedding, bijvoorbeeld de gaten langs de rand van de "vaste laag". Ook in sectie C moet naast de "vaste laag" sedimentatie zijn voorgekomen. De oppervlakte van dit gebied is $675 * 100\text{m} = 67500 \text{ m}^2$. Het transportoverschot ten opzichte van sectie B is $83 \text{ m}^3/\text{dag}$ en dat levert een laag op van ongeveer 6 mm sedimentatie. Ook in secties D en E trad waarschijnlijk nog sedimentatie op van vergelijkbare orde. In sectie F is het berekende transport weer groter dan in sectie E. Dat betekend dat er dus nieuw materiaal moet zijn opgenomen van de bedding (D_F is negatief). Ook deze erosie kan worden uitgedrukt in een laagdikte om na te gaan hoe aannemelijk deze erosie is. De geërodeerde laag zou, over een oppervlakte van $900 * 240\text{m} = 216000 \text{ m}^2$, ongeveer 4 mm dik moeten zijn geweest. Dit is zeer goed mogelijk. Waarschijnlijk werd al het benodigde materiaal opgenomen uit het ontgrondingsgat stroomafwaarts van de "vaste laag". In figuur 9 wordt de balans getoond voor de periode 27 oktober – 1 november, waarbij de berekende of geschatte transporten worden gegeven boven de pijltjes en de geschatte laagdikte van de erosie of sedimentatie in mm cursief onder de pijltjes.

Uitgaande van deze resultaten kan dus worden geconcludeerd dat de bodemtransporten tijdens lage afvoeren in de meanderbocht van St. Andries berekend kunnen worden met DT2D uit multibeam metingen. De onnauwkeurigheden zijn echter behoorlijk hoog, 10 – 25% minimaal. Met behulp van de kleine duinen zouden de transporten misschien nauwkeuriger berekend kunnen worden als de ruimtelijke en temporele resolutie van de metingen beter was afgestemd op deze beddingvormen. Bovendien is het de vraag of al het bodemtransport in de migratie van de grote duinen is inbegrepen. Voorwaarde daarbij is dat het zand gemoeid met de verplaatsing van de kleine duinen ingevangen wordt aan de lijzijde van de grote duinen. Met andere woorden, dat er geen kleine duinen zijn die bij het bereiken van de lijzijde van een grote duin hun identiteit behouden en verder migreren, zonder te versmelten met de lijzijde van de grote duin. In theorie zou het bodemtransport door kleine duinen dus gelijk moeten zijn aan het bodemtransport door grote duinen.

Om na te gaan of het sedimenttransport door kleine duinen overeenkomt met dat van de grote duinen en om aan te kunnen geven hoe de ruimtelijke en temporele resolutie zouden moeten worden aangepast om Dune Tracking met deze kleine duinen mogelijk te maken, zijn de gemiddelde duinkarakteristieken van de kleine duinen berekend en is het bodemtransport geschat. Daarvoor zijn uit de meting van 26 oktober (voor sectie B) twee multibeambanen gebruikt die met een verschil van 33 minuten waren gemeten. Uit de overlap tussen de twee banen is voor enkele tientallen duinen van raai +025 met DT2D berekend wat de gemiddelde lengte en hoogte van deze duinen was. Handmatig is berekend wat de verplaatsing van de troggen was en dus de migratiesnelheid. Met deze migratiesnelheid is het bodemtransport per meter breedte berekend.

Tabel 5: Duinkarakteristieken en migratiesnelheid van de kleine duinen uit raai +025, sectie B, op 26 oktober.

Duinlengte	$4.5 \pm 0.4 \text{ m}$
Duinhoogte	$0.23 \pm 0.02 \text{ m}$
Migratie snelheid	$13.2 \pm 5.6 \text{ m/dag}$
Bodemtransport per meter breedte	$1.56 \pm 0.83 \text{ m}^3/\text{dag}$

De resultaten van deze berekeningen staan in tabel 5. Duidelijk blijkt dat binnen de marges van onnauwkeurigheid het bodemtransport door de kleine duinen overeenkomt met het

bodemtransport van de grote duinen ($1.57 \pm 0.28 \text{ m}^3/\text{dag}$ per meter breedte). Er is dus geen reden om aan te nemen dat de transporten gemoeid met de verplaatsing van de kleine duinen groter zouden zijn dan die van de grote duinen. Alhoewel dit ook weer niet is uit te sluiten vanwege de grote onnauwkeurigheden.

5 Conclusie

Met behulp van DT2D kunnen de bodemtransporten in de gebieden waar de bodem niet is vastgelegd, goed worden berekend aan de hand van de migratie van de grote duinen die daar voorkomen. De transporten over de "vaste laag" kunnen niet berekend worden maar zijn waarschijnlijk overal nul (behalve over het eerste stuk). Het transport over dit eerste stuk kon met behulp van een theoretische balans worden geschat.

De nauwkeurigheid van de berekende bodemtransporten is niet hoog. De afwijkingen liggen tussen 10 – 25%. Desondanks was het mogelijk om over een langere periode (27 oktober – 1 november) aan te tonen dat er sedimentatie en erosie van beddingmateriaal optrad in de gebieden naast de "vaste laag". Bij deze lage afvoeren vindt de sedimentatie waarschijnlijk vooral plaats in de diepe gaten net naast de "vaste laag". De erosie vindt waarschijnlijk vooral plaats in het ontgrondingsgat. De precieze hoeveelheid en plaats van de sedimentatie of erosie per sectie kon niet worden bepaald vanwege de lage nauwkeurigheid van het berekende transport. Over de korte periode van 1 dag trad de erosie en sedimentatie natuurlijk ook op maar die komt niet naar voren uit de berekende transporten door de hoge onnauwkeurigheden.

Er zijn verschillende redenen om aan te nemen dat de nauwkeurigheden van de berekende transporten beter worden als gebruik kan worden gemaakt van de migratie van de kleine duinen:

- Een eerste reden is dat het met de migratie van kleine duinen gemoeide bodemtransport misschien groter zou kunnen zijn dan het transport berekend met de grote duinen. Zoals uit het vorige hoofdstuk al bleek kan dit niet worden bewezen of verworpen door de grote onnauwkeurigheden vanwege de slecht afgestemde ruimtelijke en temporele resolutie van de metingen. Als de transporten van de kleine duinen echter groter waren dan die van de grote duinen dan zijn de hier berekende transporten dus te klein.
- Een tweede reden is dat gedurende de uitwerking van dit onderzoek is gebleken dat de grote duinen in de meanderbocht bij St. Andries een sterker driedimensionaal karakter hadden dan de kleine duinen. Bij de tweedimensionale berekeningen door DT2D (berekeningen in profielen) heeft een sterk 3D karakter van duinen negatieve invloed op de nauwkeurigheid van de berekende transporten. Bij 3D duinen is het waarschijnlijk dat er ook bodemtransport is dwars op de richting van de profielen. Deze dwarse transporten worden niet berekend door DT2D. Bij 2D duinen (zoals de kleine duinen) komen dwarse transporten nauwelijks voor en zullen de transporten dus beter berekend kunnen worden.

Een derde reden die pleit voor het gebruik van de kleine duinen, maar die los staat van de nauwkeurigheid is, dat de kleine duinen beter aangepast zijn aan de lokale hydraulische omstandigheden. De kleine duinen kunnen veel sneller worden aangepast aan veranderingen van de omstandigheden, terwijl dat bij de grote duinen meer tijd kost. De grote duinen worden ook meer dan de kleine duinen beïnvloed door de aanwezigheid van kribben en de "vaste laag". De snelle aanpassing van de kleine duinen aan de omstandigheden betekent dat ook de transporten gemoeid met de migratie van deze duinen beter overeenkomen met de omstandigheden. Het is dus beter om de transporten met behulp van de kleine duinen te berekenen omdat die beter bij de omstandigheden passen.

Door een slecht afgestemde ruimtelijke en temporele resolutie was het gebruik van de kleine duinen in dit onderzoek niet mogelijk. In het volgende hoofdstuk met aanbevelingen wordt aangegeven hoe de metingen kunnen worden verbeterd om dit wel mogelijk te maken.

6 Aanbevelingen

Uit de conclusies blijkt dat de bodemtransporten met behulp van DT2D te berekenen zijn. De onnauwkeurigheden zijn echter behoorlijk groot. De belangrijkste aanbevelingen hebben daarom ook betrekking op het verbeteren van de nauwkeurigheid.

De belangrijkste aanpassing die kan worden gedaan in een meetcampagne om de nauwkeurigheid te verhogen is het beter afstemmen van de resolutie (ruimtelijk en temporeel) op het voor Dune Tracking te gebruiken duintype.

- Zowel bij het gebruik van grote duinen als kleine duinen is het noodzakelijk om de ruimtelijke resolutie te verhogen om zodoende een betrouwbaarder resultaat te verkrijgen. Met een hogere resolutie kan de stapgrootte in de migratie berekening omlaag. Daardoor kan de migratie van de duinen beter berekend worden, zeker als deze migratie klein is. Ook wordt met een hogere ruimtelijke resolutie de vorm van een duin (en vooral de trog) beter vastgelegd. Ook hierdoor kan de migratie (vooral van kleine duinen) beter berekend worden.
Een hogere ruimtelijke resolutie kan op verschillende manieren worden bereikt. Er kan gebruik gemaakt worden van de nieuwste multibeam apparatuur, de gebruikte apparatuur kan anders worden afgesteld (dan bij de gebruikte metingen het geval was) waardoor de resolutie omhoog gaat of er kan langzamer (bijvoorbeeld alleen tegen de stroming in) worden gevaren waardoor de resolutie ook omhoog gaat.
- De noodzakelijke temporele resolutie is sterk afhankelijk van het duintype. DT2D kan de migratie van duinen het beste bepalen als de migratie tussen 2 opeenvolgende bodempeilingen, ligt tussen 30 – 70% van de gemiddelde duinlengte. Algemeen kan worden gesteld dat er een relatie is tussen de duinlengte en de migratiesnelheid (Wilbers, 1999), alhoewel de stroomsnelheid en de korrelgrootte van het transportmateriaal ook invloed zullen hebben. De grote duinen bewegen dus veel langzamer dan de kleine duinen. Dus moet de tijdstap tussen 2 metingen veel groter zijn als de grote duinen worden gebruikt dan bij de kleine duinen. Bepaald kan worden wat voor dit onderzoek de optimale temporele resolutie zou zijn geweest voor de beide typen duinen. De grote duinen waren gemiddeld 62m lang en hadden een gemiddelde migratie van 4.75 m/dag. 30 – 70% van de duinlengte is 18.6 – 43.4m, dat betekent dat bij deze migratiesnelheid gemeten zou moeten worden met een tijdstap van ongeveer 4 tot 9 dagen. De 5 dagen van de lange periode voldeed dus aan deze voorwaarde voor de temporele resolutie bij de grote duinen.
De kleine duinen waren gemiddeld 4.5m lang en hadden een migratie snelheid van ongeveer 13 m/dag. 30 – 70% van de duinlengte is 1.35 – 3.15m, dat betekent dat bij deze migratiesnelheid gemeten zou moeten worden met een tijdstap van ongeveer 2.5 – 6 uur. De tijdstappen van 1 en 5 dagen tussen de gebiedsdekkende metingen waren dus veel te groot. De tijdstappen tussen de verschillende multibeambanen (gemiddeld 30 – 45 minuten) waren dus veel te klein.
- Ten slotte nog een aanbeveling voor het uitwerken van de gegevens. In het huidige onderzoek was de hoeveelheid data bijna onhanteerbaar. Één totale meting van 1 dag bestond uit ongeveer 500 MB aan data. Omdat met de aanbevelingen van hierboven, aangenomen mag worden dat deze hoeveelheid zal toenemen is het wenselijk om data reductie uit te voeren.
Deze reductie mag echter geen invloed hebben op de ruimtelijk resolutie. Daarom moeten de gegevens die zijn gemeten in de buurt van de kribvakken en boven de "vaste laag" worden weggelaten uit de dataset. In de buurt van de kribvakken komen geen beddingvormen voor en op de "vaste laag" is Dune Tracking niet te gebruiken.

Literatuur

- Brinke, W.B.M. ten; 1997; De bodemsamelstelling van de Waal en IJssel in de jaren 1966, 1976, 1984 en 1995; RIZA rapport 97.009
- Wilbers, A.W.E. en M.G. Kleinhans; 1999; Gevoeligheidsanalyse dune tracking in 2 dimensies.; ICG 99/8; Universiteit Utrecht, Fysische geografie
- Wilbers, A.W.E.; 1997; Duinkarakteristieken en dune tracking tijdens een hoogwater in de Bovenrijntakken, Verwerking van gegevens bij Druten en de Pannerdensche Kop met DT2D; ICG 97/8; Universiteit Utrecht, Fysische geografie
- Wilbers, A.W.E.; 1998a; Bodemtransport en duinontwikkeling, tijdens afvoergolven in de Bovenrijn en Waal; ICG 98/12; Universiteit Utrecht, Fysische geografie
- Wilbers, A.W.E.; 1998b; Ruimtelijke variabiliteit van duinkarakteristieken in de Waal tijdens een afvoergolf in 1997; ICG 98/19; Universiteit Utrecht, Fysische geografie
- Wilbers, A.W.E.; 1999; Bodemtransport en duinontwikkeling in de Rijntakken, bodempeilingen hoogwater november 1998; ICG 99/10; Universiteit Utrecht, Fysische geografie

