

Opdrachtgever: Grontmij

Voorbereiding 3^e tranche KRW- maatregelen Maas

Toepassing waqbank

CONCEPT

Auteurs: J.H.A. Wijbenga
J. Vieira da Silva

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding tot het project	1
1.2	Doelstelling	2
1.3	Leeswijzer	2
2	Toepassing WAQBANK	3
2.1	Algemeen	3
2.2	WAQUA-stromingsberekeningen.....	3
2.3	Locaties voor verwijdering oeververdediging	5
2.4	Samenstelling ondergrond	7
2.5	Scheepvaartgegevens	8
3	Resultaten	9
3.1	Algemeen	9
3.2	Oevererosie en erosievolume	9
4	Conclusies	16
5	Referenties	19

Lijst van tabellen

Tabel 2-1: Afvoeren en wegingsfactoren voor de duurlijn bij Venlo	4
Tabel 2-2: Ingreeplocaties linkeroever	6
Tabel 2-3: Ingreeplocaties rechteroever	7
Tabel 2-4: Grondsoorten en kritische bodemschuifspanning, waarboven erosie kan plaatsvinden	8
Tabel 2-5: Aantal scheepspassages in 2008	8
Tabel 3-1: Met waqbank berekende oevererosie	12
Tabel 3-2: Met waqbank berekende erosievolumes	13
Tabel 5-1: Met waqbank berekende erosie, gerangschikt naar grootte van de gemiddelde afstand voor ontstening tot de verhanglijn bij 125 m ³ /s – 1,0 m	23
Tabel 5-2: Erosievolumes, gerangschikt naar grootte per 100 m lengte in evenwichtssituatie voor ontstening tot de verhanglijn bij 125 m ³ /s – 1,0 m	23
Tabel 5-3: Erosievolumes, gerangschikt naar grootte per 100 m lengte na 1 jaar voor ontstening tot de verhanglijn bij 125 m ³ /s – 1,0 m	24

Lijst van figuren

Figuur 1-1: Principe van oeeververwijdering	2
Figuur 2-1: Afvoerduurlijn op basis van metingen te Venlo.....	3
Figuur 2-2: Relatieve overschrijdingsduur voor afvoeren te Venlo	4
Figuur 2-3: Verhanglijnen van de Maas voor verschillende afvoerniveaus	5
Figuur 3-1: Oevererosie Rijkelse Bemden-Kerkeveld (rkm 89,9 en rkm 92,4)	9
Figuur 3-2: Erosievolume per 100 m traject voor de Rijkelse Bemden-Kerkeveld (rkm 89,9 en rkm 92,4)	9
Figuur 3-3: Oevererosie voor locaties tussen rkm 70 en rkm 230, verhanglijn bij 125 m ³ /s – 1,0 m	10
Figuur 3-4: Erosievolumes voor locaties tussen rkm 70 en rkm 230, 125 m ³ /s – 1,0 m.....	11
Figuur 3-5: Gemiddelde erosie-afstand voor locaties tussen rkm 70 en rkm 230, 125 m ³ /s – 1,0 m	12
Figuur 3-6: Gemiddelde erosie-afstand voor locaties tussen rkm 70 en rkm 230, 125 m ³ /s – 0,3 m	13
Figuur 3-7: Erosievolume per 100 m voor locaties tussen rkm 70 en rkm 230, 125 m ³ /s – 1,0 m.....	14
Figuur 3-8: Erosievolume per 100 m voor locaties tussen rkm 70 en rkm 230, 125 m ³ /s – 0,3 m.....	14
Figuur 3-9: Inhoud shapefiles met oevererosie en interventielijnen, 125 m ³ /s – 1,0 m	15

1 Inleiding

1.1 Aanleiding tot het project

De KRW¹-maatregelen hebben tot doel om de ecologische en chemische kwaliteit van watersystemen - leefgebied voor waterplanten, macrofauna en vissen- te verbeteren door bijvoorbeeld verbindingen aan te leggen tussen watersystemen of door leefgebieden te verbeteren in en langs rivieren en meren door aanleg van ondiepe zones en natuurlijke of natuurvriendelijke oevers.

Rijkswaterstaat-Dienst Limburg laat de 3^e tranche KRW-maatregelen voor de Maas voorbereiden door de Grontmij. Onderdeel van de werkzaamheden is het inzichtelijk maken van mogelijk oevererosie als gevolg van scheepsgolven opgewekt door passerende schepen in combinatie met erosie door stroming. HKV past hiertoe het recentelijk door Deltares ontwikkelde programma WAQBANK toe.

Het project omvat 25 oevertrajecten langs de Maas tussen rkm 74,0 en rkm 226.5, met een gezamenlijke lengte van 38 km, waar de oever geheel of gedeeltelijk ontsteend gaat worden voor het creëren van natuurlijke of natuurvriendelijke oevers.

Het (deels) verwijderen van de oeverbestorting heeft diverse gevolgen:

- De oever erodeert onder invloed van door passerende schepen opgewekte golven en de stroming tijdens hoogwater.
- Het uit de oever geërodeerde materiaal komt in het zomerbed terecht waar het, samen met het bestaande sediment in de rivier, tijdens hoogwater in benedenstroomse richting wordt getransporteerd.
- Als gevolg van het afkalven van de oever verruimt het doorstroomprofiel, waardoor de stroomsnelheden in het zomerbed afnemen.
- Door de afname van de stroomsnelheden neemt de sedimenttransportcapaciteit in het zomerbed af, waardoor in het zomerbed voor de ontsteende oevers sediment blijft liggen en de rivierbodem omhoog komt.
- Ter plaatse van de natuur(vriende)lijke oever kan begroeiing tot ontwikkeling komen, waardoor de hydraulische ruwheid van de oeverzone toeneemt.
- De oevererosie, de aanzanding en de eventuele begroeiing beïnvloeden de Maatgevende HoogWaterstanden (MHW). Door oevererosie nemen de MHW-standen in principe af, maar door aanzanding van het zomerbed en begroeiing van de natuur(vriende)lijke oever nemen de MHW-standen toe. Het is op voorhand niet aan te geven of er netto verlaging of verhoging van MHW-standen zullen resulteren.

Het optreden van oevererosie langs de Maas kan beperkt worden toegelaten. Rijkswaterstaat heeft hiervoor interventielijnen gedefinieerd, die aangeven vanaf welk punt verdere oevererosie moet worden tegen gegaan.

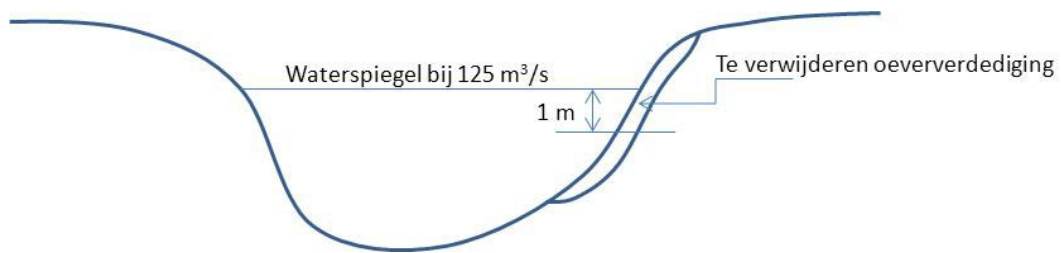
Vanaf 2010 is door Deltares gewerkt aan de ontwikkeling van een oevererosiemodule (WAQBANK), zie Van der Sligte & Spruyt (2012). WAQBANK wordt in combinatie met WAQUA gebruikt voor het verkrijgen van inzicht waar in meer of mindere mate oevererosie is te verwachten. De

¹ KRW = Kader Richtlijn Water

voorliggende rapportage beschrijft de toepassing van WAQBANK bij de voorbereiding van de 3^e tranche KRW-maatregelen langs de Maas.

1.2 Doelstelling

Het bepalen van de te verwachten oevererosie in het traject tussen km 74 en km 226,5 door het lokaal verwijderen van de oeverbescherming boven het niveau van de waterstand (verhanglijn) bij een afvoer van $125 \text{ m}^3/\text{s}$ – 1,0 m en voor de situatie waarbij de oeverbescherming wordt verwijderd boven het niveau van de waterstand bij een afvoer van $125 \text{ m}^3/\text{s}$ – 0,3 m.



Figuur 1-1: Principe van oeververwijdering

Opmerkingen:

- WAQBANK berekent hoeveel oevererosie waar plaatsvindt en hoeveel materiaal daarbij vrij komt. De resultaten van WAQBANK worden niet in absolute zin geïnterpreteerd, enerzijds omdat WAQBANK niet is gekalibreerd en anderzijds omdat op elke locatie de samenstelling van de ondergrond anders is. Uit de resultaten van WAQBANK kan wel worden afgeleid waar relatief veel oevererosie is te verwachten en waar relatief weinig oevererosie zal optreden.
- WAQBANK gaat uit van de hydraulische omstandigheden juist voor het verwijderen van de oeverbescherming. Door de oevererosie zal het dwarsprofiel van de rivier ruimer worden ter hoogte van de oevererosie, maar gelijktijdig zal er in het zomerbed aanzanding plaatsvinden, deels omdat het sediment uit de oever daar zal blijven liggen, deels omdat de transportcapaciteit als gevolg van de verruiming van het dwarsprofiel afneemt. Er vindt in WAQBANK geen terugkoppeling plaats met veranderde stromingsomstandigheden door profielveranderingen. WAQBANK geeft ook geen informatie over de invloed van veranderingen in het dwarsprofiel op de MHW-standen.

1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 is een overzicht gegeven van de gegevens, die zijn gebruikt voor de toepassing van WAQBANK. De resultaten van WAQBANK zijn beschreven in Hoofdstuk 3. De hieruit getrokken conclusies en een enkele aanbeveling zijn opgenomen in Hoofdstuk 4.

2 Toepassing WAQBANK

2.1 Algemeen

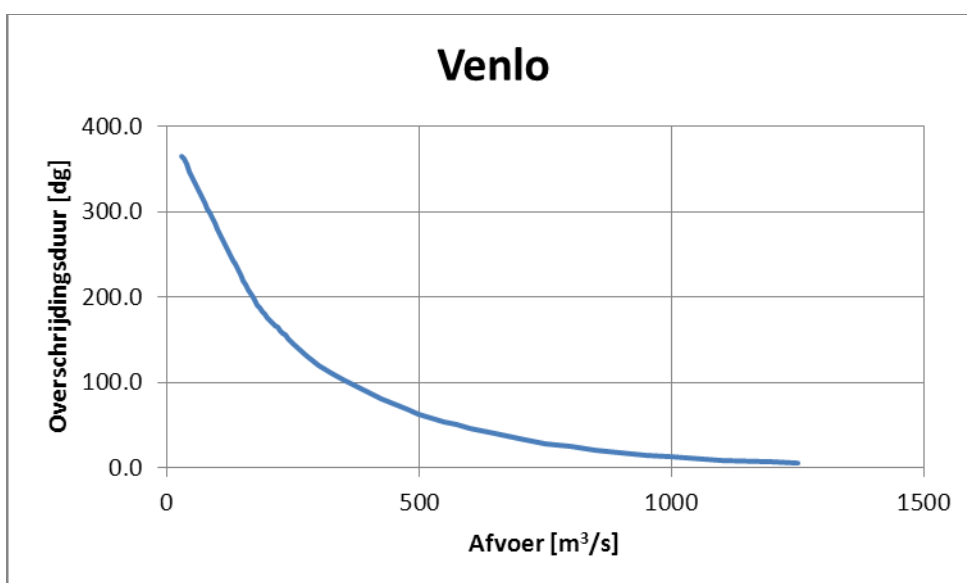
WAQBANK is een oevererosiemodule, die de oevererosie berekent na een periode van 1 jaar en in de te verwachten evenwichtssituatie na een aantal jaren. Tevens geeft WAQBANK een schatting van de vrijkomende hoeveelheden materiaal voor beide tijdshorizonnen. De invoer van WAQBANK, zie Sligte (2012), bestaat uit resultaten van met WAQUA uitgevoerde stromingsberekeningen bij verschillende afvoeren, de locatie en het niveau tot waar de oeverbestorting wordt verwijderd, gegevens over de samenstelling van de oever en scheepvaartgegevens.

2.2 WAQUA-stromingsberekeningen

WAQBANK bestaat uit twee delen. Het eerste deel bepaalt aan de hand van de waterstanden in een stromingsberekening van WAQUA bij een gematigde afvoer (272 m³/s) waar de initiële oeverlijn zich bevindt. Het tweede deel berekent aan de hand van een reeks afvoeren de te verwachten erosie en het bijhorende erosievolume na 1 jaar en in de evenwichtssituatie.

Voor de toepassing van WAQBANK op de Maas heeft Deltares het gebruik van 13 afvoerniveaus aanbevolen. Het betreft de afvoeren: 75 m³/s, 150 m³/s, 272 m³/s, 400 m³/s, 500 m³/s, 750 m³/s, 900 m³/s, 1100 m³/s, 1300 m³/s, 1500 m³/s, 1700 m³/s, 1900 m³/s en 2300 m³/s.

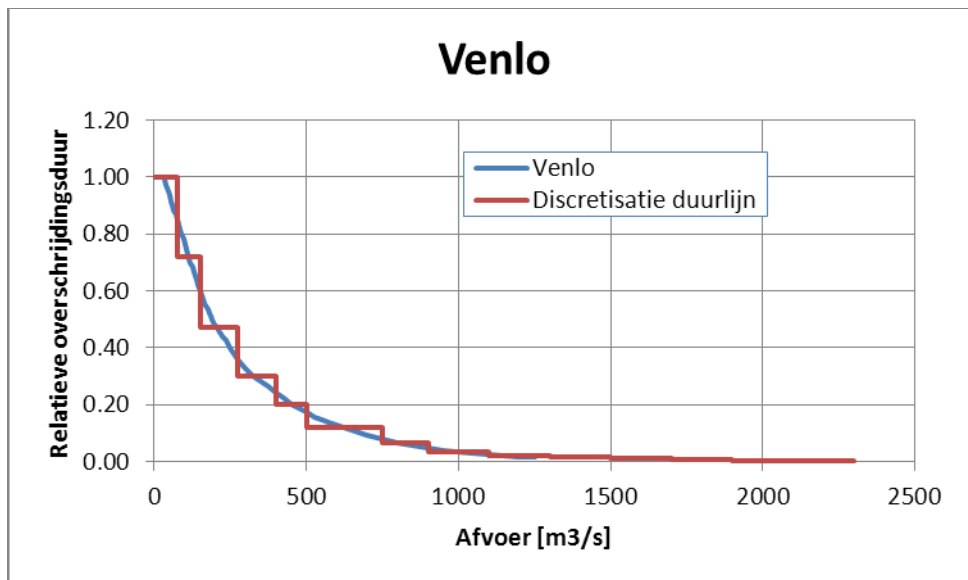
De hydraulische berekeningen zijn verzorgd door A. de Joode, Rivierkundig Advies, en uitgevoerd op het rekencluster van Agtersloot Hydraulisch Advies. Elke berekening is gedaan voor een constant afvoer zonder laterale toestroming langs de Maas. Het WAQUA-model is gebaseerd op de schematisatie HR2006_4 van de Maas, waarbij de roosterzellen van het oorspronkelijke rooster (*maas40m_1.rgf*) in beide richtingen een factor 2 verkleind zijn, waardoor een rooster met een gemiddelde maaswijdte in stromingsrichting van 20 m ontstaat (*maas20m_1a.rgf*).



Figuur 2-1: Afvoerduurlijn op basis van metingen te Venlo

De afvoerreeks is zo gekozen dat aan de gemiddelde duurlijn voor de Maas te Venlo wordt voldaan. De afvoerreeks is weergegeven in Figuur 2-1.

Door het aantal dagen van de overschrijdingsduur te delen door het aantal dagen in een jaar ontstaat een relatieve overschrijdingsduur voor Venlo, zie Figuur 2-2. De relatieve overschrijdingsduur voor Venlo is in stappen met deze afvoer benaderd. De wegingsfactoren in WAQBANK voor elk van de aangegeven afvoeren stemmen overeen met de relatieve duur van de beschouwde afvoer. De wegingsfactoren zijn weergegeven in Tabel 2-1.



Figuur 2-2: Relatieve overschrijdingsduur voor afvoeren te Venlo

Afvoer [m³/s]	Wegingsfactor [-]
75	0.2800
150	0.2500
272	0.1700
400	0.1000
500	0.0800
750	0.0550
900	0.0300
1100	0.0150
1300	0.0080
1500	0.0050
1700	0.0026
1900	0.0024
2300	0.0020

Tabel 2-1: Afvoeren en wegingsfactoren voor de duurlijn bij Venlo

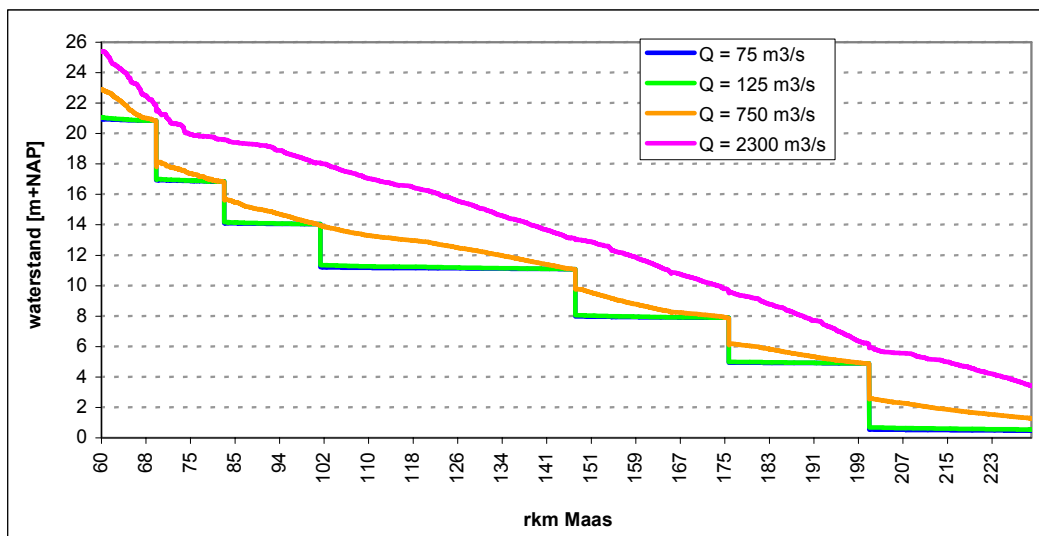
2.3 Locaties voor verwijdering oeververdediging

Ten behoeve van de voorbereiding van KRW-maatregelen voor de 3^e tranche zijn locaties geselecteerd waar de oeverbestorting (deels) zal worden verwijderd. De locaties voor de linkeroever zijn weergegeven in Tabel 2-2 en voor de rechteroever in Tabel 2-3. Het betreft in totaal 22 locaties, waarvan 7 op de linkeroever met een gesommeerde lengte van 8,5 km en 15 op de rechteroever met een gesommeerde lengte van 24,2 km. De locaties zijn weergegeven in Bijlage A.

Voor de hoogte waarover de oeverbestorting in WAQBANK is verwijderd, is uitgegaan van de volgende opties:

1. natuurlijke oevers, waarbij de oeververdediging tot 1 meter onder de verhanglijn bij 125 m³/s is verwijderd, zie Figuur 1-1 en Figuur 2-3;
2. natuurvriendelijke oevers, waarbij de oeververdediging tot 0,3 m onder de verhanglijn bij 125 m³/s is verwijderd;

Er is voor beide opties een berekening uitgevoerd. De hoogte tot waar de oeverbescherming aanwezig blijft is voor deze twee opties in de laatste twee kolommen van Tabel 2-2 en Tabel 2-3 vermeld. In deze tabellen is ook aangegeven tot welk niveau de oeverbescherming in WAQBANK is verwijderd. Bij de optie met natuurlijke oevers is de oeververdediging verwijderd vanaf 1 meter onder de verhanglijn bij een afvoer van 125 m³/s en bij natuurvriendelijke oevers die vanaf 0,3 m onder deze verhanglijn. De verhanglijn van 125 m³/s is geïnterpoleerd tussen de WAQUA resultaten van 75 m³/s en 150 m³/s.



Figuur 2-3: Verhanglijnen van de Maas voor verschillende afvoerniveaus

Opmerking:

De scheepvaart moet op de Maas over voldoende vaardiepte en vaarbreedte blijven beschikken. Bij oevers die over de volle hoogte van het zomerbed kunnen eroderen, zal het dwarsprofiel op lange termijn door de verbreding zodanig verondiepen dat de scheepvaart daar last van zal krijgen. Het loslaten van de oevers heeft het tegenovergestelde effect van hetgeen met normalisatie van de rivier in het verleden is beoogd, namelijk het versmallen van de rivier om voor de scheepvaart door de natuurlijke processen van transport van water en sediment een grotere vaardiepte te creëren.

Locatie	oever [R/L]	rkm begin	rkm eind	rkm totaal	Kritische schuif- spanning τ_c [Pa]	Hoogte van verwijdering van de oeverbescherming [m+NAP]	
						optie 1: Natuurlijke oever	optie 2: Natuurvriendelijke oever
Weerdbeemden	L	91.2	91.4	0.2	0.38	13.10	13.80
		91.4	91.6	0.2		13.10	13.80
		91.6	92.8	1.2		13.10	13.80
Ubroek	L	109.2	109.4	0.2	1.23	10.27	10.97
		109.8	110.5	0.7		10.27	10.97
Broekhuizerweerd	L	120.8	121.6	0.8	1.23	10.22	10.92
Vortumsche Bergen	L	144.0	144.6	0.6	1.23	10.10	10.80
		144.6	145.0	0.4		10.09	10.79
Boxmeer	L	149.1	151.25	2.2	1.23	7.04	7.74
Gewande	L	212.2	212.3	0.1	0.46	-0.39	0.31
		212.6	213.3	0.7		-0.39	0.31
		213.75	213.9	0.2		-0.39	0.31
Hedikhuizen	L	225.55	226.35	0.8	0.21	-0.44	0.26
		226.35	226.5	0.2		-0.44	0.26

Tabel 2-2: Ingreeplocaties linkeroever

Locatie	oever [R/L]	rkm begin	rkm eind	rkm totaal	Kritische schuif- spanning τ_c [Pa]	Hoogte van verwijdering van de oeverbescherming [m+NAP]	
						optie 1: Natuurlijke oever	optie 2: Natuurvriendelijke oever
Oolergreend	R	74.1	74.7	0.6	1.23	15.91	16.61
		74.7	75.5	0.8		15.91	16.61
		75.5	76.3	0.8		15.90	16.60
Rijkse Bemden-Kerkveld	R	89.9	91.8	1.9	0.66	13.11	13.81
		91.8	92.4	0.6		13.10	13.80
Schelkensberg	R	97.6	97.9	0.3	1.23	13.06	13.76
		98.2	98.9	0.7		13.06	13.76
Venlo-Velden	R	110.35	110.8	0.5	1.23	10.27	10.97
		111.1	112.25	1.2		10.26	10.96
		112.55	112.9	0.4		10.26	10.96
		112.9	113.4	0.5		10.25	10.95
		113.4	113.55	0.1		10.25	10.95
Roode Beek	R	123.5	124.3	0.8	1.35 ⁽¹⁾	10.20	10.90
De Baend	R	132.5	132.8	0.3	1.46	10.15	10.85
		132.8	134.2	1.4		10.15	10.85
Bergen	R	140.7	140.9	0.2	2.12	10.11	10.81
		141.3	141.8	0.5		10.11	10.81
		142	142.2	0.2		10.11	10.81
		142.9	144.2	1.3		10.10	10.80
Ossenkamp	R	149.1	149.6	0.5	0.27	7.05	7.75
Heijen-Smele	R	152	153.3	1.3	0.46	7.02	7.72
Mokerplas en Mokerheide	R	161.9	162.1	0.2	1.23	6.94	7.64
		162.1	162.4	0.3		6.94	7.64
		162.4	163.6	1.2		6.94	7.64
		163.6	164	0.4		6.93	7.63
		164	164.3	0.3		6.93	7.63
Heumen	R	167.7	167.9	0.2	0.30	6.92	7.62
		167.9	168.9	1.0		6.92	7.62
		168.9	170.9	2.0		6.92	7.62
De Lijmen	R	186.3	187.5	1.2	0.63	3.95	4.65
Oude ontzandingsplas Greffeling	R	196.6	197.4	0.8	0.28	3.91	4.61
Drielsche Uiterwaard	R	215	215.29	0.3	0.35	-0.40	0.30
		215.29	215.49	0.2		-0.40	0.30
		215.49	216	0.5		-0.40	0.30
Benedenwaarden	R	220.28	221	0.7	0.43	-0.42	0.28

⁽¹⁾ geen gegevens; waarde ingeschat

Tabel 2-3: Ingreeplocaties rechteroever

2.4 Samenstelling ondergrond

Om de sterkte van het oevermateriaal aan te geven, is de kritische bodemschuifspanning gebruikt. Deze is afgeleid van de samenstelling van boringen in het gebied. Om een beter beeld te krijgen van het materiaal in de locaties is een lijst van gemiddelde kritische bodemschuifspanning per grondsoort in Tabel 2-4 aangegeven.

Grondsoort	Kritische schuifspanning τ_c [Pa]
Beschermde oever	∞
Stevig gras	185.00
Matig gras	93.00
Slecht gras	62.00
Zeer goede klei (compact)	4.00
Klei met 60% zand (stevig)	2.50
Goede klei met weinig structuur	2.00
Sterk gestructureerde goed klei (matige klei)	1.50
Slechte klei (slap)	0.65
Zand met 17% silt	0.20
Zand met 10% silt	0.15
Zand met 0% silt	0.10

Tabel 2-4: Grondsoorten en kritische bodemschuifspanning, waarboven erosie kan plaatsvinden²

2.5 Scheepvaartgegevens

Het ontstaan van oevererosie is een gevolg van afslag door langsvarende schepen en door het er langs en over stromende water. Belangrijke parameters bij de erosie door scheepsgolven zijn de diepgang van het passerende schip, de vaarsnelheid en het aantal schepen dat passeert.

Voor de scheepvaartgegevens is uitgegaan van het document "Scheepvaartinformatie Hoofdvaarwegennet" van de Dienst Verkeer en Scheepvaart van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

- *Type schepen:* Op de Maas is 95% van de schepen van het type Rijn-Hernekanaal. Deze schepen zijn in WAQBANK aangemerkt als "type 2".
- *Diepgang:* Bij de diepgang moet onderscheid worden gemaakt in schepen die beladen zijn en schepen die leeg zijn. In WAQBANK is uitgegaan van een gemiddelde diepgang van 2,8 m dat is gebaseerd op een 2/3 geladen schepen met een diepgang van 3,5 m (klasse Va) en 1/3 ongeladen schepen met een diepgang van 1,4 m.
- *Vaarsnelheid:* Voor de vaarsnelheid van de schepen ten opzichte van het omringende water is uitgegaan van 4,5 m/s (= 16,2 km/h).
- *Aantal schepen:* Het aantal scheepspassages bij een locatie is gelijk genomen aan het aantal passages bij de dichtstbijzijnde sluis. Hierbij zijn de passages van ongeladen en geladen schepen bij elkaar opgeteld. De volgende gegevens zijn gebruikt:

Sluis	rivierkm	passages
Sluis Belfeld	100,7	20375
Sluis Sambeek	146,8	24758
Sluis Grave	175,5	13911
Sluit Maxima/Lith	201	15613

Tabel 2-5: Aantal scheepspassages in 2008

² Informatie toegeleverd door Deltares

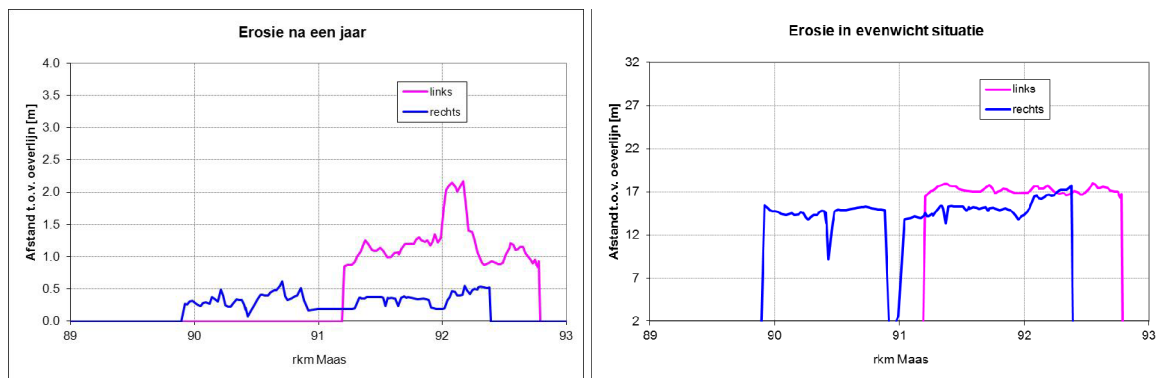
3 Resultaten

3.1 Algemeen

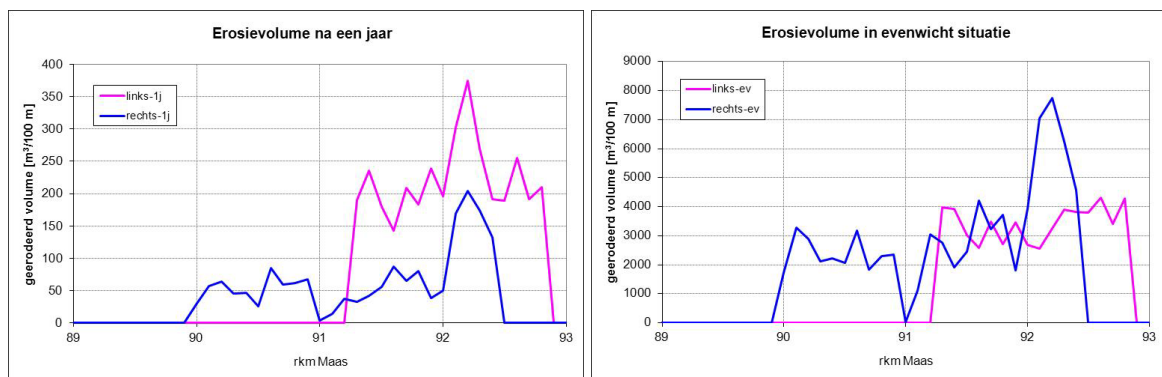
WAQBANK berekent de oevererosie aan de hand van stromingsomstandigheden, het al of niet vastgelegd zijn van de oevers in combinatie met de samenstelling van de erodeerbare oevers en de aanwezige scheepvaart. Om diverse redenen is de voorspellende waarde van de oevererosie beperkt. Dit wordt enerzijds veroorzaakt doordat het model nauwelijks is te kalibreren en anderzijds omdat kalibratie aan een locatie met oevererosie niet zonder meer is toe te passen voor andere locaties. De grondsamenstelling op de locaties kan onderling sterk afwijken van de locatie waarop het model is gekalibreerd. Bovendien kan de grondsamenstelling in ruimtelijke zin sterk variëren en kan aanwezige begroeiing het erosieproces in meer of mindere mate afremmen. De met WAQBANK berekende erosie moet daarom in onderling samenhang worden beoordeeld en niet zo zeer in absolute zin.

3.2 Oevererosie en erosievolume

In Figuur 3-1 is voor het traject Rijkelse Bemden – Kerkeveld (rkm 89,9 – rkm 92,4) de door WAQBANK berekende oevererosie na 1 jaar en in de evenwichtssituatie weergegeven voor het geval dat de oeverbestorting wordt verwijderd tot het niveau van de verhanglijn bij 125 m³/s – 1,0 m (optie 1). Merk op dat de schaal voor de geërodeerde afstand in beide figuren verschillend is. Figuur 3-2 geeft het erosievolume per 100 m strekkende lengte weer na 1 jaar en bij het bereiken van de evenwichtssituatie.

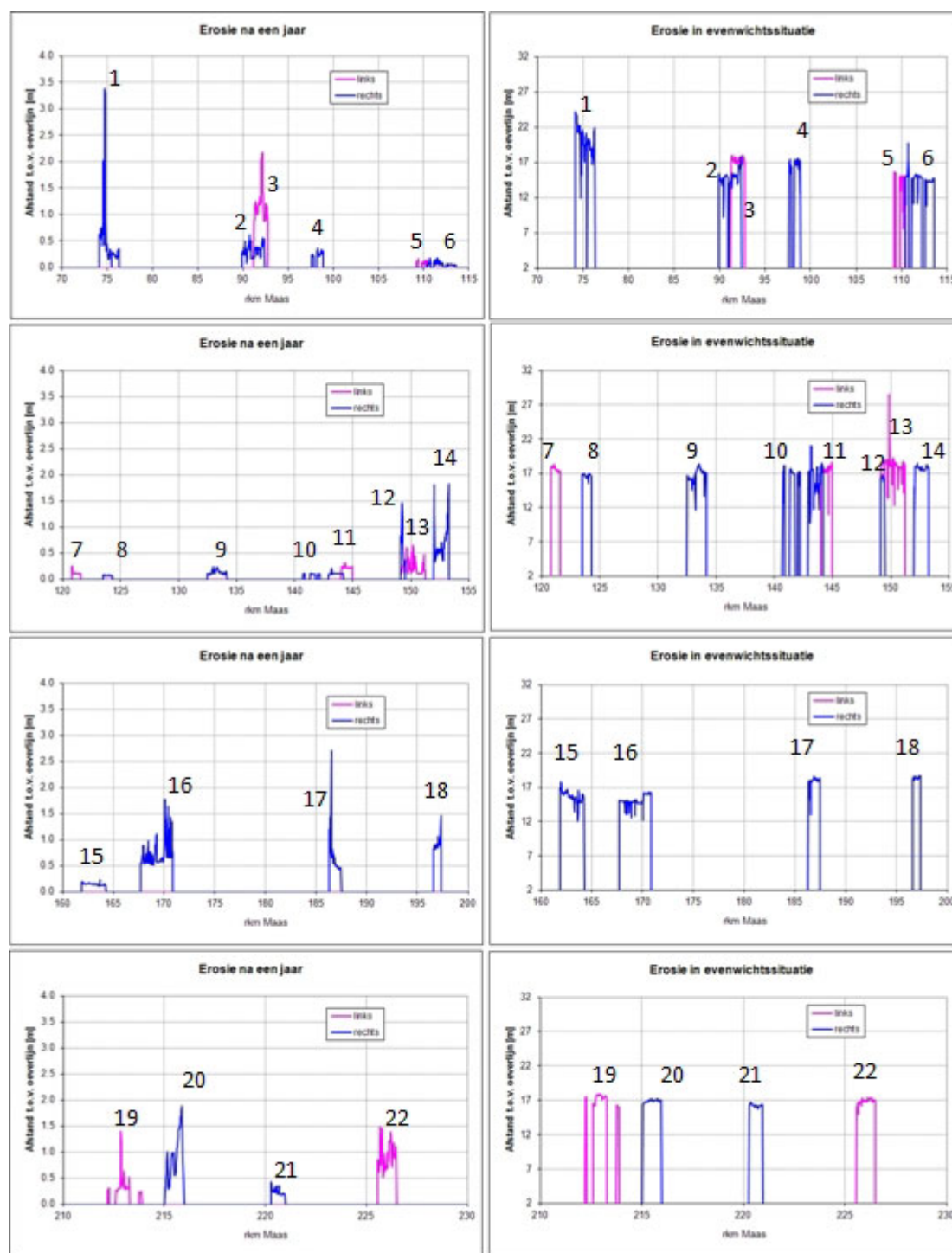


Figuur 3-1: Oevererosie Rijkelse Bemden-Kerkeveld (rkm 89,9 en rkm 92,4)



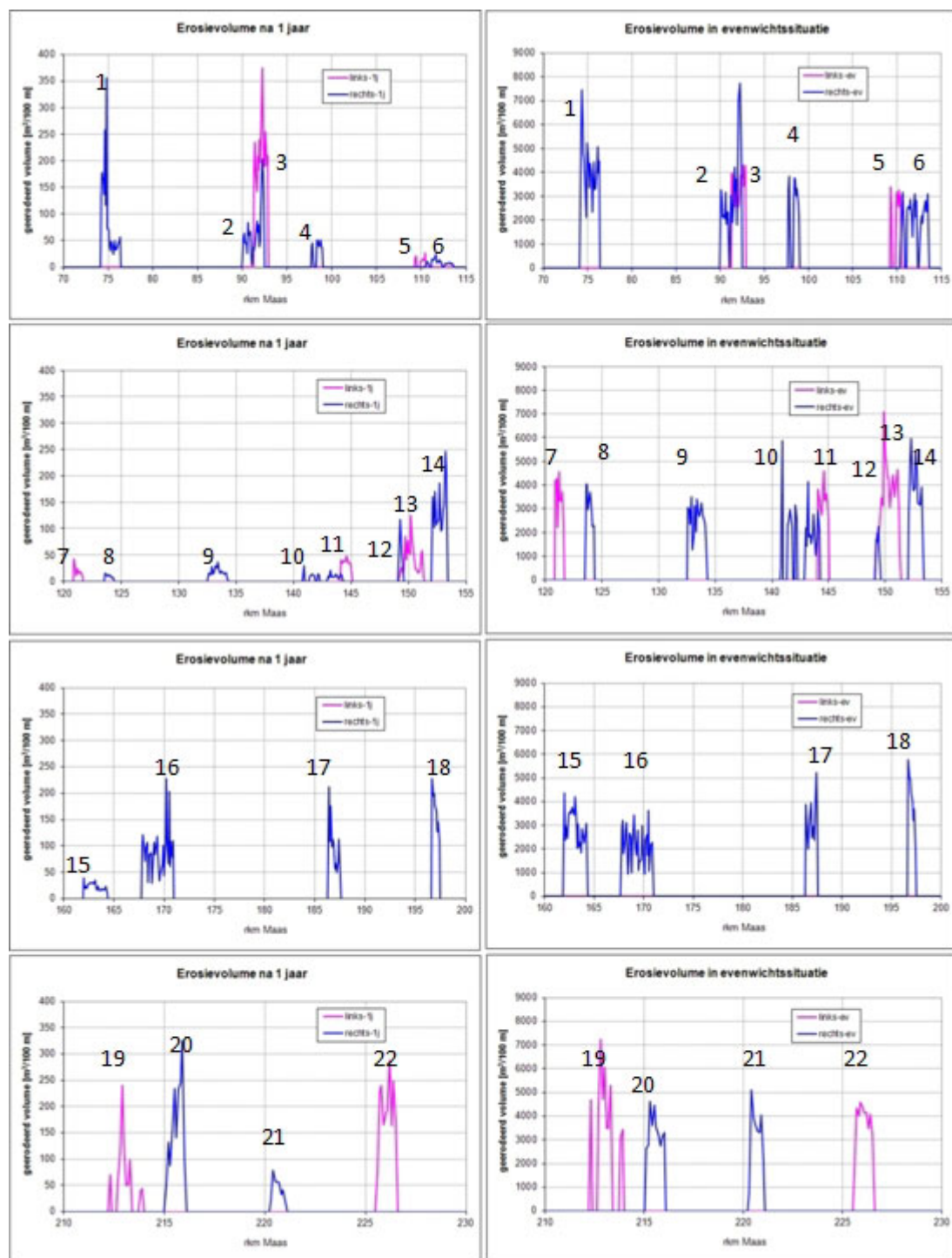
Figuur 3-2: Erosievolume per 100 m traject voor de Rijkelse Bemden-Kerkeveld (rkm 89,9 en rkm 92,4)

In Figuur 3-3 en Figuur 3-4 is de door WAQBANK berekende oevererosie en het berekende erosievolume per 100 m strekkende lengte weergegeven voor de verschillende locaties. Voor de linkeroever is de erosie in magenta aangegeven en voor de rechteroever in blauw. Het nummer in de figuren verwijst naar het nummer van de locatie in Tabel 3-1. Deze tabel bevat de door WAQBANK berekende erosie, met als kanttekening dat de berekende erosieafstanden vooral onderling vergeleken moeten worden.



Figuur 3-3: Oevererosie voor locaties tussen rkm 70 en rkm 230, verhanglijn bij 125 m³/s - 1,0 m

In Tabel 3-2 zijn de geschatte erosievolumes weergegeven. Deze hoeveelheden zijn gekoppeld aan de berekende erosieafstanden. Op basis van de onderlinge verhouding van de erosievolumina is aan te geven waar meer of minder sediment van de oever in het zomerbed terecht zal komen.



Figuur 3-4: Erosievolumes voor locaties tussen rkm 70 en rkm 230, $125 \text{ m}^3/\text{s} - 1,0 \text{ m}$

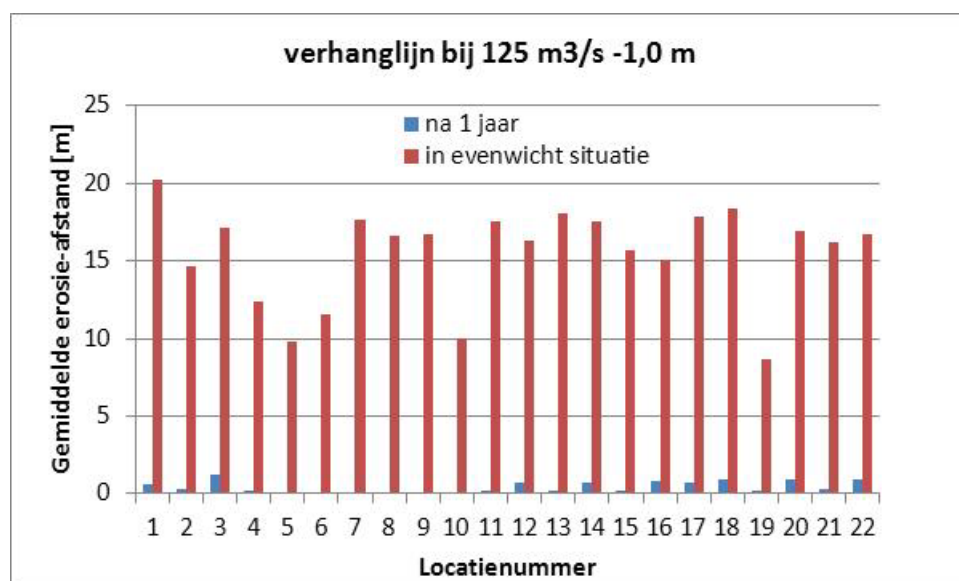
			gemiddelde afstand [m]				geerodeerd traject [%]	max afstand [m]					
			na een jaar		in evenwicht situatie			na een jaar		in evenwicht situatie			
			Optie 1	Optie 2	Optie 1	Optie 2		Optie 1	Optie 2	Optie 1	Optie 2		
		van	tot										
1	Oolergreend	R	74.1	76.3	0.58	0.58	20.40	17.43	99%	3.38	3.38	24.22	20.45
2	Rijkelse Berden-Kerkveld	R	89.9	92.4	0.34	0.34	14.85	14.80	99%	0.62	0.62	17.72	16.95
3	Weerdbeemden	L	91.2	92.8	1.20	1.20	17.18	16.76	100%	2.18	2.18	18.02	17.33
4	Schelkensberg	R	97.6	98.9	0.26	0.26	16.89	14.56	73%	0.37	0.37	17.51	15.14
5	Ubroek	L	109.2	110.5	0.10	0.10	14.67	14.67	67%	0.17	0.17	15.57	15.57
6	Venlo-Velden	R	110.35	113.6	0.07	0.07	14.58	14.58	80%	0.19	0.19	19.71	19.71
7	Broekhuizerwaard	L	120.8	121.6	0.13	0.13	17.62	17.62	100%	0.26	0.26	18.28	18.28
8	Roode Beek	R	123.5	124.3	0.07	0.07	16.63	16.63	100%	0.09	0.09	16.91	16.91
9	De Baend	R	132.5	134.2	0.14	0.14	16.74	16.57	100%	0.24	0.24	18.30	17.64
10	Bergen	R	140.7	144.2	0.11	0.11	16.41	14.23	61%	0.21	0.21	20.98	18.60
11	Vortumsche Bergen	L	144.0	145.0	0.24	0.24	17.57	14.98	100%	0.32	0.32	18.58	15.54
12	Ossenkamp	R	149.1	149.6	0.70	0.70	16.29	16.29	100%	1.47	1.47	16.76	16.76
13	Boxmeer	L	149.1	151.3	0.25	0.25	18.05	18.02	100%	0.65	0.65	28.57	26.26
14	Heijen-Smele	R	152	153.3	0.75	0.75	17.52	17.52	100%	1.84	1.84	18.41	18.41
15	Mokerplas en Mokerheide	R	161.9	164.3	0.15	0.15	15.67	15.26	100%	0.23	0.23	17.73	16.66
16	Heumen	R	167.7	170.9	0.78	0.78	15.10	14.10	100%	1.78	1.78	16.29	14.77
17	De Lijmen	R	186.3	187.5	0.68	0.68	17.82	16.54	100%	2.72	2.72	18.54	17.02
18	Oude ontzandingsplas Greffeling	R	196.6	197.4	0.92	0.92	18.38	15.52	100%	1.46	1.44	18.71	15.67
19	Gewande	L	212.2	213.9	0.38	0.38	17.09	17.09	51%	1.40	1.40	17.88	17.88
20	Drielsche Uiterwaard	R	215	216	0.93	0.93	16.89	16.89	100%	1.89	1.89	17.22	17.22
21	Benedenwaard	R	220.28	221	0.25	0.25	16.22	16.22	100%	0.43	0.43	16.68	16.68
22	Hedikhuizen	L	225.55	226.5	0.94	0.94	16.77	16.77	100%	1.50	1.50	17.35	17.35

Tabel 3-1: Met WAQBANK berekende oevererosie

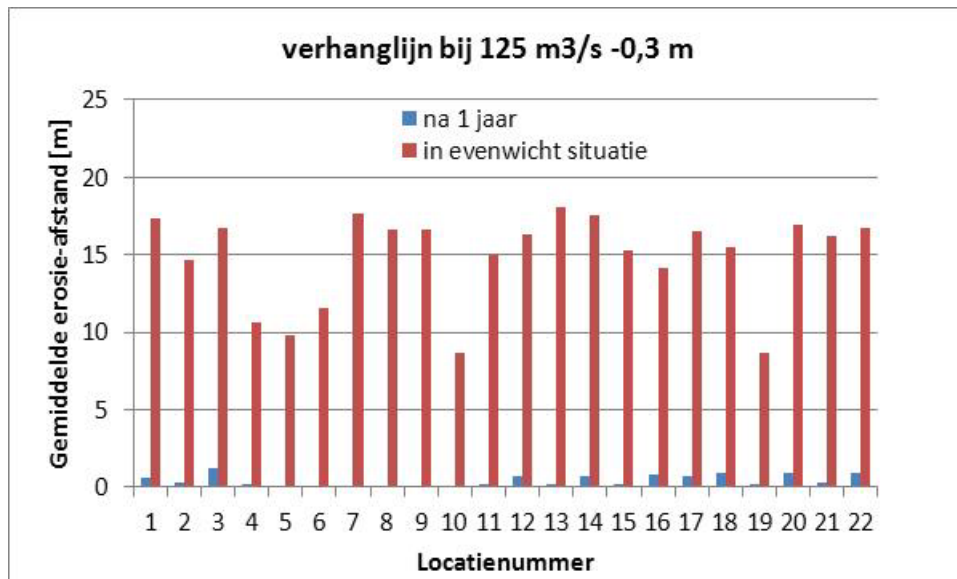
Opmerking:

Optie 1: Oeverbescherming handhaven tot niveau van verhanglijn bij 125 m³/s – 1,0 m.Optie 2: Oeverbescherming handhaven tot niveau van verhanglijn bij 125 m³/s – 0,3 m.

In Figuur 3-5 is de gemiddelde erosie-afstand voor het geval de oeverbescherming wordt verwijderd volgens optie 1, als functie van het locatienummer in Tabel 3-1. Figuur 3-6 zijn de gemiddelde erosie-afstanden als functie van het locatienummer uitgezet voor optie 2.

Figuur 3-5: Gemiddelde erosie-afstand voor locaties tussen rkm 70 en rkm 230, 125 m³/s – 1,0 m

De oevererosie onder evenwichtsomstandigheden houdt na 10 à 20 m op. Het tot een hoger niveau handhaven van de oeverbescherming heeft een beperkte invloed op de erosieafstand onder evenwichtsomstandigheden.



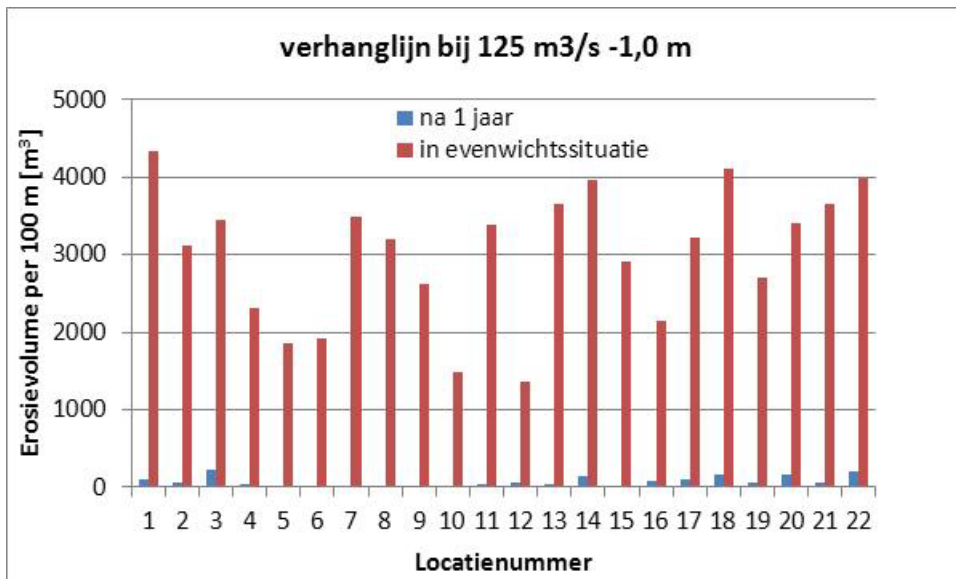
Figuur 3-6: Gemiddelde erosie-afstand voor locaties tussen rkm 70 en rkm 230, 125 m³/s – 0,3 m

			Erosievolume [m³]				Volume [m³]/[100 m]		Volume [m³]/[100 m]		
			Optie 1		Optie 2		Optie 1	Optie 2	Optie 1	Optie 2	
			van	tot	na een jaar	in evenwicht situatie	na een jaar	in evenwicht situatie	na 1 jaar	na 1 jaar	evenwicht
1 Oolergreend	R	74.1	76.3	2,030	95,410	1,543	79,152	92	70	4337	3598
2 Rijkelse Bemden-Kerkveld	R	89.9	92.4	1,738	77,715	1,538	77,347	70	62	3109	3094
3 Weerdbeemden	L	91.2	92.8	3,564	55,163	2,971	53,550	223	186	3448	3347
4 Schelkensberg	R	97.6	98.9	413	30,100	334	25,216	32	26	2315	1940
5 Ubroek	L	109.2	110.5	139	23,290	129	23,290	11	10	1863	1863
6 Venlo-Velden	R	110.35	113.6	276	61,582	254	61,582	9	8	1924	1924
7 Broekhuizerweerd	L	120.8	121.6	165	27,955	158	27,955	21	20	3494	3494
8 Roodde Beek	R	123.5	124.3	86	25,600	85	25,600	11	11	3200	3200
9 De Baend	R	132.5	134.2	323	44,478	269	43,939	19	16	2616	2585
10 Bergen	R	140.7	144.2	257	51,948	210	43,484	7	6	1484	1242
11 Vortumsche Bergen	L	144.0	145.0	373	33,911	317	27,988	37	32	3391	2799
12 Boxmeer	L	149.1	151.3	928	78,793	814	78,601	43	38	3665	3656
13 Ossenkamp	R	149.1	149.6	273	6,784	239	6,784	55	48	1357	1357
14 Heijen-Smele	R	152	153.3	1,890	51,580	1,561	51,580	145	120	3968	3968
15 Mokerplas en Mokerheide	R	161.9	164.3	560	69,957	510	67,872	23	21	2915	2828
16 Heumen	R	167.7	170.9	2,901	68,645	2,260	63,120	91	71	2145	1973
17 De Lijmen	R	186.3	187.5	1,246	38,643	979	35,289	104	82	3220	2941
18 Oude ontzandingsplas Greffeling	R	196.6	197.4	1,350	32,914	1,160	26,891	169	145	4114	3361
19 Gew ande	L	212.2	213.9	894	45,943	866	45,943	53	51	2703	2703
20 Drielsche Uiterw aard	R	215	216	1,709	34,059	1,479	34,059	171	148	3406	3406
21 Benedenw aarden	R	220.28	221	369	26,366	351	26,366	51	49	3662	3662
22 Hedikhuizen	L	225.55	226.5	1,968	37,932	1,774	37,932	207	187	3993	3993

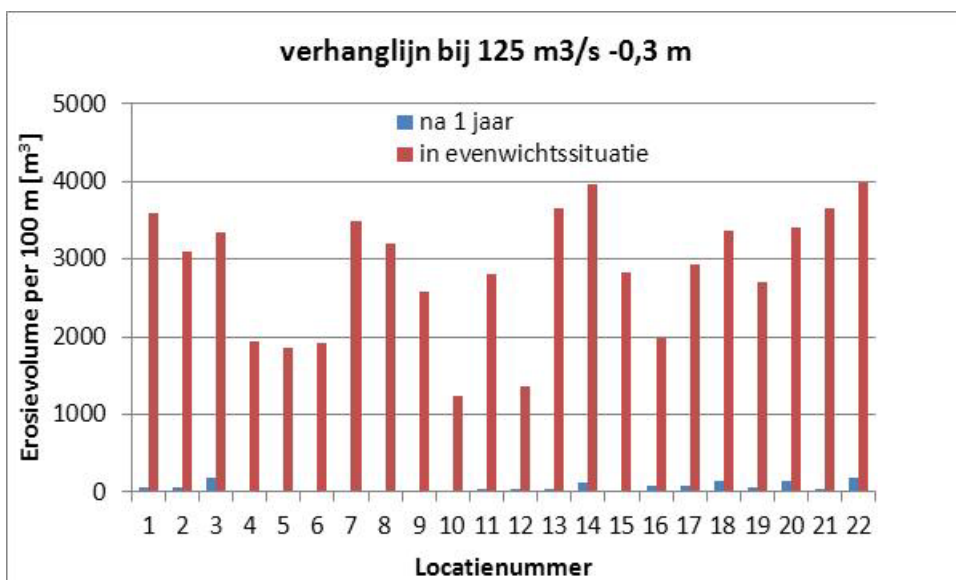
Tabel 3-2: Met WAQBANK berekende erosievolumes

In Figuur 3-7 (optie 1) en Figuur 3-8 (optie 2) zijn per strekkende lengte van 100 m de erosievolumes uitgezet tegen het locatienummer (zie Tabel 3-1) voor de situatie waarbij de oeverbescherming respectievelijk 1,0 m en 0,3 m onder de waterspiegel (bij een afvoer van 125 m³/s) is verwijderd.

Het tot een hoger niveau laten zitten van de oeverbescherming heeft op het erosievolume per 100 m eveneens een beperkte invloed.



Figuur 3-7: Erosievolume per 100 m voor locaties tussen rkm 70 en rkm 230, 125 m³/s – 1,0 m



Figuur 3-8: Erosievolume per 100 m voor locaties tussen rkm 70 en rkm 230, 125 m³/s – 0,3 m

Van de WAQBANK resultaten zijn shapefiles gemaakt voor verdere verwerking. Er is een shapefile voor ontstening tot het niveau van 1,0 m onder de verhanglijn bij 125 m³/s en één bij ontstening tot een niveau van 0,3 m onder de verhanglijn van 125 m³/s. De shapefiles bevatten de oeverlijnen, de interventielijnen en de door WAQBANK berekende erosies na 1 jaar en bij evenwicht. Bijlage C en D geven een indruk van de erosie onder evenwichtsomstandigheden, de shapefiles zijn echter gedetailleerder, zie Figuur 3-9.



Figuur 3-9: Inhoud shapefiles met oevererosie en interventielijnen, $125 \text{ m}^3/\text{s} - 1,0 \text{ m}$

4 Conclusies

Op basis van de WAQBANK-resultaten valt te concluderen dat, zie Tabel 3-1 en Tabel 3-2 en Bijlage B:

- Bij het beoordelen van de uitvoer van WAQBANK blijkt dat het verwijderen van de oeverbescherming niet over het hele traject tot oevererosie leidt. Het betreft met name de locaties Schelkensberg, Ubroek, Venlo-Velden, Bergen en Gewande, zie Tabel 3-1 de kolom met het geschatte % waar wel erosie optreedt. Waar geen erosie optreedt kan de oeverbescherming dan worden verwijderd.
- Uit Tabel 3-1 is af te leiden dat de oevererosie na 1 jaar niet afhankelijk is van de hoogte waarover de oeverbescherming wordt verwijderd.
- Het tot een hoger niveau handhaven van de bestaande oeverbescherming leidt op een beperkt aantal locaties tot minder oevererosie in de evenwichtssituatie. Het betreft onder meer de locaties Oolergreend, Schelkensberg, Bergen Vortumsche Bergen, De Lijmen en de oude ontzandingsplas Greffeling, waar de oevererosie 10% a 15% afneemt als de oeverbescherming tot op een hoger niveau gehandhaafd blijft. Omdat het verschil tussen relatief klein is, zijn er vanuit de oevererosie geen zwaarwegende argumenten om de oeverbescherming tot een zo hoog mogelijk niveau te laten liggen. Wellicht dat er wel zwaarwegende argumenten zijn aan te voeren vanuit manoeuvreerbaarheid van schepen en of aanzanding in het zomerbed, effecten waar WAQBANK geen rekening mee houdt.
- Uit een rangschikking van locaties op basis van de gemiddelde erosie, zie Bijlage B Tabel 5-1, zijn locaties aan te wijzen waar verhoudingsgewijs minder erosie zal optreden en locaties waar verhoudingsgewijs meer erosie is te verwachten. Bij Venlo-Velden en Ubroek (locaties 5 en 6) zijn de erosie afstanden klein, terwijl de erosieafstanden bij de locaties Greffeling en Oolergreend (locaties 18 en 1) relatief groot zijn.
- Uit een rangschikking van locaties met meer of minder erosievolume in de evenwichtssituatie, zie Bijlage B Tabel 5-2, is aan te geven welke locaties meer of minder sediment toevoeren naar het zomerbed. Voor Ossekamp en Bergen is de totale toevoer van sediment uit de oever naar het zomerbed het kleinst, terwijl bij de oude ontzanding Greffeling en Oolergreend de toevoer per 100 m oever het grootst is. WAQBANK geeft echter geen informatie over het tempo, waarmee de oevererosie plaatsvindt. Het kan dus zijn dat er tot aan de evenwichtssituatie veel sediment in het zomerbed terecht komt, maar dat het tempo waarin dit gebeurt heel traag is, afhankelijk van de samenstelling van het bodemmateriaal. Uit een rangschikking van locaties met meer of minder erosievolume na 1 jaar, zie Bijlage B Tabel 5-3, is af te leiden op welke locaties het erosieproces relatief traag of snel zal verlopen. In het eerste jaar komt er bij Bergen en Venlo-Velden per 100 m oever relatief weinig materiaal uit de oever, terwijl bij Hedikhuizen en Weerdbeemden naar verhouding in het eerste jaar veel sediment uit de oever komt.

De resultaten van de WAQBANK-berekeningen leiden tot de volgende aanbevelingen:

- Op locaties, waarvoor WAQBANK aangeeft dat er geen erosie is te verwachten, kan de oeverbescherming tot het niveau van de verhanglijn bij 125 m³/s -1,0 m worden verwijderd.

- Gebruik het geschatte erosievolume per 100 m oever voor het eerste jaar om locaties te selecteren waar de snelheid van erosie relatief gering is.
- Het sediment dat uit de oevers in het zomerbed terecht komt, leidt lokaal tot aanzanding van het zomerbed, waardoor hinder kan ontstaan voor de scheepvaart. Door de aanzanding nemen de maatgevende waterstanden in beginsel toe, dat door de profielverruiming deels of geheel wordt gecompenseerd. Het is op voorhand niet aan te geven of hierdoor de MHW-standen al dan niet toenemen. Een controle is wenselijk.

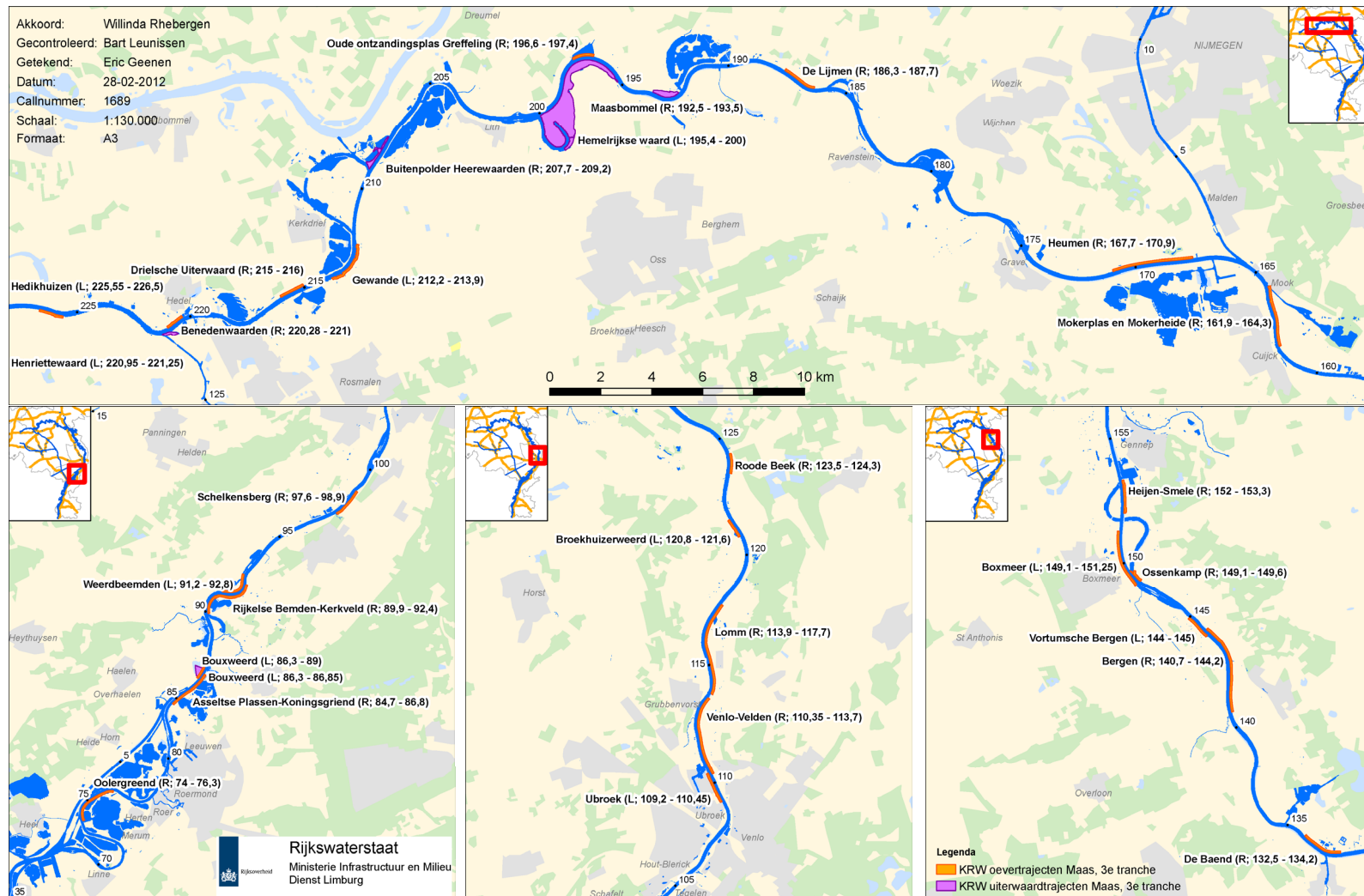
5 Referenties

Sligte, R.A.M. van der en A. Spruyt (2012): WAQBANK, user manual, Rapport 1205961-007, Deltares.

Dienst Verkeer en Scheepvaart (2009): Scheepvaartinformatie Hoofdvaarwegennet, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat.

Bijlagen

Bijlage A: Overzichtskaart



Bijlage B: Erosie gerangschikt naar grootte

			gemiddelde afstand [m]				geerodeerd traject [%]	max afstand [m]				
			na een jaar		in evenwicht situatie			na een jaar		in evenwicht situatie		
			van	tot	Optie 1	Optie 2		Optie 1	Optie 2	Optie 1	Optie 2	
1 Venlo-Velden	R	110.35	113.6	0.07	0.07	14.58	14.58	80%	0.19	0.19	19.71	19.71
2 Ubroek	L	109.2	110.5	0.10	0.10	14.67	14.67	67%	0.17	0.17	15.57	15.57
3 Rijkelse Bemden-Kerkveld	R	89.9	92.4	0.34	0.34	14.85	14.80	99%	0.62	0.62	17.72	16.95
4 Heumen	R	167.7	170.9	0.78	0.78	15.10	14.10	100%	1.78	1.78	16.29	14.77
5 Mokerplas en Mokerheide	R	161.9	164.3	0.15	0.15	15.67	15.26	100%	0.23	0.23	17.73	16.66
6 Benedenw aarden	R	220.28	221	0.25	0.25	16.22	16.22	100%	0.43	0.43	16.68	16.68
7 Ossenkamp	R	149.1	149.6	0.70	0.70	16.29	16.29	100%	1.47	1.47	16.76	16.76
8 Bergen	R	140.7	144.2	0.11	0.11	16.41	14.23	61%	0.21	0.21	20.98	18.60
9 Roode Beek	R	123.5	124.3	0.07	0.07	16.63	16.63	100%	0.09	0.09	16.91	16.91
10 De Baend	R	132.5	134.2	0.14	0.14	16.74	16.57	100%	0.24	0.24	18.30	17.64
11 Hedikhuizen	L	225.55	226.5	0.94	0.94	16.77	16.77	100%	1.50	1.50	17.35	17.35
12 Schelkensberg	R	97.6	98.9	0.26	0.26	16.89	14.56	73%	0.37	0.37	17.51	15.14
13 Drielsche Uiterw aard	R	215	216	0.93	0.93	16.89	16.89	100%	1.89	1.89	17.22	17.22
14 Gew ande	L	212.2	213.9	0.38	0.38	17.09	17.09	51%	1.40	1.40	17.88	17.88
15 Weerdbeemden	L	91.2	92.8	1.20	1.20	17.18	16.76	100%	2.18	2.18	18.02	17.33
16 Heijen-Smele	R	152	153.3	0.75	0.75	17.52	17.52	100%	1.84	1.84	18.41	18.41
17 Vortumsche Bergen	L	144.0	145.0	0.24	0.24	17.57	14.98	100%	0.32	0.32	18.58	15.54
18 Broekhuizerw eerd	L	120.8	121.6	0.13	0.13	17.62	17.62	100%	0.26	0.26	18.28	18.28
19 De Lijmen	R	186.3	187.5	0.68	0.68	17.82	16.54	100%	2.72	2.72	18.54	17.02
20 Boxmeer	L	149.1	151.3	0.25	0.25	18.05	18.02	100%	0.65	0.65	28.57	26.26
21 Oude ontzandingsplas Greffeling	R	196.6	197.4	0.92	0.92	18.38	15.52	100%	1.46	1.44	18.71	15.67
22 Oolergreend	R	74.1	76.3	0.58	0.58	20.40	17.43	99%	3.38	3.38	24.22	20.45

Tabel 5-1: Met WAQBANK berekende erosie, gerangschikt naar grootte van de gemiddelde afstand voor ontstening tot de verhanglijn bij 125 m³/s – 1,0 m

			Erosievolumen [m ³]				Volume [m ³]/[100 m]		Volume [m ³]/[100 m]	
			Optie 1		Optie 2		Optie 1	Optie 2	Optie 1	Optie 2
			na een jaar	in evenwicht situatie	na een jaar	in evenwicht situatie	na 1 jaar	na 1 jaar	evenwicht	evenwicht
		van tot								
1 Ossenkamp	R	149.1 149.6	273	6,784	239	6,784	55	48	1357	1357
2 Bergen	R	140.7 144.2	257	51,948	210	43,484	7	6	1484	1242
3 Ubroek	L	109.2 110.5	139	23,290	129	23,290	11	10	1863	1863
4 Venlo-Velden	R	110.35 113.6	276	61,582	254	61,582	9	8	1924	1924
5 Heumen	R	167.7 170.9	2,901	68,645	2,260	63,120	91	71	2145	1973
6 Schelkensberg	R	97.6 98.9	413	30,100	334	25,216	32	26	2315	1940
7 De Baend	R	132.5 134.2	323	44,478	269	43,939	19	16	2616	2585
8 Gew ande	L	212.2 213.9	894	45,943	866	45,943	53	51	2703	2703
9 Mokerplas en Mokerheide	R	161.9 164.3	560	69,957	510	67,872	23	21	2915	2828
10 Rijkelse Bemden-Kerkveld	R	89.9 92.4	1,738	77,715	1,538	77,347	70	62	3109	3094
11 Roode Beek	R	123.5 124.3	86	25,600	85	25,600	11	11	3200	3200
12 De Lijmen	R	186.3 187.5	1,246	38,643	979	35,289	104	82	3220	2941
13 Vortumsche Bergen	L	144.0 145.0	373	33,911	317	27,988	37	32	3391	2799
14 Drielsche Uiterw aard	R	215 216	1,709	34,059	1,479	34,059	171	148	3406	3406
15 Weerdbeemden	L	91.2 92.8	3,564	55,163	2,971	53,550	223	186	3448	3347
16 Broekhuizerw eerd	L	120.8 121.6	165	27,955	158	27,955	21	20	3494	3494
17 Benedenw aarden	R	220.28 221	369	26,366	351	26,366	51	49	3662	3662
18 Boxmeer	L	149.1 151.3	928	78,793	814	78,601	43	38	3665	3656
19 Heijen-Smele	R	152 153.3	1,890	51,580	1,561	51,580	145	120	3968	3968
20 Hedikhuizen	L	225.55 226.5	1,968	37,932	1,774	37,932	207	187	3993	3993
21 Oude ontzandingsplas Greffeling	R	196.6 197.4	1,350	32,914	1,160	26,891	169	145	4114	3361
22 Oolergreend	R	74.1 76.3	2,030	95,410	1,543	79,152	92	70	4337	3598

Tabel 5-2: Erosievolumes, gerangschikt naar grootte per 100 m lengte in evenwichtssituatie voor ontstening tot de verhanglijn bij 125 m³/s – 1,0 m

			Erosievolume [m³]				Volume [m³]/[100 m]		Volume [m³]/[100 m]		
			Optie 1		Optie 2		Optie 1	Optie 2	Optie 1	Optie 2	
			na een jaar	in evenwicht situatie	na een jaar	in evenwicht situatie	na 1 jaar	na 1 jaar	evenwicht	evenwicht	
		van	tot								
1 Bergen	R	140.7	144.2	257	51,948	210	43,484	7	6	1484	1242
2 Venlo-Velden	R	110.35	113.6	276	61,582	254	61,582	9	8	1924	1924
3 Roode Beek	R	123.5	124.3	86	25,600	85	25,600	11	11	3200	3200
4 Ubroek	L	109.2	110.5	139	23,290	129	23,290	11	10	1863	1863
5 De Baend	R	132.5	134.2	323	44,478	269	43,939	19	16	2616	2585
6 Broekhuizerwaard	L	120.8	121.6	165	27,955	158	27,955	21	20	3494	3494
7 Mokerplas en Mokerheide	R	161.9	164.3	560	69,957	510	67,872	23	21	2915	2828
8 Schelkensberg	R	97.6	98.9	413	30,100	334	25,216	32	26	2315	1940
9 Vortumsche Bergen	L	144.0	145.0	373	33,911	317	27,988	37	32	3391	2799
10 Boxmeer	L	149.1	151.3	928	78,793	814	78,601	43	38	3665	3656
11 Benedenw aarden	R	220.28	221	369	26,366	351	26,366	51	49	3662	3662
12 Gewande	L	212.2	213.9	894	45,943	866	45,943	53	51	2703	2703
13 Ossenkamp	R	149.1	149.6	273	6,784	239	6,784	55	48	1357	1357
14 Rijkelse Bemden-Kerkveld	R	89.9	92.4	1,738	77,715	1,538	77,347	70	62	3109	3094
15 Heumen	R	167.7	170.9	2,901	68,645	2,260	63,120	91	71	2145	1973
1 Oolergreend	R	74.1	76.3	2,030	95,410	1,543	79,152	92	70	4337	3598
2 De Lijmen	R	186.3	187.5	1,246	38,643	979	35,289	104	82	3220	2941
3 Heijen-Smele	R	152	153.3	1,890	51,580	1,561	51,580	145	120	3968	3968
4 Oude ontzandingsplas Greffeling	R	196.6	197.4	1,350	32,914	1,160	26,891	169	145	4114	3361
5 Drielsche Uiterwaard	R	215	216	1,709	34,059	1,479	34,059	171	148	3406	3406
6 Hedikhuizen	L	225.55	226.5	1,968	37,932	1,774	37,932	207	187	3993	3993
7 Weerdbeemden	L	91.2	92.8	3,564	55,163	2,971	53,550	223	186	3448	3347

Tabel 5-3: Erosievolumes, gerangschikt naar grootte per 100 m lengte na 1 jaar voor ontstening tot de verhanglijn bij 125 m³/s – 1,0 m

**Bijlage C: Erosie door verwijdering van
oeverbescherming tot het niveau van
de verhanglijn bij een afvoer van
125 m³/s – 1,0 m**

**Bijlage D: Erosie door verwijdering van
oeverbescherming tot het niveau van
de verhanglijn bij een afvoer van
125 m³/s – 0,3 m**