

Oeverlijnverplaatsing op de Waal

Onderzoek naar oeverlijnverplaatsing na kribverlaging op de Waal



Afstudeeropdracht

Auteur:
Dhr T.J.A. Snoep

Oeverlijnverplaatsing op de Waal

Onderzoek naar oeverlijnverplaatsing na kribverlaging op de Waal

Datum 11 december 2009
Status Definitief

Plaats: Arnhem, Nederland
Door: Dhr T.J.A. Snoep
Studentennummer: 1502512

Afstudeercommissie:

Dhr ir. H.T. van Amstel
Dhr ing. L.H.C.A. Hector



Rijkswaterstaat
Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Dhr Dr. ir. J.A.M. Stuifbergen
Dhr ir. A.M. van der Linden



Voorwoord

Dit rapport vormt het eindverslag van mijn afstudeeronderzoek bij Rijkswaterstaat. Met dit document sluit ik mijn studie civiele techniek, aan de faculteit natuur en techniek van de Hogeschool Utrecht, af.

Het afstudeeronderzoek is uitgevoerd bij het project kribverlaging Waal, wat onderdeel is van Rijkswaterstaat programmadirectie Ruimte voor de Rivieren. De samenwerking met de mensen van Rijkswaterstaat heb ik als heel leuk ervaren. Het eerste wat mij bij mijn afstudeerstage opviel was de organisatiestructuur van Rijkswaterstaat. Tijdens mijn studie hoor je vaak de naam van Rijkswaterstaat vallen. Dit is logisch aangezien de organisatie de grootste opdrachtgever is op de Nederlandse markt op civiel technisch gebied. Ik heb bij Rijkswaterstaat altijd het gevoel van één organisatie gekregen. Natuurlijk is dit in theorie en praktijk ook het geval, maar de hoeveelheid subtakken die onder de naam Rijkswaterstaat werken was voor mij een ontdekking. Ik vond het erg interessant om hier meer over te leren.

Wat voor mij de grootste uitdaging bleek te zijn was om het onderzoek als kwalitatief aan te pakken. Uit mijn opleiding ben ik gewend om projecten kwantitatief aan te pakken. Deze vorm van werken geeft daarom ook houvast. Toen bleek, dat dit onderzoek te complex was om binnen de gegeven tijd een kwantitatieve benadering te doen, werd ik gedwongen om de andere vorm, de kwalitatieve vorm, van werken aan te nemen. Hiervan heb ik dan ook veel geleerd en vindt ik, dat ik een bredere basis heb dan voor het afstuderen.

Natuurlijk heb ik dit niet alleen gedaan. Voor dit onderzoek ben ik begeleid door:

Dhr ir. Hans van Amstel	van Rijkswaterstaat
Dhr ing. Huub Hector	van Rijkswaterstaat
Dhr dr. ir. Jacques Stuifbergen	van Hogeschool Utrecht
Dhr ir. Tom van der Linden	Van Hogeschool Utrecht

Bij deze wil ik mijn begeleiders bedanken voor hun intensieve begeleiding en adviezen tijdens dit onderzoek. Daarnaast wil ik graag Dhr. dr. ir. A. Sieben, Dhr. ir. H. Havinga, Dhr. ir. M. van der Wal, Mevr. dr. M.M. Busnelli en Dhr. ir. C.A.H. Wouters bedanken voor hun advies, feedback en hulp bij de wetenschappelijke onderbouwing van mijn onderzoek. Als laatste wil ik het projectteam en de assisterende medewerkers bedanken voor mijn leuke tijd bij Rijkswaterstaat.

Arnhem,
Januari 2010

Thomas Snoep

Samenvatting

In 1995 was er in Nederland een extreme hoogwaterstand die ook nog langer aanhield dan normaal. Hierbij zijn grote gebieden van Nederland uit angst voor een overstroming geëvacueerd. De overstroming bleef uit, maar om de veiligheid tegen overstromen in de toekomst te waarborgen kwam het kabinet in 2000 met het standpunt "Ruimte voor de Rivier" wat de afvoercapaciteit van de Rijntakken moet vergroten. Om dit te kunnen bewerkstelligen zijn er 39 verschillende maatregelen bedacht die tussen 2006 en 2015 in realisatie zullen zijn.

Een van deze maatregelen is de kribverlaging in de Waal. Hierbij worden de kribben in de Midden-Waal met één a twee meter verlaagd. Deze verlaging zorgt voor een grotere doorstroomoppervlakte voor de rivier wat een waterstanddaling van zes centimeter in de beneden trajecten tot twaalf centimeter in de boventrajecten, moet opleveren. Echter betekent een verandering in de rivier ook een verandering in de sedimenthuishouding, dat kan leiden tot erosie of sedimentatie in de rivier.

Het effect van erosie of sedimentatie kan nadelig zijn voor bijvoorbeeld de scheepvaart waardoor er naar deze zaken al druk onderzoek wordt gedaan. Echter blijven deze onderzoeken beperkt tot de vaargeul en worden de oevers van de Waal niet meegenomen. Toch zullen ook hier morfologische veranderingen plaatsvinden. Om een beter beeld van deze veranderingen te krijgen is dit onderzoek tot stand gekomen. Hierbij is er gezocht naar een antwoord op de vraag welke oorzaak de meeste invloed heeft op de morfologie rondom de oevers in de huidige situatie en in de situatie na de maatregel kribverlaging.

Om antwoord te kunnen geven op deze vraag is er eerst een analyse gemaakt van de definitie van een oeverlijn. Uit de analyse bleek, dat een oeverlijn niet gemakkelijk te definiëren is en vooral afhangt van de belanghebbende die de oeverlijn probeert te definiëren. Ook bleek uit deze analyse, dat voor dit onderzoek de hoogwaterstand niet relevant is. Vervolgens zijn verschillende oorzaken, die van te voren met behulp van experts als maatgevend zijn gekozen, geanalyseerd. Uit deze analyse blijkt, dat de scheepvaart de grootste invloed heeft op morfologische veranderingen in de huidige situatie. Uiteindelijk zijn dezelfde oorzaken geanalyseerd in een situatie na kribverlaging. Hierbij blijkt, dat het afvoerregime van de rivier de grootste invloed heeft op morfologische veranderingen bij de oever.

In beide gevallen gaat het om een kwalitatieve analyse van 1^{ste} orde effecten van verschillende oorzaken. Dit wil zeggen, dat alleen naar de directe invloed van een oorzaak is gekeken en niet naar de effecten die zich later in de tijd, door de oorzaak of een combinatie van oorzaken, voordoen.

Met dit onderzoek is er een basis gelegd voor een doelgericht onderzoek naar morfologische veranderingen aan de oever langs de Waal. Daarbij wordt er aanbevolen om de invloed van de gekozen oorzaken ook te beschouwen bij hoogwater. Het nog te maken document zou dan samen met dit document een bredere basis kunnen geven voor vervolgonderzoek. Ook wordt er aanbevolen om de mogelijkheid van vrije erosie van de oevers van de Waal, te onderzoeken.

Inhoud

Voorwoord	i
Samenvatting	iii
Lijst van figuren	ix
Lijst van grafieken	x
Lijst van tabellen	xi
1 Inleiding	1
2 Probleemanalyse	5
2.1 Omschrijving	5
2.2 Probleemstelling	5
2.3 Doelstelling	6
2.4 Aanpak	6
2.5 Leeswijzer	6
3 Definitie Oeverlijn	9
3.1 Het onderzoeksgebied	9
3.2 Soorten oevers langs de Waal	9
3.2.1 Meest gangbare oevers	10
3.2.2 Speciale oevers	11
3.3 Beheersfuncties van oevers langs de Waal	13
3.4 Definities oeverlijn in de Literatuur	15
3.5 Mening van Deskundige	16
3.6 Synthese van hoofdstuk drie	18
3.6.1 Ten opzichte van oeversoorten	18
3.6.2 Ten opzichten van oeverlijn	18
4 Huidige Oeverlijnverplaatsing: Vooronderzoek	23
4.1 Sedimenttransport en de invloed op een rivier	23
4.1.1 Oorsprong erosie en sedimentatie	23
4.1.2 Invloed op de rivier	25
4.1.3 Sedimenttransport in en uit een kribvak	27
4.2 Hydraulica en morfologische veranderingen door de scheepvaart	28
4.2.1 Erosie of aanzanding in kribvakken	28
4.2.2 Golfsystemen van scheepvaart	29
4.2.3 Hydraulische en morfologische effecten van de scheepvaart	32
4.3 Hydraulica en morfologische veranderingen door de rivier en wind	35
4.3.1 Stroomrichtingen langs oevers	35
4.3.2 Hoog, laag en gemiddelde waterstanden	36
4.3.3 Geometrie van de rivier	39
4.3.4 De windgolven	41
4.3.5 Oeveropbouw	42
4.4 Synthese uit historisch onderzoek	44

4.4.1	Afstemming conclusies naar deze tijd	45
4.5	Synthese van hoofdstuk vier	47
5	Huidige Oeverlijnverplaatsing: Effecten	49
5.1	Inleiding	49
5.2	Oorzaken m.b.t. sterkte	50
5.2.1	De oeveropbouw	50
5.2.2	Landbouw en vee	51
5.2.3	Vandalisme door recreatief gebruik	51
5.3	Oorzaken m.b.t. belasting	51
5.3.1	Het afvoerregime van de rivier	51
5.3.2	Geometrie van de rivier	51
5.3.3	De daling van kribvakbodem en massabewegingen	52
5.3.4	De windgolven	53
5.3.5	De nautische bewegingen	55
5.3.6	IJsbelasting	55
5.4	Synthese van hoofdstuk vijf	55
5.4.1	Met betrekking tot de strekte	55
5.4.2	Met betrekking tot de belasting	55
6	De Oeverlijnverplaatsing na Kribverlaging	59
6.1	Fysische effecten op de oeverlijn	59
6.2	Oorzaken m.b.t. sterkte	59
6.2.1	De oeveropbouw	59
6.3	Oorzaken m.b.t. belasting	61
6.3.1	Het afvoerregime van de rivier	61
6.3.2	Geometrie van de rivier	65
6.3.3	De windgolven	66
6.3.4	De nautische bewegingen	67
6.4	Synthese van hoofdstuk zes	68
6.4.1	Met betrekking tot de sterkte	68
6.4.2	Met betrekking tot de belasting	68
7	Conclusies en Aanbevelingen	71
7.1	Conclusies	71
7.2	Aanbevelingen	73
8	Referenties	75
8.1	Literatuur	75
8.2	Publicaties	77
8.3	Internet	78
Bijlage A	Begrippenlijst en afkortingenlijst	79
Bijlage B	Onderzoek Oeversoorten Waal	81
Bijlage C	Onderhouds- en inspectiestrategie Rijkswaterstaat DON	88
C.1	Gebeurtenissenboom met kritieke onderdelen	88
C.2	Tabel voor Romeinse cijfers	89
Bijlage D	Vaarwegen in Nederland	93

Bijlage E	Onderzoek scheepbewegingen bij Lobith	95
E.1	Scheepspassages bij Lobith vanaf 1991	95
E.2	Zwaarste klasse van actieve binnenvloot vanaf 1991	95
Bijlage F	Waterstand bij Lobith vanaf 1991	97
Bijlage G	Plan van Aanpak	99

Lijst van figuren

Figuur 1.1:	Stroomgebied Rijn en Maas in Nederland (bron:(52))	1
Figuur 1.2:	soorten maatregels in de PKB	2
Figuur 3.1:	Deelgebieden langs de Waal (bron: (48))	9
Figuur 3.2:	Weergaven meest gangbare oevers	10
Figuur 3.3:	Schematische weergaven van mogelijke situatie met beschouwing van één oeverlijn	16
Figuur 4.1:	Neervorming in een relatief klein en een normaal kribvak langs de Waal	27
Figuur 4.2:	Secundaire golfstromen in theorie (bron: (16)) en zichtbaar op de Waal (bron: (48))	30
Figuur 4.3:	Watersystemen rondom een Scheepspassage in een rivier(bron: (16))	31
Figuur 4.4:	Effect van passerende duwvaart op stroming in kribvak(bron: (5))	33
Figuur 4.5:	De stroomrichtingen U en V rond een oever	35
Figuur 4.6:	De stroomrichtingen Ω bij een oever	35
Figuur 4.7:	Aanzanding en uitschuring door stroom naar en van uiterwaarden (bron: (28))	37
Figuur 4.8:	Schematische weergave van effecten van hoogwater in het kribvak (foto bron: (49))	38
Figuur 4.9:	Schematische weergaven van effecten van hoogwater rond de krib	38
Figuur 4.10:	Helicoïdale stroom in rivieren (bron: (16))	39
Figuur 4.11:	Sinuositeit in een rivier	40
Figuur 4.12:	Beweging van waterdeeltjes door golven (bron: (18))	42
Figuur 4.13:	Daling rivierbodem als effect van oevererosie	43
Figuur 4.14:	Massabeweging als effect van oevererosie	43
Figuur 4.15:	Foto van Steilrand (bron: Huub Hector)	44
Figuur 5.1:	Werking begroeiing op sterkte oever.	50
Figuur 5.2:	Strijkklente situatie onderzoeksgebied deel twee (bron: (48))	53
Figuur 5.3:	Belastingdrukprofiel door golffront	54
Figuur 6.1:	Verplaatsing vegetatiegrens(schematisch)	60
Figuur 6.2:	Schematische weergave gevolg kribverlaging op stroming langs de oever	63
Figuur 6.3:	Belastingdruk na kribverlaging (schematisch)	66
Figuur 6.4:	Vermindering van verhang tussen kribvak en hoofdgeul na kribverlaging	67
Figuur 7.1:	Deelgebieden langs de Waal (bron: (48))	71

Lijst van grafieken

Grafiek 3.1: Percentages van oeversoorten langs de Waal	12
Grafiek 4.1: Transportcapaciteit t.o.v. de stroomsnelheid met <i>Meyer-Peter, Müller</i>	24
Grafiek 4.2: Shieldsgrafiek (bron: (42))	24
Grafiek 4.3: Evenwichtsdiepte t.o.v. breedte waterloop	26
Grafiek 4.4 : Breedte en diepte van kribvakken langs de Waal (bron: (19))	28
Grafiek 4.5: Scheepvaartpassages stroomopwaarts bij Lobith	34
Grafiek 4.6: Scheepvaartpassages stroomafwaarts bij Lobith	34
Grafiek 5.1: Verhouding interactieparameter t.o.v. waterdiepte	52
Grafiek 5.2: Golfhoogte en lengte bij een storm en zeer zware storm (bron: (18))	54
Grafiek 6.1: Kribkruinhoogte t.o.v. Langjarig waterstandgemiddelde	62

Lijst van tabellen

Tabel 3.1:	Beheersfuncties van de Waal volgens het BPRW	13
Tabel 3.2:	Keuze spelers voor het bepalen van de oeverlijn.	20
Tabel 4.1:	Gemiddelde aantal dagen van hoogwaterstanden bij Lobith	46
Tabel 5.1:	Snelheidscomponenten en invloed van oorzaken van belasting op de oever	56
Tabel 5.2:	Tabel 5.1 bij hoogwater	57
Tabel 6.1:	Snelheidscomponenten en invloed van oorzaken van belasting op de oever	69

1 Inleiding

Nederland en water hebben altijd al een sterke band gehad. Zo ligt ongeveer de helft van Nederland onder zeeniveau en zou normaal gesproken onder water staan. De enige reden, dat dit niet gebeurt is door een complex stelsel aan dijken, gemalen, stuwen, meren en rivieren die samen voor de waterhuishouding van Nederland zorgen en Nederland droog houden.

Voor de toevoer en afvoer van het water in Nederland zijn de rivieren het belangrijkste. De twee grootste rivieren die Nederland instromen zijn de Rijn en de Maas, die door bijvoorbeeld de Waal, de Neder-Rijn, de IJssel, de Nieuwe Maas, Hollands diep, Haringvliet en andere rivieren uitstromen in zee (zie figuur 1.1). Het opwarmen van het klimaat zorgt echter voor veranderingen in dit systeem.



Figuur 1.1: Stroomgebied Rijn en Maas in Nederland (bron:(52))

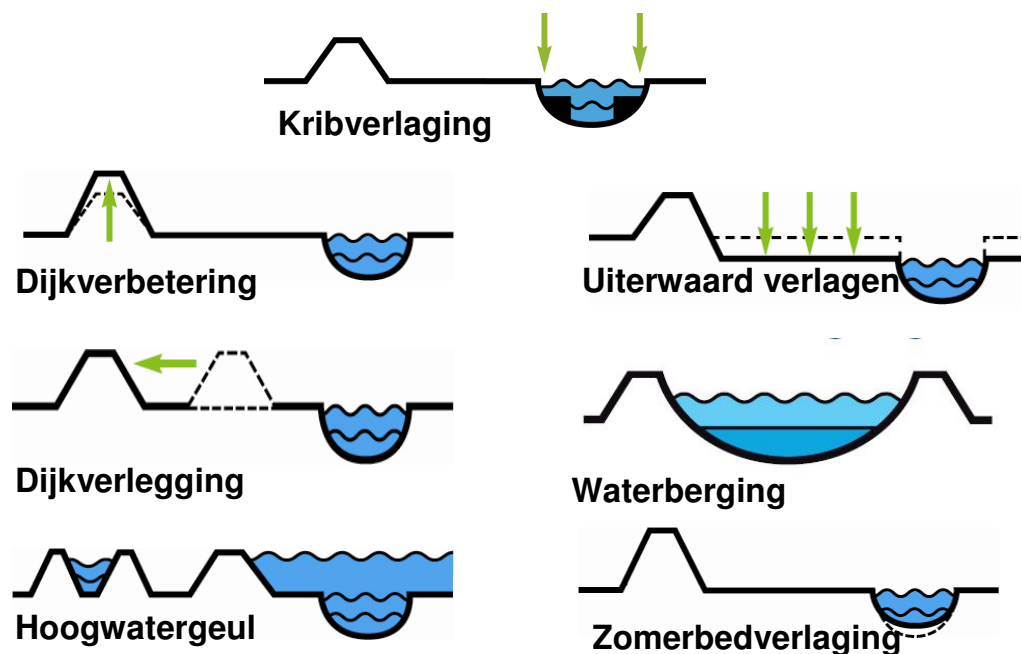
Door de klimaatveranderingen komt er een grotere hoeveelheid smeltwater van de gletsjers in de bergen in de rivieren terecht. Ook valt er bij een regenbui meer water in een kortere tijd, wat door de rivieren moet worden afgevoerd. Deze twee oorzaken zorgen voor een hogere piek in de afvoer van de rivieren die door ons land naar zee wordt getransporteerd. Daarbij staat, dat de zeespiegel stijgt waardoor het natuurlijk verhang kleiner wordt en de waterstanden hoger worden.

Door deze veranderingen zit Nederland nu tussen de hamer van de rivieren en het aambeeld van de zee, wat in 1995 plotseling erg duidelijk werd. In 1995 werd Nederland namelijk opgeschrikt, na een tijd van onbezorgdheid, door een extreme hoogwatergolf die niet meer gezien was sinds 1926 en ook nog erg lang aanhield. Bij deze hoogwatergolf zijn bijna 250.000 mensen geëvacueerd omdat er aan de stabiliteit van de verzadigde dijken werd getwijfeld.

Onder andere dit geval zorgde ervoor, dat de politiek zich sterker met dit probleem begon te bemoeien. Zo werd er bij de 4^{de} nota waterhuishouding in 1999 extra aandacht besteed aan hoogwaterbescherming, wat leidde tot verschillende programma's. Een van de programma's was het programma "Ruimte voor de Rijntakken" (RVR).

In 2000 heeft het kabinet het standpunt Ruimte voor de Rivier (RvdR) gekozen als uitgangspunt voor een nieuwe aanpak van hoogwater; een omslag in de manier waarop Nederland met het water om gaat. In plaats van het verder verhogen en versterken van dijken wordt gekeken naar de mogelijkheden om water meer ruimte te geven.

Om deze visie te kunnen uitvoeren is in 2006 een planologische kernbeslissing (PKB) genomen. In deze kernbeslissing zijn 39 maatregelen vastgelegd die samen tot een waterstanddaling moeten opleveren, dat de maatgevende hoogwaterstand overeenkomt met een debiet van 16.000 m³/s bij Lobith. Voorbeelden van deze maatregelen zijn: dijkverlegging, uiterwaardverlaging, waterberging en kribverlaging.



Figuur 1.2: soorten maatregelen in de PKB

In het geval van kribverlaging zal door de vergroting van het doorstromingsoppervlakte, de waterstand dalen. In de PKB is er voor kribverlaging een doel gesteld voor een waterstanddaling van zes tot twaalf centimeter. Door de

hoge koste/baten ratio van deze maatregel is het een effectieve maatregel om toe te passen in de PKB. Echter heeft kribverlaging meerdere effecten, dan alleen een daling van de waterstand.

Verschillende effecten van het verlagen van de kribben zijn onderzocht zoals de ecologische, archeologische en milieutechnische effecten. Er is echter nog niet bekeken wat het effect van het verlagen van deze kribben is op de oevers tussen de kribben. De opdracht van dit onderzoek is dan ook als volgt:

Het in kaart brengen van de oorzaken van (onder andere) morfologische veranderingen van de oever in een kribvak, veroorzaakt door het verlagen van de kribben. Hierbij zijn er eerst een aantal oorzaken is onderzocht en vervolgens zijn deze bekeken in de situatie voor en na kribverlaging.

2 Probleemanalyse

In dit hoofdstuk wordt het probleem en de doelstellingen van het onderzoek toegelicht. Daarnaast wordt de aanpak van het onderzoek, in het kort, beschreven (zie ook bijlage G).

2.1 Omschrijving

In het programma "Ruimte voor de Rivier" wordt ervoor gezorgd, dat de Waal vanaf eind 2015, tenminste 16.000 kubieke meter water per seconde kan afvoeren bij Lobtj. Deze piekbelasting zal maar één keer in de 1250 voor kunnen komen. Deze 16.000 m³/s komt voort uit een maatgevende hoogwaterstand. Als de rivier ongewijzigd zou blijven, zal deze maatgevende hoogwaterstand boven de bestaande dijken uitkomen. Hierdoor zijn er maatregelen bedacht, waaronder kribverlaging, om deze waterstand te verlagen. Zo wil Rijkswaterstaat 750 kribben met 0,5 à 2,5 meter verlagen. De nieuwe kribhoogte komt dan overeen met OLR + 1,2 meter. Met deze ingreep zal de maatgevende hoogwaterstand tussen de zes en twaalf centimeter dalen.

Een effect van het verlagen van kribben is, dat het zomerbed zal gaan aanzanden. De oorzaak hiervan wordt uitgelegd in hoofdstuk vier

In het deelproject "Kribverlaging Waal" zijn met het oog op dit effect al meerdere studies (Bussnelli (2008), Sieben (2008)) gedaan waarin de focus op het zomerbed lag en dit effect wordt bekeken. Dit is van belang voor de professionele scheepvaart en voor de vaargeulbeheerder, die het zomerbed op diepte dient te houden. Deze studies stoppen echter bij de kribkoppen en worden de kribvakken en de morfologische en hydraulische invloeden op de omgeving niet meegenomen. Rijkswaterstaat wil meer inzicht in deze materie om beter informatie te kunnen verschaffen over de effecten van het verlagen van de kribben op de functies van de oevers.

2.2 Probleemstelling

De hoofdvraag voor dit onderzoek is:

"Wat is het effect van kribverlaging op oeverlijnverplaatsing?"

De hoofdvraag zoals die hier is opgesteld is op zichzelf lastig te beantwoorden. Deze wordt opgesplitst in drie deelvragen. Dit zijn:

1. Wat is de definitie van een oeverlijn voor dit onderzoek?
2. Wat is de invloedsvolgorde bij de huidige oeverlijnverplaatsing door toedoen van de gekozen maatgevende oorzaken van fysische effecten op de oever?
3. Wat is de invloedsvolgorde bij de oeverlijnverplaatsing door toedoen van de gekozen maatgevende oorzaken van fysische effecten op de oever na kribverlaging?

2.3 Doelstelling

De doelstellingen van dit onderzoek zijn de volgende:

1. Het ontrafelen van de morfologische systemen die in de huidige situatie en na kribverlaging plaatsvinden, m.b.t. de oevers tussen de kribben;
2. Een opzet leveren voor een vervolg onderzoek naar de morfologische effecten die in de huidige situatie en na kribverlaging plaatsvinden m.b.t. de oevers tussen de kribben;

2.4 Aanpak

In eerste instantie zijn, met behulp van deskundigen op het gebied van riviermorfologie en waterloopkunde, de maatgevende oorzaken van oeverlijnverplaatsing bepaald. Dit zijn:

- Oeveropbouw;
 - O.a. een verschil van ruwheid tussen grondsoorten en constructies op een oever;
 - O.a. wijken van vegetatie;
- Vertrappen/vernielen van de oever door landbouw en vee;
- Vandalisme door recreatief gebruik;
- Afval;
- Het afvoerregime van de rivier;
 - O.a. in- en uitgangen van uiterwaarden bij hoogwater;
- De geometrie van de rivier;
- Daling kribvakbodem en massabewegingen;
- De windgolven;
- Nautische bewegingen;
- IJsbelasting;

Vervolgens zal er met behulp van literatuur en deskundige een invloedsvolgorde worden bepaald voor de huidige situatie en als laatst worden deze oorzaken beschouwd in de toekomstige situatie om zo een beeld te geven wat van belang is bij oeverlijnverplaatsing in de toekomstige situatie.

Er zijn naast deze effecten nog meer effecten die invloed hebben op de oeverlijnverplaatsing, bijvoorbeeld grondwaterstromingen, alleen zijn deze in samenspraak met de deskundigen niet als maatgevend getypeerd. Hierdoor zal er alleen gekeken worden naar deze effecten en worden de andere buiten beschouwing gelaten.

2.5 Leeswijzer

Belangrijk voor dit onderzoek is de definitie van de oeverlijn die wel of niet gaat verplaatsen. Daarom is dit ook deelvraag één. Deze vraag "Wat is de definitie van de oeverlijn" wordt in het volgende hoofdstuk beantwoord.

Morfologie is een lastig en complex verschijnsel, dat lastig te analyseren is. Om dit toch te kunnen doen is enige voorkennis noodzakelijk. In hoofdstuk vier is de met behulp van literatuur en deskundigen de benodigde informatie opgeschreven.

Wanneer de kennis beschikbaar is kan deelvraag twee worden beantwoord. De vraag "Wat is de invloedsvolgorde bij de huidige oeverlijnverplaatsing door toedoen van de gekozen maatgevende oorzaken van fysische effecten op de oever" wordt dan ook in hoofdstuk vijf beantwoord.

In hoofdstuk zes wordt de belangrijkste vraag, namelijk deelvraag drie, van dit onderzoek beantwoord. Hierin wordt namelijk het effect van kribverlaging op de verschillende oorzaken beschreven en wordt er antwoord gegeven op de vraag "Wat is de invloedsvolgorde bij de oeverlijnverplaatsing door toedoen van de gekozen maatgevende oorzaken van fysische effecten op de oever na kribverlaging".

In hoofdstuk zeven zal de eindconclusie en aanbevelingen, die volgen uit dit onderzoek, beschreven worden.

3 Definitie Oeverlijn

Het is voor dit project van belang om een duidelijk beeld te hebben wat de oeverlijn precies inhoudt. In dit hoofdstuk zal een onderzoek beschreven worden waarmee de verschillende soorten oevers langs de Waal zijn geclassificeerd en wordt er gekeken wat voor definities van oeverlijnen er in de omgang zijn. Uiteindelijk zal er een definitie gekozen worden die voor de rest van het onderzoek geldt.

3.1 Het onderzoeksgebied

Om een algemeen beeld van de Waal te beschouwen zijn er voor dit onderzoek twee geometrisch verschillende gebieden gekozen.

Het gaat hierbij om deel één tussen Pannerdense Kop en Nijmegen (km 872-882), dat sterk meandert en deel twee tussen Beuningen en Beneden Leeuwen (km 890-908), dat licht meandert (zie figuur 3.1). De normaalbreedte van de rivier is in beide gebieden 260 meter. De kribvakken zijn gemiddelde 200 meter breed (Schans 1998). Ook Kornman (1993) heeft op deze trajecten een onderzoek naar oeverlijnverplaatsing gedaan, waardoor een goede basis van informatie voorhanden is.



Figuur 3.1: Deelgebieden langs de Waal (bron: (48))

3.2 Soorten oevers langs de Waal

Langs een rivier als de Waal zijn verschillende soorten oevers te vinden. In een kort onderzoek, met behulp van luchtfoto's, is geprobeerd om deze soorten oevers duidelijk te classificeren. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de linker- en de rechteroever. De linker- en rechteroever zijn te definiëren aan de hand van de boei kleuren zoals dit beschreven is in het BPR op de Waal. Voor de betoning geldt daar het volgende:

"Men heeft vastgesteld, dat de stroomrichting vanaf de bron (van de rivier is vaak een berg) naar de zee of andere rivier of kanaal stroomt. Varend vanaf de bron naar bijvoorbeeld de zee liggen de rode boeien en tonnen in principe altijd aan uw rechterzijde en de groene aan uw linker zijde."

Dit betekent dat, vanuit Duitsland gezien, de overwegend noordoever de rechteroever is en de overwegend zuidoever de linkeroever.

Voor dit korte onderzoek zijn de gegevens van Kornman (1993) gebruikt en luchtfoto's uit de periode 1996-2008.

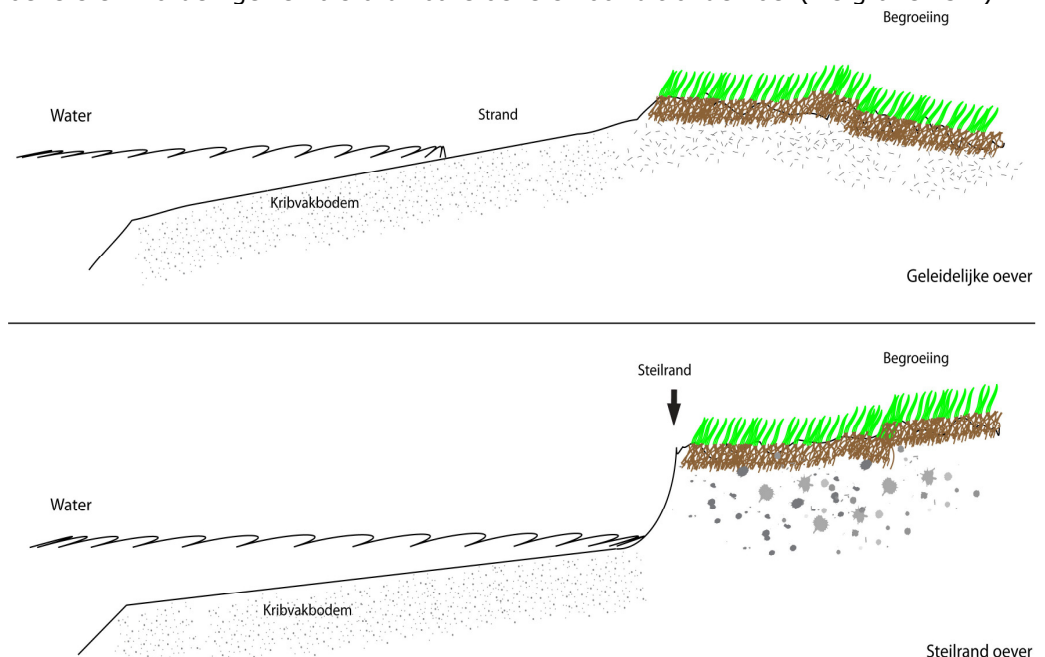
De methode met luchtfotografie brengt nogal wat risico's met zich mee. Zo kan door: hoogwater, vegetatie en lichtinval, de oevers een ander uiterlijk krijgen dan de werkelijkheid. Om de foutkans te verminderen is er gekeken, over verschillende jaren, naar de meest voorkomende oeversoort van ieder kribvak en is die oeversoort aangenomen. Bij een gelijke uitkomst is er besloten om de oeversorten van 2002 en 2008 te vergelijken, omdat hiervan de hoogste resolutie luchtfoto's beschikbaar waren. Door de oeversoort op deze manier te bepalen is er altijd een eenduidig antwoord uitgekomen.

Deze aannames nemen niet weg, dat er nog steeds een mogelijkheid is, dat bepaalde oevers onder de verkeerde oeversoort geclassificeerd zijn. Vanwege het feit, dat dit korte onderzoek meer verificatie is van gevonden waardes en conclusies uit het onderzoek van Kornman, worden deze fouten als acceptabel beschouwd. De gevonden oeversorten uit dit korte onderzoek, aangevuld met de waardes uit Kornman(1993) zijn te vinden in bijlage B.

3.2.1

Meest gangbare oevers

Uit het korte onderzoek blijkt, dat er twee "meest gangbare" oeversorten zijn te onderscheiden. Dit zijn: de geleidelijke overgang van kribvak naar het kribvakstrand met vervolgens het begroeide achterland en de steilrand-oevers. Beide zijn weergegeven in figuur 3.2. Deze oevers beslaan 68% van de beschouwde 267 oevers en worden gezien als bruikbare oevers voor dit onderzoek (zie grafiek 3.1).



Figuur 3.2: Weergaven meest gangbare oevers

Van deze 68% blijkt, dat 79% bestaat uit de geleidelijke-oevers. Dit komt overeen met de gevonden stelling van Kornman(1993), dat de meeste oevers langs de Waal uit geleidelijke-oevers bestaan.

Geleidelijke-oeveren zijn oevers met een toplaag van zand. Door deze toplaag past de oever zich altijd aan naar een evenwichtstalud. Dit talud blijkt in de natuur tussen de 1:50 en de 1:100 te liggen. Door dit flauwe talud kan een kleine bodemverandering grote effecten hebben. Typerend bij geleidelijke zandige kribvakoevers is het zandstrand tussen de water-landscheiding en de vegetatielijn.

13% van de meest gangbare oevers blijkt uit steilrand-oeveren te bestaan. Dit komt tevens overeen met de gevonden stelling van Kornman(1993), dat de op één na grootste hoeveelheid oevers langs de Waal uit steilrand-oeveren bestaan.

Steilrand-oeveren zijn oevers met een toplaag van rivierklei. Door deze kleilaag zal de oever zich, in tegenstelling tot de geleidelijke-oeveren, niet aanpassen naar het evenwichtstalud. Hierdoor vormt zich een opstaande oeverwand, die bijvoorbeeld door vogels als broedplaats gebruikt kan worden.

8% van de 68% meest gangbare oevers is een combinatie van deze twee soorten.

3.2.2

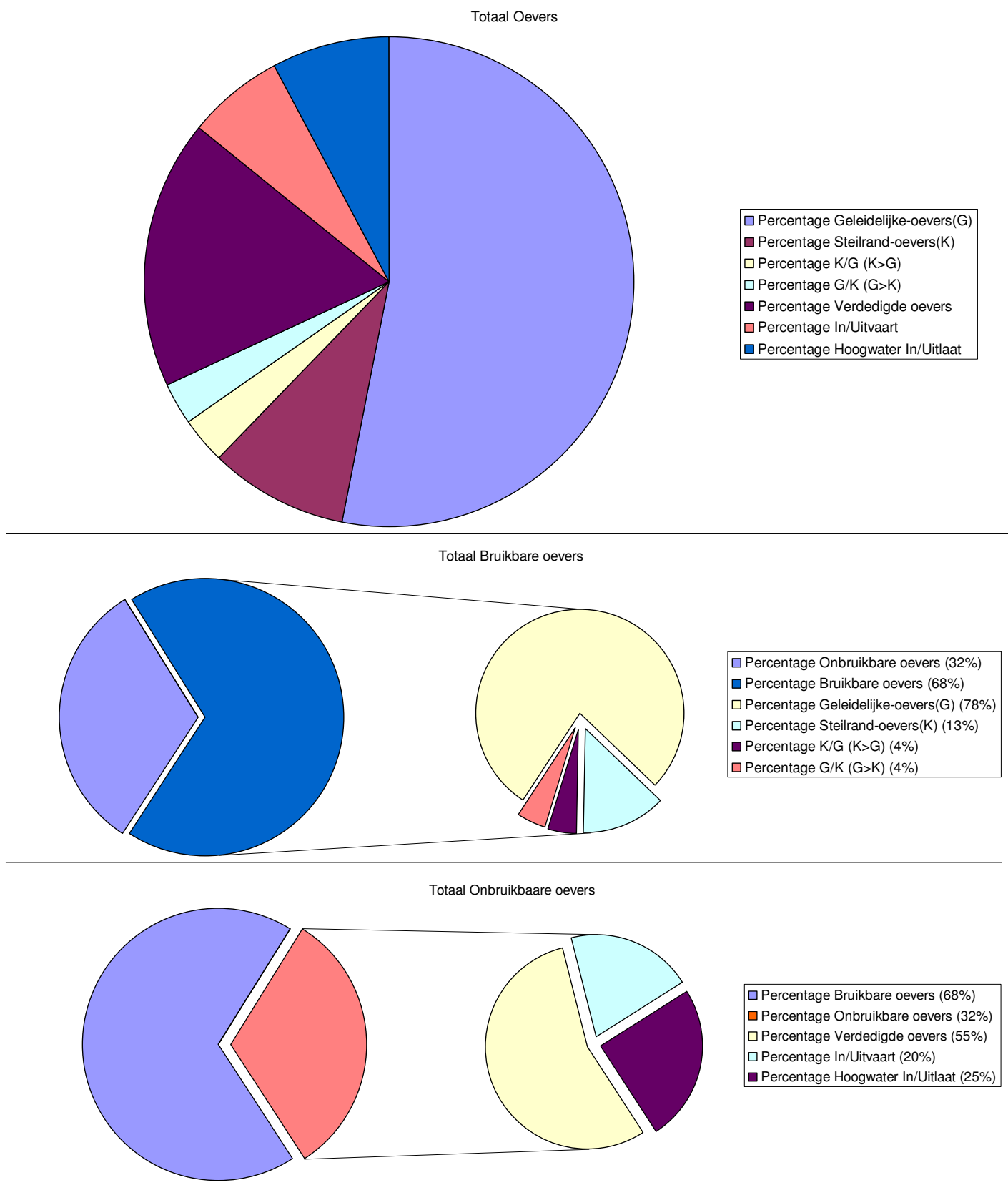
Speciale oevers

De andere 32% van de beschouwde 267 oevers zijn getypeerd als speciale oevers en zijn onbruikbaar voor dit onderzoek (zie grafiek 3.1). Dit zijn oevers met een 2^{de} functie of zijn eigenlijk geen oevers. Denk hierbij aan aanlegplaatsen, havens, steigers, enz. Ook oevers die bij hoogwater een extra functie hebben of oevers die beschermd zijn, vallen onder deze categorie. Deze extra functie geeft: of een extra belasting op de oevers wat kan zorgen voor een vergrote oeverlijnverplaatsing, of er vindt geen oeverlijnverplaatsing plaats vanwege de oeververdediging.

Het grootste deel (55%) van de 32% speciale oevers is een oever die verdedigd is en heeft dus niet of nauwelijks last van oevererosie of sedimentatie.

25% van de speciale oevers zijn oevers die bij hoogwater de in- of uitgang vormen voor de uiterwaarden. Deze oevers hebben een vergrote belasting en daarmee een grotere kans op oeverlijnverplaatsing.

Het kleinste deel (20%) van de speciale oevers wordt gebruikt als in- en uitvaart van havens en nevengeulen. Omdat deze oevers niet over de gehele kribvakbreedte lopen, worden deze oevers als niet volwaardige oevers beschouwd.



Grafiek 3.1: Percentages van oeversoorten langs de Waal

3.3 Beheersfuncties van oevers langs de Waal

De oevers langs de Waal zijn in principe vrij om aan te zanden en te eroderen. Toch wordt er door Rijkswaterstaat onderhoud aan de oevers gepleegd. Dit gebeurt omdat bepaalde functies, die de oevers toegekend hebben gekregen, moeten worden behouden. Aan deze functies zijn bepaalde eisen gesteld en wanneer een oever deze interventiewaarde overschrijdt is het de tijd om onderhoudsmaatregelen (Bakker *et al* (2001), Cats (2002)) toe te passen. Dit hangt uiteraard vast aan een financieel plaatje. Van het totale onderhoudsbudget van de Waal, dat 1,6 miljoen euro is (Heezen 2006), gaat er 90% naar de kribben en 10% naar de oevers, zie Ariens *et al.* (1994).

Eerst zal er gekeken moeten worden naar de functies van de Waal zelf. In het beheersplan voor de Rijkswateren (BPRW) worden de volgende functies van waterwegen in Nederland opgesteld (Castelein (2002):

- 1 Basisfuncties;
- 2 Functies bij hoofdvaarwegen;
- 3 Gebruiksfuncties;

Deze volgorde is meteen de prioriteitsvolgorde waarmee het BPRW werkt. In de volgende tabel staan deze functies per hoofdsysteem weergegeven.

Nr.	Toegekende functie	Waal	Boven-Rijn	Neder-Rijn/Lek	IJssel
<i>Basisfuncties</i>					
1	Afvoer Water, Sediment en IJs (Voldoende Water)	x	x	x	x
2	Onderdeel van de waterkering (Veiligheid)	x	x	x	x
3	Natuur en Landschap (Schoon en Gezond Water)	x	x	x	x
<i>Functies bij Hoofdvaarwegen</i>					
4	Hoofdtransportas	x	x		
5	Hoofdvaarweg			x	X
6	Recreatievaart	x	x	x	X
<i>Gebruiksfuncties</i>					
7	Regionale Watervoorziening	x		x	X
8	Beroepvisserij	x	x	x	X
9	Oeverrecreatie en sportvisserij	x	x	x	X
10	Drinkwatervoorziening			x	X
11	Zwemwater				
12	Koelwater voor Energiecentrales	x			X
13	Waterkrachtcentrales			x	
14	Oppervlaktedelfstoffenwinning			x	
15	Landbouw op oevers en in uiterwaarden			x	X

Tabel 3.1: Beheersfuncties van de vier grote rijntakken volgens het BPRW

Al deze functies van de Waal zijn door de beherende instantie, Rijkswaterstaat Dienst Oost-Nederland ook wel Rijkswaterstaat DON, overgenomen in het beheersplan van deze dienst. Natuurlijk zijn niet al deze beheersfuncties toe te kennen aan de oevers van de Waal. De beheersfuncties die Rijkswaterstaat DON toekent aan de oevers en direct een functie eis aan de oever stellen zijn: functie drie en functie vier.

3 Natuur en Landschap

De functie "Natuur en Landschap" stelt eisen aan de inrichting van de oevers. Het hangt af van het oeverdoeltype hoe de oever ingericht dient te worden. Ook belangrijk hierbij zijn de natura 2000 zones en de Vogel- en Habitatrichtlijnen. Door de inrichting kan deze functie ook eisen stellen aan de vorm van de oever en de hydraulische activiteit rond de oever. In verband met vissen en vogels kan er namelijk een eis van geen of weinig golfslag zijn. Voor het oeverdoeltype wordt verwezen naar het rapport Oeverture (1993).

4 Hoofdtransportas

De eis bij deze functie bestaat uit het handhaven van het nautische profiel. Het nautische profiel kan wijzigen door het ontstaan van nevengeulen bij het worteleinde van een krib. De krib wordt dan zogenaamd achterloops waardoor een deel van het debiet door deze nevengeul gaat, wat een verlaging van de waterstand kan betekenen. Een andere eis van deze functie is, dat er altijd een bepaalde zichtlijn moet zijn. Deze zichtlijn is nodig vanwege de veiligheid van de scheepvaart. Deze eis geeft dus een hoogte van de oeverbegroeiing aan.

Functies die indirect een eis aan de oever stellen zijn:

1 Afvoer Water, Sediment en Ijs

De functie "Afvoer water, sediment en ijs" kan een eis stellen aan de vorm van de oevers en dus aan de bestandheid tegen stroming, ijsvorming en aan eventuele begroeiing van de oevers. De Waal voert het meeste water van de Rijn af naar zee, ongeveer $\frac{6}{9}$ deel. De andere $\frac{3}{9}$ deel is onderverdeeld in Nederrijn $\frac{2}{9}$ en IJssel $\frac{1}{9}$ deel. De huidige maximale afvoer van de Rijn is 15.000 m³/s. Dit betekent, dat de Waal berekend is op een afvoercapaciteit van 10.000 m³/s. Deze afvoer kan belemmerd worden door het aanzanden van de oevers, het vormen van ijsdammen en door begroeiing op de oevers. Er moet dus voor gewaakt worden, dat de afvoercapaciteit behouden blijft.

2 Onderdeel van de waterkering

De functie "Onderdeel van de waterkering" kan een eis stellen aan de stabiliteit van de oevers. Zo zal een oever, die onderdeel van een waterkerende constructie is, niet mogen afkalven of aanzanden om ondermijning van de waterkerende constructie te voorkomen. Deze oevers moeten dus ook een oeverbescherming krijgen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan stortstenen of basaltblokken.

6 Recreatievaart

Deze functie kan eenzelfde eis stellen als functie vier. De recreatievaart heeft echter een lagere prioriteit dan de beroepsvaart en door het verschil in diepgang zal het probleem ook eerder zichtbaar worden bij de beroepssector.

7,8 Beroepsvisserij en regionale watervoorziening

Met betrekking tot de oever kan er voor deze functie gelet worden op de te gebruiken materialen. Zo is een ruwe oever goed voor de visstand en zijn bepaalde materialen niet wenselijk vanwege uitloging van schadelijke stoffen.

9 Oeverrecreatie en sportvisserij

In principe zijn kribvakoevers niet bestemd voor recreatie maar waar dit wel gebeurt kan een eis gesteld worden aan de vandalismebestendigheid van de oever.

12 Koelwater voor energiecentrales

De functie Koelwater voor Energiecentrales geeft alleen lokaal een eis aan de oevers. Zo zal door de in- of uitlaatwerken een belastingverhoging van de oevers ontstaan. Dit zou opgelost kunnen worden door een lokale oeverbescherming

In bijlage C is de gebeurtenissenboom met kritieke onderdelen van Rijkswaterstaat DON weergegeven.

3.4 Definities oeverlijn in de Literatuur

Hieronder is een kleine greep uit de verschillende definities van de oeverlijn uit verschillende bronnen opgeschreven.

Kornman(1993) RIZA

"De oeverlijn is de grens tussen het zandige kribvak strand en het begroeide achterland. Als een steilrand de grens vormde tussen het kribvakstrand en het achterliggende land is deze als oeverlijn genomen, ook in het geval, dat er vegetatie voor de steilrand op het kribvakstrand stond. Indien er geen steilrand aanwezig was dan is de vegetatiegrens als oeverlijn genomen."

www.kartografie.nl

"Oeverlijn: Lijn die bij zeearmen en binnenwater (rivieren, kanalen, meren) de grens tussen land en water aangeeft, bij een gemiddelde waterstand of een waterstand op een bepaald ogenblik."

Drs. H.E.J Simons et al. (1994) CUR Bouw en Infra

"De begrenzing van de oever langs een rivier is aan de landzijde de hoogst mogelijke plaats tot waar het rivierwater (kwel uitgezonderd) kan komen. Meestal ligt deze net onder de kruin van de winterdijk. De begrenzing van de oever aan de waterzijde wordt gevormd door de teen van het onderwatertalud, of de waterdiepte waar nog licht beschikbaar is voor de groei van planten"

Anoniem(2006) Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

"Oeverlijn: De overgang van het natte naar het droge talud bij het laagste ter plaatsen voorkomende peil."

Burgerlijk Wetboek 5 (BW5) | Boek 5 | Titel 3 | Artikel 34

"De oeverlijn wordt bepaald door de normale waterstand, of, bij wateren waarvan het peil periodiek wisselt, door de normale hoogwaterstand. Grond, met andere dan gewoonlijk in het water levende planten begroeit, wordt echter gerekend aan de landzijde van de oeverlijn te liggen, ook al wordt die grond bij hoogwater overstroomd."

Samengevat kunnen deze definities in drie vormen geschreven worden. Dit zijn:

- 1 De land-waterscheiding bij een bepaalde waterstand; bijvoorbeeld hoogwaterstand, laagwaterstand, gemiddelde waterstand, ontwerppeil waterkerende constructies, enz;
- 2 De vegetatiegrens; de grens tussen de begroeide oever en de zandoever;
- 3 De steilrand van een oever;

Bij definitie twee is als voorwaarde gesteld, dat de bedekkinggraad van de vegetatie achter de oeverlijn minimaal 50 % moet zijn.

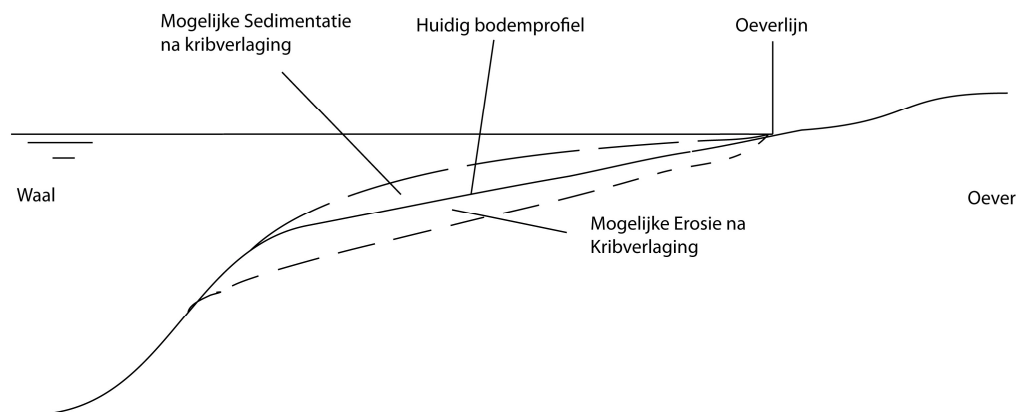
3.5

Mening van Deskundige

Dhr. ir. H. Havinga, Senior Rivierkundig Adviseur bij Rijkswaterstaat Dienst Oost-Nederland.

Uit het contact met Dhr. Havinga kwamen de volgende punten met betrekking tot de oeverlijn naar voren.

- 1 Kies in de definitie van de oeverlijn niet één maar drie verschillende lijnen. Dit is nodig voor het onderzoek omdat een oeverlijn weinig zegt over een morfologische verandering. Zo kan de oever geërodeerd zijn of aangezand terwijl die ene gekozen oeverlijn gehandhaafd blijft(zie figuur 3.3);
- 2 Een goede keuze van de drie lijnen zou zijn: laagwaterstand, gemiddelde waterstand en vegetatiegrens;
- 3 Let op de oevers die de opening vormen naar en van de uiterwaarden. Bij de oevers met een opening naar de uiterwaarden met hoogwater, is er een geconcentreerde stroom met veel sediment over de oever wat voor sedimentatie kan zorgen. Bij de oevers met een opening uit de uiterwaarden met hoogwater, is er een geconcentreerde stroom zonder veel sediment over de oever waarbij erosie kan optreden;



Figuur 3.3: Schematische weergaven van mogelijke situatie met beschouwing van één oeverlijn

Dhr. dr. ir. A. Sieben, Adviseur/Specialistisch medewerker bij de Waterdienst van Rijkswaterstaat.

Uit het contact met Dhr. Sieben zijn de volgende punten naar voren gekomen:

- 1 Kijk goed naar het doel van je onderzoek en vraag jezelf af "Wie wil wat van de oever weten" en voor wie is het onderzoek bedoeld;
- 2 Bekijk goed de te onderzoeken processen ten opzichte van het doel van het onderzoek;
- 3 Laat m.b.v. punt één en twee de lijnen zichzelf definiëren. Ga geen lijnen zelf kiezen want dan weet je niet of die voldoen aan wat je wilt met het onderzoek;

Dhr. drs. F.M.L. Berben, adviseur/specialistisch medewerker Rivierkunde bij Rijkswaterstaat Dienst Oost-Nederland.

Uit het contact met Dhr. Berben blijkt, dat Dienst Oost-Nederland de volgende definitie aanhoudt.

"Als Dienst Oost-Nederland hebben wij basisbestanden met de oeverlijn van de rivier. De definitie die daarbij gehanteerd wordt is: De landwaterscheiding van de oppervlakte die de rivier aanneemt bij de gemiddelde afvoer van 2220 m³/s bij Lobith. Voor nevenrivieren, havens en plassen in open verbinding met de Waal worden afgesneden bij een denkbeeldige lijn die tussen de kribwortels wordt getrokken."

Dhr. Ir. M. van der Wal, Senior Project Advisor bij Deltares

Uit het contact met Dhr. Van der Wal zijn de volgende punten gekomen.

- 1 Kijk op Google Earth of op luchtfoto's, welke definitie het beste past en het doel van de oevers;
- 2 De definitie "De land-waterscheiding bij een bepaalde waterstand; bijvoorbeeld hoogwaterstand, laagwaterstand, gemiddelde waterstand, ontwerppeil waterkerende constructies, enz." levert altijd een resultaat op want het is meer een gebied dan een lijn maar, dat is ook de zwakte van de definitie;
- 3 De vegetatiegrens varieert minder, maar is soms moeilijk te bepalen. Misschien is de keus voor een bepaalde ecotoop (grasland) beter;
- 4 Meerdere oeverlijnen kiezen is een goed plan. Een enkele definitie van een oeverlijn is waarschijnlijk niet bevredigend. Onderscheid verschillende typen oevers waarbij wel een oeverlijn kan worden bepaald;
- 5 De lijn die tussen twee wortelpalen ligt kan ook als oeverlijn worden genomen. Dit is namelijk tot waar de oorspronkelijke kribben lopen;
- 6 Het hoogste punt van de oever is misschien nog een betere definitie. Hiermee zijn steilrand-oevers ook gelijk meegenomen en op dit punt zal veel morfologische dynamiek plaatsvinden;

Wat betreft de punten uit de contacten met; Dhr. Van der Wal, Dhr. Sieben en Dhr. Havinga geldt, dat het mijn interpretatie van de correspondentie is, en geen citaten. Voor de definitie van Dhr Berben gaat het wel om een citaat.

3.6 Synthese van hoofdstuk drie

Aan de hand van de vorige paragrafen kunnen verschillende conclusies en aannames gedaan worden. Deze conclusies en aannames worden in deze paragraaf behandeld.

3.6.1 *Ten opzichte van oeversoorten*

Naar aanleiding van het onderzoek blijkt, dat 32% van de oevers langs de beschouwde delen van de Waal een extra functie hebben waardoor er geen of juist meer oevererosie plaatsvindt.

Bij de beschermde oevers is er nu al spraken van geen oeverlijnverplaatsing en er wordt verwacht, dat deze na kribverlaging nog steeds niet van toepassing is. Hierdoor zullen deze oevers niet meegenomen worden in de rest van het onderzoek.

De oevers die dienen als in- en uitvaart van nevengeulen en havens zijn geen volledige oevers. De kleine stukken oevers die er wel zijn hebben last van een vergrote belasting door de scheepvaart. Hierdoor zijn de oevers ook vaak beschermd en worden dus niet meegenomen in het verdere onderzoek.

3.6.2 *Ten opzichten van oeverlijn*

Zowel uit paragraaf 3.4 als paragraaf 3.5 blijkt, dat de vraag "Wat is een oeverlijn" nog niet gemakkelijk te beantwoorden is. Zowel de literatuur als deskundigen zijn hier niet eenduidig in. Dit komt omdat de definitie van een oeverlijn afhangt van de "speler" die de definitie moet stellen. Zo zal voor "De beheerder" een andere oeverlijn van belang zijn als bijvoorbeeld voor "Het waterschap".

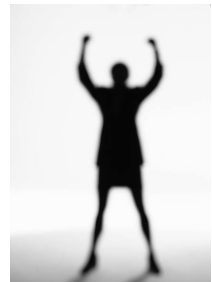
Omdat dit onderzoek onder andere bedoeld is voor de informatievoorziening zal er eerst door verschillende brillen naar de drie voorgestelde definities van paragraaf 3.4 gekeken worden om vervolgens de oeverlijn voor dit onderzoek te definiëren. Met verschillende brillen zal het oogpunt van de volgende spelers beschouwd worden:

- 1 De privé eigenaar;
- 2 De beheerder (RWS-DON);
- 3 Het waterschap (Rivierenland);
- 4 De ecooloog;
- 5 Het project (Ruimte voor de Rivier);
- 6 De scheepvaart;
- 7 De recreant;

De privé eigenaar

De meeste buitendijkse gebieden langs de Waal zijn eigendom van privaten of worden verpacht aan een private onderneming. Dit zijn vaak agrarische bedrijven of industrie.

Deze ondernemingen weten, dat een aantal keer per jaar het water hoog genoeg staat om de uiterwaarden in te treden en is de hoogwaterstand dus niet van belang. Wel is het voor deze bedrijven van belang wat de bruikbare grond is, tijdens de langste tijd van het jaar. Dit betekent, dat een verandering van de laag- en gemiddelde waterstand, vegetatiegrens en een mogelijke steilrand, wel van belang is voor deze ondernemingen.



De beheerder(Rijkswaterstaat DON)

Het beheer van de meeste oevers langs de Waal ligt bij Rijkswaterstaat DON. Deze organisatie grijpt in als de functie-eis van de oevers wordt overschreden.

Functies die aan de oevers van de Waal zijn gesteld, zijn:

- Het behouden van de oeversoort zoals bepaald in het document Overture (1993) ;
- Het behouden van de zichtlijn voor de scheepvaart;
- Het voorkomen van achterloopsheid bij kribben;



Met betrekking tot het functieverlies bij het behouden van de zichtlijn is de vegetatiegrens van belang. De zichtlijn voor de scheepvaart houdt in, dat de scheepvaart te allen tijde in de bochten een bepaalde zichtlijn moet hebben om op mogelijke tegenliggers te reageren. Voor het voorkomen van achterloopsheid zijn de gemiddelde- en hoogwaterstanden van belang. Bij deze waterstanden is er namelijk een directe aanval op het einde van de krib. Bij het behouden van de oeversoort zijn aspecten als de laag- en gemiddelde waterlijn en vegetatiegrens maatgevend.

Het waterschap(Rivierenland)

Het waterschap beheert de winterdijken en dijkringen in een gebied, zo ook langs de Waal. Langs de Waal is Waterschap Rivierenland het beherende waterschap. Voor het beheer van deze winterdijken wordt er in principe niet gekeken naar de rivier, wat onder het beheer van Rijkswaterstaat valt. Toch kijkt ook "Het waterschap" naar de oevers. De winterdijk heeft namelijk een beveiligingszone van $\pm$ vijftig meter waar de rivier niet zomaar binnen mag stromen. Dit wordt gemeten vanaf de gemiddelde- en laagwaterstand. Hiervoor is het dus van belang voor de waterschappen om te weten wat de rivier gaat doen bij die waterstanden.



De ecoloog

De ecoloog kijkt naar de natuur rondom de oevers van de Waal. Zo kan er bijvoorbeeld in een steilrand vogels nestelen en bij een ondiep strand een rietveld ontstaan wat voor een natuurlijke dynamiek zorgt. Deze dynamiek wordt door de staat gesubsidieerd en geeft een levendig uiterlijk aan de oevers. Voor de ecoloog is dus een verandering van de vegetatiegrens, steilrand en laag en gemiddelde waterstand van belang.



Het project (Ruimte voor de Rivier)

Het kerndoel van het project kribverlaging Waal in Ruimte voor de Rivier is het vergroten van de afvoercapaciteit. Om dit te bereiken wordt er geprobeerd om verschillende plaatsen, met verschillende maatregelen het doorstroomoppervlakte te vergroten. Dit betekent, dat er in de



basis gekeken wordt naar de verschillen van de land-waterscheiding bij alle waterstanden. Uiteraard wordt er zijdelings ook rekening gehouden met de natuur, maar in essentie is het verbeteren van de natuurlijke kwaliteit niet het doel van het project. Hierdoor is er besloten om de vegetatiegrens en de steilrand niet mee te nemen als belang voor het project.

De schipper

Zoals al bij "De beheerder" blijkt is de zichtlijn voor de scheepvaart van groot belang, wat betekent, dat de schipper zal kijken naar de vegetatiegrens. De schipper zou ook geïnteresseerd kunnen zijn in de land-waterscheiding. Echter zal hiervan in de Waal geen spraken zijn, omdat de kribben in samenwerking met de vaargeul de vaarweg aangeeft en dus niet de oevers.



De recreant

Langs de Waal vindt op verschillende punten recreatie plaats. Dit gaat vaak om vissers die in het kribvak vissen vanaf de oevers en de kribben. Officieel is het niet toegestaan om te recreëren zo dicht aan de Waal. Echter is hier een gedoogbeleid van toepassing. Dit zal na kribverlaging nog steeds aan de orde kunnen zijn. Omdat recreatie dus wel wordt gedoogd en na kribverlaging nog zal voorkomen is de recreant ook meegenomen in de beschouwing. Deze zal kijken naar de laagwaterstand en de gemiddelde waterstand. Dit omdat bij hoogwater er waarschijnlijk niet tot nauwelijks recreatie mogelijk zal zijn.



Nu er gekeken is naar welke spelers er zijn en wat voor hen een correcte definitie van een oeverlijn is, kan de volgende tabel worden opgesteld:

Speler	Land waterscheiding bij bepaalde waterstand(bepaalde waterstand)		Vegetatie Grens	Steilrand
	Laagwaterstand en Gemiddelde waterstand	Hoogwaterstand		
De privé Eigenaar	X		X	X
De Beheerder (RWS-DON)	X	X	X	
Het Waterschap (Rivierenland)	X			
De Ecoloog	X		X	X
Het project RVR	X	X		
De Schipper			X	
De Recreant	X			

Tabel 3.2: Keuze spelers voor het bepalen van de oeverlijn.

Uit deze tabel blijkt, dat de meeste spelers gebaat zijn bij het definiëren van de oeverlijn als land-waterscheiding bij laag- en gemiddelde waterstand. Met de aanname, dat de vegetatiegrens en de land-waterscheiding bij een gemiddelde waterstand om en nabij dezelfde grens aangeven wordt de conclusie door alle spelers ondersteund.

De definitie van de oeverlijn kan dan nu als volgt worden gesteld:

"De land-waterscheiding bij een laagwaterstand en de land-waterscheiding bij een gemiddelde waterstand"

Hierbij wordt voor de laagwaterstand de OLR aangenomen. Dit is de overeengekomen lage rivierstand. De OLR is een waterstand die samenhangt met de overeengekomen lage afvoer. Deze OLA wordt 5% van de tijd gehaald en is nu gesteld op 1.020 m³/s bij Lobith (Barneveld et al(2009)). De andere 95% dient de afvoer hoger te zijn. Met de OLR kan er een vaste vaardiepte worden gerealiseerd voor de scheepvaart. De OLR voor onderzoek komt overeen met een waterstand van 7,52 +NAP gemeten bij Lobith.

Voor de gemiddelde waterstand wordt de waterstand aangenomen die optreedt bij de gemiddelde afvoer. Dit komt overeen met een afvoer van 2220 m³/s bij Lobith (bron (38))

Zoals de definitie verteld wordt er in het onderzoek twee oeverlijnen beschouwd. Het nadeel van het beschouwen van twee oeverlijnen is de beschouwingstijd per oeverlijn. Met deze definitie is, dat nadeel echter ook geen probleem. In de situatie na kribverlaging zal de laagwaterstand namelijk nog steeds onder de kruin van de kribben liggen. Hierdoor kan verwacht worden, dat deze oeverlijn behouden blijft. Dit betekent, dat met deze conclusie er vooral gekeken wordt naar een verandering van de oeverlijn bij de gemiddelde waterstand. Op deze manier zijn er twee oeverlijnen gekozen maar wordt er maar één beschouwd hetgeen tijdswinst oplevert voor het onderzoek.

Opgemerkt moet worden, dat de gekozen waterstanden voortkomen uit huidige gegevens. Hoe deze waterstanden zich in de toekomst gaan gedragen en wat dit effect is op de rest van het onderzoek, is nog onduidelijk.

4 Huidige Oeverlijnvverplaatsing: Vooronderzoek

Voordat naar de fysische effecten gekeken kan worden, zal er eerst meer kennis moeten komen in de hydraulische systemen die van belang zijn bij de morfologie rondom kribvakken. Eerdere conclusies met betrekking tot morfologie van een oever kunnen hierbij helpen. Uit tijdsoverwegingen is het niet mogelijk om alle systemen na te lopen, daarom zijn alleen de meest prominente systemen beschreven.

4.1 Sedimenttransport en de invloed op een rivier

4.1.1 Oorsprong erosie en sedimentatie

Erosie en sedimentatie wordt in principe veroorzaakt door een verandering van snelheid.

In het geval van sedimentatie verandert met een verlaging van de snelheid, de transportcapaciteit van het water. Dit wordt duidelijk in verschillende formules voor het berekenen van de transportcapaciteit. In grafiek 4.1 is het verloop van de transportcapaciteit t.o.v. de stroomsnelheid weergegeven, berekend met de formule van *Meyer-Peter, Müller* (Snoep (2007)).

$$q_{v,b} = 16b * \left\{ \left(\frac{v}{C_k} \right)^2 - 0.08d_{50} \right\}^{\frac{3}{2}} \quad [1]$$

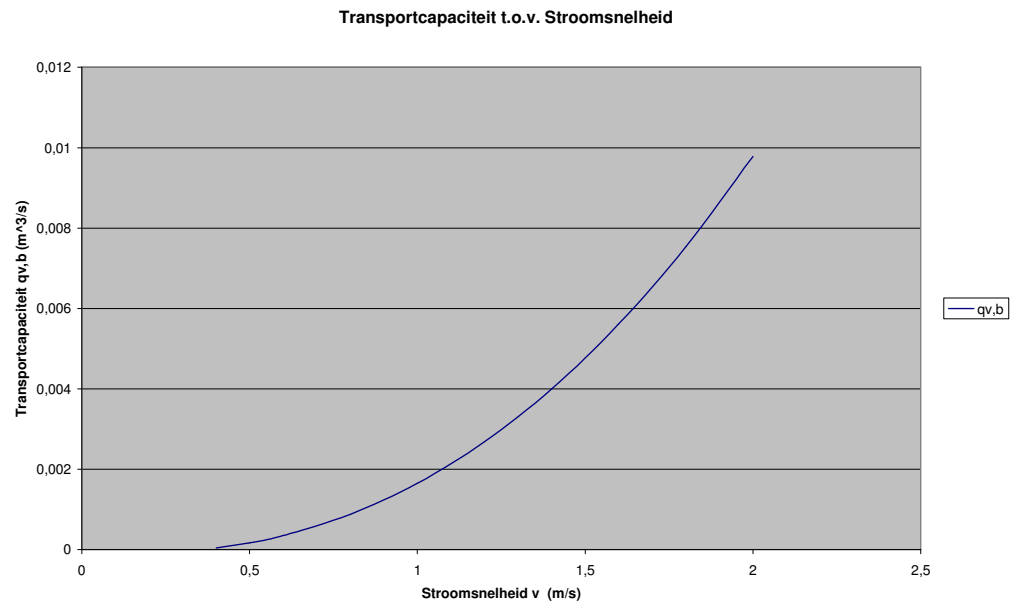
Waarin:

$q_{v,b}$	= Bodemtransport	(m ³ /s)
b	= Breedte van de waterloop	(m)
v	= Kritieke stroomsnelheid	(m/s)
C_k	= Chézy coëfficiënt voor de korrelgrootte	(m ^{1/2} /s)
d_{50}	= Mediaan korreldiameter	(m)

In de grafiek is te zien, dat hoe lager de stroomsnelheid hoe kleiner de transportcapaciteit, waardoor sediment zal neerdalen.

De formule van *Meyer-Peter, Müller* is een formule voor het bodemtransport.

De formule wordt bepaalde door aannamen en uitgangspunten en is voor dit onderzoek niet naar toepasbaarheid getest. Het gebruik van deze formule in dit document is dan ook puur voor het aantonen van de conclusie, dat bij een lagere snelheid er minder transportcapaciteit in de rivier is.

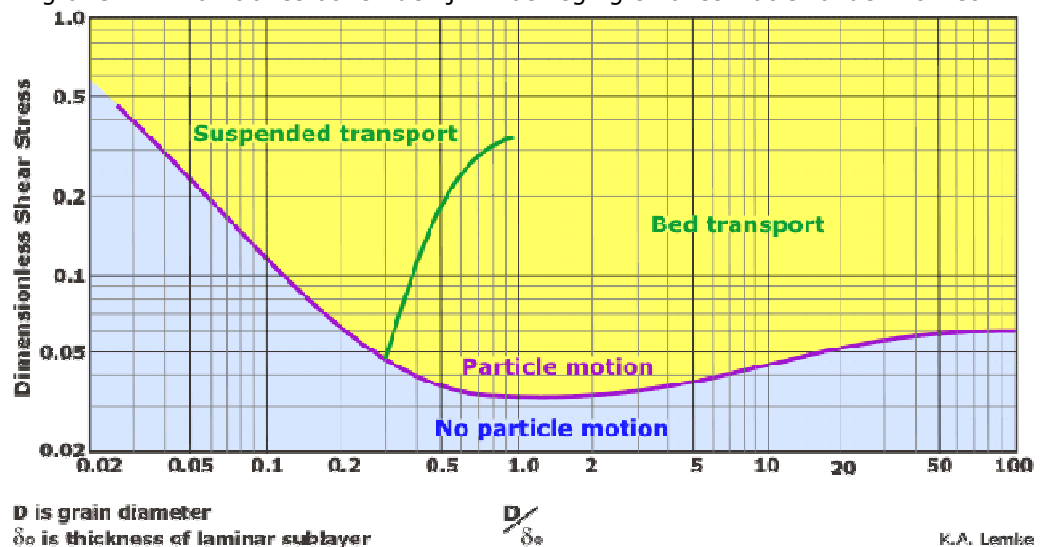


Grafiek 4.1: Transportcapaciteit t.o.v. de stroomsnelheid met *Meyer-Peter, Müller*

Ook de korrelgrootte is van belang bij de transportcapaciteit. Dit is omdat bij een grotere korreldiameter er een grotere snelheid nodig is om de korrels in beweging te brengen. Shields heeft empirisch onderzoek gedaan naar het moment waarop een korrel in beweging komt.

Zijn bevindingen zijn omgezet in een grafiek waarin de relatie tussen de dimensieloze kritische bodemschuifspanning en het korrelgerelateerde Reynoldsgetal wordt weergegeven. Dit hangt beide samen met de stroomsnelheid (zie grafiek 4.2).

In grafiek 4.2 komt alles boven de lijn in beweging en alles wat er onder zit niet.



Grafiek 4.2: Shieldsgrafiek (bron: (44))

4.1.2

Invloed op de rivier

Het sedimenttransport maakt de loop en de vorm van een alluviale rivier. Door maatregelen in Nederland en Duitsland is echter het sedimenttransport en dus de loop en de vorm van de rivier aangepast en zo ook de vorm van de kribvakken.

De natuurlijke rivier

Wanneer er in een rivier geen maatregelen worden toegepast, komt deze vanzelf tot een natuurlijke vorm. Zo zal een zandige rivier breed en ondiep worden met zandbanken en eilanden en een kleiige rivier zal diep en smal worden. Dit hangt samen met de korreldiameter, namelijk grof bij zand en fijn bij klei, en de cohesie van het materiaal. Volgens Nortier (1996) kan globaal worden gesteld, dat de diepte van de geul omgekeerd evenredig is met de zesdemachtswortel uit de korreldiameter. Dus hoe kleiner de korrel hoe dieper de geul.

Iedere rivier heeft dus zijn eigen natuurlijke evenwichtsdiepte door het verschil in korreldiameter en afvoer. Wanneer er geen maatregelen in de rivier voorkomen, kan deze evenwichtsdiepte voor de scheepvaart op momenten te klein zijn om te kunnen varen., dat dit niet opgelost kan worden door het baggeren van de rivier blijkt uit de formule van de evenwichtsdiepte.

De formule uit Nortier (1995) luidt:

$$h_e = \sqrt[3]{\frac{q_v^2}{b^2 * C^2 * I}}$$

[2]

Met:

h_e = Evenwichtsdiepte

(m)

q_v = Rivierafvoer

(m³/s)

b = Breedte van de waterloop

(m)

C = Chézy coëfficiënt

(m^{1/2}/s)

I = Bodemverhang

(-)

Uit deze formule blijkt, dat het bodemniveau geen effect heeft op de evenwichtsdiepte en baggeren geen oplossing geeft voor het probleem van de scheepvaart in een natuurlijke rivier. Echter wordt ook gelijk duidelijk, dat de breedte van de waterloop wel invloed heeft op de evenwichtsdiepten en het probleem dus wel kan oplossen. Als formule [2] wordt herschreven wordt het verband nog duidelijker.

De herschreven formule luidt dan:

$$b = \frac{q_v}{C * h_e * \sqrt{h_e * I}}$$

[3]

Met:

h_e = Evenwichtsdiepte

(m)

q_v = Rivierafvoer

(m³/s)

b = Breedte van de waterloop

(m)

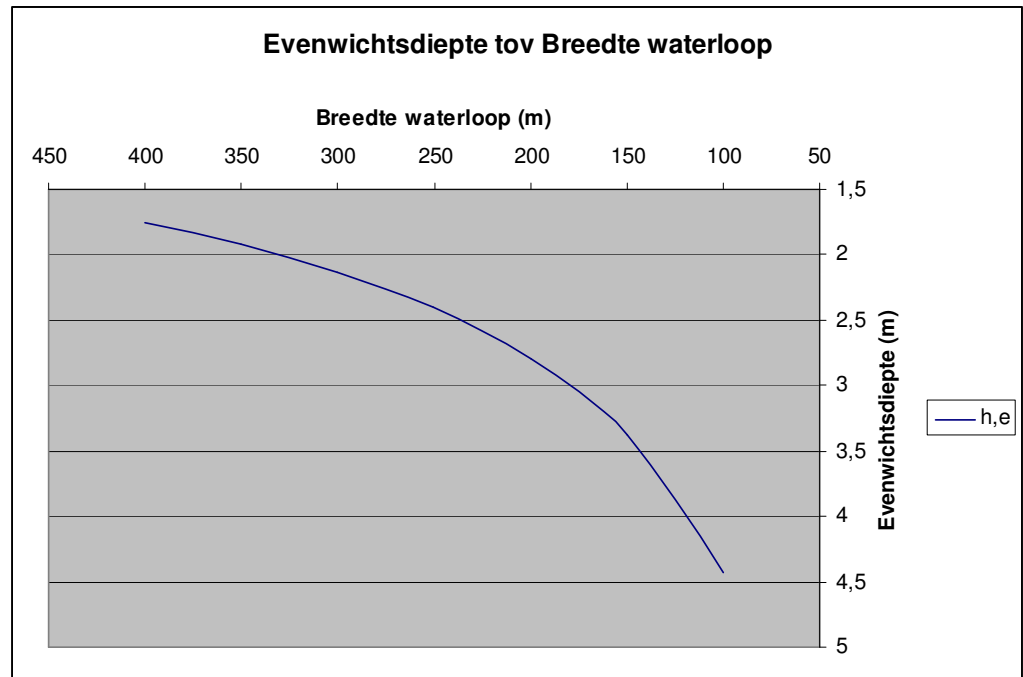
C = Chézy coëfficiënt

(m^{1/2}/s)

I = Bodemverhang

(-)

Deze formule bewijst wat er in praktijk bij de Waal is gebeurd. Nadat de kribben waren aangelegd en de breedte van de waterloop werd verkleind bleek, dat de rivier de Waal dieper en beter bevaarbaar werd voor de scheepvaart (zie ook grafiek 4.3).



Grafiek 4.3: Evenwichtsdiepte t.o.v. breedte waterloop

Deze grafiek is niet volledig representatief voor de Waal en kan alleen gebruikt worden om aan te tonen, dat bij een versmalling van de waterloop er een verdieping van de geul plaatsvindt. Ook wordt in deze formule het bodemverhang en het debiet als constant genomen. In realiteit is dit niet het geval en varieert het bodemverhang over de loop van de rivier en het debiet in de loop van de tijd.

Wat wel geconcludeerd kan worden met deze grafiek en formules is, dat na kribverlaging de breedte van de rivier weer zal toenemen. Dit betekent, dat de rivier wat meer terug gaat naar zijn natuurlijke vorm en de bodem lokaal zal gaan aanzanden. Hier is en wordt momenteel veel onderzoek naar gedaan, maar de uitkomsten zijn tijdens dit onderzoek nog niet bekend en kunnen dus niet worden geanalyseerd.

De autonome bodemdaling

In de Waal vindt ieder jaar een autonome bodemdaling plaats en is het grootst tussen Tiel en Nijmegen. De oorzaak van deze bodemdaling ligt bij het feit, dat er te weinig sediment met de Rijn de Waal in stroomt. De reden, dat er te weinig sediment in de Rijn is kan aan de hand van de volgende drie punten worden verklaard.

- 1 Te weinig aanvoer van sediment uit Duitsland;
- 2 Zandwinning uit de rivier in Duitsland en Nederland;
- 3 De ontwikkeling van gebieden aan de rivier;

Het grootste probleem is, dat er te weinig sediment uit Duitsland ons land bereikt. Dit is begonnen met het bouwen van stuwen in de Moezel in de jaren 70. Door deze maatregel werd de sedimentconcentratie in het water minder, wat weer wordt aangevuld met sediment uit de rest van de rivier.

Probleem twee, teveel zandwinning uit de rivier, komt niet of nauwelijks meer voor bovenstrooms van de Waal. In de jaren 70, na de ontdekking van de autonome bodemdaling is het namelijk bij wet verboden om zand te winnen uit, dat deel van de rivier.

Het laatste probleem is het lastigst aan te pakken. Door de ontwikkeling van de gebieden langs de rivier worden er steeds meer havens en kades gebouwd. Deze constructies zorgen ervoor, dat er minder plekken zijn waar sediment meegenomen kan worden.

Al deze problemen zijn niet ontstaan door de kribben en zal in eerste instantie niet veranderen als de kribben zijn verlaagd. Dit betekent niet, dat de autonome bodemdaling per definitie nog aanwezig zal zijn na kribverlaging. Het kan zijn, dat de aanzanding door de natuurlijke vorm van de rivier of het eroderen van oevers of een combinatie hiervan de autonome bodemdaling tegen zal gaan.

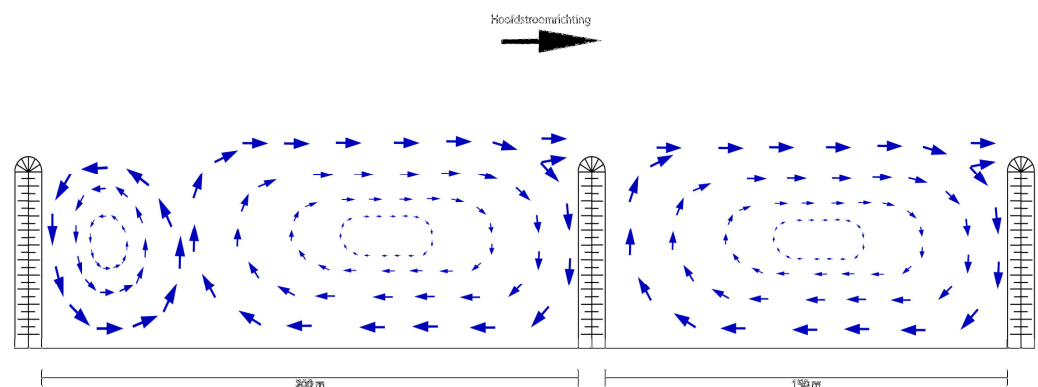
Of het effect van autonome bodemdaling nog aanwezig is na kribverlaging, kan blijken uit de onderzoeken die op dit moment gedaan worden naar de aanzanding door kribverlaging.

4.1.3

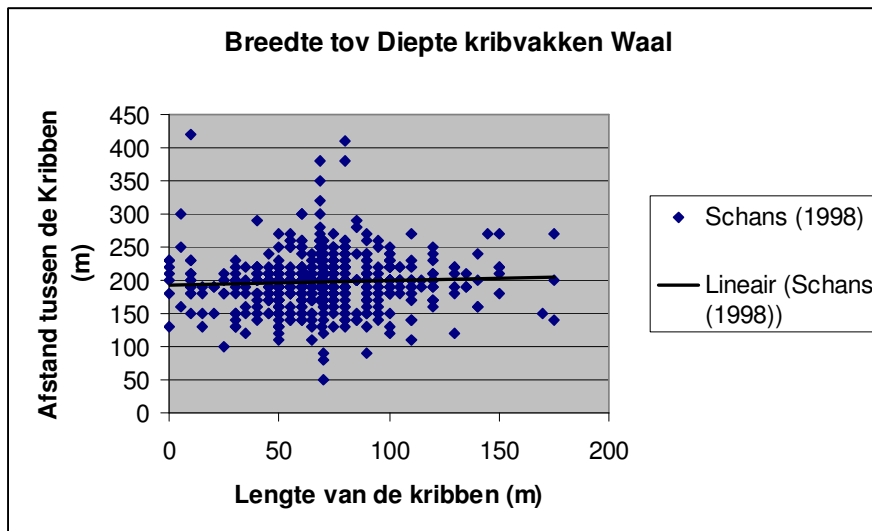
Sedimenttransport in en uit een kribvak

Kribben zijn obstakels in de loop van een rivier. Hierdoor ligt de stroomsnelheid achter de kribben lager dan in de rivier. Deze situatie zorgt ervoor, dat er direct achter de bovenstroomse krib een grote neer ontstaat. Dit is geen probleem wanneer er maar één neer in het kribvak gevormd kan worden.

Voor de Waal vindt dit plaats, bij kribben van 130-150 meter in de breedte (=onderlinge kribafstand). Uit het onderzoek van Schans (1998) blijkt, dat de kribvakken in de Waal gemiddeld 200 meter in de breedte zijn (zie grafiek 4.4). Hierdoor wordt er een tweede kleine neer benedenstrooms van de bovenstroomse krib gevormd. Door de cyclische beweging van de grote neer in het kribvak wordt de hoofdstroom gedwongen om het kribvak in te stromen en ter plaatsen van de bovenstroomse krib er weer uit. De evenwijdige stroming die dan ontstaat, is minstens 50% kleiner dan de hoofdstroom. Hiermee wordt de kritieke schuifsnijspanning van de meest voorkomende korreldiameter langs de Waal niet bereikt, maar kan het aanwezige sediment wel neerdalen naar de bodem en op de oevers.



Figuur 4.1: Neervorming in een relatief klein en een normaal kribvak langs de Waal



Grafiek 4.4 : Breedte en diepte van kribvakken langs de Waal (bron: (19))

Ook zorgt deze stroom voor het transport van sediment uit het kribvak. Nadat een deel van het sediment in het kribvak en op de oever is afgezet, kan de stroming kleinere wel in suspensie geraakte korrels meenemen naar de hoofdstroom. Van het sediment, dat bij het uitstroompunt van het kribvak de hoofdstroom wordt ingeduwd zal een deel het volgende kribvak weer in stromen.

4.2 Hydraulica en morfologische veranderingen door de scheepvaart

4.2.1 Erosie of aanzanding in kribvakken

Het grote effect van de scheepvaart is vooral goed te zien als de Waal met de IJssel wordt vergeleken. De diepte van kribvakken is het resultaat van een dynamisch evenwicht door afwisselende hoog- en laagwaters. Hierbij zorgt het hoogwater voor de aanvoer van sediment en dus aanzanding en het laagwater voor erosie door o.a. scheepvaartbewegingen. Voordat de evenwichtsdiepte van kribvakken en de oevers is bereikt, duurt dit jaren. Een teken, dat de evenwichtssituatie nog niet is bereikt is te merken aan het langzaam eroderen of aanzanden van de oevers en kribvakken van een rivier over het verloop van de tijd.

Dit effect is te zien op de Waal en de IJssel. De Waal is een rivier die waarbij de kribvakken langzaam eroderen en de IJssel worden de kribvakken juist steeds ondieper en zanden dus aan. De belangrijkste reden volgens Dhr. Van der Wal ligt bij het verschil in scheepvaartintensiteit.

Op de IJssel vindt relatief weinig scheepvaartverkeer plaats. Hierdoor erodeert de oever bij laagwater niet genoeg t.o.v. de aanvoer van zand bij hoogwater. Hierdoor zijn de kribvakken, die oorspronkelijk ± veertig tot vijftig meter diep waren, gaan aanzanden en nu nog maar enkele meters diep.

In de Waal is dit echter een ander verhaal. Door de grote hoeveelheid scheepvaartbewegingen wordt er tijdens laagwater meer zand uit de kribvakken getransporteerd dan bij hoogwater aangeleverd kan worden. Dit zorgt ervoor, dat de kribvakken steeds dieper worden, met uiteindelijk de achterloopsheid van de kribben tot gevolg.

4.2.2 *Golfsystemen van scheepvaart*

Voor een schip op een rivier zonder kribben zijn deze bewegingen weergegeven in figuur 4.3. Deze bewegingen zijn in drie groepen te verdelen (Kornman (1993), Haas (1988)):

- 1 Primaire golfsystemen;
- 2 Secundaire golfsystemen;
- 3 De schroefstraal;

De effecten van de primaire golfsystemen worden bepaald door de snelheid, diepgang, doorsnede van het schip en de geometrie van de rivier. De effecten van de secundaire golfsystemen worden vooral bepaald door de vaarsnelheid van het schip.

Primaire golfsystemen

Primaire golfsystemen ontstaan door de grote waterverplaatsing door het passeren van het schip. Gevolgen van deze waterverplaatsing zijn de retourstroom, volgstroom en haalstroom. Deze stromen hebben een grote invloed op de oevererosie.

De retourstroom ontstaat naast en onder het schip en stroomt in de tegenovergestelde richting als de vaarrichting van het schip. Een gevolg van deze stroom is een waterstanddaling in de rivier.

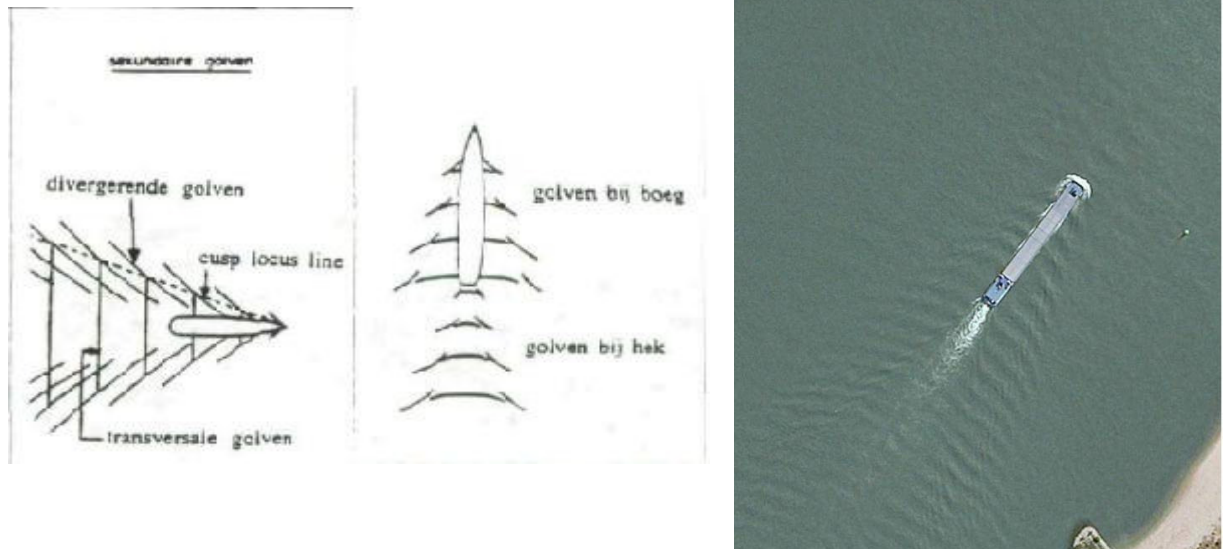
De volgstroom wordt gevormd achter het schip door de waterstanddaling van de retourstroom. Deze stroom kan maximaal de vaarsnelheid bereiken.

De haalstroom is de wervelstroom die plaatsvindt op het overgangsgebied van de retourstroom naar de volgstroom

Het effect van deze stromingen en golfsystemen nemen af in de breedterichting van de rivier. Dit betekent, dat hoe dichter het schip bij de oever vaart hoe groter de effecten.

Secundaire golfsystemen

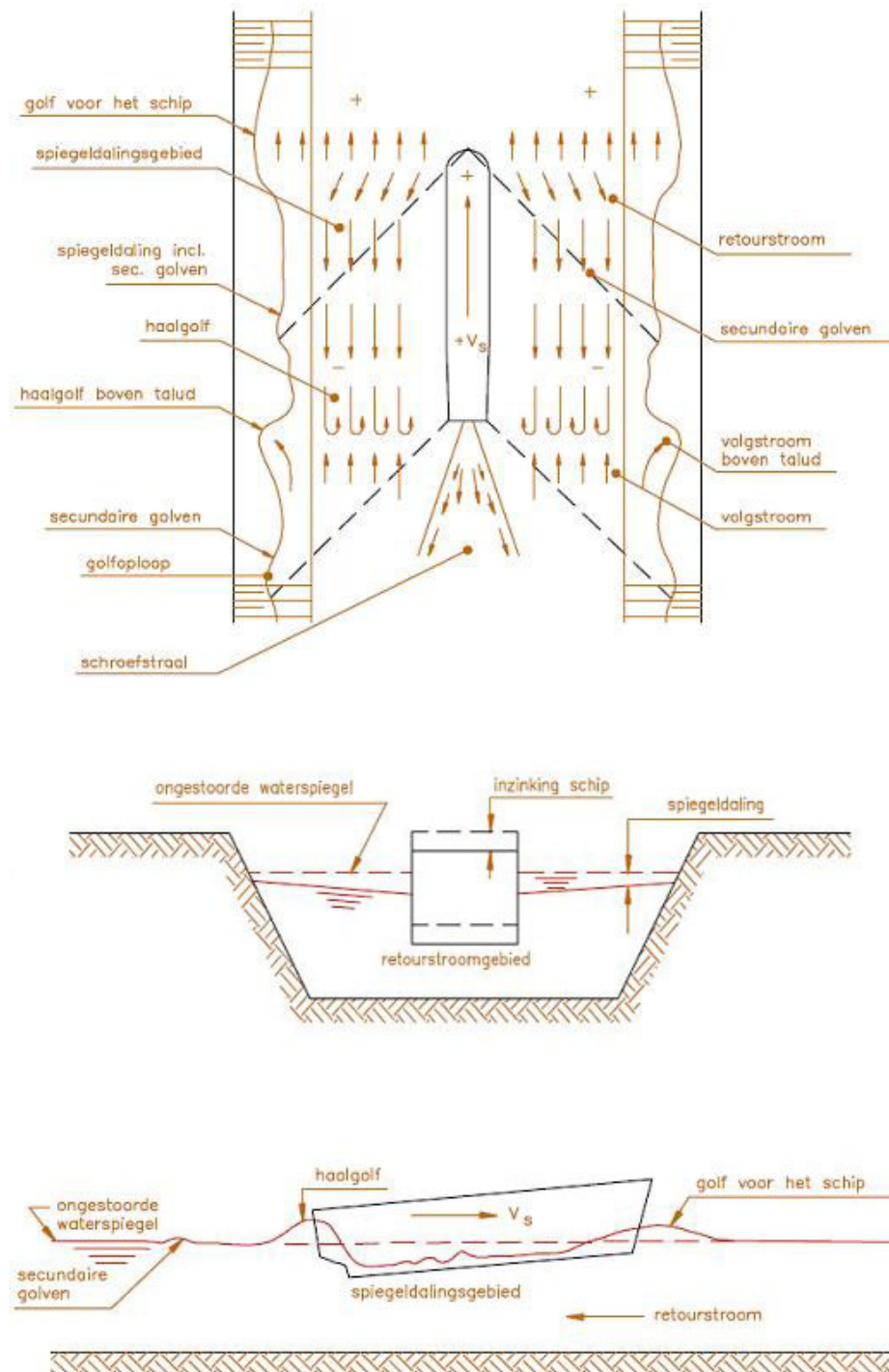
Deze golfsystemen ontstaan door een discontinuïteit van de waterspiegel bij de romp van het schip. Deze discontinuïteit veroorzaakt een drukverschil wat zorgt voor divergerende en transversale golven die gevormd worden bij de boeg en hek van het schip. De golven ontmoeten elkaar op de cusp locus line waarna deze verder gaan als interferentiegolven. De secundaire golfsystemen zijn te vergelijken met windgolven en worden minder hoog naarmate de afstand tot de boeg of hek vergroot.



Figuur 4.2: Secundaire golfstromen in theorie (bron: (16)) en zichtbaar op de Waal (bron: (48))

De schroefstraal

De schroefstraal vormt zich door het snel draaien van de scheepsschroef. Hierdoor zijn er grote stroomsnelheden achter het schip. De straal beperkt zich echter tot een klein gebied achter het schip, waardoor dit alleen effect op de erosie heeft als het schip erg dicht langs de oever vaart. In het geval van een rivier met kribben is dit niet aan de orde en worden deze bewegingen niet meer meegenomen in het verdere onderzoek.



Figuur 4.3: Watersystemen rondom een Scheepspassage in een rivier(bron: (16))

4.2.3

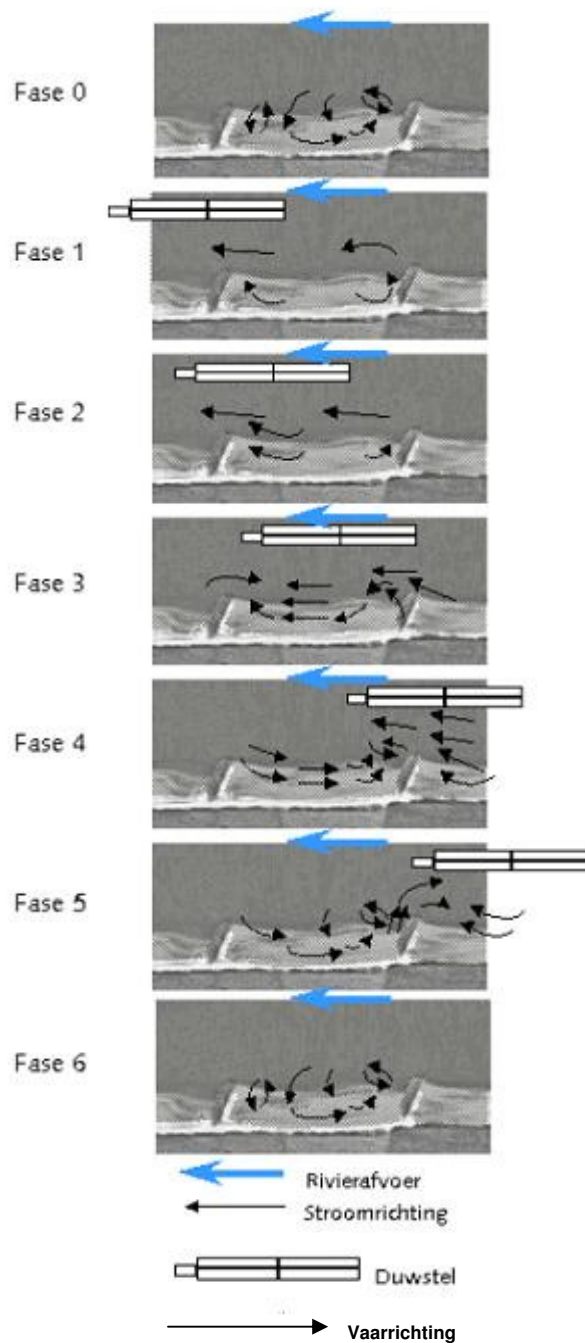
Hydraulische en morfologische effecten van de scheepvaart

Het effect van erosie/sedimentatie in kribvakken en op oevers door nautische bewegingen is vaak onderzocht. Nautische waterbewegingen zijn de golfbewegingen en stromingen als gevolg van scheepvaart op een rivier zoals uitgelegd in de vorige paragraaf. Door de primaire en secundaire golfsystemen raakt het oeversediment in suspensie. Dit sediment wordt vervolgens bij de volgende scheeppassage, door de in- en uitstroom van het kribvak, meegenomen in de hoofdstroom. Deze verschijnselen zorgen voor het eroderen van de oever.

Zoals te zien is in bijlage D is de Waal voor alle CEMT-klasse schepen bevaarbaar en heeft daarmee de functie hoofdtransportas van Nederland. Hierdoor hebben de kribvakoevers veel te maken met deze nautische waterbewegingen. De invloed van de scheepvaart is de afgelopen jaren sterk toegenomen. Dit komt omdat het motorvermogen op de Waal toeneemt en daarmee de potentiële energie in het water. Dit effect staat los van de vraag of het duwbakken zijn of motorschepen. Tussen deze schepen is echter nog wel onderscheid te maken.

Uit onderzoek van Ten Brinke (2003) blijkt, dat vooral het onderwatervolume, de passageafstand en de passagefrequentie van belang zijn bij het effect op de stroming in een kribvak en bij het effect van de golven op de oevers.

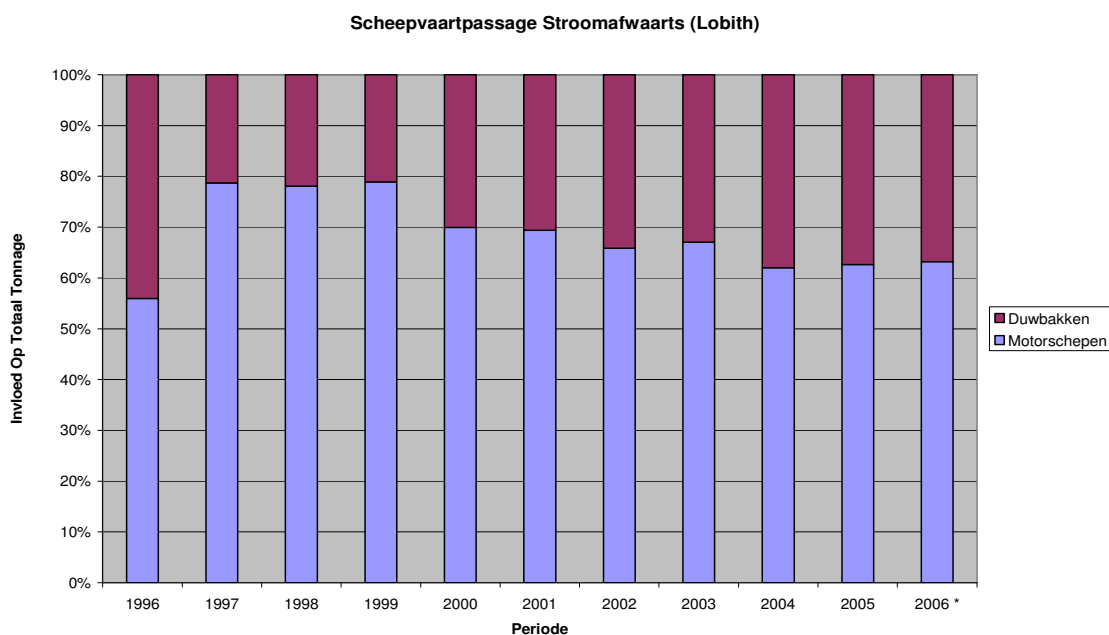
Uit hetzelfde onderzoek blijkt ook, dat de motorschepen op de Waal de meeste invloed uitoefenen als het gaat om sedimentuitwisseling tussen een kribvak en de hoofdstroom. Op het oog is dit een opmerkelijke conclusie aangezien duwvaart een grotere waterverplaatsing heeft. Echter blijkt, dat ondanks het feit dat de invloed van één duwschip groter is (Haas (1987)) dan dat van één motorschip, de passagefrequentie van de motorschepen zoveel groter is waardoor de motorschepen maatgevend worden. Daarnaast komt erbij, dat duwvaart meer centraal op de rivier plaatsvindt dus een grotere passageafstand heeft dan vele motorschepen.



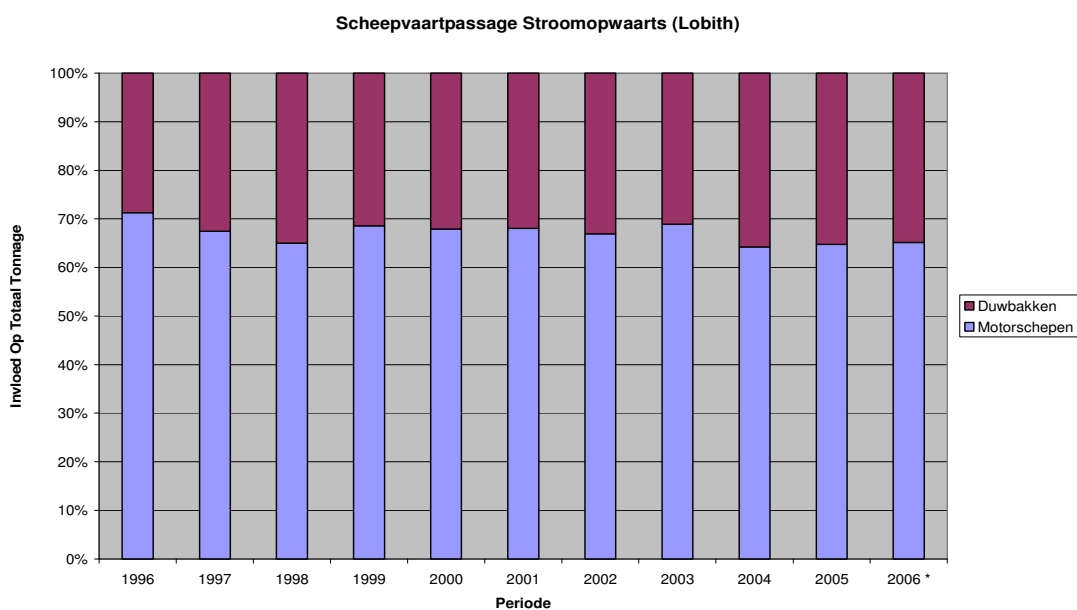
Figuur 4.4: Effect van passerende duwvaart op stroming in kribvak(bron: (5))

Dit onderzoek van Ten Brinke is afgerond in 2001. Dit zou kunnen betekenen, dat deze conclusie in de loop der jaren niet meer klopt. Echter laten de volgende twee grafieken zien, dat motorschepen nog steeds voor een groter percentage verantwoordelijk zijn. Voor de gegevens bij deze grafieken zie bijlage E. Hiermee is

er aangenomen, dat de conclusie nog geldt en wordt er voor de rest van het onderzoek gekeken naar scheepsgolven door motorschepen. Deze golven kunnen een hoogte hebben tot 0,5 meter. Als deze golven elkaar versterken kan de hoogte van de golf, bij de oever, oplopen tot een hoogte van 0,7 meter.



Grafiek 4.5: Scheepvaartpassages stroomopwaarts bij Lobith



Grafiek 4.6: Scheepvaartpassages stroomafwaarts bij Lobith

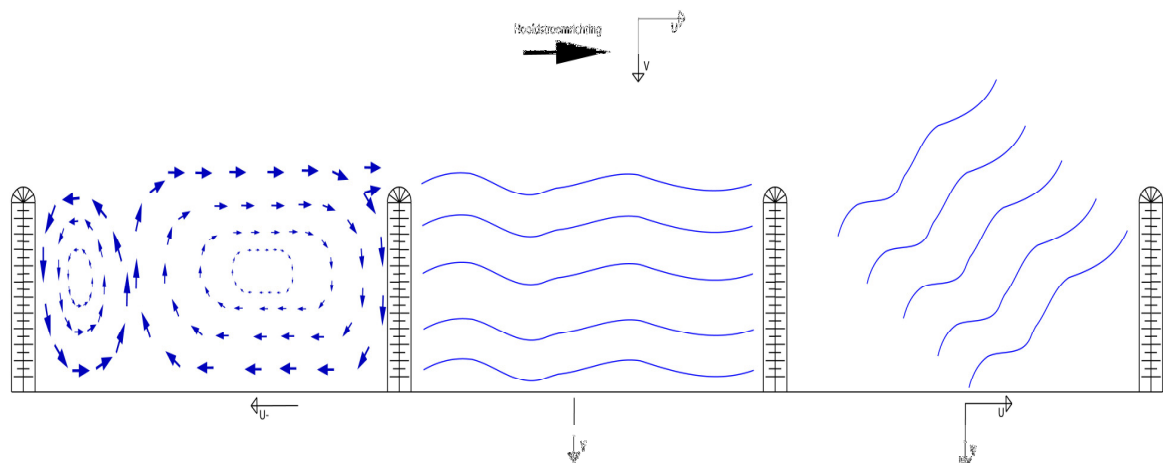
4.3 Hydraulica en morfologische veranderingen door de rivier en wind

4.3.1 Stroomrichtingen langs oevers

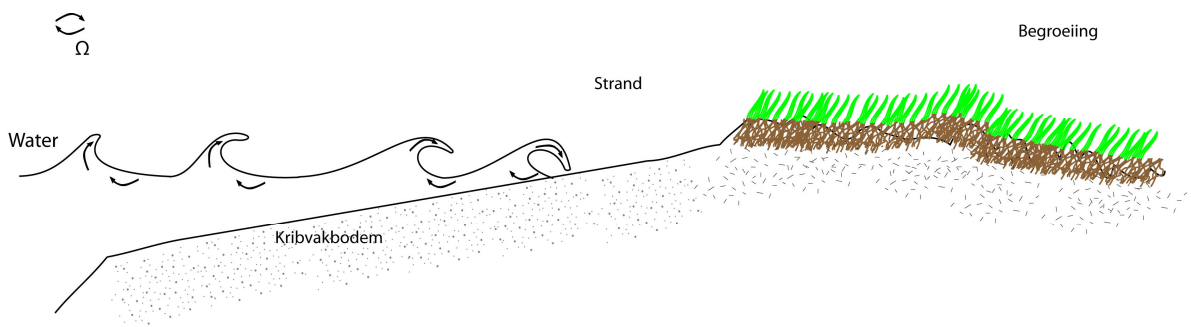
Uit de vorige paragrafen blijkt, dat stroomsnelheid een grote rol van betekenis heeft bij morfologie. Bij een oever zijn deze stroomsnelheden altijd in drie stroomrichtingen te ontleden. Die zijn te definiëren als de stroomrichting loodrecht (V) op de oever, de stroomrichting evenwijdig (U) aan de oever en de turbulente stromingen bij de oever (Ω).

Voorbeelden van de verticale en loodrechte stromingen zijn de golven die door diffractie of de windrichting loodrecht op de oever aankomen en de stroming door de neer die zich evenwijdig aan de oever verplaatst. Wanneer een stroming toch onder een hoek de oever raakt, resulteert dit in een loodrechte en evenwijdige component.

Een voorbeeld voor de turbulente stroming is de breking van de golven. Hierbij is een verticale stroming de oorzaak van het in beweging brengen van sediment. De turbulente stroming komt ook voor op micro niveau, rond vegetatie in het water. Hier kunnen deze micro stromingen de grond rondom wortels verstoren waardoor vegetatie kan afsterven.



Figuur 4.5: De stroomrichtingen U en V rond een oever



Figuur 4.6: De stroomrichtingen Ω bij een oever

4.3.2 *Hoog, laag en gemiddelde waterstanden*

Rivieren als de Waal kennen een hoogwater(zomer en winter) en laagwater(herfst en lente) seizoen. Deze seizoenen hangen vast aan een hoog en laag debiet van de rivier. Beide afvoeren hebben andere effecten op de morfologie rond een kribvak en de oever.

Hoogwaterseizoen

De oorsprong van de seizoensgolven voor de Rijn in Nederland liggen bij het extra smeltwater in de lente en de extra regenval in de herfst in Duitsland, Oostenrijk en Zwitserland, maar door de lange doorlooptijd bereikt de golf Nederland pas in de zomer of de winter waarvan de winterseizoensgolf vaak de hoogste waterstanden geeft. De invloeden van deze pieken worden over de lengterichting van de Rijn steeds groter. Zo is de piekafvoer in Rheinfelden in Duitsland (hier ligt de oorsprong van de Rijn) tussen de 2.000 en de 4.000 m³/s en bij Lobith (het eerste meetstation in Nederland) is de hoogst gemeten piekafvoer al 12.000 m³/s.

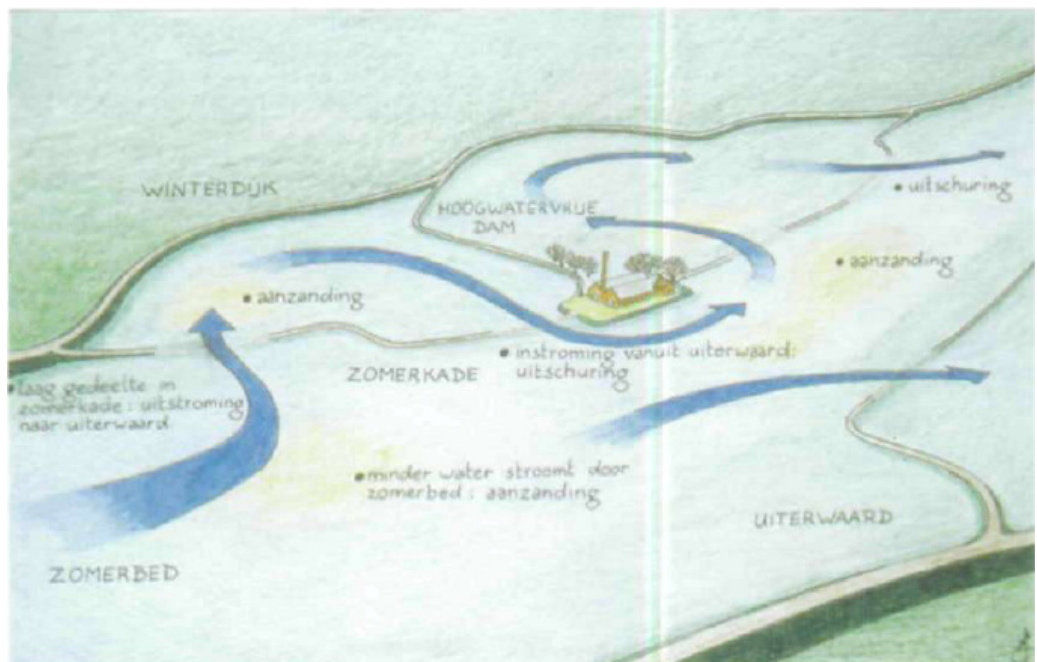
De hoogwatergolf heeft een grote invloed op de sedimentatie van de kribvakken en kriboevers. De grootste afzettingen van zand zijn te bepalen aan de hand van twee mechanismes. Dit zijn:

- De pointbarvorming;
- De stroming van zomerbed naar winterbed;

Pointbar is de naam die gegeven wordt aan zandbanken die in de binnenbocht van rivieren worden gevormd. Dit mechanisme, wat zou kunnen voorkomen in deel één van het onderzoeksgebied, wordt verder besproken bij de geometrie van de rivier.

Stroming van het zomerbed naar het winterbed komt voornamelijk voor in het hoogwaterseizoen. Bij diep water in de uiterwaard en op plekken met een lage oeverwal zal het water uit het zomerbed de uiterwaard instromen. Door de verlaging van snelheid rondom de overgang van zomer- naar het winterbed zal de transportcapaciteit afnemen. De verlaging van snelheid is een gevolg van het vergroten van de natte doorstroom-oppervlakte. Samen met dit feit en de kennis, dat de waterstroom die naar het winterbed stroomt ook nog verzadigd is met sediment, is bekend, dat er sedimentatie zal plaatsvinden op de oever.

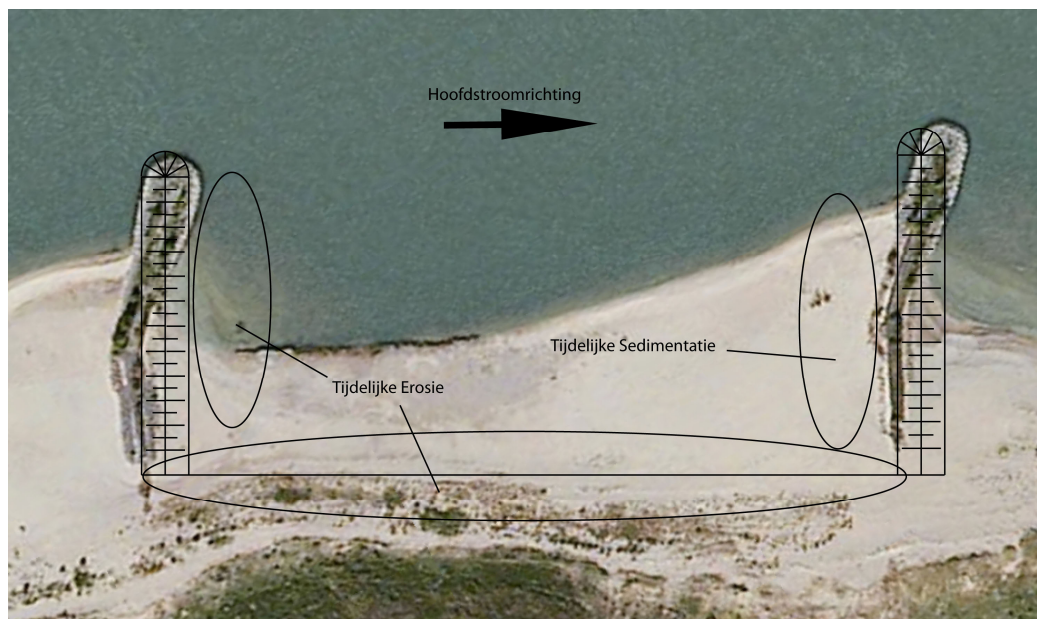
Bij oevers die de overgang van winter naar zomerbed vormen, is dit proces precies tegenovergesteld. De stroom, die nu door sedimentatie op de oevers bij de instroom onverzadigd is en dus nog materiaal kan transporteren, komt weer terug in de hoofdgeul en het doorstroomoppervlakte wordt kleiner. De stroomsnelheid vergroot en samen met de onverzadigde stroom heeft dit erosie van de desbetreffende oever tot gevolg.



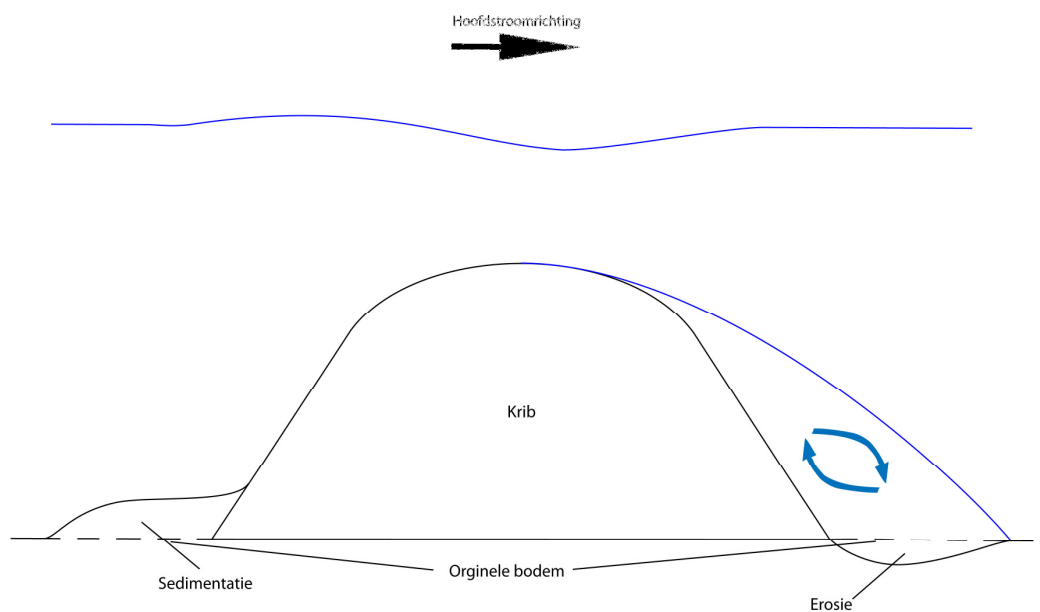
Figuur 4.7: Aanzanding en uitschuring door stroom naar en van uiterwaarden (bron: (28))

De hoogwatergolf heeft ook effect op oevers die niet in een bocht liggen en niet de overgang van zomer naar winterbed vormen. Bij hoogwater zullen deze kribben overstromen. Op, dat moment zullen deze gaan werken als overlaten.

Bij de krib zal het water aan de bovenstroomse zijde opgestuwd worden. Hierdoor wordt de stroomsnelheid verlaagd en zal er zand worden afgezet op de bodem. Op de krib neemt de snelheid echter weer toe door de kleine natte doorsneden. Achter de krib vormt zich een bodemneer. Door de turbulentie en snelheidverschillen ter plaatsen van deze bodemneer zal de oever eroderen (zie figuur 4.7). De effecten van deze systemen zijn echter van tijdelijke duur en zullen alleen zichtbaar zijn direct na een hoogwater.



Figuur 4.8: Schematische weergave van effecten van hoogwater in het kribvak (foto bron: (49))



Figuur 4.9: Schematische weergaven van effecten van hoogwater rond de krib

Door de hoge waterstand en de grote invloeden door het hoge water op de morfologie is de invloed van nautische bewegingen te verwaarlozen. Deze aanname wordt gedeeld met Yossef (2005).

Laagwaterseizoen

In het laagwaterseizoen is de situatie te vergelijken met de situatie bij een gemiddelde afvoer. Het verschil hierbij is wel, dat de stroomsnelheden lager zullen zijn in de hoofdstroom en dus de primaire neer in het kribvak. Hierdoor treedt er minder erosie en meer sedimentatie op in het kribvak.

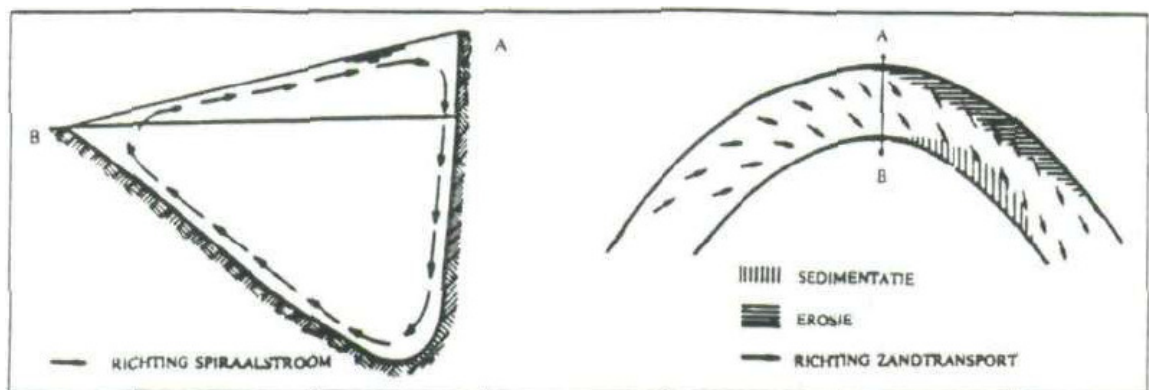
Rest van het jaar

De grootste tijd van het jaar is er geen sprake van een hoogwatergolf of laagwaterperiode. Ook dan heeft de rivier invloed op de morfologie rond de oever. Doordat de rivier de primaire neer aandrijft is dit de grootste oorzaak van de evenwijdige stroomsnelheid(U) langs de oever.

4.3.3

Geometrie van de rivier

De geometrie van een bocht geeft de loop van een rivier aan. Extra morfologische effecten zijn zichtbaar in buiten- en binnenbochten van rivieren. In een dergelijke bocht is er, naast de hoofdstroom die de as van de rivier volgt, ook nog een spiraal of helicoïdale stroom (Augustinus (2004), Kornman (1993), Sorber (1997)). Deze stroom wordt veroorzaakt door de traagheid van het water, die het water de buitenbocht "induwet". Hierdoor ontstaat er een overdruk, die wordt opgelost door een compensatiestroom van de binnen- naar de buitenbocht. Deze spiraalstroom staat dwars op de geulas en zorgt voor een zandtransport richting de binnenbocht. Door het verminderen van snelheid van de hoofdstroom in de binnenbocht en het versnellen in de buitenbocht wordt het zand in de buitenbocht in suspensie gebracht en sedimenteert het in de binnenbocht.



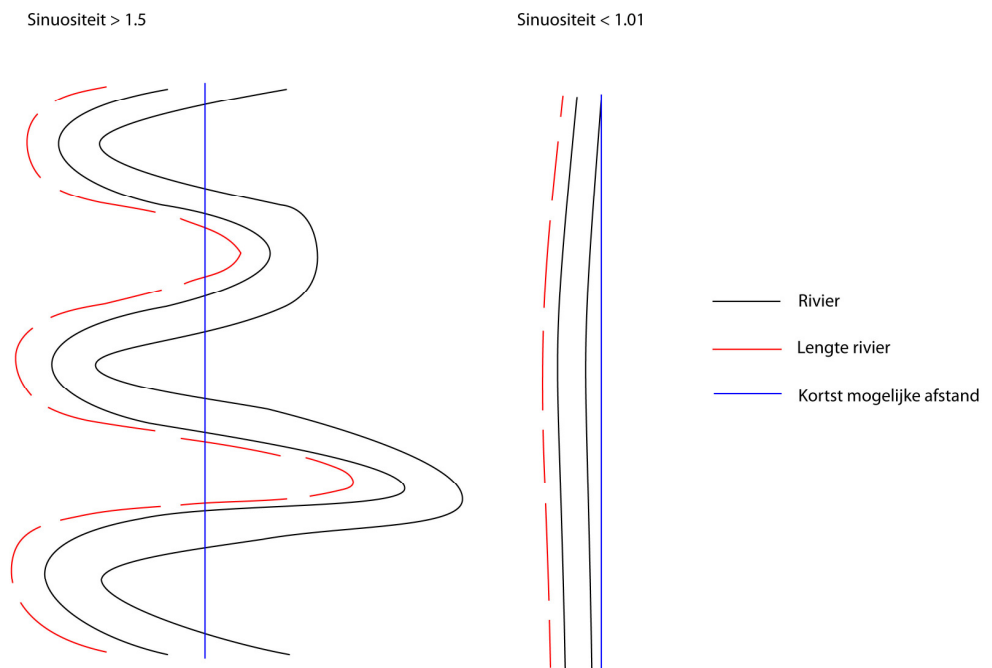
Figuur 4.10: Helicoïdale stroom in rivieren (bron: (16))

De snelheid van deze spiraalstroom vermindert naarmate het water dieper wordt. Dit komt omdat het watervoerend pakket groter wordt en de bochtstraal hetzelfde blijft. Hierdoor wordt de energie voor de spiraalstroom verdeeld over een groter pakket en zal dan langzamer stromen.

De zandafzettingen die zich in de binnenbocht vormen worden pointbars genoemd. Voor het vormen van deze pointbars zijn twee aspecten van belang:

- De spiraalstroom;
- De interactieparameter;

De mate waarin een spiraalstroom voorkomt hangt af van de sinuositeit van de rivier. De sinuositeit geeft de mate van meanderen van een rivier aan. Hierbij wordt de lengte van de rivier gedeeld door de kortst mogelijke afstand tussen het begin en het eind van de rivier.



Figuur 4.11: Sinuositeit in een rivier

Vervolgens zijn er vijf verschillende soorten van rivieren te classificeren. Dit zijn:

- 1 Meanderend (sinuositeit > 1,5);
- 2 Slingerend (sinuositeit 1,26-1,5);
- 3 Zwak slingerend (sinuositeit 1,06-1,25);
- 4 Gestrekt (sinuositeit 1,01-1,05);
- 5 Recht (sinuositeit 1);

Hieruit blijkt, dat hoe lager de sinuositeit, hoe kleiner de spiraalstroom die er ontwikkeld wordt en dus hoe minder pointbarvorming en erosie in de binnen- en buitenbochten plaatsvindt.

De interactieparameter (λ_s/λ_w) geeft "de damping" van de rivier aan. De interactieparameter bestaat uit de aanpassingslengte van het bodemtransport (λ_s) en de aanpassingslengte van de waterbeweging (λ_w). Volgens Struiksma *et al* (1985) heeft de ratio tussen deze twee parameters, de grootste invloed op de vorming van bodemgolven van sediment. Bij een kleinere ratio waarde worden er langere bodemgolven gevormd en bij een grotere ratio waarde korte golven. Hier komt dan ook de benaming "damping" aan te pas omdat bij een kleiner wordende ratio waarden de bodemgolven worden "uitgedempt". Zo zal er bij een sterk "gedempte" rivier ($\lambda_s/\lambda_w < 1$), zelfs bij een scherpe bocht, geen pointbarvorming en erosie zijn. Met de volgende formules uit Sorber (1997) zijn de aanpassingslengtes te berekenen:

$$\lambda_s = \pi^{-2} * \left(\frac{b}{h}\right)^2 * 0.85\sqrt{\theta} * h \quad [4]$$

Waarin:

λ_s = Aanpassingslengte sedimenttransport	(m)
b = Breedte waterloop	(m)
h = Waterdiepte	(m)
θ = Shields coëfficiënt	(-)

$$\lambda_w = \left(\frac{C^2}{2g} \right) * h \quad [5]$$

Waarin:

λ_w = Aanpassingslengte van de waterbeweging	(m)
h = Waterdiepte	(m)
C = Chézy coëfficiënt	(m ^{1/2} /s)
g = Valversnelling	(m/s ²)

$$\theta = \frac{h * i}{\Delta d_{50}} \quad [6]$$

Waarin:

θ = Shields coëfficiënt	(-)
h = Waterdiepte	(m)
d_{50} = Mediaan korreldiameter	(m)
Δ = Relatieve sedimentdichtheid = $(\rho_s - \rho_w) / \rho_w = 1.65$ voor zand	(-)
i = Bodemverhang	(-)

Deze formules zijn de versimpelde versies van meerdimensionale functies. Hierbij zijn verschillende aannames gedaan, waardoor deze formules tot stand hebben kunnen komen. Deze formules zijn niet getest aan de toepasbaarheid voor een definitieve bepaling van de aanpassingslengte voor de trajecten van dit project. Echter zijn deze formules wel toepasbaar als vuistregels en zullen dus ook voor dit doeleinde gebruikt worden.

4.3.4 De windgolven

Bij golven kunnen twee soorten onderscheiden worden. Namelijk: Lange golven en Korte golven.

Lange golven zijn getijdengolven en hoogwatergolven. Deze hebben een relatief kleine golfhoogte, maar kunnen golflengtes hebben van meerdere kilometers. Deze golven kunnen een rivier oplopen wat zorgt voor een verschil in waterstand. Dit verschil in waterstand vergroot de in- en uitstroom van een kribvak wat het sedimenttransport vergroot. De Waal is geen getijdenrivier en heeft dus geen last van getijdengolven, maar wel van de hoogwatergolven. Deze zijn besproken bij het punt hoog, laag en gemiddelde waterstanden.

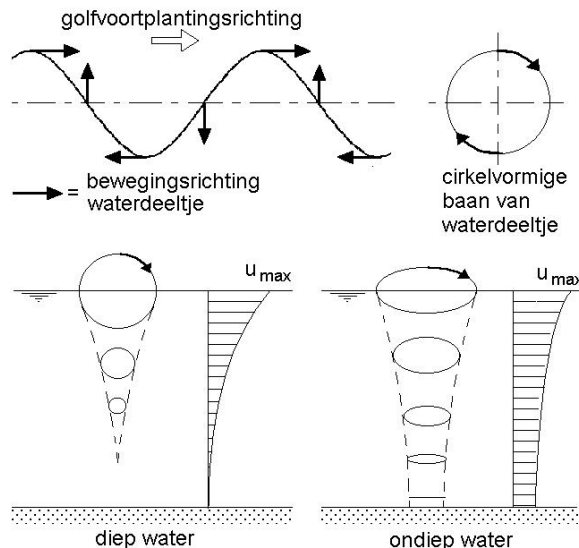
Korte golven zijn scheeps- en windgolven. Hoe scheepsgolven worden gevormd is in de paragraaf 4.2 al aangegeven. Windgolven worden gevormd door een wrijving tussen de wind en het water. Voor de vorming van de windgolven zijn de

strijklengte, waterdiepte, windsnelheid en windduur van belang. Deze factoren bepalen de lengte en de hoogte van de windgolven. De invloed van deze golven op de oever is met twee systemen te beschouwen, namelijk:

- 1 Orbitaalbeweging;
- 2 Golfbreking;

Orbitaalbeweging

De waterdeeltjes maken onder de invloed van windgolven een cirkelvormige beweging, de zogenaamde orbitaalbeweging. De diameter van deze cirkel wordt in verticale richting uitgedempt tot nul. Wanneer de waterdiepte echter kleiner is dan de lengte waarin de cirkel is uitgedempt zal de cirkel de bodem gaan "voelen" en veranderen naar een ellips vorm. Dit betekent, dat er een grotere horizontale snelheid wordt gevormd en uiteindelijk een bodemsnelheid (zie figuur 4.12). Als deze snelheid groter wordt dan de kritische schuifspanning zullen de bodemdeeltjes in suspensie raken.



Figuur 4.12: Beweging van waterdeeltjes door golven (bron: (18))

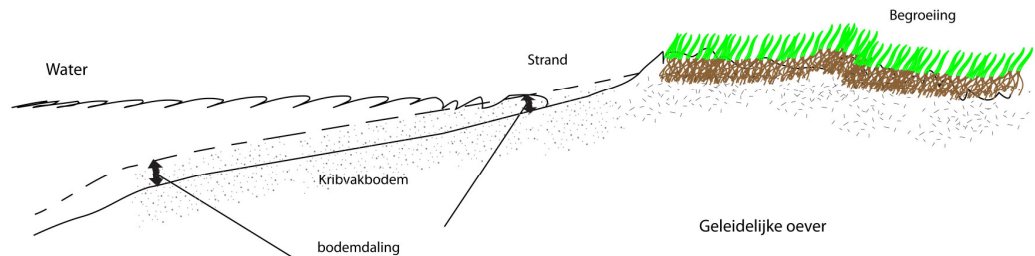
Breking

In Nortier (1996) wordt gesteld, dat een golf breekt als deze een diepte bereikt van 1,3 tot 2 keer de golfhoogte. Doordat de bodem steeds meer invloed krijgt op het golfbeeld verandert de steilheid van de golf. Hierdoor vermindert de voortplantingsnelheid van de golf en neemt de orbitale snelheid toe. Op een bepaald moment is de orbitale snelheid zo groot, dat de waterdeeltjes loskomen uit de golf. Dit is het breken van de golf. De helling van de oever bepaalt de mate waarin een golf breekt. Door de drukverschillen en de turbulente stromingen die dan worden gevormd, wordt het oever sediment opgewoeld en kan vervolgens wegstromen.

4.3.5

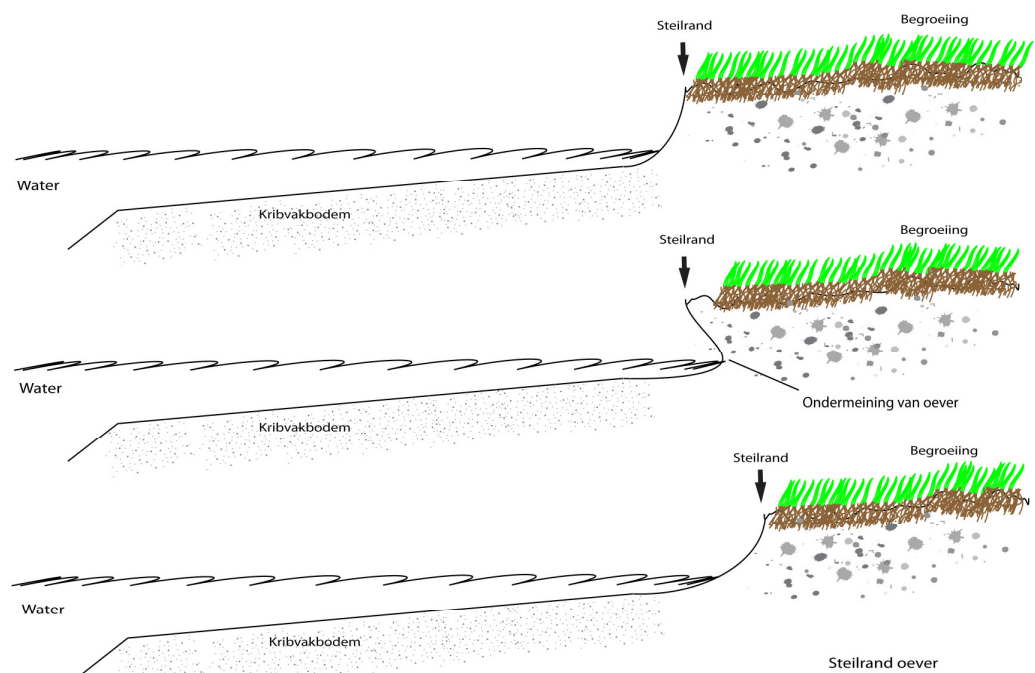
Oeveropbouw

Het effect van deze oorzaak ligt sterk aan de grondsoort. Bij een zanderige bodem blijft de oever een geleidelijk verloop houden en dus gelijk meedalen. Door de kleine helling van een dergelijk kribvakstrand, tussen de 1:30 en 1:100, heeft een kleine bodemdaling al grote gevolgen voor de oeverafkalving. Zo ontstaat bij een helling van 1:50 en een bodemdaling van 0,3 meter een oeverafkalving van vijftien meter



Figuur 4.13: Daling rivierbodem als effect van oevererosie

Bij een kleiige bodem ontstaat er een steilrand. Dit komt voor wanneer het bodemmateriaal erodeert maar door de grondeigenschappen van klei de oever zijn originele hoogte behoudt. Toch zal door het uitslijten van klei en de zwaartekracht op een gegeven moment in de tijd de oever afbreken. Dit verschijnsel heet massabeweging en zorgt voor een plotselinge oeverafkalving.



Figuur 4.14: Massabeweging als effect van oevererosie



Figuur 4.15: Foto van Steilrand (bron: Huub Hector)

4.4

Synthese uit historisch onderzoek

In het verleden zijn er verschillende praktijk en theorie onderzoeken geweest rondom de Waal m.b.t. riviermorphologie en kribvakmorphologie. Het onderzoek van Dhr. Kornman had de meeste connectie met dit onderzoek. Dit onderzoek is hier beschreven.

In 1993 is er uitgebreid onderzoek gedaan naar de oeverlijn verplaatsing bij de kribvakken langs de Waal, over de loop van een aantal jaren. Hierin is voor de oeverlijn de vegetatiegrens aangehouden. Dit betekent, dat het onderzoek alleen indirect iets zegt over de erosie/sedimentatie langs de Waal. Zo kan de oever zelf aangezand zijn, maar de vegetatiegrens dit niet benadrukken. Echter kan de vegetatiegrens uit dit onderzoek wel gekoppeld worden aan de gemiddelde waterstand.

De perioden waarnaar gekeken is, zijn van 1961 tot 1991. Er is een poging gedaan om de bodemligging van de kribvakken in kaart te brengen. Echter bleek dit alleen te kunnen met een grote onnauwkeurigheid en is er dus voor gekozen om dit achterwegen te laten.

Bij dit onderzoek is er gebruik gemaakt van luchtfoto's, praktijk observatie en de meetkundige dienst Delft. Door verschillende fouten zoals, de hoekvertekening, de verschillende schalen van de foto's, het ontbreken van x,y en z coördinaten en meetfouten waren er geen uitkomsten mogelijk die een kwantitatieve benadering mogelijk maakte. Wel waren de uitkomsten voldoende voor een kwalitatieve benadering. Om de daling van de rivierbodem te kunnen bepalen, zijn langsdoorsnede van de meetkundige dienst Delft vergeleken.

De volgende conclusies kunnen van toepassing zijn uit Kornman(1993)

- 1 *"Een daling van de rivier bodem heeft geen directe invloed op de verplaatsing van de oeverlijn in zowel de binnen- als de buitenbocht."*
In het onderzoek is de daling van de rivierbodem beschouwd over de periode waarin er gekeken is naar de oeverlijnverplaatsing. Vervolgens zijn deze waardes naast elkaar gelegd en blijkt, dat bij een daling van de rivierbodem de oeverlijn niet per definitie terugschrijd (erosie).
- 2 *"Er is geen verband tussen de grote van de verplaatsing van de oeverlijn en het aantal dagen per jaar, dat de oevers zijn overstroomd."*
Hier is er gekeken naar verschillende waterstanden bij Lobith over de beschouwde periode en hoe vaak deze werden overschreden. Hieruit blijkt, dat wanneer het aantal overschreden dagen ongeveer gelijk is dit niet geldt voor de oeverlijnverplaatsing.
- 3 *"Er is geen significant verschil tussen de oeverlijn verplaatsing in de binnen- en buitenbocht, uitgezonderd de periode 1971-1976."*
De reden waarom deze periode uitgezonderd is, kan verklaard worden door de lage gemiddelde afvoer van die periode bij Lobith. Deze was namelijk 1480 m³/s. in de andere periode lag deze afvoer tussen de 2240 m³/s en de 2520 m³/s.
- 4 *"Tussen 1961 en 1985 was er voornamelijk sprake van terugschijding (erosie) van de oeverlijnen, tussen 1985 en 1991 was vooral sprake van stabiele en voortschrijdende (sedimenterende) oeverlijnen."*
Hiermee wordt bedoeld, dat in deze jaren de vegetatiegrens is verplaatst. Dit wil niet zeggen of er ook daadwerkelijk grond sedimenteert dan wel erodeert.
- 5 *"Voor zowel binnen- als buitenbochten blijkt er geen verband te zijn tussen de grootte van de oeverlijn verplaatsing en de grootte van de bochtstraal."*
Hierbij is er gekeken naar de bochtstralen van de binnen- en buitenbochten van de Waal. Daarna zijn deze waardes naast de oeverlijnverplaatsing gelegd en blijkt, dat hier geen verband tussen ligt.

4.4.1 Afstemming conclusies naar deze tijd

De conclusies uit de vorige paragraaf zijn gemaakt op basis van waardes tussen 1961 en 1991. De laatste waardes zijn dus van bijna achttien jaar geleden.

In de jaren is er een hoop veranderd op de Waal. Zo is er tussen 1991 en 2006 een afname van scheepvaartbewegingen bij Lobith van 20% gemeten en in de periode 1991-2002 een toename van de zwaarste scheepsclasses (1501 tot 3000 ton en 3000 ton en meer) van 21% tot 25% wat gelijk kan worden gesteld met een vergroting van het motorvermogen in de Waal (zie bijlage E). Hiermee is de invloed van de scheepvaart waarschijnlijk groter geworden. De scheepvaartbewegingen op de Waal zitten inbegrepen bij de oeverlijn verplaatsingswaardes uit Kornman(1993). Hierdoor zullen de waardes nu groter uitvallen dan in het oorspronkelijke onderzoek. Door de veranderde waardes zouden de conclusies niet meer van toepassing kunnen zijn.

Conclusie één zal nog steeds voldoen. Het is bekend, dat in de Waal nog steeds sprake is van een jaarlijkse bodemdaling. Deze bodemdaling zal wel degelijk effect kunnen hebben op de oeverlijn. Echter, zoals de conclusie stelt, zal dit een indirect effect zijn aangezien de bodemdaling alleen direct effect heeft op de daling van de kribvakbodem en dus geen direct effect op de daling of verplaatsing van de oeverlijn.

Na een kort onderzoek van de waterstanden bij Lobith over de afgelopen achttien jaar kan de volgende tabel worden opgesteld (zie bijlage F).

Periode	Gemiddeld aantal dagen/jaar, dat de waterstand bij Lobith groter is dan			
	12+NAP	13+NAP	14+NAP	15+NAP
1961-1991	41.2	19.2	7.1	1.5
1991-2009	33.1	14.8	5.9	2.2

Tabel 4.1: Gemiddelde aantal dagen van hoogwaterstanden bij Lobith

Hieruit blijkt, dat er wel degelijk verschil is tussen gemiddelde waardes uit de periode van Kornman(1993) en de gemiddelde waardes van de afgelopen achttien jaar. Daarnaast is niet bekend of de huidige oevers bij dezelfde waterstand als in het onderzoek overstromen. In conclusie twee gaat het om de gemiddelde oeverlijnverplaatsing. Uit het onderzoek van het vorige hoofdstuk blijkt, dat ongeveer 8% van de oevers op het traject bestaan uit de in- en uitlaten van uiterwaarden bij hoogwater. Door deze kleine invloed op het gehele traject wordt er toch verwacht, dat conclusie twee nog voldoet.

De gemiddelde afvoer bij Lobith is nu 2220 m³/s gekeken naar het langjarig gemiddelde van de periode 1908-2000. Dit komt overeen met de afvoer in de beschouwde periodes en zowel de binnen- als buitenbochten hebben te maken met dezelfde stijging van scheepsclasses. Daarom wordt er verwacht, dat conclusie drie nog voldoet.

Van conclusie vier wordt er verwacht, dat deze niet meer voldoet. Door de stijging van de scheepsclasses wordt er meer erosie verwacht en dus een grotere voortschrijding van de oeverlijn.

Van de relatie oeverlijnverplaatsing vs bochtstraal, zoals die in Kornman(1993) gevonden is, wordt verwacht, dat conclusie vijf nog steeds voldoet. Hierbij wordt er vanuit gegaan, dat de bochtstralen hetzelfde zijn als in 1991.

Of de conclusies daadwerkelijk nog van toepassing zijn, zou moeten blijken uit nieuw onderzoek waarin de stappen van het historische onderzoek worden herhaald met nieuwe gegevens.

4.5 **Synthese van hoofdstuk vier**

In dit onderzoek is voornamelijk geprobeerd om een beter inzicht te krijgen in de morfologische systemen rondom oevers en rivieren. Conclusies ten opzichte van dit onderzoek zijn hier dus niet gedaan. Echter is er wel een aantal aannamen gedefinieerd.

Zo blijkt uit paragraaf 4.2.3, dat duwbakken ten opzichte van motorschepen een kleinere invloed hebben op de morfologie over de langere termijn. Omdat dit een globaal onderzoek betreft is er gekozen om in het verdere onderzoek alleen te kijken naar het effect van de motorschepen voor de langere termijn. Dit betekent wel, dat op bepaalde locaties de werkelijkheid anders uit zal vallen dan, dat de uitkomst van dit onderzoek doet vermoeden.

De verwachtingen naar aanleiding van de conclusies uit het onderzoek van Kornman(1993) zullen als handreiking worden gebruikt voor in het verdere onderzoek. Dit kan met de aanname uit hoofdstuk drie, dat de vegetatiegrens nagenoeg gelijk is aan de gemiddelde waterstand.

Een andere belangrijke aanname uit dit hoofdstuk komt van Yossef (2005). Uit zijn onderzoek stelt hij namelijk, dat de effecten van de scheepvaart bij hoogwater verwaarloosbaar klein zijn. Dit kan van pas komen in het onderzoek naar de morfologische effecten van scheepvaart op de oever in de situatie na kribverlaging. Het doel van het onderzoek van Yossef was echter niet om het effect van scheepvaart te beschrijven. Hierdoor is dit een aanname en geen feit.

5 Huidige Oeverlijnverplaatsing: Effecten

Nu bekend is wat er allemaal speelt rondom een oever met betrekking tot morfologie en hydraulica, kan er worden gekeken hoe de effecten zich manifesteren in en rondom de Waal. Hierbij zal alleen naar de 1^{ste} orde effecten worden gekeken. Hiermee wordt bedoeld, dat alleen naar de directe invloed van een oorzaak wordt gekeken en niet naar de effecten die later in de tijd, door de oorzaak zelf of een combinatie van oorzaken, zich voordoen. Deze effecten die zich later in de tijd voordoen zijn de 2^{de} orde effecten.

5.1 Inleiding

Oeverlijnverplaatsing is eigenlijk een product van de destabilisatie van de oever. In Sieben (2007) worden twee factoren toegeschreven die als maatgevend voor deze oever-destabilisatie gelden. Dit zijn:

- Stabiliteit van bodemoppervlakte;
 - Door erosie bij de teen van de oever (stroming), erosie bij de oeverlijn (golven en stroming) en erosie boven de oeverlijn (stroming tijdens hoge afvoeren);
 - Bij droogtescheuren gevolgd door overstroming;
 - Door overbelasting op de oever (gewicht vegetatie);
- Vochtgehalte binnen de oever;
 - Door verzadiging na overstroming;
 - Met als gevolg erosie door piping en grondwaterstromen;

Voor dit onderzoek wordt er gekeken naar de erosie bij de oeverlijn. Uit literatuur en contact met deskundige op het gebied van morfologie zijn er twee maatgevende aspecten van oevererosie bepaald. Dit zijn: *de sterkte* van de oever en *de belasting* op de oever.

De oorzaken die de sterkte van de oever kunnen aantasten zijn oorzaken die niet direct erosie tot gevolg hebben maar de kritieke grenzen verlagen. Oorzaken die de belasting op de oever vormen zijn oorzaken die direct invloed op erosie van de oever hebben. De maatgevende oorzaken uit hoofdstuk twee waren:

Oorzaken die de *sterkte* van de oever kunnen aantasten zijn:

- Een verschil van ruwheid tussen grondsoorten en constructies op een oever (oeveropbouw);
- Wijken van vegetatie (oeveropbouw);
- Vertrappen/vernielen van de oever door landbouw en vee;
- Vandalisme door recreatief gebruik;
- Afval;

Oorzaken die de *belasting* op de oever vormen zijn:

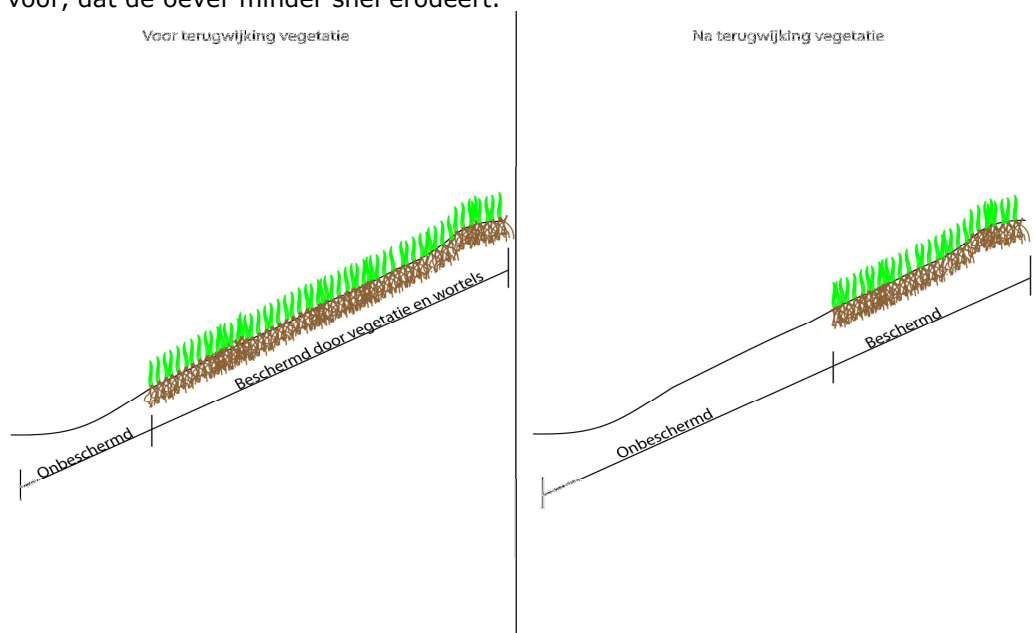
- Het afvoerregime van de rivier;
- De geometrie van de rivier;
- Daling kribvakkodem en massabewegingen;
- De windgolven;
- Nautische bewegingen;
- Ijsbelasting;
- In- en uitgangen van uiterwaarden bij hoogwater (afvoerregime);

5.2 Oorzaken m.b.t sterkte

5.2.1 De oeveropbouw

Bij het beschouwen van de sterkte van de oever, is het eerste waar naar gekeken wordt, de opbouw van de oever. Zo reageert een kleiige oever anders dan een zandige oever, een verdedigde oever anders dan een onverdedigde oever en een begroeide oever anders dan een onbegroeide oever.

Begroeiing kan gezien worden als de natuurlijke verdediging van oevers. Door de wortels van de vegetatie wordt het grondpakket een vaster geheel en zorgt dit er voor, dat de oever minder snel erodeert.



Figuur 5.1: Werking begroeiing op sterkte oever.

Wanneer de vegetatie verdwijnt, zal de werking van de wortels verdwijnen wat leidt tot een vermindering van sterkte van de oever.

De begroeiing kan door verschillende zaken verminderen of wijken. Een daarvan, namelijk landbouw en vee, wordt bij het volgende punt uitgelicht. Enkele andere oorzaken van wijkende vegetatie zijn: langedurende hoogwaterstanden, verslechtering waterkwaliteit en onderhoudswerkzaamheden.

Een ander punt, dat de oeversterkte aantast, heeft te maken met de korreldiameter en dus de ruwheid van het oevermateriaal. Zoals in paragraaf 4.1 is uitgelegd, is er bij een gelijke snelheid, steeds minder transportcapaciteit bij een steeds grotere korreldiameter. Soms kan het zijn, dat er bij onderhoudswerkzaamheden een andere korreldiameter of grondsoort de oever wordt opgestort dan oorspronkelijk aanwezig. Als hier niet op gelet wordt kan het voorkomen, dat er een verdichting van porositeit plaats vindt. Hierdoor kunnen wortels van vegetatie niet goed meer gedijen en sterven af. Ook kan het zijn, dat de korrels niet goed op elkaar aanhechten. Bij al deze effecten van een verschillende korreldiameter zal de stabiliteit van de oever worden verminderd en zo ook de sterkte van de oever. Al

deze aantasting van sterkte komen in meerdere en mindere maten voor langs de Waal.

5.2.2 *Landbouw en vee*

Zoals hiervoor is uitgelegd is de oeveropbouw bepalend voor de sterkte van de oever. Wanneer er landbouw plaats vindt op de oever kunnen de landbouwmachines schade aan de oevers aanrichten en dus de sterkte verminderen.

Vee is ook een veroorzaker van het terugwijken van vegetatie omdat het vee de oevervegetatie zal vertrappen en opeten. Dit zorgt voor een verslechterde stabiliteit en dus sterkte.

5.2.3 *Vandalisme door recreatief gebruik*

Een verdedigde oever is een oever waar doormiddel van stort- of zetsteen de oever versterkt is tegen de belasting van het water. Door de grotere korreldiameter is er een grote snelheid nodig om de stenen in beweging te brengen. Deze stroomsnelheid komt in normale situaties niet voor en zal de oever dus niet afkalven. Door vandalisme met het weghalen van stenen kan er een gat in de verdediging komen wat zorgt voor een vermindering van sterkte van de oever.

5.3 **Oorzaken m.b.t. belasting**

5.3.1 *Het afvoerregime van de rivier*

In paragraaf 4.3.2 is er gesproken over de hoog-, laag- en gemiddelde waterstanden van rivieren als de Waal. Hieruit komt een aantal aspecten naar voren.

Voor hoogwater is de eerste van die aspecten de in- en uitlaat van uiterwaarden. Dit fenomeen komt voor in zowel deel één als deel twee van het onderzoeksgebied.

Door de verlaging van de U stroomsnelheidcomponent bij de inlaat en het vergroten van de V stroomsnelheidcomponent bij de uitlaat, vindt er respectievelijk sedimentatie en erosie plaats. Dit gebeurt echter bij 8% van de oevers langs het gehele onderzoeksgebied. Dus hoewel er bij deze oevers veel morfologische veranderingen zijn worden deze oevers niet meegenomen vanwege de kleine representativiteit over de hele Waal.

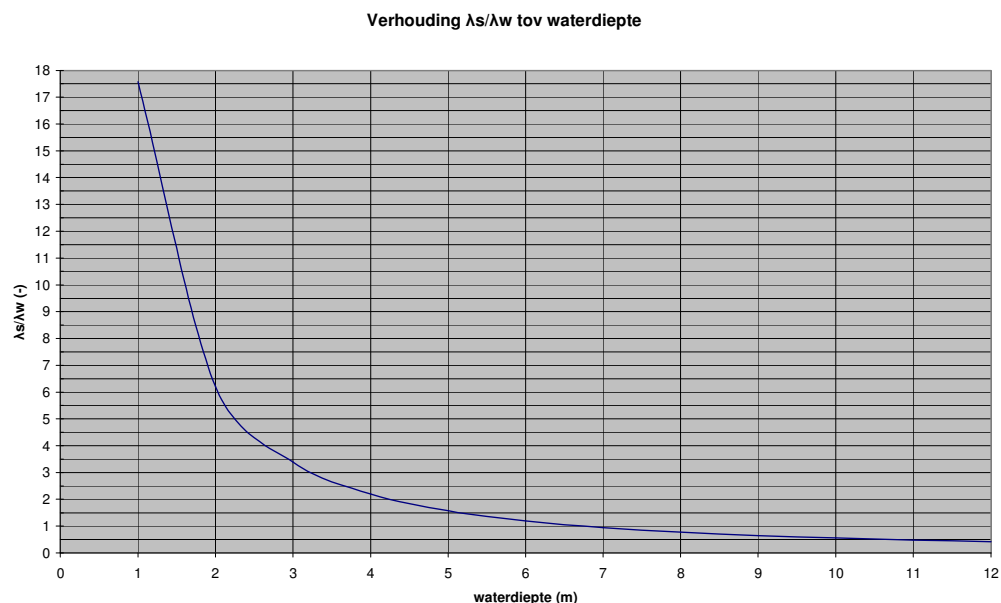
Een ander fenomeen van hoogwater is van belang in deel twee van het onderzoeksgebied. Het betreft hier het overstromen van de kribben. Dit zorgt voor een erosie en sedimentatie rondom de krib en een grotere U stroomsnelheid component langs de oever. Door deze vergrote U component zal de oever eroderen. Bij laag- en gemiddelde waterstand zal het afvoer regime alleen de primaire neer aandrijven. Dit zorgt voor een kleine U component langs de oever.

5.3.2 *Geometrie van de rivier*

Uit paragraaf 4.3.3 bleek, dat de sinuositeit een belangrijk aspect is bij de vorming van pointbars in de binnenbocht en erosie in de buitenbocht. Voor het onderzoeksgebieden uit dit onderzoek is er gebleken, dat de sinuositeit 1,38 voor deel één geldt en 1,02 voor deel twee. Dit betekent, dat deel één als een slingerende rivier geclassificeerd kan worden en deel twee als gestrekte rivier.

Een ander aspect bij pointbarvorming en erosie is de interactieparameter. Zoals te zien is in de formules [4], [5] en [6], is de waterdiepte h een variabele. Dit geeft

dan de volgende grafiek voor de interactieparameter van de Waal bij verschillende waterdieptes.



Grafiek 5.1: Verhouding interactieparameter t.o.v. waterdiepte

Uit de grafiek blijkt, dat bij een grotere waterdiepte de interactieparameter kleiner wordt en de rivier dus meer dempt. Ook te zien is, dat zelfs bij een extreem hoge waterdiepte van twaalf meter bij Lobith de interactieparameter voor de Waal rond de 0,5 zit. Dit betekent, dat zelfs bij een extreme waterdiepte de Waal de interactieparameter niet de nul is genaderd en er dus bij alle waterstanden pointbarvorming en erosie plaatsvindt, mits de sinuositeit dit ook toestaat.

De rivierbreedte b zit ook in formule [4] en deze is normaalgesproken gekoppeld aan de waterdiepte. Immers vergroot de breedte van de rivier ook naarmate het water stijgt. In de grafiek is echter alleen gekeken naar de normaalbreedte tussen de kribkoppen, omdat dit de hoofdstroom is. Omdat de hoofdstroom het grootste sedimenttransport heeft, is aangenomen, dat deze maatgevend is bij de interactieparameter.

Uit deze paragraaf blijkt, dat alleen voor onderzoeksgebied deel één de sinuositeit en de interactieparameter voldoende zijn voor de vorming van pointbars en dus erosie in de binnen- en buitenbochten. Dit betekent dus, dat hier een stroming is met de grootste component in de V richting. Echter zal bij hoogwater, wanneer de kribben overstromen, deze invloed afzwakken.

5.3.3

De daling van kribvakbodem en massabewegingen

De grondopbouw rondom de Waal is voornamelijk een laag rivierklei met daarop een laag zand. Hierdoor staat het niet vast, dat bij een daling van een kribvakbodem ook de oever afkalft. Of en waar dit gebeurt hangt dus af van de locatie langs de Waal.

5.3.4 De windgolven

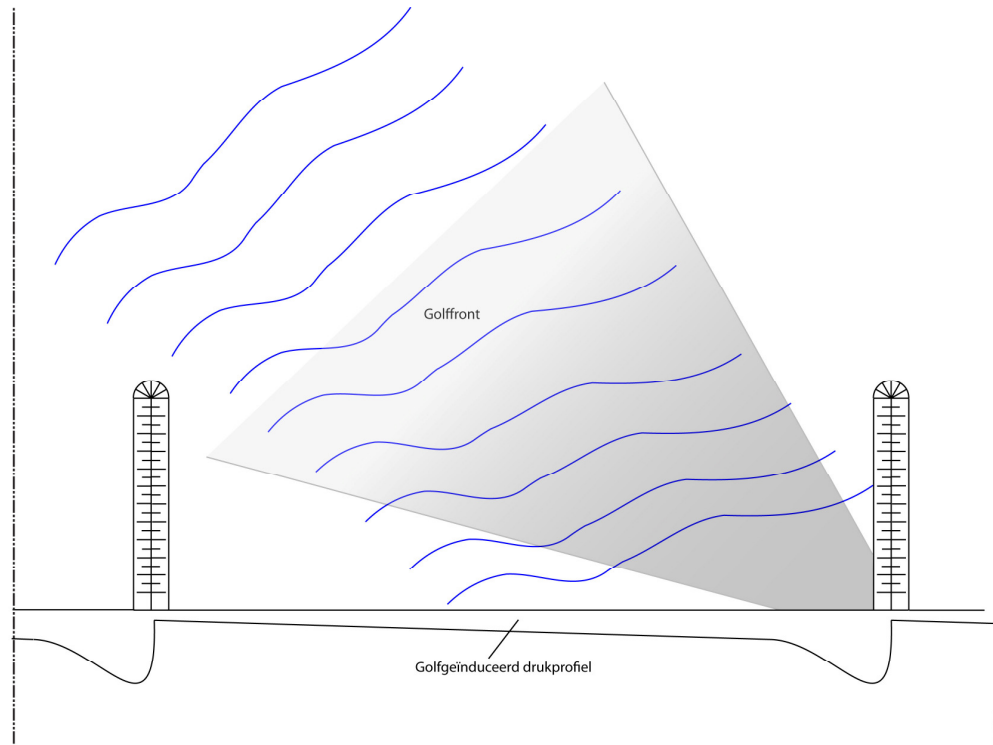
Van de breking en orbitaalbeweging van windgolven, die beide door diffractie met de grootste component loodrecht (V) op de oever werken, heeft de breking de meeste directe invloed op de oevers. Een variabele van de windgolven is de strijklengte. Dit is de maximale lengte waarin de windgolf opgewekt wordt tot die land raakt. In deel twee zou de grootste strijklengte mogelijk zijn, tot wel tien km. Toch is deze strijklengte niet maatgevend. Dit is omdat, als de wind van Oost naar West waait de belaste oever een verdedigde oever is wat betekent, dat er maar één á twee kribvakoevers temaken krijgen met deze maximale strijklengte (zie figuur 5.2). Bij optimale omstandigheden voor het opwekken van windgolven, is de strijklengte in deel twee dan dus de breedte van de Waal en komt dit neer op een strijklengte van ± 360 meter. Deze lengte is niet groot genoeg om daadwerkelijk hoge golven te creëren. De invloed van windgolven zal dus ook minimaal zijn in de erosie van oevers in deel twee.



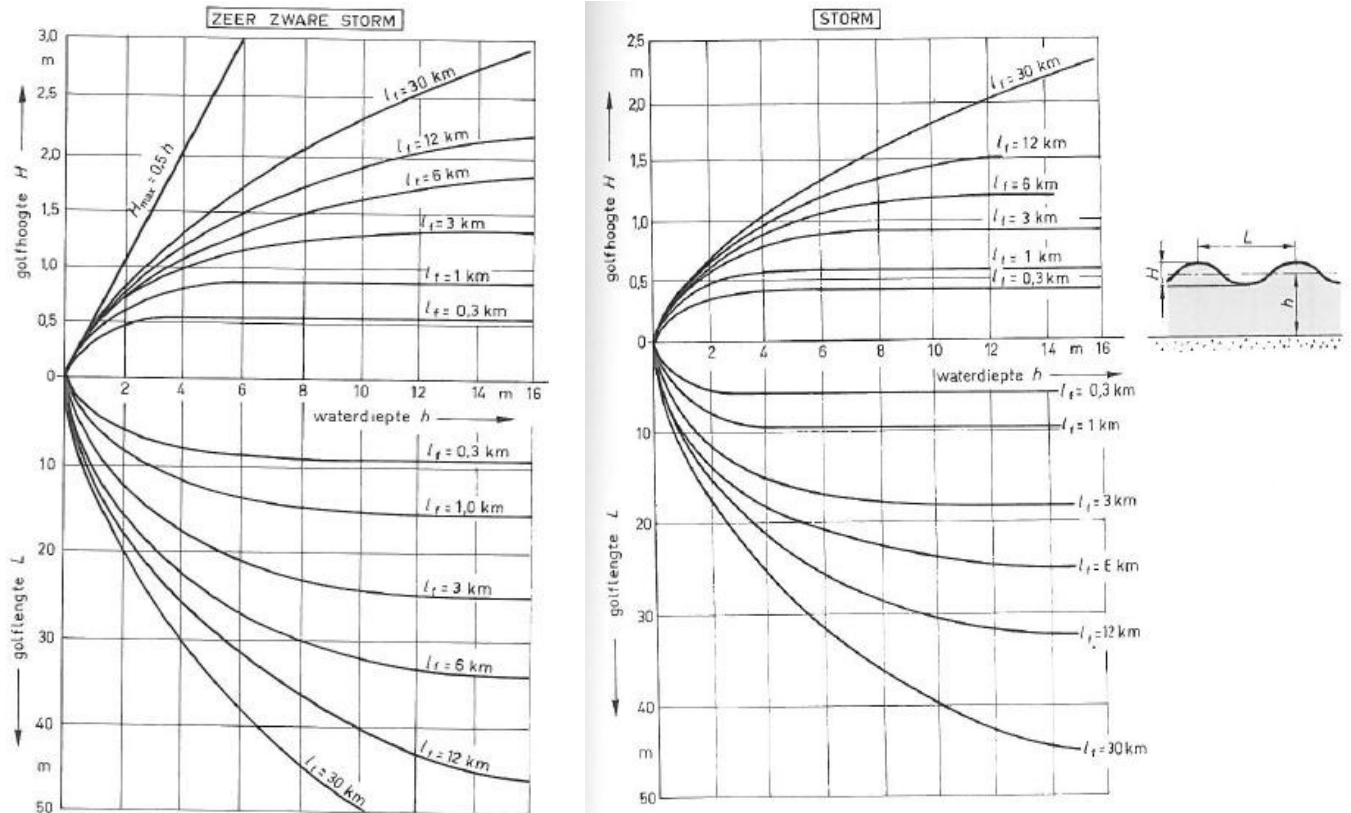
Figuur 5.2: Strijklente situatie onderzoeksgebied deel twee (bron: (48))

In deel één kan de strijklengte voor windgolven door het bochtig verloop van de Waal oplopen tot ongeveer 3,5 km. Dit betekent, dat bij een zeer zware storm de golven in de hoofdgeul kunnen oplopen tot 1 a 1,3 meter en bij een storm ongeveer 0,7m (zie grafiek 5.2). De golven bij de oever zullen door verschillende dempingseffecten lager zijn maar komen daarmee in de buurt van normale scheepsgolven. De grootste belasting van deze golven komt bij de oksels van kribvakken omdat de golven daar worden getrechterd tot een punt (zie figuur 5.3). Een zeer zware storm wordt volgens het KNMI geclassificeerd als er een uurgemiddelde wordt gemeten van windkracht 11 of hoger wat inhoudt, dat er een uur lang gemiddeld een wind waait van 103 tot 117 km/h. De laatste zeer zware storm was in 1990 en bereikte 108 km/h gemiddeld en was een van de 58 zware of zeer zware stormen sinds 1910. Ter indicatie kan nog gezegd worden, dat de watersnoodramp van 1953 geclassificeerd is als zware storm (windkracht 10). Een storm is vanaf windkracht 9. Hierbij ligt het tien minuut gemiddelde van de windsnelheid tussen 75 en 88 km/uur en zorgt vaak al voor lichte schade, zoals wegwaaierende dakpannen.

Het sediment, dat door de orbitaalbeweging en door het breken van de golven in suspensie wordt gebracht wordt uit de kribvakken getransporteerd door de neer.



Figuur 5.3: Belastingdrukprofiel door golffront



Grafiek 5.2: Golfhoogte en lengte bij een storm en zeer zware storm (windkracht 9 en 11)(bron: (18))

5.3.5 *De nautische bewegingen*

Uit paragraaf 4.2 blijkt, dat de nautische bewegingen bestaan uit de stroming in en uit het kribvak en de primaire en secundaire golven. Beide hebben de grootste component van de stroomsnelheid loodrecht op de oever (V). Door de passage van schip daalt de waterstand van de Waal, terplekken ongeveer 0,2 meter (Sieben 2007). Dit zorgt voor een vergroot verhang en dus stroomt het kribvak leeg. Als het schip gepasseerd is stijgt de waterstand weer waardoor het kribvak weer volstroomt.

De golfsystemen zorgen net zoals bij de windgolven voor een turbulente stroming in de V richting. Echter hebben de golven ook een component in de U richting. Het ligt aan de positie van het schip t.o.v. het kribvak en of het schip stroomop- of afwaarts vaart, welke van deze componenten het grootst is. Aangenomen wordt, dat door diffractie de V component in de meeste gevallen het grootste is. De grootste belasting vindt net als bij windgolven in de oksels van de kribvakken plaats.

5.3.6 *Ijsbelasting*

Ijsbelasting is de belasting die wordt gevormd door ijsschotsen die tegen de oever aanstoten of zich in de poriën rond de landwaterscheiding. Hierover wordt in de synthese meer verteld.

5.4 **Synthese van hoofdstuk vijf**

In dit hoofdstuk is geprobeerd om de oorzaken van belasting zoals in de inleiding bepaald te vertalen naar U en V snelheidscomponenten. Deze componenten zullen namelijk een goed beeld geven over hoe deze systemen op de oever werken en hoe deze zouden kunnen veranderen na kribverlaging. Ook is er geprobeerd de oorzaken van een vermindering van sterkte te beschouwen langs de Waal. Nu kan een lijst worden aangegeven met belangrijkste oorzaken van oeverlijnverplaatsing in de huidige situatie.

5.4.1 *Met betrekking tot de strekte*

Met betrekking tot vermindering van sterkte wordt in dit onderzoek niet gekeken naar de invloed van landbouw en vee. Deze keuze is gemaakt omdat er op de oevers van de Waal niet of nauwelijks meer landbouw of veeteelt plaatsvindt. Dit in tegenstelling tot de uiterwaarden wat nog steeds vaak als agrarisch land wordt gebruikt. De rest van de oorzaken komt zeker in verschillende vormen voor. Omdat deze echter geen directe invloed hebben op de erosie kunnen hier geen U of V componenten aan gehangen worden. Echter zullen deze zaken wel weer worden beschouwd bij in het volgende hoofdstuk

5.4.2 *Met betrekking tot de belasting*

Met betrekking tot de belasting op de oever wordt er in dit onderzoek niet gekeken naar de ijsbelasting. Dit komt omdat vast ijs in de Waal nauwelijks meer voorkomt. IJs kan zich alleen vormen als het naast Nederland ook koud genoeg is in Duitsland. Daarnaast is door de scheepvaart, kribben en warmtelozingen op de Waal is de rivier te warm geworden en stroomt de rivier te hard voor ijsvorming. De laatste keer, dat de Waal in zijn geheel vastvroor, was in 1963. Ook zal er niet gekeken worden naar de belasting door afval. Dit kan op bepaalde specifieke plekken een kleine invloed hebben maar zal nooit van groot belang zijn op de oeverlijnverplaatsing, gemiddeld over de Waal.

Verder zal er niet gekeken worden naar de in- en uitlaten van uiterwaarden.

Ook de daling van kribvakbodem en massabewegingen worden niet meegenomen in de beschouwing van belangrijkste oorzaken omdat dit een gevolg is van golf en stromingssystemen.

Uit hoofdstuk 4 blijkt, dat naast de V en U stroomcomponenten ook nog de Ω component aanwezig is. Deze laatste komt voornamelijk naar voren bij de breking van golven, maar zijn in dit hoofdstuk niet als stroomcomponenten meegenomen. Hiervoor is gekozen, omdat het effect, de grootte en het ontstaan van een turbulente stroming van vele factoren afhankelijk is. Om al deze zaken correct te beschrijven en analyseren mbt de Waal is in dit korte afstudeeronderzoek niet mogelijk. Daarom is er besloten om de stroomrichtingen te simplificeren en alleen uit te gaan van de V en U component. Echter moet gezegd worden, dat deze aanname alleen effect zou kunnen hebben op de belangrijkste component van de oorzaak *breking* van de Windgolfwerking.

De grote van invloed is bepaald uit dit hoofdstuk en door expert judgment.

In de volgende tabel zijn de overgebleven oorzaken m.b.t. de belasting en de bijbehorende snelheidscomponenten weergegeven. Hierbij is gekeken naar de invloed bij laag- en gemiddelde waterstand.

Oorzaak van Belasting	Belangrijkste Snelheidscomponent t.o.v de oever: Loodrecht(U) evenwijdig(V)	Invloed: Groot(G) Klein(K)
Het Afvoerregime van de rivier		
<i>Gemiddeld en Laagwater</i>	U	K
<u>De Geometrie van de rivier</u>		
<i>Deel één</i>	V	G
<i>Deel twee</i>	U	K
<u>De Nautische bewegingen</u>		
<i>Stroming</i>	V	G
<i>Golven</i>	V	G
<u>De Windgolven</u>		
<i>Deel één</i>		
<i>Orbitaalbeweging</i>	V	G
<i>Breking</i>	V	G
<i>Deel twee</i>		
<i>Orbitaalbeweging</i>	V	K
<i>Breking</i>	V	K

Tabel 5.1: Snelheidscomponenten en invloed van oorzaken van belasting op de oever

Oorzaak van Belasting	Belangrijkste Snelheidscomponent t.o.v de oever: Loodrecht(U) evenwijdig(V)	Invloed: Groot(G) Klein(K)
Het Afvoerregime van de rivier		
Hoogwater	U	G
De Geometrie van de rivier		
Deel één	V	K
Deel twee	U	G
De Nautische bewegingen		
Stroming	V	K
Golven	V	K
De Windgolven		
Deel één		
Orbitaalbeweging	V	K
Breking	V	K
Deel twee		
Orbitaalbeweging	V	K
Breking	V	K

Tabel 5.2: Tabel 5.1 bij hoogwater

Uit deze tabellen kan nu een lijst met belangrijkste oorzaken worden opgesteld. Dit zal echter niet gedaan worden voor hoogwater omdat in hoofdstuk drie is gekozen voor de oeverlijn bij laag- en gemiddelde waterstand.

Bij gemiddelde- en laagwaterstanden is de invloedvolgorde in deel één als volgt:

- 1 Nautische bewegingen;
- 2 Geometrie van de rivier;
- 3 De windgolven;
- 4 Het afvoerregime van de rivier;

Een vraag die op zou kunnen komen is rond de keuze, dat de geometrie van de rivier meer invloed heeft dan de windgolven. Dit is gedaan omdat de windgolven tijdelijk een piekbelasting is die een paar keer per jaar voorkomt. De geometrie werkt echter altijd en wordt daarom beschouwd als een groter invloed op oeverlijnverplaatsing dan windgolven.

Voor deel twee geldt de volgende invloedsvolgorde:

- 1 Nautische bewegingen ;
- 2 Het afvoerregime van de rivier;
- 3 De windgolven;
- 4 Geometrie van de rivier;

De vraag die hier zou kunnen dagen lijkt op de vraag bij deel één maar is toch anders, namelijk "waarom nu wel windgolven boven geometrie van de rivier?". Dit komt omdat er wordt verwacht, dat omdat de deel twee een gestrekte rivier is de invloed van de geometrie hier nagenoeg nul is. Dit betekent, dat de windgolven hier meer effect hebben dan de geometrie.

6 De Oeverlijnverplaatsing na Kribverlaging

Uit onderzoek van Uijttewaai (2005) blijkt, dat bij een kleine verandering in de vorm van kribben er al een invloed is op de stroming in een kribvak. Uit hoofdstuk vier blijkt verder, dat de breedte van een rivier maatgevend is voor de evenwichtsdiepte van de rivier. Na kribverlaging zal de breedte van de rivier toenemen wat tot een verandering in de rivierdiepte zal leiden. Deze twee zaken geven beide al een morfologische verandering aan in de situatie na kribverlaging. In dit hoofdstuk zullen de effecten, die in hoofdstuk vijf zijn beschouwd, voor de huidige situatie, opnieuw bekeken worden maar nu met de vraag "Wat als de kribben zijn verlaagd".

6.1 Fysische effecten op de oeverlijn

Uit hoofdstuk twee is een aantal oorzaken als maatgevend aangegeven. Hierbij zijn in hoofdstuk vijf, verschillende oorzaken afgevallen en weggehaald uit de lijst. Dit betekent, dat de volgende oorzaken overblijven en zullen worden bekeken in dit hoofdstuk:

Oorzaken die de sterkte van de oever kunnen aantasten:

- De oeveropbouw;

Oorzaken die de belasting op de oever vormen:

- Het afvoerregime van de rivier;
- De geometrie van de rivier;
- Nautische bewegingen;
- De golfwerking;

Hierbij zal weer naar het 1^{ste} orde effect worden gekeken.

6.2 Oorzaken m.b.t sterkte

6.2.1 De oeveropbouw

Uit paragraaf 5.2 blijkt, dat de sterkte van een oever afhangt van de vegetatie en van de ruwheidverschillen van de grondsoorten op een oever.

De oorzaken van ruwheidverschillen van grondsoorten liggen vaak bij menselijk handelen. Om dit te verbeteren zal beter op de werkwijze van onderhoud en andere werkzaamheden moeten worden gelet. Kribverlaging heeft hier echter geen invloed op en er zal dus geen verandering zijn ten opzichte van de situatie voor kribverlaging.

In paragraaf 5.2 wordt er aangegeven, dat voor het wijken van de vegetatiegrens: langdurige hoogwaterstanden, verslechtering van de waterkwaliteit en onderhoudswerkzaamheden oorzaken zijn. Kribverlaging heeft geen direct effect op de waterkwaliteit en de onderhoudswerkzaamheden en daarom zullen deze effecten op de vegetatiegrens na kribverlaging niet verkleinen of vergroten.

Uit onderzoeken van bijvoorbeeld: Yossef (2005), Silva *et al.* (2000), Mosselman *et al.* (1992) en van Broekhoven (2007) blijkt, dat kribverlaging zorgt voor een vergroting van de afvoercapaciteit en dus een verlaging van de maximale

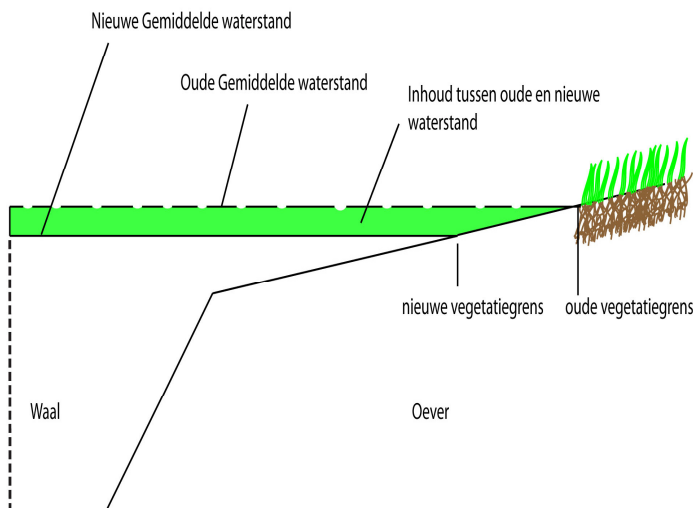
hoogwaterstand. Die verlaging ligt volgens deze onderzoeken tussen de 4 cm en de 30 cm.

Deze rapporten zijn echter niet met elkaar te vergelijken omdat het zowel vooronderzoek als 3D berekeningen betreft. Daarnaast houden sommige onderzoekers wel rekening met de mogelijke bodemdaling terwijl andere een vaste bodem aanhouden en deze bodemdaling meenemen in de aanbevelingen. Wat wel uit deze rapporten geconcludeerd kan worden is, dat de maximale hoogwaterstand daalt en dus ook de gemiddelde waterstand.

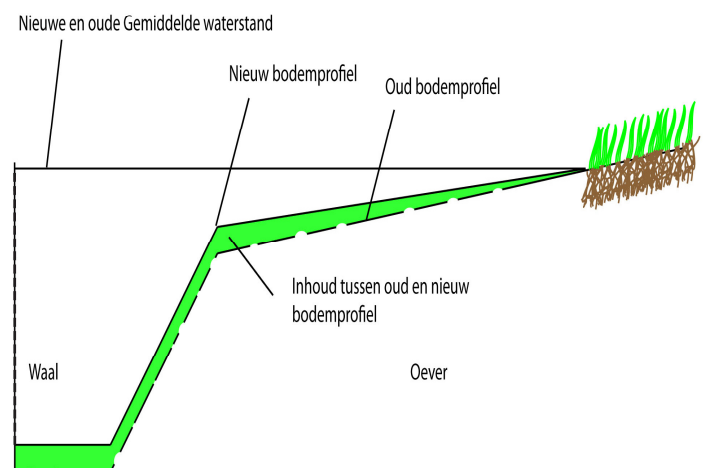
Volgens de PKB moet het project kribverlaging voor een waterstanddaling van 6 tot 12 cm zorgen. Stel, dat dit leidt tot een gemiddelde waterstanddaling van 9 cm en de het gemiddelde talud van de oevers 1:50 is. Nu zal bij deze waterstanddaling en dit talud de vegetatiegrens tot 4,5 meter op kunnen opschuiven richting de as van de rivier. Deze verschuiving van de oeverlijn kan leiden tot minder erosie bij hoogwater doordat een groter gebied van de oever natuurlijk beschermd wordt. Daarnaast wordt de ecologische zone vergroot.

Hierbij moet in acht worden genomen, dat deze beoogde verplaatsing nog van vele factoren afhankelijk is. Zo zal de waterstanddaling niet lineair verlopen en is het talud van de oevers langs de Waal niet precies 1:50. Ook zou het sedimenteren van het kribvak tot een kleinere verplaatsing kunnen leiden.

Verplaatsing vegetatiegrens door het verlagen van de kribben in de Waal



Geen verplaatsing van de vegetatiegrens door het verlagen van de kribben in de Waal, door sedimentatie van het kribvak en hoofdgeul



Figuur 6.1: Verplaatsing vegetatiegrens(schematisch)

6.3 Oorzaken m.b.t. belasting

6.3.1 *Het afvoerregime van de rivier*

Het afvoerregime is de grootste initiator van de evenwijdige stroomssnelheid langs de oever. Zowel in de huidige situatie als na kribverlaging. Uit hoofdstuk drie blijkt, dat de oeverlijnen zijn gedefinieerd als de laag- en gemiddelde waterstand.

Afvoerregime bij laagwaterstanden

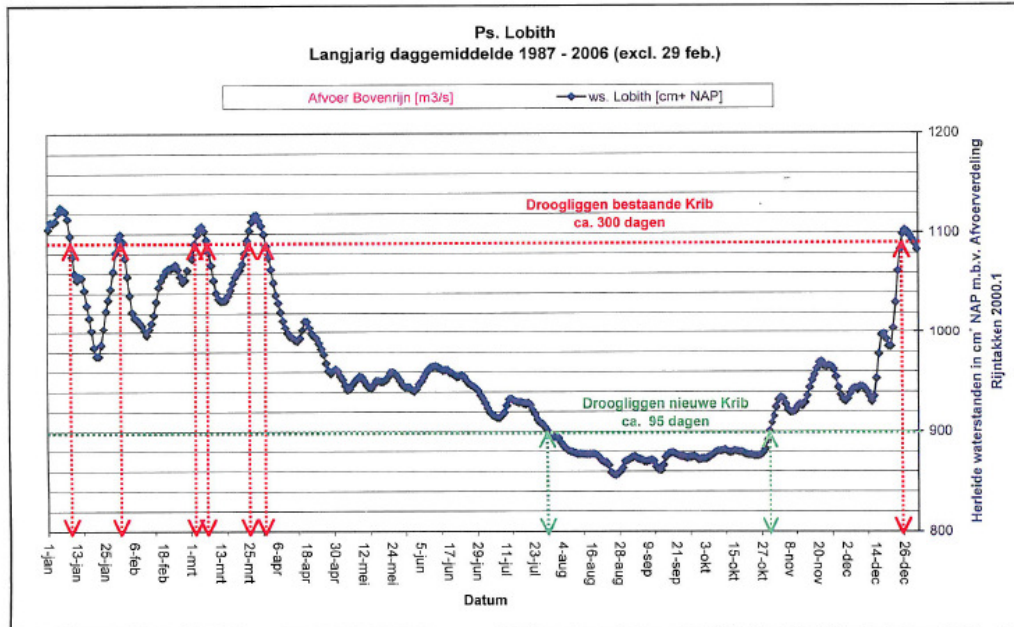
Bij laagwater zullen de kribben niet overstromen. Dit betekent, dat zelfs na kribverlaging de huidige situatie blijft bestaan. Hierbij is het afvoerregime de drijvende kracht achter de neren in het kribvak. Het systeem rond deze neren is al aangegeven in hoofdstuk vier.

Afvoerregime bij gemiddelde waterstand

Zoals uit paragraaf 4.1 blijkt, is de snelheid van de neer en dus de evenwijdige stroomsnelheid minstens 50 % kleiner dan de hoofdstroom.

Na kribverlaging zullen de kribben vaker overstromen. Dit blijkt als de nieuwe hoogte van de kribkop wordt uitgezet tegen de langjarige waterstandsgrafiek (zie grafiek 6.1). Te zien is, dat de verhouding omdraait van $\frac{2}{3}$ bovenwater en $\frac{1}{3}$ onderwater, naar $\frac{2}{3}$ onderwater en $\frac{1}{3}$ bovenwater (zie figuur 6.1). Yossef (2005) heeft in zijn onderzoek gezien, dat wanneer de kribvakken overstromen de neerpatronen verdwijnen. Wel zal het kribvak nog steeds een laag snelheidsgebied zijn., dat de neerpatronen verdwijnen wordt gesterkt door een controle uit Dam (2002). Door de aanname, dat de neren verdwijnen in het kribvak betekent dit, dat de snelheid langs de oever niet meer wordt afgeremd. Hierdoor zal de snelheid bij de oever in deel twee van het onderzoeksgebied, de snelheid van de hoofdstroom naderen.

Er moet in acht worden genomen, dat in beide onderzoeken het niet de doelstelling was om het verdwijnen van de neerpatronen te beschrijven. Hierdoor zijn de omstandigheden waarin dit geldt nog onzeker. Zo is het nog onbekend bij welke waterdiepte deze situatie zich begint voor te doen. Voor dit onderzoek wordt er aangenomen, dat de gemiddelde waterstand na kribverlaging voldoende is voor het verdwijnen van de neerpatronen.

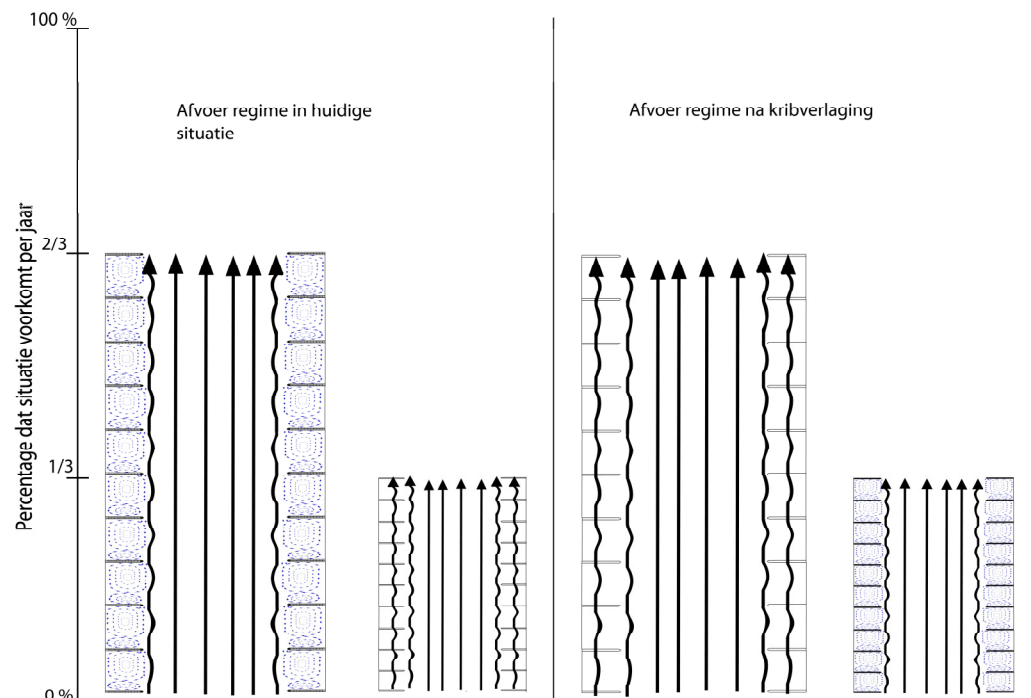


Grafiek Lj daggem Lobith 1987-2006 irt Krib hgte

Grafiek 6.1: Kribkruinhoogte t.o.v. Langjarig waterstandgemiddelde

In paragraaf 4.1 is er bewezen, dat bij een versnelling van de stroomsnelheid een vergroting van de transportcapaciteit en dus erosie optreedt. Dit betekent, dat in alle gevallen in deel twee van het onderzoeksgebied, de U component zal vergroten en de oeverlijn zich van de as van de rivier af zal verplaatsen.

Op sommige plekken zal deze verplaatsing echter groter zijn dan de standaard verplaatsing. Zo zal de verplaatsing groter zijn bij de worteleinden van de kribben. Het debiet zal hier, onder invloed van de krib, door een kleiner natte doorsnede stromen en dus nog een grotere stroomsnelheid krijgen. Wanneer de worteleinden niet worden verdedigd met een zet of stortstenen bekleding zal er een vergrote kans zijn op achterloopsheid van de kribben.



Figuur 6.2: Schematische weergave gevolg kribverlaging op stroming langs de oever

In deel één van het onderzoeksgebied zal het afvoerregime ook een belangrijkere rol krijgen, na het verlagen van kribben. Het systeem verloopt echter iets anders als in deel twee en zal dus de oeverlijn anders verplaatsen. Het verschil tussen de twee onderzoeksgebieden zit hem vooral in het feit, dat in deel twee aangenomen kan worden, dat de oeverlijnverplaatsing van beide oevers over het gehele traject gemiddeld gelijk zijn en in deel één is dit niet het geval. Dit komt omdat hier duidelijke binnen- en buitenbochten zijn waarbij de verplaatsing van de oevers wel degelijk verschillen.

De reden van deze verschillen van verplaatsing ligt voornamelijk bij het verschil in stroomsnelheden bij de oevers. Door de traagheid van water vormt er in de buitenbocht een hogere waterdruk(p) dan in de binnenbocht. Dit betekent:

$$p_{\text{buiten}} > p_{\text{binnen}} \quad [7]$$

De formule van druk luidt:

$$p = \frac{F}{A} \quad [8]$$

Waarbij:

p = Druk	(N/m ²)
F = Kracht	(N)
A = Oppervlakte	(m ²)

Uit formule [8] is vervolgens te concluderen, dat naarmate de druk toe neemt ook de kracht toeneemt, bij een gelijkblijvende oppervlakte. Bij deeltjes die in een

cirkelvormige baan bewegen heeft men te maken met de middelpuntzoekende kracht. Deze kracht zorgt ervoor, dat een deeltje in de cirkelvormige baan blijft en niet uit de bocht schiet. Voor een waterdeeltje, dat zich in een cirkelvormige baan beweegt, in de bocht van een rivier, moet deze middelpuntzoekende kracht dus gelijk zijn aan de kracht die gevormd wordt door de druk van het water. Dit betekent:

$$F_{mp,buiten} > F_{mp,binnen} \quad [9]$$

De formule van de middelpuntzoekende kracht luidt:

$$F_{mp} = \frac{m * v^2}{r} \quad [10]$$

Waarbij:

F_{mp}	= Middelpuntzoekende kracht	(N)
m	= Massa	(Kg)
v	= Snelheid	(m/s)
r	= Bochtstraal	(m)

Uit formule [10] blijkt, dat wanneer de kracht en de bochtstraal toenemen de snelheid ook moet toenemen bij een gelijkblijvende massa. Dit effect is de reden, dat in de buitenbochten van een rivier de snelheden hoger liggen dan in de binnenbochten van een rivier. Dit geldt zowel voor een rivier zonder als een rivier met kribben.

Het effect van kribverlaging op de snelheden in de binnen- en buitenbocht en daarmee dus de nieuwe snelheden langs de oevers is ten tijden van dit onderzoek nog onbekend. Geredeneerd kan worden, dat de stroomsnelheden bij de oevers in de bochten, door de weerstand van de verlaagde kribben niet groter zal zijn dan de stroomsnelheid van de vrij stromende hoofdstroom. Echter zullen deze snelheden wel hoger zijn dan in de huidige situatie.

Omdat de snelheden bij de beide oevers groter zijn, dan in de huidige situatie kunnen deze snelheden erosie veroorzaken. Voor de buitenbocht wordt er aangenomen, dat dit het geval is en zal de oeverlijn zich dus van de as van de rivier af gaan verplaatsen. Of de snelheid in de binnenbocht ook de kritieke stroomsnelheid bereikt is nog de vraag.

Als er naar een rivier zonder kribben wordt gekeken, is de snelheid in de binnenbocht niet toereikend voor erosie en zal er sedimentatie plaatsvinden. Met deze kennis kan er geredeneerd worden, dat in een binnenbocht met verlaagde kribben waar de rivier nog weerstand van ondervindt, de snelheid tussen de verlaagde kribben nooit groot genoeg zal worden voor erosie.

Door de grotere hoeveelheid water, die in de situatie na kribverlaging, langs de oever stroomt, zal er ook meer sediment op de oever neerdalen dan in de huidige situatie. Dit betekent, dat de oeverlijn zal verplaatsen in de richting van de as van de rivier. Uiteraard zal dit naar een evenwichtssituatie toe gaan waarbij de sedimentconcentratie van de rivier gelijk is met de transportcapaciteit.

6.3.2 Geometrie van de rivier

Na kribverlaging zal de geometrie van de rivier niet direct veranderen. Het bochtige gedeelte van de Waal wordt niet ineens recht of het rechte deel ineens bochtig. De sinuositeit zal gelijk blijven, zoals deze is berekend in hoofdstuk vijf. De interactieparameter zal wel veranderen. Als er alleen gekeken wordt naar de parameters in de formules [4], [5] en [6]: kan de breedte b niet meer als de afstand tussen de kribkoppen worden genomen, verandert de waterdiepte en het bodemverhang. Ook de aannamen van Struiksma *et al* (1985) om tot deze formules te komen kunnen niet meer van toepassing zijn. Echter zijn deze aannamen en de relevantie na kribverlaging onbekend. Hierdoor kan er geen conclusie gedaan worden met behulp van deze parameters, over het wel of niet vormen van pointbars.

Hoe de vorming van een spiraalstroom na kribverlaging verloopt, is nog onbekend. Als de intensiteit van de spiraalstroom als functie van de bochtstraal en het debiet wordt gezien, volgt hieruit de volgende formule (bron (35)):

$$I = \frac{q}{r} \quad [11]$$

Waarbij:

I = Intensiteit van de spiraalstroom

q = Debiet per strekkende meter

r = Bochtstraal

Omdat de bochtstraal gelijk blijft, geldt het volgende voor de intensiteit na kribverlaging:

$$\frac{I_n}{I_o} = \frac{Q_n}{Q_o} \quad [12]$$

Waarbij:

I_n = De intensiteit in de nieuwe situatie

I_o = De intensiteit in de oude situatie

Q_n = Het debiet in de nieuwe situatie

Q_o = Het debiet in de oude situatie

Als deze formule wordt omgeschreven, ziet de formule er als volgt uit:

$$I_n = \frac{I_o * Q_n}{Q_o} \quad [13]$$

De maatregel kribverlaging gaat ervan uit, dat de Waal, na alle maatregelen die in het kader "Ruimte voor de Rivier" worden gedaan, een afvoercapaciteit van 16.000 m³/s heeft waar dit eerst 15.000 m³/s was. Als deze afvoercapaciteiten als de maximale voorkomende debieten in de oude en nieuwe situatie worden genomen en in de formule worden ingevuld, blijkt, dat de nieuwe intensiteit van de spiraalstroom een factor 1,07 keer groter is dan in de huidige situatie. Aangenomen wordt, dat deze verhoging van intensiteit verwaarloosbaar is. Dit neemt niet weg, dat de

geometrie van de rivier nog steeds een belangrijke factor speelt in het onderzoeksgebied deel één.

Een ander zaak, die in huidige situatie de geometrie van de rivier aanpast is de autonome bodemdaling. Volgens Struiksma (2000) zal kribverlaging deze bodemdaling vertragen, maar is het niet zeker of die zal omkeren.

6.3.3

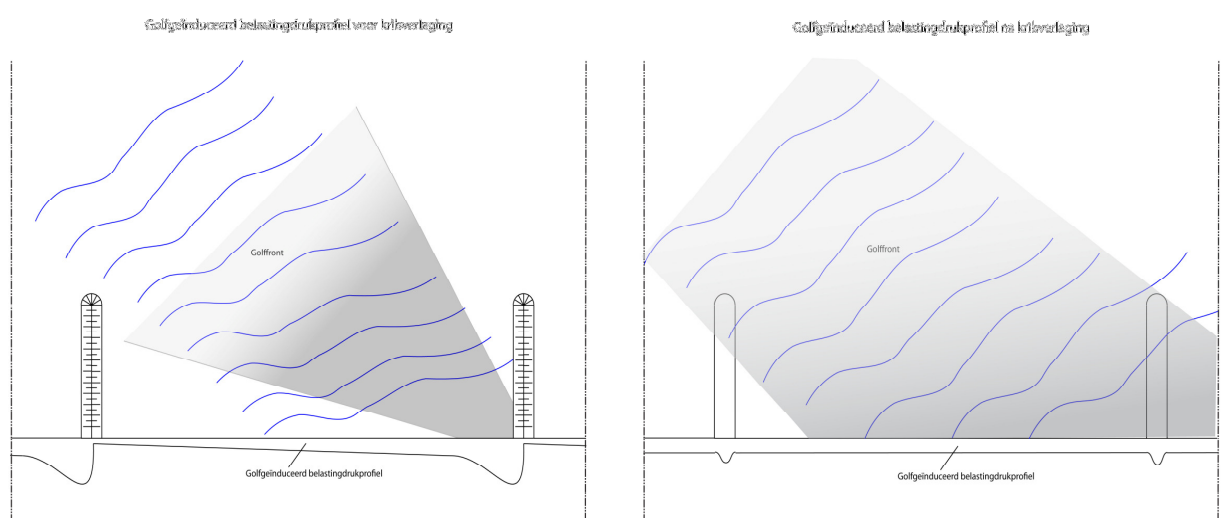
De windgolven

Zoals blijkt uit hoofdstuk vier is de strijklengte maatgevend voor de golven in de Waal. Na kribverlaging zullen bij de gemiddelde waterstand de kribben overstroomd en zijn er dus langere strijklengtes mogelijk. Voor de lage waterstanden blijft de originele situatie gelden. Door deze langere strijklengtes bij de gemiddelde waterstand worden de windgolven op de Waal belangrijker dan voor de kribverlaging.

Voor deel één van het onderzoeksgebied geldt nu een strijklengte van ongeveer 4,5 km. Dit is een km langer als in de huidige situatie. Als er nu naar figuur 5.2 wordt gekeken blijkt, dat de golfhoogte na kribverlaging op dit traject, niet veel scheelt met de huidige situatie.

Voor deel twee kan de strijklengte nu wel tot de oever gerekend worden. Dit betekent, dat de windgolven hier een groot effect krijgen. De strijklengte kan nu namelijk oplopen tot 11 km. Dit betekent een vergroting van de strijklengte van meer dan tien kilometer en een verhoging van golfhoogte tot bijna 1,2 meter bij een zeer zware storm.

Hieruit blijkt, dat de invloed van windgolven na kribverlaging belangrijker wordt dan in de huidige situatie. Zo zal de belastingdruk van de wind waarschijnlijk niet meer oplopen naar de oksel van het kribvak, zoals in de huidige situatie. Verwacht wordt, dat de belastingdruk van de wind, doordat de kribben zijn overstroomd, over een groter geheel van de oever worden verdeeld. Hierdoor zal de belastingdruk van de wind in de oksel afnemen (zie figuur 6.3)



Figuur 6.3: Belastingdruk na kribverlaging (schematisch)

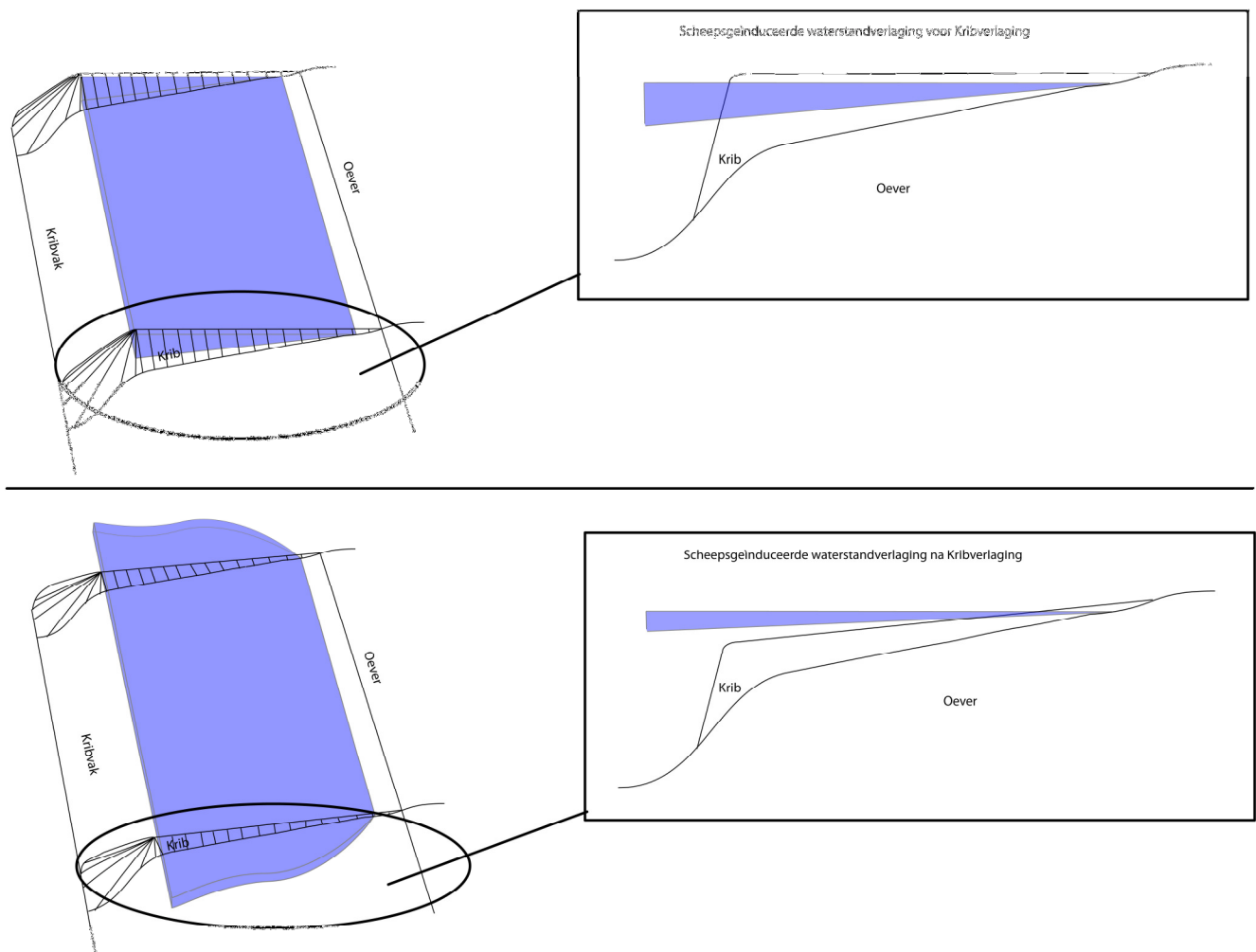
Of de verkleinde belastingdruk opweegt tegen de verhoging van de golfhoogte is niet bekend. Aangenomen wordt, dat in deel twee het effect van de verlaging van de belastingdruk, niet opweegt tegen de verhoging van de golfhoogte in, dat deel.

6.3.4 De nautische bewegingen

In hoofdstuk vier zijn de nautische bewegingen beschouwd als twee delen. Dit waren:

- 1 De stromingen in en uit het kribvak;
- 2 De door scheepvaart geïnduceerde golven;

Na kribverlaging zal de waterstand nog steeds dalen bij de passage van een schip. In tegenstelling tot de huidige situatie kan het water, na kribverlaging uit een groter gebied bijgevuld worden. Dit betekent, dat de stroming zich niet meer concentreert in de kribvakken en de stroomsnelheden daardoor lager worden.



Figuur 6.4: Vermindering van verhang tussen kribvak en hoofdgeul na kribverlaging

Voor de golven gelden dezelfde veranderingen als bij windgolven met betrekking tot de belastingdruk van de wind en de stroomcomponenten langs de oever. De golfhoogte zullen niet toenemen door kribverlaging en er kan dus verwacht worden, dat het effect van scheepsgolven op de erosie na kribverlaging ook afneemt. Deze verwachting wordt gedeeld door Yossef(2005).

6.4 Synthese van hoofdstuk zes

In dit hoofdstuk is gekeken naar de oorzaken uit hoofdstuk twee en deze beschouwd in een situatie na kribverlaging. De volgende conclusies kunnen nu genomen worden

6.4.1 *Met betrekking tot de sterkte*

De invloed van kribverlaging op de sterkte van de oevers is gering. Het enige effect wat het kan hebben is een verplaatsing van de vegetatiegrens richting de as van de rivier. Echter wordt verwacht dat, door de vergrote snelheid en de uniformere belasting van de oever door het afvoerregime en de golven, de aannamen waarin de vegetatiegrens ongeveer gelijk wordt gesteld met de gemiddelde waterstand, niet meer geldt. Dit zou kunnen betekenen, dat de vegetatiegrens op deze plek blijft als in de huidige situatie.

6.4.2 *Met betrekking tot de belasting*

Als dit hoofdstuk wordt vergeleken met hoofdstuk vijf is er een aantal grote veranderingen opgetreden.

Zo is de snelheid aan de oever toegenomen door het afvoerregime. Daarbij is de richting van de stromingscomponent omgedraaid en is deze nu met de stroom mee. Dit kan versterkend gaan werken op sommige andere effecten.

Als er wordt gekeken naar de geometrie van de rivier zijn er ook grote veranderingen zichtbaar. De belangrijkste is de verwachte toenames van stroomsnelheid in de buitenbochten/afnamen van stroomsnelheden in binnenbochten. Deze verwachting heeft vooral effect op onderzoeksgebied deel één waar de geometrie van de rivier als het op een na belangrijkste effect is getypeerd. De grootste veranderingen zijn zichtbaar bij de windgolven. Deze golven hebben in de huidige situatie vooral invloed in gebied deel één maar zullen na kribverlaging veel belangrijker worden, ook in deel twee.

Ook de invloed van nautische bewegingen zal na kribverlaging een grote verandering meemaken. Zo blijkt de invloed van zowel de golven als het de stroming kleiner te worden.

De tabel 5.1 uit hoofdstuk vijf zou na kribverlaging er als volgt uit kunnen zien:

Oorzaak van Belasting	Belangrijkste Snelheidscomponent t.o.v de oever: Loodrecht(U) evenwijdig(V)	Invloed: Groot(G) Klein(K)
Het afvoerregime van de rivier		
<i>Gemiddeld en Laagwater</i>	U	G
De geometrie van de rivier		
<i>Deel één</i>	U	G
<i>Deel twee</i>	U	K
De nautische bewegingen		
<i>Stroming</i>	V	K
<i>Golven</i>	U	K
De windgolven		
<i>Deel één</i>		
<i>Orbitaalbeweging</i>	U	G
<i>Breking</i>	U	G
<i>Deel twee</i>		
<i>Orbitaalbeweging</i>	U	G
<i>Breking</i>	U	G

Tabel 6.1: Snelheidscomponenten en invloed van oorzaken van belasting op de oever

Met deze tabel kunnen nu de invloedsvolgorde na kribverlaging worden bepaald. Voor deel één is de invloedsvolgorde:

- 1 Het afvoerregime van de rivier;
- 2 Geometrie van de rivier;
- 3 De windgolven;
- 4 Nautische bewegingen;

Eigenlijk is de combinatie van de geometrie samen met het afvoerregime de belangrijkste factor van oeverlijnverplaatsing in deel één. Omdat het gehele onderzoek hier wel onderscheid tussen is gemaakt wordt dit hier ook gedaan.

Voor deel twee geldt de volgende invloedsvolgorde:

- 1 Het afvoerregime van de rivier;
- 2 De windgolven;
- 3 Nautische bewegingen;
- 4 Geometrie van de rivier;

De reden, dat het afvoerregime in deel twee als belangrijkere invloedsoorzaak is aangesteld en niet de windgolven, heeft dezelfde reden als in hoofdstuk vijf namelijk, dat het grote effect van windgolven een piekbelasting is en het afvoerregime constant.

7 Conclusies en Aanbevelingen

7.1 Conclusies

In dit onderzoek is er onderzocht wat de belangrijkste effecten zijn van oeverlijnverplaatsing voor en na de Ruimte voor de Rivier maatregel kribverlaging. Hiervoor is eerst een analyse gedaan naar wat een breed gedragen definitie is van een oeverlijn:

- Een conclusie die uit de analyse getrokken kan worden is, dat het kiezen van een definitie voor de oeverlijn geen gemakkelijke opgaven is. Het gaat hierbij om een weloverwogen keuze is waarbij verschillende belangen en belanghebbende afgewogen moeten worden.
- Voor dit onderzoek was de definitie "De land-waterscheiding bij de gemiddelde laagwaterstand" het best passend. Hiermee is antwoord gegeven op deelvraag één van het onderzoek



Figuur 7.1: Deelgebieden langs de Waal (bron: (48))

Nadat de definitie van de oeverlijn bekend en voldoende voorkennis was voor een goed begrip van morfologie, is de invloedsvolgorde voor de belangrijkste oorzaken in de huidige situatie bepaald. Deze is als volgt:

Voor deel één van het onderzoeksgebied:

- 1 Nautische bewegingen;
- 2 Geometrie van de rivier;
- 3 De windgolven;
- 4 Het afvoerregime van de rivier;

Voor deel twee van het onderzoeksgebied:

- 1 Nautische bewegingen;
- 2 Het afvoerregime van de rivier;
- 3 De windgolven;
- 4 Geometrie van de rivier;

Vervolgens is ook de invloedsvolgorde voor dezelfde oorzaken na kribverlaging bepaald.

Deze volgorde is als volgt:

Voor deel één van het onderzoeksgebied:	Voor deel twee van het onderzoeksgebied:
1 Het afvoerregime van de rivier;	1 Het afvoerregime van de rivier;
2 Geometrie van de rivier;	2 De windgolven;
3 De windgolven;	3 De nautische bewegingen;
4 De nautische bewegingen;	4 Geometrie van de rivier;

Uit deze lijsten is goed te zien, dat er veel veranderd in invloedsvolgorde, wanneer de maatregel kribverlaging wordt doorgevoerd. Hieruit kunnen dan de volgende conclusies worden getrokken en antwoord worden gegeven op deelvragen twee en drie:

- De belangrijkste oorzaak in deel één en deel twee, is na kribverlaging, het afvoerregime. Dit komt omdat de snelheden langs de oever sterk zullen toenemen. Hoewel het effect van de windgolven in deel twee sterker stijgt, is dit geen constante belasting waar het afvoerregime, dat wel is. Hierdoor is het afvoerregime als belangrijkste oorzaak getypeerd;
- Voor zowel deel één van het onderzoeksgebied als deel twee valt op, dat het effect van de nautische bewegingen dalen in invloed op oeverlijnverplaatsing. Deze daling is vooral te wijten aan de afname van stromingseffecten in en uit het kribvak door de scheepvaart;
- De sterkste stijging van invloed in deel één is bij het afvoerregime. Deze invloedsstijging is te wijten aan de grote oeverstroomsnelheid door het afvoerregime na kribverlaging, in vergelijking met de lage snelheid die in de huidige situatie het gevolg is van het afvoerregime;
- De sterkste stijging van invloed in deel twee is bij de windgolven. Dit komt omdat in de huidige situatie de windgolven maar in enkele kribvakken tot significante hoogtes kunnen vormen. Na kribverlaging wordt het effect van de windgolven echter bij een groot deel van de kribvakken merkbaar;

Als er naar tabel 5.1 en tabel 6.1 wordt gekeken, kan ook de volgende conclusie worden getrokken:

- Uit deze tabellen blijkt, dat na kribverlaging er meer oorzaken zijn met een grote invloed dan in de huidige situatie. Hieruit kan worden geconcludeerd, dat de totale invloed van de oorzaken en daarmee de belasting op de oever, groter wordt dan in de huidige situatie wat erosie tot gevolg zal hebben;

De doelstellingen van dit onderzoek waren:

1. Het ontrafelen van de morfologische systemen die in de huidige situatie en na kribverlaging plaatsvinden, m.b.t. de oevers tussen de kribben;
2. Een opzet leveren voor een vervolg onderzoek naar de morfologische effecten die in de huidige situatie en na kribverlaging plaatsvinden m.b.t. de oevers tussen de kribben;

Voor doelstelling twee zijn de aanbevelingen het meest belangrijk en zal dus de volgende paragraaf worden behandeld.

Aan doelstelling één is in dit onderzoek voldaan. Door de verschillende systemen te bekijken is het nog duidelijker geworden hoe complex morfologie is. Toch geeft dit onderzoek een handreiking om dit complexe probleem gesimplificeerd te beschouwen en daardoor meer gevoel te krijgen over de situatie zoals die zal ontstaan na kribverlaging.

7.2 Aanbevelingen

Een van de doelen van dit onderzoek was om een opzet te leveren naar een vervolg onderzoek naar de morfologische effecten van verschillende oorzaken na kribverlaging. Een belangrijk punt voor deze doelstelling is de aanbevelingen voor het vervolg onderzoek. Met betrekking tot deze doelstelling en de kennis over dit probleem kunnen de volgende zaken worden aanbevolen:

- Het is bekend en blijkt ook uit dit onderzoek, dat de oever in eerste instantie zal gaan eroderen. Dit klopt ook met de stelling, dat de rivier weer naar een natuurlijke vorm toe zal gaan (lees ondiep en breed) de vraag is dus tot hoever deze erosie doorgaat en waar het evenwicht ligt tussen erosie en sedimentatie. Echter is dit een complexe vraag die niet zomaar beantwoord kan worden. Een mogelijkheid is om het probleem om te draaien en te bedenken tot waar erosie en sedimentatie kan worden toegelaten. Dit betekent, dat langs de gehele Waal een interventielijn en een faallijn zal moeten worden bepaald. Als voorbeeld hiervoor kan een memo worden gebruikt die door Dhr Ebberink aan Dhr Kusters is verstuurd (zie referentie (11)) beide werkzaam bij Rijkswaterstaat Dienst Limburg. In deze memo wordt een voorstel gedaan voor deze twee lijnen langs de Maas. Als een dergelijk document voor de Waal gerealiseerd kan worden is dit een voordeel voor de beheerder, de omwonende en voor de ecologische ontwikkeling rondom de Waal;
- In het begin van het onderzoek is gebleken, dat de effecten bij hoogwater niet relevant waren voor het doel van dit onderzoek. Echter zijn hoogwaters en de overgangen naar en van hoogwaters een belangrijke motor als het gaat om morfologie in een rivier. Hierdoor is het aan te bevelen om dit onderzoek te herhalen, met een focus op hoogwaters en de overgangen van en naar hoogwaters. Het nog te maken document zal samen met dit document een compleet beeld geven van de belangrijkste invloeden van morfologische veranderingen in de Waal;
- In dit onderzoek is er alleen gekeken naar de 1^{ste} orde effecten van de verschillende oorzaken. Echter kan het samen- of tegenwerken van bepaalde effecten een andere beschouwing geven. Daarom is het aan te raden om een onderzoek te doen naar hoe deze effecten samenwerken en wat hun 2^{de} orde effecten zijn;

- Dit gehele onderzoek is een kwalitatief onderzoek geweest naar oeverlijnverplaatsing. Om meer duidelijkheid te geven aan sommige belanghebbende is het aan te bevelen om een kwantitatief onderzoek te doen. Vanwege de complexiteit van het probleem wordt aangeraden om dit te doen op specifieke locaties, eerder dan over de gehele Waal. Hierbij is het gebruik van veldonderzoek en gegevens van belang. Uit contact met Mevr. drs. M.M. Schoor van Rijkswaterstaat DON blijkt wel, dat in vorige onderzoeken het lastig bleek om oorzaak/gevolg te typeren als het gaat om oevererosie;
- Als speciaal aandachtspunt voor een kwantitatief vervolg onderzoek is de stromingspatronen na kribverlaging. Het is nog onduidelijk hoe neerpatronen, wervelstromen en turbulente stromingen in en rondom het kribvak zich vormen en verplaatsen. Juist deze stromingen kunnen het beginnen te bewegen van een korrel en zo het begin van erosie versnellen;
- Ook het effect van kribverlaging op de spiraalstroom is onbekend. Deze stroom kan als motor worden gezien voor het transport van sediment van de buitenbocht naar de binnenbocht. Door meer kennis te krijgen in dit systeem wordt het dwarstransport en de vorming van sedimentatie aan de binnenbocht duidelijker;
- Uit het onderzoek van Tollenaar (2002) blijkt, dat door de invloed van klimaatsveranderingen sommige maatregelen van Ruimte voor de Rivier, maar een kleine invloed hebben op de morfologische veranderingen, zonder een betere verdeling bij Pannerdense kop. Dit is echter gedaan voor de maatregelen: uiterwaardverlaging, zomerbedverlaging en het verwijderen van een hydraulisch knelpunt. Voor de lange termijnbeschouwing van het effect van kribverlaging op de waterstand tegenover de morfologische veranderingen door klimaatsverandering, is het aan te raden om te onderzoeken of de invloed van kribverlaging niet door morfologische veranderingen teniet wordt gedaan en of, dat te voorkomen is door de verdeling bij Pannerdense kop te veranderen. Met deze verandering van waterstanden kan ook dit onderzoek teniet worden gedaan;
- Het is bekend, dat wanneer er wordt gekeken naar de veranderingen over honderden jaren blijkt, dat het systeem altijd in evenwicht komt. Dit geldt ook voor de veranderingen rondom kribverlaging. Het is aan te bevelen om te onderzoeken hoelang het precies duurt voordat het systeem in de Waal in evenwicht is. Dit zou samen met de eerste aannamen een goede indicatie zijn voor de urgentie van het probleem.

8 Referenties

8.1 Literatuur

- (1) Anoniem (2006). *Algemene regels bij de Keur HHNK 2006: Algemene voorwaarden en voorschriften voor werken in waterstaatswerken*. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Keur HHNK 2006, Edam.
- (2) Ariens, E.E., Bakker, J.J. en Johanson, J.C.P. (1994). *Functie-eisen, technische eisen en interventieniveaus voor oevers en kribben*. Rijkswaterstaat Bouwdienst, Nota, Utrecht.
- (3) Augustinus, P.G.E.F., Teunissen, P., Philipse, L. en Koornaar, J. (2004). *Bouw oeververdedigingswerken voor de rechteroever v/d Surinamerivier & de linkeroever v/d Commewijnerivier*. SUNECON, Rapport Morfologische aspecten en natuurlijke oeverbescherming, Paramaribo, Suriname.
- (4) Bakker, J.J. en Es, R. van (2001). *Kennisleemte kribben*. INFRAM, rapport I469, Marknesse.
- (5) Brinke, W.B.M. ten (2003). *De sedimenthuishouding van kribvakken langs de Waal*. RIZA, rapport 2003.002, Lelystad.
- (6) Broekhoven, R.W.A. van (2007). *Het effect van kribverlaging op de afvoercapaciteit van de Waal ten tijde van hoogwater*. Hydrodynamic en TUDelft, Afstudeerrapport, Papendrecht.
- (7) Busnelli, M., Schuurman, F., Tollenaar, K. en Hoefsloot, F. (2008). *Civieltechnisch advies 100 kribben*. DHV, B3037-56-27A, Amersfoort.
- (8) Castelein, E.F.A., Brouwer, P.M.M., Polman, C.E.A.M., Laan, E.J. van der, Hoornstra, J.S. en Hoppenbrouwers, M.E.T (2002). *Beheersplan Nat: Beheersplan van de Rijkswateren*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Beheersplan, Arnhem.
- (9) Cats, M. en Ruiter, P. de (2001). *Referentiedocument oevers en bodems*. DHV, Amersfoort.
- (10) Dam, G. en Labeur, R.J. (2002). *Anticiperend onderzoek kribvakken, numerieke berekeningen*. Royal Haskoning, 1197/R01531/GD/Rott2b, Rotterdam.
- (11) Ebberink, L.J.M. (2009). *Vastellen interventie- en faallijnen bij eroderende oevers*. Rijkswaterstaat Dienst Limburg, Memo 5 februari 2009, Maastricht.
- (12) Haas, A.W. de (1987). *Samenvattend verslag van onderzoeken naar de invloed van zesbaksduwvaart op kribvakerosie*. RIZA, notitie 87.018X, Arnhem.
- (13) Haas, A.W. de (1988). *Fysische aspecten van watersystemen in relatie tot oeverbeheer*. RIZA, werkdocument 88.106X, Arnhem.

- (14) Heezen, L. (2006). *Analyse van standaard, verlaagde en inovative kribben langs de Waal*. Hydrodynamic en Saxion Hogeschool Enschede, Afstudeerrapport, Papendrecht.
- (15) Jansen, P.P., Bendegom, L. van, Berg, J. van den, Vries, M. de en Zanen, A. (1979). *Principles of River Engineering; the non-tidal alluvial river*. TUDelft, Delft.
- (16) Kornman, B.A. (1993). *Onderzoek naar de erosie en sedimentatie in kribvakken langs de Waal*. RIZA, werkdocument 93.149X, Arnhem.
- (17) Mosselman, E. en Struiksmā, N. (1992). *Effecten van kribverlaging*. WL|Delft hydraulics, Verslag vooronderzoek Q1462, Delft.
- (18) Nortier, I.W. en Koning, P. de (1996). *Toegepaste vloeistofmechanica*. 7^{de} druk, Houten.
- (19) Schans, H. (1998). *Representativiteit van kribvakmetingen uit 1996 en 1997 ten opzichte van de gehele Waal*. Universiteit Utrecht, Utrecht.
- (20) Sieben, J. (2005). *Wie het water deert, die het water keert*. RIZA , werkdocument 2005.034X, Lelystad.
- (21) Sieben, J. (2007). *Functioneel kribontwerp op riviertak en uiterwaardniveau*. RIZA, werkdocument 2002.064, Lelystad.
- (22) Sieben, J., Essen, J.A.F. van, Scholten, M.J.M en Hal, L.W.J. van (2005). *Inschatting van de kans op achterloopsheid bij kribben*. RIZA, werkdocument 2005.148X, Lelystad.
- (23) Sieben, J. (2008). *Indicatie morfologische effecten kribverlaging*. Rijkswaterstaat Waterdienst, Memo 30 juni 2008, Lelystad.
- (24) Simons, H.E.J., Koolen, J.L. en Verkade, G.J. (1994). *Natuurvriendelijke oevers*. CUR Bouw en Infra, Rapport 168, Gouda.
- (25) Simons, J. en Bolwidt, L.J. (2003). *Evaluatie verwijdering oeversverdediging Engelsche werk 1993-2001*. RIZA, rapport 2003.007, Lelystad.
- (26) Silva, W., Klijn, F. en Dijkman, F. (2000). *Ruimte voor Rijntakken: wat het onderzoek ons heeft geleerd*. RIZA, rapport 2000.026, Arnhem.
- (27) Snoep, T.J.A. (2007). *Onderzoek naar sedimentatie in rivierhavens*. HKV Lijn in water en Hogeschool Utrecht, Stageonderzoek, Lelystad.
- (28) Sorber, A.M. (1997). *Oeversedimentatie tijdens hoogwaters van 1993/1994 en 1995*. RIZA, rapport 97.015, Lelystad.
- (29) Struiksmā, N. en Stolker, C. (2000). *Kansen voor Kribben*. WL|Delft hydraulics, rapport Q2604, Delft.

- (30) Tollenaar, K. (2002). *Morfologische effecten door klimaatverandering bij de toepassing van Ruimte voor de Riviertakken maatregelen*. TUDelft, Afstudeerrapport, Delft.
- (31) Vrande, H.A. van de (2003). *Instandhoudingsplan Oevers Kribben & Oevers Strekdam*. Dienstkring Boven-Rijn en Waal, Nijmegen.
- (32) Wal, M. van der (2004). *Innovatieve kribben met palenrij*. RWS-DWW, DWW-2004-055, Delft.
- (33) Yossef, M.F.M. (2005). *Morphodynamics of rivers with groynes*. TUDelft, Proefschrift, Delft.
- (34) Rijkswaterstaat Directie Gelderland (1993). *Overture: inrichtingsplan oevers Rijntakken*. RWS-GL, GLD 93/05, Arnhem
- (35) Correspondentie met Dhr. dr. ir. A. Sieben, Adviseur/Specialistisch medewerker bij de Waterdienst van Rijkswaterstaat.
- (36) Correspondentie met Dhr. ir. H. Havinga, Senior Rivierkundig Adviseur bij Rijkswaterstaat Dienst Oost-Nederland.
- (37) Correspondentie met Dhr. Ir. M. van der Wal, Senior Project Advisor bij Deltares.
- (38) Correspondentie met Dhr. drs. F.M.L. Berben, adviseur/specialistisch medewerker Rivierkunde bij Rijkswaterstaat Dienst Oost-Nederland.
- (39) Correspondentie met Prof. dr. ir. W.S.J. Uijttewaai, Hoogleraar aan de TUDelft.

8.2 Publicaties

- (40) Uijttewaai, W.S.J. (2005). Effects of Groyne Layout on the Flow in Groyne Fields: Laboratory Experiments. *Journal of Hydraulic Engineering Vol. 131, No. 9 p. 782-791*. ASCE, Reston Virginia, VS
- (41) Struiksmā, N., Olesen, K.W., Flokstra, C., Vriend, H.J. de (1985). Bed deformation in curved alluvial channels. *Journal of Hydraulic Research, 23:1, p. 57-79*. Zurich, Zwitserland.
- (42) Pilarczyk, K.W., Havinga, H., Klaassen, G.J., Verhey, H.J., Mosselman, E. en Leemans, J.A.A.M. (1989). Control of bank erosion in the Netherlands: State-of-the-art. *Hydraulic Engineering, Proceedings of the 1989 National Conference on Hydraulic Engineering, pp. 302-307*. ASCE, Reston Virginia, VS.
- (43) Barneveld, H.J. en Havinga, H. (2009). Stoppen bodemdaling moet duurzame vaarweg verzekeren. *Land + Water, nummer 10, p 22-24*, Koninklijke BDU Uitgevers B.V., Barneveld, Nederland

8.3 Internet

- (44) <http://faculty.gg.uwyo.edu>
- (45) <http://www.statline.nl>
- (46) <http://kennisplein.intranet.minvenw.nl/>
- (47) <http://www.knmi.nl>
- (48) <http://earth.google.com>
- (49) <http://145.50.148.233/mapviewer2/> (applicatie van RWS voor kaartmateriaal)
- (50) <http://www.google.com>
- (51) <http://www.wikipedia.org>
- (52) <http://www.natuurdichtbij.nl>
- (53) <http://www.ruimtevoorderivier.nl>

Bijlage A Begrippenlijst en afkortingenlijst

Begrip	Definitie
BPR	B innenvaart P olitie R eglement; Verkeersregels op het Nederlandse binnenwater.
BPRW	B eheers P lan R ijks W ateren; Het plan waarin het beheer van de twee grote rivieren en hun vertakkingen wordt uitgeschreven
CEMT-klasse	C onférence E uropéenne des M inistres de T ransport - klasse: Scheepsklassen opgesteld door het CEMT. Dit is een organisatie opgericht door Europese landen om het beleid rond het internationaal transport te beheren.
Erosie/Sedimentatie	Erosie en Sedimentatie zijn beide benamingen voor een verandering van de vorm van een bodem/oever r. Erosie is hierbij een verwijdering van de bodem/oever dus negatieve verandering en sedimentatie is een toevoeging aan de bodem/oever dus positieve verandering.
Gemiddelde waterstand	Waterstand bij een gemiddelde afvoer bij Lobith van 2220 m ³ /s
Hoofdstroom	Rivier tussen de kribkoppen
Hoogwaterstand	In de huidige situatie: Waterstand bij een debiet van 15.000 m ³ /s bij Lobith In de situatie na kribverlaging: Waterstand bij een debiet van 16.000 m ³ /s bij Lobith
Kribben	Een krib is een normalisatiewerk, dat loodrecht of schuin op de oever van een rivier is aangebracht en dient om de positie van de hoofdstroom op te leggen. (bron: (31))
Kribvakken	Kribvakmorfologie is de benaming voor zowel Kribvakerosie en kribvaksedimentatie als kriboevererosie en kriboeversedimentatie.
Laagwaterstand	Dit is gelijk aan OLR (zie begrippenlijst)
Meanderen	Het bochtige verlopen van een rivier
Morfologie	De leer van de verandering van de vorm van de bodem/oever.
Multi-beam	Meetmethodiek waarbij er mbv meerdere sonarstralen (multi-beam) een hoogtegrid wordt ingemeten
Neer	Cirkelvormige stromingspatroon die bijvoorbeeld voorkomt in een kribvak
Normaalbreedte	De breedte tussen de baak op de kribkoppen – 60 meter

OLA	O vereengekomen L age A fvoer: 1.020 m ³ /s bij Lobith
OLR	O vereengekomen L age R ivierstand = 7,52 +NAP bij Lobith
Onderwatervolume	Het volume van een schip onder de waterlijn
Passageafstand	De afstand tussen een passerend schip en het te beschouwen punt(in dit geval de oever)
Passagefrequentie	De hoeveelheid passages van een schip in een bepaalde tijd.
PKB	P lannelogische K ern B eslissing
Rijkswaterstaat DON	Rijkswaterstaat D ienst O ost N ederland: regionale dienst van Rijkswaterstaat
Uiterwaarde	Stuk grond tussen de winter- en de zomerdijk van de rivier
Winterbed	Het deel van een rivier, dat bij hoogwater overstroomd
Zomerbed	Het deel van een rivier, dat altijd bevaarbaar is.

Bijlage B Onderzoek Oeversoorten Waal

	Linkeroever								
Traject	Kribnummer	KM	1991	1996	2000	2002	2006	2008	Hoogwater In/Uit
872-882	1	872	G	G	G	G	G	G	
Deel 1	2		G	G	G	G	G	G	
	3		G	G	G	G	G	G	
	4		G	G	G	G	G	G	
	5	873	G	G	G	G	G	G	
	6		Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	
	7		G	G	G	G	G	G	X
	8		G	G	G	G	G	G	
	9		G	G	G	G	G	G	
	10	874	G	G	G	G	G	G	
	11		K	K	K	G	G	G	
	12		K	G	G	G	G	G	X
	13		K	K	K	K	K	K	X
	14		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	15	875	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	16		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	17		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	18		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	19		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	20		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	21		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	22	876	K/G	K	K	K	K	G	
	23		G/K	K	K	K	K	G	
	24		G/K	K	K	K	K	G	
	25		K/G	K	K	K	G	G	
	26		G	G	G	G	G	G	
	27		G	G	G	G	G	G	X
	28	877	G	G	G	G	G	G	
	29		G	G	G	G	G	G	
	30a		G	G	G	G	G	G	
	30b	878		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	30c			G	G	G	G	G	
	31		G	G	G	G	G	G	
	32		G	G	G	G	G	G	
	33		G	G	G	G	G	G	X
	34	879	G	G	G	G	G	G	
	35		G	G	G	G	G	G	
	36		G	G	G	G	G	G	
	37		G	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	
	38		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	

	39	880	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	40		K/G	K/G	K/G	K/G	K/G	K/G	
	41		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	42		G	G	G	G	G	G	
	43	801	G	G	G	G	G	G	
	44		G	G	G	G	G	G	
	45		Uitgang	K	K	K	K	G	
	46		G	G	K	G	K	G	
	47		K	K	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	
	48	882	K	K	K	K	K	G	

	Linkeroever								
Traject	Kribnummer	KM	1991	1996	2000	2002	2006	2008	Hoogwater In/Uit
Deel 2	-11	890		G	G	G	G	G	
890-908	-10			G	G	G	G	G	
	-9			K/G	K/G	K/G	K/G	K/G	
	-8			Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	-7			Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	-6	891		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	-5			Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	-4			G	G	G	G	G	X
	-3			Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	-2			G	G	G	G	G	X
	-1			G	G	G	G	G	
	1	892	G/K	G/K	G/K	G/K	G/K	G/K	
	2		G	G	G	G	G	G	
	3		K/G	G/K	G	G	G	G	
	4		G	G	G	G	G	G	
	5		G	G	G	G	G	G	
	6		G	G	G	G	G	G	
	7		G	G	G	G	G	G	
	8		G	G	G	G	G	G	
	9		Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	
	10	894	G/K	G/k	K/G	K/G	K/G	K/G	
	11		K/G	K/G	K/G	K/G	K/G	K/G	
	12		K/G	K/G	K/G	G/K	G/K	G/K	
	13		K	K	G/K	G	G	G	
	14		K/G	K/G	G	G	G	G	
	15		K	G	K	K	K	K	
	16	895	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	17		K	K	G	G	G	G	
	18		G	G	G	G	G	G	
	19		G	G	G	G	G	G	
	20		G	G	G	G	G	G	
	21	896	G	G	G	G	G	G	
	22		G	G	G	G	G	G	
	23		G	G	G	G	G	G	
	24		G	G	G	G	G	G	
	25	897	G	G	G	G	G	G	
	26		G	G	G	G	G	G	
	27		G	G	G	G	G	G	
	28		G	G	G	G	G	G	
	29	898	G	G	G	G	G	G	
	30		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	31		Steen	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Ingang	
	32		K	K	K	K	K	K	
	33	899	K	K	K	K	K	K	

	34		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	35		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	36		K	K	K	K	K	K	
	37		K	K	K	K	K	K	
	38		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	39	900	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	40		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	41		G	G	G	G	G	G	
	42		G	G	G	G	G	G	
	43		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	44	901	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	45		Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	
	46		K	G	G	G	G	G	X
	47		K	G	G	G	G	G	
	48		K	K	K	K	K	G	
	49	902	K	K	G	G	G	G	
	50		K	K	G	G	G	G	
	51		G	G	G	G	G	G	
	52		G	G	G	G	G	G	
	53		G	G	G	G	G	G	
	54		G	G	G	G	G	G	
	55	903	G/K	G	G	G	G	G	
	56		G	G/K	K	K	Steen	Steen	X
	57		G/K	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	
	58a			Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang		
	58b		K/G	K/G	K/G	K/G	G	Uitgang	
	59	904	K/G	K/G	K/G	G	G	G	
	60		G	G	G	G	G	G	
	61		G	G	G	G	G	G	
	62		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	63		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	64	905	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	65		K	K	K	K	K	K	
	66		G	G/K	G/K	G/K	Steen	Steen	
	67		G	G	G	G	G	G	
	68		G	G	G	G	G	G	
	69	906	G	Steiger	Steiger	Steiger	Steiger	Steiger	
	70		uitgang	Steiger	Steiger	Steiger	Steiger	Steiger	
	71		G	G	G	G	G	G	
	72		G	G	G	G	G	G	
	73		G	G	G	G	G	G	X
	74		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	X
	75	907	K	G	G	G	G	G	X
	76		G	G	G	G	G	G	
	77		G	G	G	G	G	G	
	78		G	G	G	G	G	G	
	79	908	G	G	G	G	G	G	

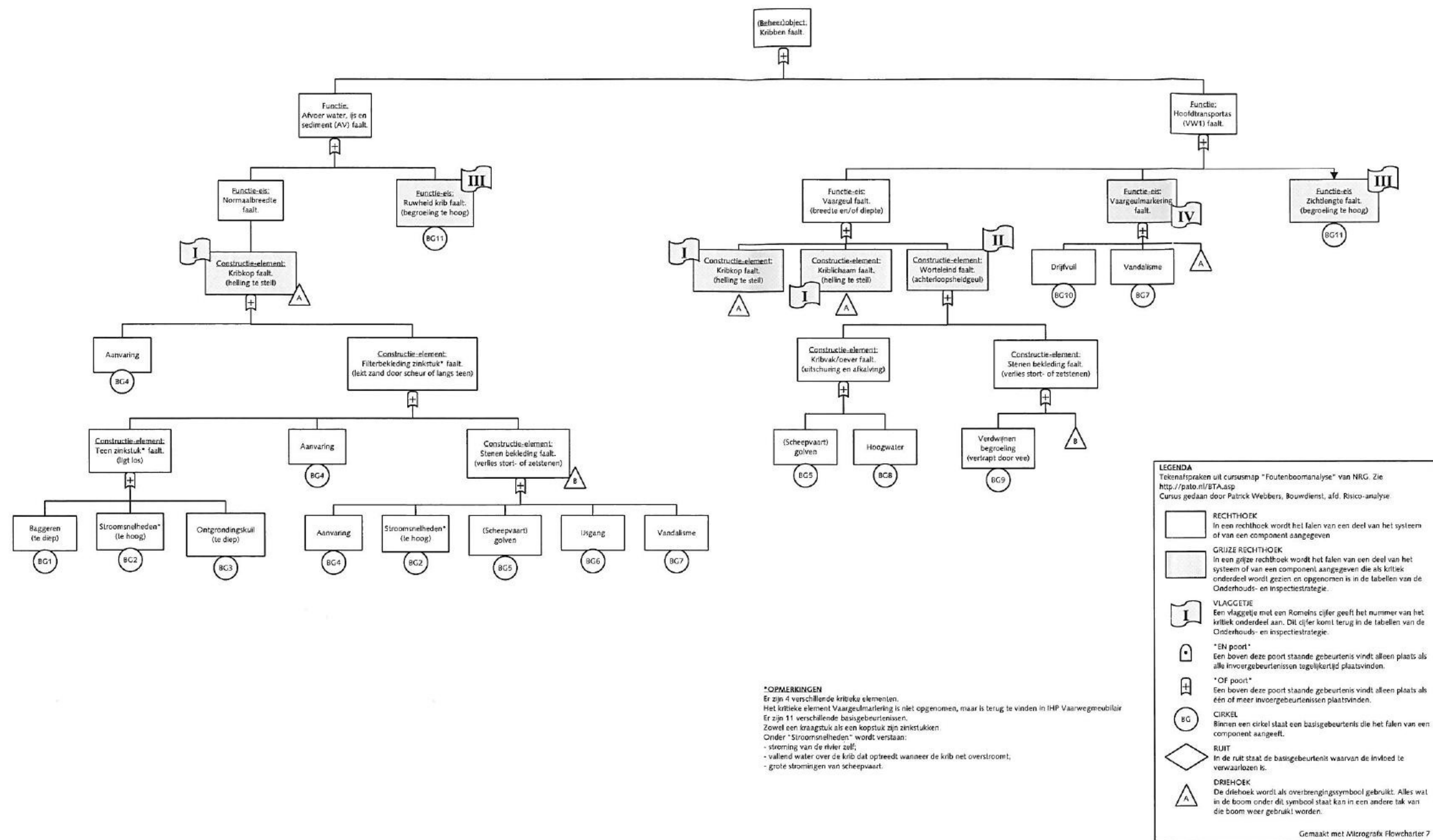
Rechteroever									
Traject	Kribnummer	KM	1991	1996	2000	2002	2006	2008	Hoogwater In/Uit
872-882	1	872	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
Deel 1	2		K/G	K	K	K	K	K	
	3		G	G	K/G	K/G	G	G	
	4	873	G	G	K/G	K/G	K/G	K/G	
	5		G	K	K	G	G	G	
	6		G	G	G	G	G	G	
	7		G	G	G	G	G	G	
	8		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	9	874	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	10		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	11		Steen	G	G	G	G	G	X
	12	875	Steen	G	G	G	G	G	
	13		G	G	G	G	G	G	
	14		G	G	G	G	G	G	X
	15		G	G	G	G	G	G	
	16	876	G	G	G	G	G	G	
	17		G	K	K	G	G	G	
	18		G	K	K	G	G	G	
	19		K/G	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	
	20		G	G	G	G	G	G	
	21	877	G	K	K	G	K	G	
	22		K	G	G	G	G	G	
	23		G/K	K	G	G	G	G	
	24		G	G	G	G	K	G	
	25	878	G	G	G	G	G	G	
	26		G	K	K	K	K	K	
	27		G	G	G	G	G	G	
	28		G	G	G	G	G	G	
	29	879	G	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	30	880	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	31		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	32		K/G	K/G	K/G	G	G	G	
	33		G	G	G	G	G	G	
	34		K/G	K	K	K	K	G	
	35		G	K	K	K	K	K	
	36	881	G	G	G	G	G	G	
	37		G	G	G	G	G	G	
	38		G	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	39		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	40	882	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	

Rechteroever									
Traject	Kribnummer	KM	1991	1996	2000	2002	2006	2008	Hoogwater In/Uit
Deel 2	-9	889		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
890-908	-8			G	G	G	G	G	
	-7			G	G	G	G	G	
	-6			G	G	G	G	G	
	-5	891		G	G	G	G	G	
	-4			G	G	G	G	G	
	-3			G	G	G	G	G	X
	-2			G	G	G	G	G	
	-1			G	G	G	G	G	
	1	892	K	K	K	K	K	K	
	2		G/K	G/K	G/K	G/K	G/K	G/K	X
	3		K	K	G/K	G/K	G/K	G/K	
	4		K	G/K	G/K	G	G	G	
	5		K/G	K/G	K	K	K	K	
	6		K	G	G	G	G	G	
	7	893	K/G	G	G	G	G	G	
	8		G	G	G	G	G	G	
	9		K/G	G/K	G/K	G/K	G/K	G/K	
	10		G/K	G/K	G/K	G/K	G/K	G/K	
	11		G	G	G	G	G	G	
	12		G	G	G	G	G	G	
	13		G/K	G/K	G	G	G	G	
	14	894	G	G	G/K	G/K	G/K	G/K	
	15		G	G	G	G	G	G	
	16		G	G	G	G	G	G	
	17		G	G	G	G	G	G	
	18		G	G	G	G	G	G	
	19	895	G	G	G	G	G	G	
	20		G	G	G	G	G	G	
	21		G/K	G/K	G/K	G	G	G	
	22		G	G	G	G	G	G	
	23		G	G/K	G/K	G/K	G/K	G/K	
	24	896	G	G	G	G	G	G	
	25		G	G	G	G	G	G	
	26		G	G	G	G	G	G	
	27		G/K	K	K	G	G	G	
	28		G	G/K	K/G	K	K	K	
	29	897	G/K	G/K	G/K	G/K	G	K	
	30		G	K/G	G/K	K/G	G	K/G	
	31		G	G	G	G	G	G	
	32		Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	
	33		G	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	
	34	898	G	G	G	G	G	G	

	35		G	G	G	G	G	G	
	36		G	G	G	G	G	G	
	37		Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	
	38		G	G	G	G	G	G	
	39	899	G	G	G	G	G	G	X
	40		G	G	G	G	G	G	
	41		G	G	G	G	G	G	
	42		Uitgang	G	G	G	G	G	X
	43		G/K	G	G	G	G	G	
	44	900	K	K	G	G	G	G	
	45		G	G	G	G	G	G	X
	46		G	G	G	G	G	G	
	47		G	G	G	G	G	G	
	48		G	G	G	G	G	G	X
	49		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	50	901	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	51		Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	
	52		G	G	G	G	G	G	
	53		K/G	K/G	K/G	K/G	K/G	K/G	
	54		G/K	K	K	K	K	K	
	55	902	K	G	G	G	G	G	
	56		G	G	G	G	G	G	
	57		Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	58		G	G	G	G	G	G	
	59		G	G	G	G	G	G	X(Achterloops)
	60	903	G	G	G	G	G	G	X(Achterloops)
	61		K/G	G	G	G	G	G	
	62		K	K	K	K	K	K	
	63		G	G	G	G	G	G	
	64		K/G	K/G	K/G	K/G	K/G	K/G	
	65	904	G	G	G	G	G	G	
	66		G	G	G	G	G	G	X
	67		G	G	G	G	G	G	
	68		G	G	G	G	G	G	
	69		G	G	G	G	G	G	
	70	905	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	
	71		G	G	G	G	G	G	
	72		G	G	G	G	G	G	
	73		G	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	
	74		G	K	K	K	K	K	
	75	906	G	K	K	K	K	K	
	76	907	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	Steen	
	77	908	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	Uitgang	

Bijlage C Onderhouds- en inspectiestrategie Rijkswaterstaat DON

C.1 Gebeurtenissenboom met kritieke onderdelen



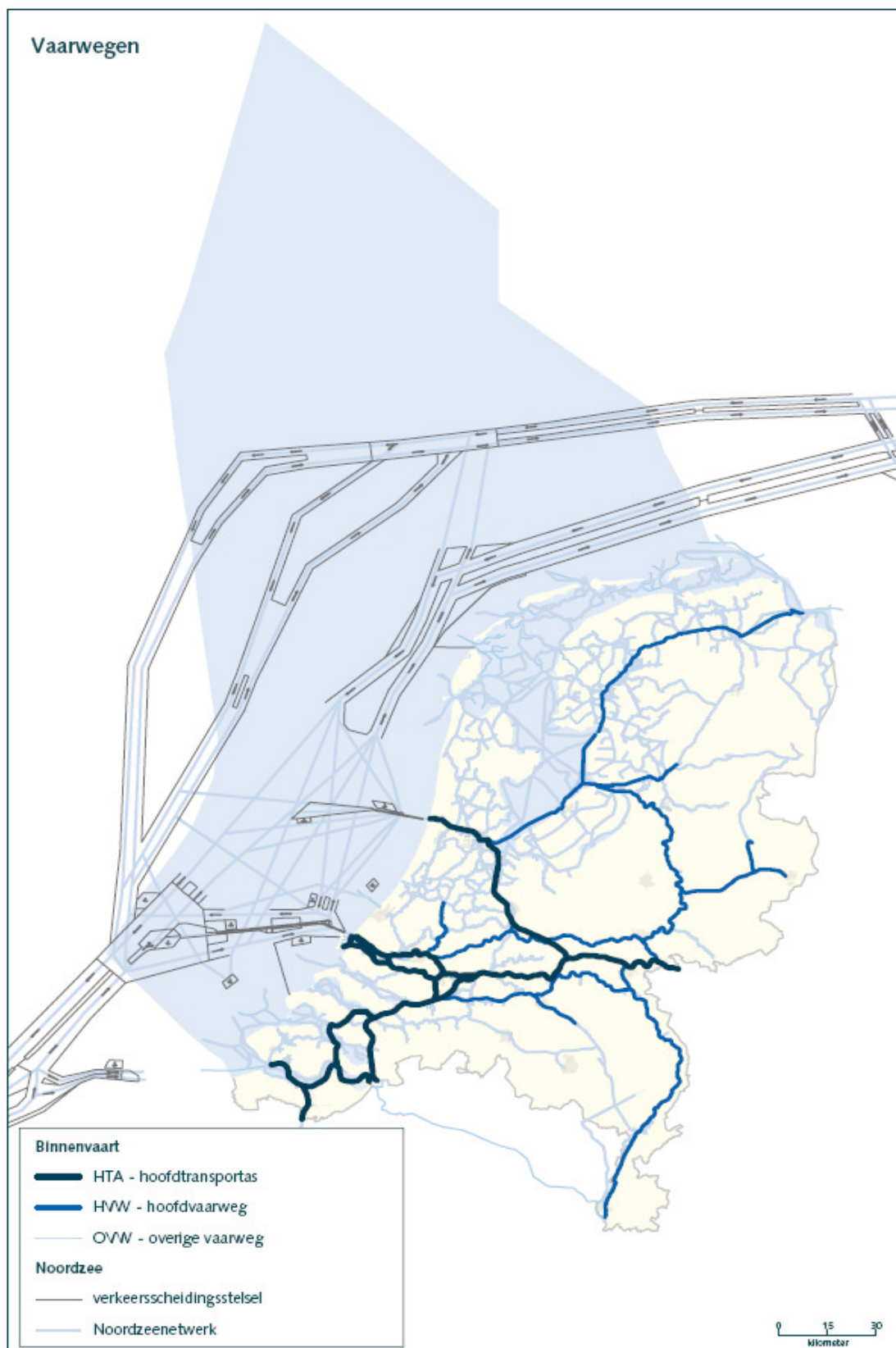
C.2 Tabel voor Romeinse cijfers

Nummer van kritiek onderdeel in foutenboom		I
Onderdeel		Kribkop
Aantal/hoeveelheid		Evenveel als aantal kribben: 798
Functie van het onderdeel		Afvoer water, ijs en sediment (AV) Hoofdtransportas (VW1)
Functie-eisen aan het onderdeel		AV: normaalbreedte opleggen VW1: Vaargeul op breedte en diepte houden en vaargeulmarkering dragen
Faalproces		Versteilen van taludhelling met als gevolg inzakken
Gevolgschade bij falen van onderdeel		Ondieptes voor scheepvaart
Gevolgkosten		Hoog
Maatschappelijke gevolgen na falen		Kans op diepgangsbepierking meer MGD's (desinteresse investeerders)
Maatschappelijke kosten		Hoog
Onderhoudstechniek		TAO (zie (31))
Onderhoudsmaatregel	Vast onderhoud	Stortsteen bijstorten, zetsteen repareren, inwassen zetsteen
	Variabel onderhoud	N.V.T.
Onderhoudsinterval	Levensduurverlengend onderhoud	Per kribkop: 1 x per 14 jaar
	Vervangingsonderhoud	N.V.T.
Interventie niveau	Levensduurverlengend onderhoud	Taludhelling 1:1,5 buitenbocht Taludhelling 1:1,0 binnenbocht >4m ² zet- of stortsteen ontbreekt, perkoenpalen hellen teveel over of verrot
	Vervangingsonderhoud	N.V.T.
Inspectie	Maatregel	Bodeminspecties nakijken
	Interval	Zie (31)
	Parameter	Taludhelling 1:x
Soort maatregel		Vaste maatregel: levensduurvelend onderhoud, inspectie

Nummer van kritiek onderdeel in foutenboom		II
Onderdeel		Worteleind
Aantal/hoeveelheid		Evenveel als aantal kribben: 798
Functie van het onderdeel		Hoofdtransportas (VW1)
Functie-eisen aan het onderdeel		VW1:Vaargeul op breedte en diepte houden
Faalproces		Achterloopsheidgeul
Gevolgschade bij falen van onderdeel		Ondieptes voor scheepvaart
Gevolgkosten		Hoog
Maatschappelijke gevolgen na falen		Kans op diepgangsbepierking meer MGD's (desinteresse investeerders)
Maatschappelijke kosten		Hoog
Onderhoudstechniek		TAO (zie (31))
Onderhoudsmaatregel	Vast onderhoud	Stortsteen bijstorten, inwassen zetsteen
	Variabel onderhoud	Houten damwand plaatsen, doek, en stortsteen
Onderhoudsinterval	Levensduurverlengend onderhoud	Per worteleind: 1 x per 56 jaar
	Vervangingsonderhoud	Per worteleind: 1 x per 56 jaar
Interventie niveau	Levensduurverlengend onderhoud	Diepte geul <1m en lengte <5m
	Vervangingsonderhoud	Diepte geul >1m en lengte >5m
Inspectie	Maatregel	
	Interval	Zie (31)
	Parameter	Diepte en lengte geul
Soort maatregel		Vaste maatregel: levensduurvelend onderhoud Variabele maatregel: Vervangingsonderhoud

Nummer van kritiek onderdeel in foutenboom		III
Onderdeel		Ruwheid of weetstand krib en zichtlente scheepvaart (visueel en radar)
Aantal/hoeveelheid		N.V.T.
Functie van het onderdeel		Afvoer water, ijs en sediment (AV) Hoofdtransportas (VW1)
Functie-eisen aan het onderdeel		AV: Maximale hoogte begroeiing VW1: Zichtlengte scheepvaart
Faalproces		AV: Opstuwing water en stabiliteitsproblemen door wortels VW1: te weinig zicht, botsingen
Gevolgschade bij falen van onderdeel		AV: Bezijken krib bij hoogwater VW1: onveilige situaties voor scheepvaart
Gevolgkosten		Hoog
Maatschappelijke gevolgen na falen		AV: overstromingen VW1: botsingen (desinteresse investeerders)
Maatschappelijke kosten		Hoog
Onderhoudstechniek		TAO (zie (31))
Onderhoudsmaatregel	Vast onderhoud	N.V.T.
	Variabel onderhoud	Snoeien
Onderhoudsinterval	Levensduurverlengend onderhoud	N.V.T.
	Vervangingsonderhoud	1 x per 2 jaar
Interventie niveau	Levensduurverlengend onderhoud	N.V.T.
	Vervangingsonderhoud	3 meter
Inspectie	Maatregel	Zichtlengte bepalen
	Interval	Zie (31)
	Parameter	Hoogte begroeiing
Soort maatregel		Vaste maatregel: levensduurverlengend onderhoud, inspectie

Bijlage D Vaarwegen in Nederland



Bijlage E Onderzoek scheepbewegingen bij Lobith

E.1 Scheepspassages bij Lobith vanaf 1991

Binnenvaart; goederenstromen per
grensovergang

		Onderwerpen	Verkeerprestaties Binnenvaartschepen, belangrijke telpunten Rijn, Lobith	Percentage t.o.v. 1991
Grensovergang	Perioden	x 1000		
Lobith	1991	189,3		0%
Lobith	1992	175,6		-7%
Lobith	1993	145,7		-23%
Lobith	1994	162,9		-14%
Lobith	1995	165,4		-13%
Lobith	1996	170,3		-10%
Lobith	1997	195,8		3%
Lobith	1998	171,0		-10%
Lobith	1999	171,0		-10%
Lobith	2000	162,4		-14%
Lobith	2001	190,4		1%
Lobith	2002	154,4		-18%
Lobith	2003	181,7		-4%
Lobith	2004	156,2		-17%
Lobith	2005	153,8		-19%
Lobith	2006	151,5		-20%

© Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag/Heerlen

E.2 Zwaarste klasse van actieve binnenvloot vanaf 1991

		Actieve binnenvloot (aantallen) 1501 tot 3000 ton		Actieve binnenvloot (aantallen) 3000 ton en meer	
		percentage t.o.v.		percentage t.o.v.	
	absoluut	1991		absoluut	1991
1991	935	0%		132	0%
1992	969	4%		138	5%
1993	1019	9%		140	6%
1994	1093	17%		147	11%
1995	1091	17%		146	11%
1996	1076	15%		144	9%
1997	971	4%		132	0%
1998	938	0%		126	-5%
1999	965	3%		136	3%
2000	988	6%		141	7%
2001	1087	16%		152	15%
2002	1127	21%		165	25%

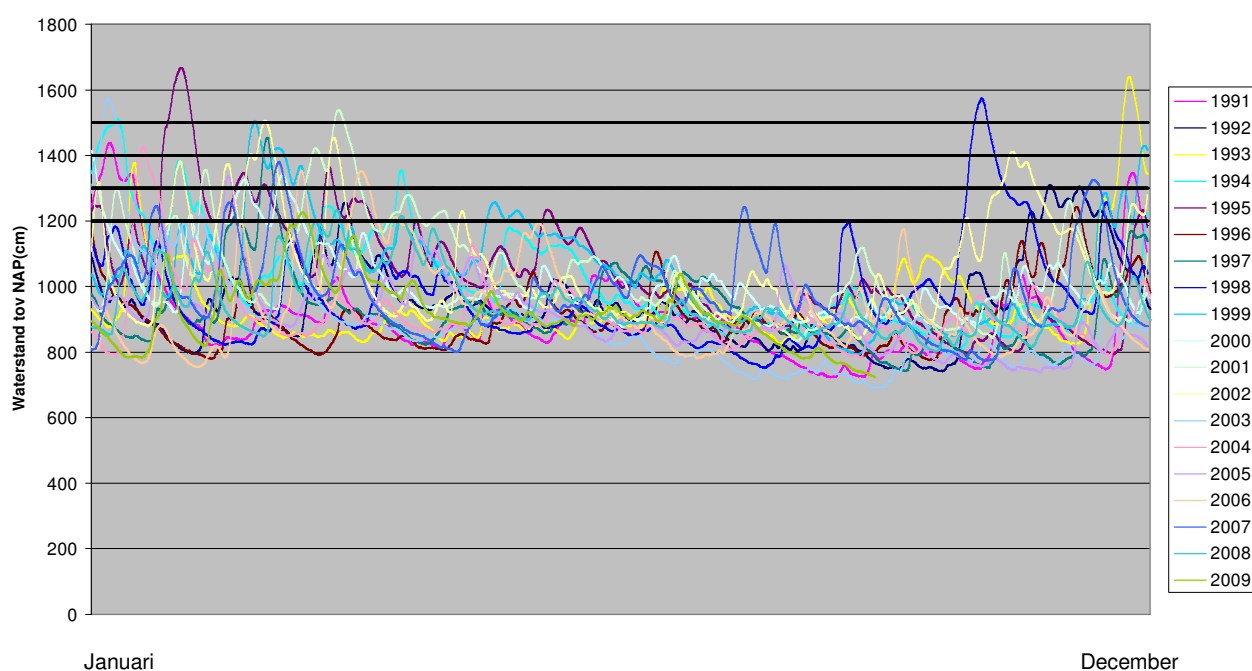
© Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag/Heerlen

Bijlage F Waterstand bij Lobith vanaf 1991

Overschrijding in dagen per jaar bij waterstand
van

Jaar	12+ NAP	13+ NAP	14+ NAP	15+ NAP
1991	26	20	5	0
1992	34	5	0	0
1993	23	15	9	7
1994	48	24	11	3
1995	75	29	13	9
1996	5	0	0	0
1997	10	6	3	0
1998	29	14	10	5
1999	60	28	14	2
2000	35	11	1	0
2001	63	25	13	5
2002	85	45	16	2
2003	17	12	9	6
2004	11	8	3	0
2005	6	3	0	0
2006	19	10	0	0
2007	35	11	0	0
2008	10	0	0	0
2009	4	0	0	0
Gemiddeld	33,1	14,8	5,9	2,2

Waterstanden tov NAP bij Lobith



Bijlage G Plan van Aanpak

Plan van Aanpak

Onderzoek naar kribvakmorfologie na Kribverlaging op de Waal.

Datum 11 december 2009
Status Definitief

Gegevens Student

Naam: Dhr T.J.A. Snoep
Adres: Van Lieflandlaan 60
Postcode: 3571 AD
Plaats: Utrecht
Telefoon: 06-28137965
E-mail: thomas.snoep@student.hu.nl
Id-nummer: 502512
Studie: Civiele Techniek
Aanvang afstuderen: 31-7-2009

Relevante Gegevens

Gegevens Afstudeerbegeleiding Extern

Bedrijf

Naam: Rijkswaterstaat Regiodienst Oost-Nederland
Adres: Gildemeestersplein 1
Postbus: 9070
Plaats: Arnhem

Begeleider 1

Naam: Dhr ir. H.T. van Amstel
Telefoon: 026 - 3688050
E-mail: hans.van.amstel01@rws.nl
Functie: Projectmanager Kribverlaging Waal

Begeleider 2

Naam: Dhr ing. L.H.C.A. Hector
Telefoon: 026 - 3688637
E-mail: huub.hector@rws.nl
Functie: Technisch manager Kribverlaging Waal

Gegevens Afstudeerbegeleiding Intern

Bedrijf

Naam: Hogeschool Utrecht
Adres: Nijenoord 1
Postcode: 3552 AS
Plaats: Utrecht

1^{ste} Afstudeerbegeleider

Naam: Dhr Dr. ir. J.A.M. Stuifbergen
Telefoon: 030 - 2388626
E-mail: jacques.stuifbergen@hu.nl

2^{de} Afstudeerbegeleider

Naam: Dhr ir. A.M. van der Linden
Telefoon: 030 - 2388201
E-mail: tom.vanderlinden@hu.nl



Inhoud

1	Voorwoord Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
2	Inleiding Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
2.1	Aanleiding 6
2.2	Doel 6
2.3	Opbouw 6
3	Onderzoekdefinitie 7
3.1	Doelstelling 7
3.2	Probleemstelling 7
3.3	Onderzoeksresultaat 8
4	Onderzoeksopzet 8
4.1	Onderzoeksorganisatie 8
4.2	Andere spelers 9
4.3	Aannames en Uitgangspunten 9
5	Onderzoeksrealisatie 11
5.1	Fasering 11
5.2	Activiteiten en producten 11
5.2.1	Historisch onderzoek 11
5.2.2	Literair onderzoek 11
5.2.3	Interview Deskundige 12
5.2.4	Analyse Fysische Effecten 12
5.2.5	Conclusie en aanbevelingen 13
5.3	Concept inhoudsopgaven eindverslag 13
5.4	Bronnenoverzicht 14
5.5	Planning 14
5.6	Kosten 15
6	Onderzoeksbeheersing 16
6.1	Algemeen 16
6.2	Risicomanagement 16
7	Persoonlijke ontwikkeling 17
7.1	Leerdoelen 17
7.2	Beroepsgebieden 17
Bijlage A	Begrippenlijst 18

Voorwoord

Dit document bevat het plan van aanpak voor de afstudeeropdracht van Thomas Snoep. Deze opdracht geldt als vereiste voor de voltooiing van de studie civiele techniek aan de Hogeschool Utrecht.

De opdracht wordt gedaan bij Rijkswaterstaat op de locatie van Dienst Oost-Nederland in Arnhem. De opdracht zal in totaal 5 tot 6 maanden in beslag nemen.

Inleiding

Aanleiding

Dit afstudeeronderzoek is tot stand gekomen bij een deelproject van het project "Ruimten voor de Rivier". In het project "Ruimten voor de Rivier" wil men er voor zorgen, dat de Rijntakken, waaronder de Waal, vanaf eind 2015 ten minste 16.000 kubieke meter water per seconde kunnen afvoeren. Verschillende initiatiefnemers, zoals provisies, gemeentes en Rijkswaterstaat, hebben daarop maatregelen bedacht om aan deze eis te kunnen voldoen. Hierbij kan gedacht worden aan nevengeulen, uiterwaardverlaging en dijkverlegging.

Een andere maatregel is het verlagen van kribben. Door het verlagen van kribben krijgt de rivier een grotere doorstromingsoppervlakte en dus een hogere afvoercapaciteit. Met deze kennis heeft Rijkswaterstaat besloten om 750 tot 850 kribben in de Waal en Pannerdensch Kanaal met één a twee meter te verlagen.

Doel

Verschillende effecten van het verlagen van de kribben zijn onderzocht. Deze onderzoeken hebben zich echter vaak gericht op de vaargeul of op de hydraulische effecten van kribverlaging. Wat nog niet is onderzocht maar wel een heikel punt blijft is de kribvakmorfologie na kribverlaging.

Het doel van dit onderzoek is dan ook het in kaart brengen en classificeren van de kribvakmorfologie na kribverlaging in de Waal, en met namen de oeverlijn verplaatsing.

Na dit onderzoek zal Rijkswaterstaat een beter beeld hebben van wat er morfologisch gebeurt met de kriboevers na kribverlaging.

Opbouw

In het eerste deel van dit PVA wordt het probleem en de opdracht duidelijk. Hierdoor kan er een probleemstelling, doelstelling en het eindresultaat van de afstudeeropdracht opgesteld worden.(Hoofdstuk 3)

In het tweede deel van dit PVA wordt er beschreven hoe de opdracht wordt uitgewerkt. Met activiteiten en producten wordt er geprobeerd een duidelijk werkp pad te creëren.(Hoofdstuk 4,5 en 6)

In het laatste deel van dit PVA zal de persoonlijke ontwikkeling aan bod komen. Hierin word vastgelegd welke competenties verbeterd gaan worden en welke leerdoelen van toepassing zijn.(Hoofdstuk 7)

Onderzoekdefinitie

Doelstelling

Een effect van het verlagen van kribben is, dat de stroomsnelheid in de rivier verminderd. Door dit proces heeft de rivier een verminderd sediment transportcapaciteit dan voorheen. Hieruit is te concluderen, dat het zomerbed zal gaan aanzanden.

In het deelproject "Kribverlaging in de Waal" zijn met het oog op dit effect al meerdere studies gedaan waarin de focus op het zomerbed lag. Dit is van belang voor de professionele scheepvaart en voor de vaargeulbeheerder, die het zomerbed op diepte dient te houden. Deze studies stoppen echter bij de kribkoppen en worden de kribvakken en hun morfologische en hydraulische invloeden op de omgeving niet meegenomen. Toch wil Rijkswaterstaat meer inzicht in deze materie om beter informatie te kunnen verschaffen over de effecten van het verlagen van de kribben op de functies van de oevers.

In het gehele kribvak zijn er vele morfologische en hydraulische effecten die op vele manieren beschouwd kunnen worden. Denk hier bijvoorbeeld effecten op de hoofdstroom, effecten op het kribvak zelf, effecten op de kribben, effecten op de oever, enz. Hierdoor is het niet mogelijk om in het tijdsbestek van deze afstudeerstage alle zaken m.b.t. kribvakmorfologie te beschouwen. Met het oog op tijd is er dus een specifieke scoop gesteld en de volgende doelstellingen zijn naar voren gekomen:

3. Het beginnen te ontrafelen van de morfologische systemen die in de huidige situatie en na kribverlaging plaatsvinden, m.b.t. de oevers tussen de kribben.
4. Een opzet leveren voor een vervolg onderzoek naar de morfologische effecten die in de huidige situatie en na kribverlaging plaatsvinden m.b.t. de oevers tussen de kribben

Probleemstelling

Uit de doelstellingen, zoals in de vorige paragraaf gesteld, kan de volgende probleemstelling en dus hoofdvraag worden gehaald:

"Wat is het effect van kribverlaging op oeverlijnverplaatsing?"

De hoofdvraag zoals hij hier is opgesteld is op zichzelf moeilijk te beantwoorden. Deze wordt dus opgesplitst in verschillende deelvragen. Deze zijn:

4. Wat is de definitie van een oeverlijn voor dit onderzoek?
5. Wat is de invloedsvolgorde bij de huidige oeverlijnverplaatsing door toedoen van de gekozen maatgevende oorzaken van fysische effecten op de oever
6. Wat is de invloedsvolgorde bij de oeverlijnverplaatsing door toedoen van de gekozen maatgevende oorzaken van fysische effecten op de oever na kribverlaging.

Onderzoeksresultaat

Als onderzoeksresultaat zal in het eindverslag een antwoord komen op de hoofdvraag zoals die in de vorige paragraaf geformuleerd is. Ook zullen de deelvragen inhoudelijk uitgewerkt zijn en daarmee een aandeel leveren aan de totaliteit van het verslag.

Daarbij zal het verslag een goede opstap zijn voor een vervolg onderzoek en daarmee meer inzicht geven in oeverlijnverplaatsing ten gevolgen van kribverlaging.

Onderzoeksopzet

Onderzoeksorganisatie

De onderzoeksorganisatie in dit project bestaat uit de afstudeerder en de interne en externe begeleiders. Deze moeten als een team samen werken om het onderzoek van voldoende kwaliteit te laten zijn. De interne en externe begeleiders hebben hier een beheersende rol en de afstudeerder een uitvoerende rol.

Interne begeleiding

De interne begeleiders van de Hogeschool Utrecht worden vertegenwoordigd door Dhr Dr. ir. J.A.M. Stuifbergen als 1^{ste} begeleider en Dhr ir. A.M. van der Linden als 2^{de} begeleider. Er is een duidelijk verschil tussen de taken van de 1^{ste} en de 2^{de} begeleider. Zo is de 2^{de} begeleider vooral werkzaam als controleur en zal zich minder bezig houden met het proces. Daarnaast kan de 2^{de} begeleider bij ziekte of speciaal verlof wel de taken van de 1^{ste} begeleider overnemen. De taken van de 1^{ste} en 2^{de} begeleider kunnen als volgt worden opgesomd:

	1 ^{ste} begeleider	2 ^{de} begeleider
Taken	Controle gehele proces Controle en beoordeling PVA Controle en beoordeling Eindverslag Controle en beoordeling Verdediging Contact externe begeleiding	2 ^{de} Controle en beoordeling PVA 2 ^{de} Controle en beoordeling Eindverslag 2 ^{de} Controle en beoordeling Verdediging

Externe Begeleiding

De externe begeleiding vanuit Rijkswaterstaat wordt gedaan door Dhr ir. H.T. van Amstel en Dhr ing. L.H.C.A. Hector. Hier is er geen duidelijk verschil tussen de eerste begeleider en de tweede begeleider. Om deze reden hebben beide begeleiders dezelfde taken. Hierin is wel de mogelijkheid om de taken af te wisselen. De taken van deze begeleiders zijn als volgt:

	Externe begeleider
Taken	Controle gehele proces Controle PVA Controle Eindverslag Controle en bijstaan bij de beoordeling Verdediging Contact interne begeleiding

Andere spelers

Er zijn in dit project verschillende partijen die van grote toegevoegde waarde kunnen zijn. Deze partijen zijn:

Diens/Organisatie	Naam
Rijkswaterstaat	Project team (PT)
	Waterdienst (WD)
	Programmadirectie Ruimte voor de Rivier (PDR)
	Dienst Oost-Nederland (DON)
	District Boven-Rijn en Waal
Instituten	Deltares
	Technische Universiteit Delft
Ingenieurbureau	DHV
	HKV Lijn in Water
	Royal Haskoning
Andere	Waterschap Rivierenland

Aannames en Uitgangspunten

Voor dit onderzoek zijn er verschillende aannames en uitgangspunten gekozen. Deze aannames en uitgangspunten worden in deze paragraaf verteld.

Onderzoeksbenadering

- Bij het onderzoeken van dit onderwerp zijn er 2 verschillende soorten benaderingen mogelijk. Dit zijn de kwalitatieve benadering en de kwantitatieve benadering.

In een kwantitatieve benadering bestaat het onderzoeksresultaat uit concrete cijfers. Dit kan behaald worden door 2D en 3D modelberekeningen. Bij een kwalitatieve benadering wordt er meer gekeken naar het objectieve verschil. Dit kan behaald worden door analyses en korte bureauberekeningen.

Omdat de resultaten uit huidige 2D en 3D modellen een te grote spreiding hebben als het gaat om morfologische verschijnselen kunnen de concrete resultaten, die uit de modellen komen, ter discussie staan en niet de effecten van kribverlaging op de omgeving. Voor dit onderzoek is er dan ook besloten om een kwalitatieve benadering van het probleem te nemen.

Uitgangspunten bij hoofd en deelvragen (Technisch)

- Morfologische veranderingen m.b.t. de oever zijn verbonden zijn met morfologische veranderingen in het kribvak. Zo zal bij een te grote daling van de kribvakbodem de oever kunnen gaan eroderen. Echter worden de effecten op de kribvakbodem met het oog op tijd niet meegenomen in de hoofdvraag.
- De volgende effecten/oorzaken zullen beschouwd worden als zijnde maatgevende fysische effecten:
 - Oever opbouw

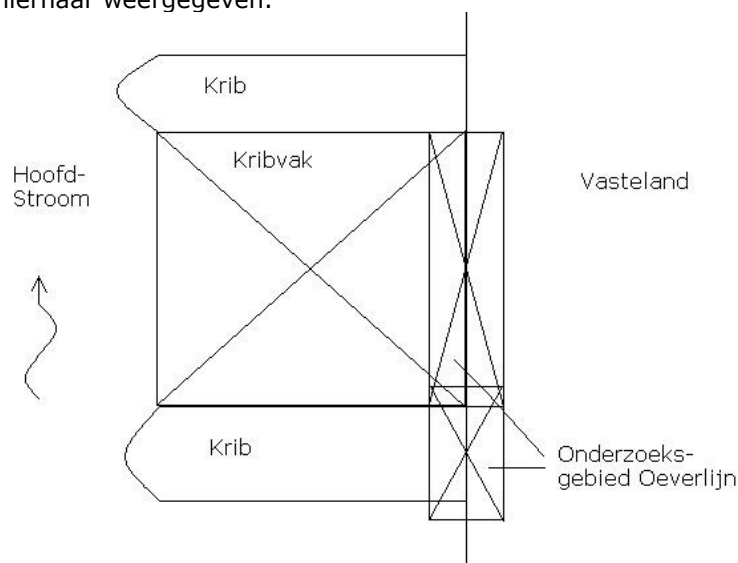
- O.a. een verschil van ruwheid tussen grondsoorten en constructies op een oever
 - O.a. wijken van Vegetatie
 - Vertrappen/vernielen van de oever door Landbouw en vee
 - Vandalisme door recreatief gebruik
 - Afval
 - Het Afvoerregime van de rivier
 - O.a. in en uitgangen van uiterwaarden bij hoogwater
 - De Geometrie van de rivier
 - Daling kribvakbodem en Massabewegingen
 - De Windgolfwerking
 - Nautische bewegingen
 - IJs belasting
- Er zal alleen gekeken worden naar de oeverlijnverplaatsing in de breedte richting van de rivier en de hoogteligging. Dit betekend, dat de oeverlijn puur als lijn gezien zal worden en niet als gebied.

Uitgangspunten bij hoofd en deelvragen(algemeen)

- Zoals aangegeven in de doelstelling in paragraaf 3.1 is het primaire doel van Rijkswaterstaat om antwoord te kunnen geven op de vraag wat de effecten van kribverlaging zijn op de functies van de oevers. Dit zijn functies als de basisfuncties (Veiligheid, Schoon water en Voldoende afvoercapaciteit), functies voor hoofdvaarwegen (voldoende nautische profiel) en gebruikersfuncties (natuur, recreatie enz.). Deze functies zijn beschreven in het Beleidsplan voor de Rijkswateren.

Om deze primaire vraag echter te beantwoorden moet Rijkswaterstaat eerst weten wat de oeverlijn doet na kribverlaging. Hierom zal er niet ingegaan worden op het dan wel of niet verlies van functie van de oevers.

- Zoals te zien is in deelvraag 1 wordt er in het hoofdrapport een definitie gegeven van de oeverlijn. In de volgende figuur is dit het onderzoeksgebied hiernaar weergegeven.



Onderzoeksrealisatie

Fasering

Om dit onderzoek tot een goed einde te brengen is er besloten om het gefaseerd uit te voeren.

Fase 1: Opstartfase

In de eerste fase zal er een basis worden gelegd voor de rest van het onderzoek. Denk hierbij aan het inlezen van projectrelevante, deelprojectrelevante en onderzoeksrelevante informatie, het maken van dit plan van aanpak en het contact leggen met deskundige op het gebied van riviermorphologie.

Fase 2: Onderzoeksfase

In deze fase wordt er een antwoord gezocht op de hoofd- en deelvragen. Hierbij zal de hulp worden ingeroepen van verschillende bronnen. Deze bronnen zullen verder in het verslag worden uitgewerkt.

Fase 3: Afrondingsfase

Dit is de laatste fase van het onderzoek. Hierin wordt het eindverslag definitief opgeschreven en zal de verdediging van het onderzoek plaatsvinden.

Activiteiten en producten

Er zijn bepaalde activiteiten nodig om tot en zo correct mogelijk antwoord te komen op zowel de hoofdvraag als de deelvragen. In deze paragraaf worden deze activiteiten en hun producten toegelicht. Dit zal gebeuren aan de hand van de volgende vragen:

1. waar bestaat de activiteit uit;
2. waarom is de activiteit relevant;
3. hoe word de activiteit uitgevoerd;
4. waar bestaat het resultaat uit.

Historisch onderzoek

Waar bestaat de activiteit uit?

Deze activiteit bestaat uit het onderzoeken van de loop van de oeverlijn over de jaren.

Waarom is de activiteit relevant?

Met deze activiteit kan de definitie van de oeverlijn voor dit onderzoek worden bepaald.

Hoe wordt de activiteit uitgevoerd?

Het historische onderzoek zal m.b.v. luchtfoto's, loodmetingen, deskundige, gegevens over waterstanden, enz. uitgevoerd worden.

Waar bestaat het resultaat uit?

Na dit onderzoek zal er een goede basis voor de definitie liggen van de oeverlijn die voor de rest van het onderzoek gebruikt kan worden.

Literair onderzoek

Waar bestaat de activiteit uit?

Deze activiteit bestaat uit het onderzoeken van de definities van de oeverlijn zoals deze in het verleden gesteld zijn. Daarnaast zal er onderzocht worden wat de fysische effecten rondom een oever zijn.

Waarom is de activiteit relevant?

Met deze activiteit zal er de definitie van de oeverlijn kunnen worden bepaald. Ook is er een basis worden gelegd voor de analyse van de fysische effecten.

Hoe wordt de activiteit uitgevoerd?

Het literair onderzoek wordt uitgevoerd door het lezen van relevante rapporten, nota en verslagen.

Waar bestaat het resultaat uit?

Hierna ligt er een duidelijke definitie van de oeverlijn. Ook zijn de fysische effecten gekozen en beschreven.

Interview Deskundige

Waar bestaat de activiteit uit?

Deze activiteit bestaat uit het contact zoeken en houden met deskundige op het gebied van morfologie, rivierloopkunde, hydraulica en andere disciplines in de grond en vloeistofmechanica.

Waarom is de activiteit relevant?

Aangezien er nog geen onderzoeken zijn naar de effecten van kribverlaging op de oevers is de gebundelde visie van meerdere deskundige de beste informatie bron mogelijk.

Hoe wordt de activiteit uitgevoerd?

Door met e-mail en telefooncontact een basis te leggen voor een afspraak en zo het contact en dus de informatiestroom open houden.

Waar bestaat het resultaat uit?

Een informatiebron waarmee een basis wordt gelegd voor de analyse van de fysische effecten.

Analyse Fysische Effecten

Waar bestaat de activiteit uit?

Deze activiteit bestaat uit het analyseren van de fysische effecten in de huidige en toekomstige situatie.

Waarom is de activiteit relevant?

Hierdoor kan er een antwoord worden gegeven op de deelvragen en uiteindelijk de hoofdvraag.

Hoe wordt de activiteit uitgevoerd?

Met behulp van de informatie uit het literair onderzoek en de interviews met deskundige zal een goede analyse worden gemaakt.

Waar bestaat het resultaat uit?

Een lijst met fysische effecten in de huidige situatie en de toekomstige situatie met hun invloed op de oeverlijnverplaatsing.

Conclusie en aanbevelingen

Waar bestaat de activiteit uit?

De activiteit bestaat uit het uitgebreid antwoord geven op de hoofdvraag en het aangeven van aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

Waarom is de activiteit relevant?

Deze actie is van belang voor Rijkswaterstaat en voor een vervolgonderzoek.

Hoe wordt de activiteit uitgevoerd?

Met behulp van deskundige en eigen inzicht.

Waar bestaat het resultaat uit?

Het eindrapport in concept vorm.

Concept inhoudsopgaven eindverslag

Na aanleiding van de hoofdvragen en de activiteiten, zoals die in de vorige paragrafen zijn uitgelegd, kan er een concept inhoudsopgaven voor het eindverslag gemaakt worden. Die zal er dan als volgt uit kunnen zien:

Omslag

Titelpagina

Voorwoord

Inhoudsopgave

Samenvatting

1. Inleiding

2. Probleemanalyse

3. Deelvraag 1: Definitie Oeverlijn

3.1 Inleiding

3.2 Soorten oevers langs de Waal

3.3 Definitie oeverlijn in de literatuur

3.4 Mening van Deskundige

3.5 Conclusie en aannemens

4. Deelvraag 2: Huidige oeverlijnverplaatsing: Vooronderzoek

4.1 Sedimenttransport

4.2 Golf en stromingsystemen door scheepvaart

4.3 Sediment transport in en uit een kribvak

4.4 Conclusies uit historische onderzoek

5. Deelvraag 2: Huidige oeverlijnverplaatsing: Effecten

5.1 Inleiding

5.2 Oorzaken m.b.t. Sterkte

5.3 Oorzaken m.b.t. Belasting

5.4 Conclusies en Aannemens

6. Deelvraag 3: Verandering van de oeverlijn na kribverlaging

6.1 Analyse fysische effecten op de oeverlijn na kribverlaging

6.2 Deskundige analyse

6.3 Conclusie

7. Conclusies en Aanbevelingen

7.1 Conclusies

7.2 Aanbevelingen

8. Reverenties

Bijlage

Bronnenoverzicht

Voor dit onderzoek zijn er meerdere soorten bronnen beschikbaar. Zo zijn er literaire bronnen en persoonsbronnen. Daarnaast kan het internet ook als bron van informatie voor het project worden aangemerkt.

Persoonsbronnen

Naast mijn directe begeleiders zijn er ook andere experts binnen Rijkswaterstaat of gerelateerd aan Rijkswaterstaat die ik als bron zou kunnen gebruiken. Voorbeelden hiervan zijn: Dhr dr. ir. J. Sieben(Expert morfologie), drs. ing. P.M. Kuggeleijn(Expert hydraulica), Dhr ir. H. Havinga(Specialist Rivierkunde).

Literaire bronnen

Over de jaren zijn er diverse rapporten en publicaties verschenen betreffende kribben en de hydraulische en morfologische effecten daarvan. Deze rapporten en publicaties zullen ook van groot belang zijn bij het onderzoek.

Planning

In Bijlage B is de projectplanning in MS project weergegeven. Belangrijke mijlpalen in deze planning zijn:

30 september 2009:	Goedkeuring PVA
4 november 2009:	Lijst van invloed van Fysische effecten op oeverlijnverplaatsing huidige situatie
14 december 2009:	Lijst van invloed van Fysische effecten op oeverlijnverplaatsing na kribverlaging
11 januari 2010:	Definitief eindrapport

Kosten

Aan dit onderzoek zijn enkele kosten verbonden. Dit zijn voornamelijk facilitaire kosten. Zo dient dit PVA en ook het eindrapport in drievoud te worden ingeleverd bij het onderwijsbureau van de Hogeschool Utrecht.

Rijkswaterstaat is bereid om deze facilitaire kosten te aanvaarden.

Onderzoeksbeheersing

Algemeen

In dit hoofdstuk wordt er gekeken naar de mogelijke risico's in dit project. Door deze risico's nu al waar te nemen en te erkennen kunnen er mogelijke beheersmaatregelen worden toegepast. De risicoaanduidingen zijn beschouwd via het volgende principe:

$$\text{Risicoaanduiding} = \text{Kans} \times \text{Gevolg}$$

Dit betekent, dat wanneer de kans op een risico klein is maar het gevolg erg groot er alsnog een hoge risicoaanduiding gegeven wordt.

Risicomanagement

Risico	Beheersmaatregel	Risicoaanduiding
Afkeuring PVA	Controle door interne en externe begeleider(s) en mogelijk door derden	Hoog
Onvoldoende literatuur voor literaire analyse huidige situatie	Een onderbouwde keuze maken uit de beschikbare literatuur	Laag
Onvoldoende literatuur voor literaire analyse Toekomstige situatie	Een onderbouwde keuze maken uit de beschikbare literatuur	Middel
Onvoldoende deskundigheid voor deskundige analyse huidige situatie	Een onderbouwde keuze maken uit de beschikbare kennis	Laag
Onvoldoende deskundigheid voor deskundige analyse Toekomstige situatie	Een onderbouwde keuze maken uit de beschikbare kennis	Laag
Onwelwillendheid Deskundige	Grote database aan mogelijke deskundige, dat uitval geen probleem is	Middel
Geen eenduidigheid antwoord Deskundige	Een onderbouwde keuze maken uit de beschikbare antwoorden	Hoog

Persoonlijke ontwikkeling

Leerdoelen

Mijn leerdoelen bij deze afstudeerstage zijn de volgende:

1. Het zelfstandig een onderzoek opzetten en voltooien (Zelfstandig werken)
Dit onderzoek zal ik alleen uitvoeren, uiteraard wel met de hulp van begeleiders en deskundige. Hierdoor zal ik leren hoe je zelfstandig een onderzoek opstelt en zelf verantwoordelijkheid neemt voor de uitkomsten.
2. Het vergroten van technische kennis betreffende water en waterbouw
Met dit onderzoek wil ik mijn persoonlijke technische kennis vergroten. Door veel te praten met experts op het gebied van rivier- en waterloopkunde hoop ik dit te doen. Ook door het onderzoek kwalitatief te benaderen hoop ik die kant van techniek beter te leren begrijpen
3. Het leren van een grote organisatie als Rijkswaterstaat.
Door de grote van Rijkswaterstaat als organisatie is er veel te leren over bedrijf- en organisatiestructuren. Daarnaast hoop ik door dit afstuderen een beter beeld te krijgen van de bepaalde procedures die nodig zijn bij grote projecten zoals "Ruimte voor de Rivier" en "Kribverlaging Waalkribben"

Beroepsgebieden

De beroepsgebieden die bij deze afstudeerstage aan bod zullen komen zijn:

1. Vloeistofmechanica
2. Watermanagement
3. Waterbouwkundige constructies
4. Morfologisch onderzoek

Vloeistofmechanica

In het onderzoek zal er gekeken worden naar hoe bepaalde effecten te koppelen zijn aan een situatie met een verlaagde krib. Hierdoor gaat het water van de Waal zich op een andere manier gedragen. Hierin zal het beroepsgebied Vloeistofmechanica dus naar voren komen.

Watermanagement

In het deelproject gaat het om het manage van het water, dat uit de Rijn de Waal op stroomt. Dit is waar het beroepsgebied watermanagement zich zal aandienen.

Waterbouwkundige constructies

In zowel het deelproject als het onderzoek gaat het over het verlagen van de kribben in de Waal en wat voor zaken, dat met zich meebrengt. Hier komt het beroepsgebied Waterbouwkundige constructies bij kijken.

Morfologisch onderzoek

Het onderzoek draait om morfologische effecten. Dit zorgt dus, dat het gebied morfologische onderzoek ruim aan bod komt.

Begrippenlijst

Begrip	Definitie
Zomerbed	Het deel van een rivier, dat altijd bevaarbaar is.
Erosie/Sedimentatie	Erosie en Sedimentatie zijn beide benamingen voor een verandering van de vorm van een bodem/oever r. Erosie is hierbij een verwijdering van de bodem/oever dus negatieve verandering en sedimentatie is een toevoeging aan de bodem/oever dus positieve verandering.
Morfologie	De leer van de verandering van de vorm van de bodem/oever.
Kribben	Kribben zijn stenen dammen die vaak loodrecht op de as van de rivier staan. Deze dammen, verkleinen het stroomprofiel van een rivier waardoor er een relatief constante stroomsnelheid is en bevorderen het eroderen van het zomerbed, wat beide gunstig is voor de scheepvaart .
Kribvakmorfologie	Kribvakmorfologie is de benaming voor zowel Kribvakerosie en kribvaksedimentatie als kriboevererosie en kriboeversedimentatie.