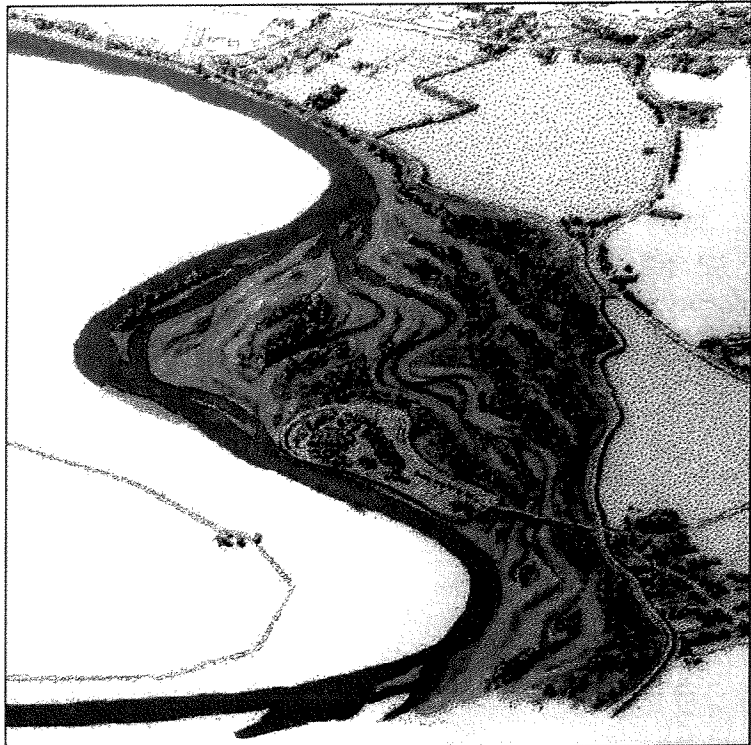
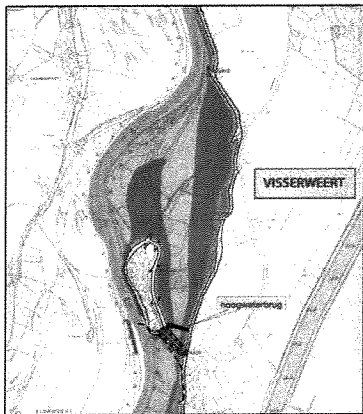
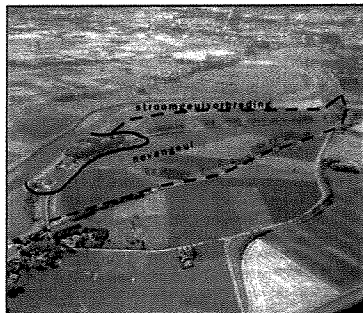


GRENSMAASPROJECT: VEILIGHEID, NATUURONTWIKKELING EN DELFSTOFFEN



AFSTUDEERVERSLAG

G.R. Spaargaren
TU Delft, april 2002

GRENSMAASPROJECT: VEILIGHEID, NATUURONTWIKKELING EN DELFSTOFFEN

AFSTUDEERVERSLAG

Afstudeercommissie:
Prof.dr.ir. M.J.F. Stive
Ir. J. Olthof
Ir. H. Havinga
Prof.dr.ir. H.A.J. de Ridder

Student:
G.R. Spaargaren
Studienummer: c9788201

VOORWOORD

Dit onderzoek is uitgevoerd als afstudeerproject bij de sectie Waterbouwkunde van de Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de Technische Universiteit Delft. Het onderzoek is gericht op de mogelijkheden van construeren met grind in plaats van traditioneler materiaal breuksteen of beton. De constructies betreffen een overlaat en bochtbescherming ter plaatse van Visserweert. Locatie Visserweert is 1 van de 12 projectlocaties in het Grensmaasgebied. De uitvoering van het onderzoek is gedaan aan de Technische Universiteit Delft.

In maart 2001 is het onderzoek van start gegaan. Allereerst is literatuuronderzoek gedaan waarna een periode van ontwerpen volgde. Vanaf december 2001 is vooral aan het rapport gewerkt.

Mijn dank gaat uit naar iedereen die mij van dienst is geweest bij het afstuderen. Op de eerste plaats mijn afstudeercommissie. Ten tweede de mensen die mij geholpen hebben vanuit de projectorganisatie "De Maaswerken", in Maastricht, voor het beschikbaar stellen van de benodigde informatie. Daarnaast gaat mijn dank uit naar de mensen van Boskalis Westminster NV voor het kunnen uitwerken van diverse informatie onderdelen. Voor het begeleiden van het onderdeel kosten- batenanalyse gaat mijn dank uit naar alle geënquêteerden die meegewerkt hebben en ir. T. H. W. Horstmeier voor de uitwerking van de analyse.

Gerben Spaargaren
Den Haag, april 2002

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	III
INHOUDSOPGAVE	IV
SAMENVATTING	VII
LIJST VAN SYMBOLEN	VIII
LITERATUURLIJST	IX

1. INLEIDING

1.1. ALGEMEEN	1-1
1.2. PROBLEEMOMSCHRIJVING	1-1
1.3. DOELSTELLING	1-2
1.4. OPBOUW VAN HET RAPPORT	1-2

2. De (GRENS-) MAAS; TOEN, NU EN LATER

2.1. DE MAAS	2-1
2.1.1 MENS EN MAAS	2-3
2.1.2. FUNCTIES VAN DE RIVIER	2-5
2.2. DE GRENSMAAS	2-6
2.3. PLAN GRENSMAAS	2-7
2.4. VISSERWEERT	2-10
2.4.1. MAATREGELEN	2-10
2.4.2. TOEKOMSTBEELD	2-11

3. RANDVOORWAARDEN

3.1. Ontwerpomstandigheden	3-1
3.1.1. Simulaties	3-1
3.1.2. Visualisering	3-1
3.2. Uitgangspunten voor het ontwerptraject	3-4
3.3. Grondgegevens	3-4
3.3.1. Huidige verdeling en hoeveelheden	3-5
3.3.2. Verdeling gezeefd grind	3-6
3.3.3. D_{50}/D_{n50}	3-7

4. CONCEPTUEEL ONTWERP

4.1. TRADITIONELE ONTWERPMETHODE	4-1
4.1.1. 'NO MOVEMENT' EN 'LIMITED MOVEMENT' ONTWERP	4-1
4.2. 'KRITIEKE TRANSPORT' ONTWERPMETHODE	4-1
4.3. KRACHTENSPEL OP INDIVIDUELE STEEN	4-2
4.4. STABILITEIT VAN GRANULAIRE BODEMVERDEDIGINGEN	4-3
4.4.1. BEGIN VAN BEWEGEN	4-3
4.4.2. SHIELDSCURVE	4-3
4.4.3. CRITERIA VOOR BEGIN VAN BEWEGEN	4-5
4.4.4. BESTAANDE BODEMTRANSPORTFORMULES	4-6
4.4.5. DE TE GEBRUIKEN TRANSPORTFORMULES	4-9

5. DIMENSIONERING ONTWERP

5.1. OVERLAAT, LOCATIE 1	5-1
5.1.1. STEENGROOTTE LOCATIE 1	5-2
5.1.2. FILTERCONSTRUCTIE LOCATIE 1	5-5
5.1.3. HOEVEELHEID STENEN LOCATIE 1	5-7
5.2. LINKSBOVEN VISSERWEERT, LOCATIE 2	5-8
5.2.1. STEENGROOTTE LOCATIE 2	5-8
5.2.2. FILTERCONSTRUCTIE LOCATIE 2	5-10
5.2.3. HOEVEELHEID STENENLOCATIE 2	5-11
5.3. TOTALE HOEVEELHEID STENEN	5-11
5.4. BEREKENING VOOR GRIND OF BREUKSTEEN	5-12

6. KOSTEN- BATENANALYSE

6.1. OPZET WAARDE OORDEEL	6-2
6.1.1. BEOORDELING VAN MATERIAAL ASPECTEN	6-3
6.1.2. VERGELIJKING MATERIALEN EN DE ASPECTEN	6-4
6.2. UITWERKING WAARDEOORDEEL	6-6
6.3. KOSTEN VAN DE VARIANTEN	6-10
6.3.1. KOSTEN MATERIALEN	6-10
6.3.2. HOEVEELHEID MATERIALEN	6-11
6.3.3. KOSTEN VARIANTEN	6-12
6.4. KOSTEN $\leftrightarrow$ WAARDEN	6-12
6.5. GEVOELIGHEID RESULTATEN	6-14

7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1. CONCLUSIES	7-1
7.2. AANBEVELINGEN	7-2

BIJLAGEN

BIJLAGEN HOOFDSTUK 3

<i>Bijlage 3.1.: Gedeelte van gegevensuitdraai Waqua</i>	<i>B3-1</i>
<i>Bijlage 3.2.: Simulatietekeningen</i>	<i>B3-2</i>
<i>Bijlage 3.3.: Grondgegevens</i>	<i>B3-3</i>

BIJLAGEN HOOFDSTUK 5

<i>Bijlage 5.1.: Verschillende berekeningen</i>	<i>B5-1</i>
---	-------------

BIJLAGEN HOOFDSTUK 6

<i>Bijlage 6.1.: Willekeurig ingevulde tweede gedeelte enquête</i>	<i>B6-1</i>
<i>Bijlage 6.2.: Uitwerking eerste gedeelte enquête</i>	<i>B6-2</i>
<i>Bijlage 6.3.: Scores per categorie voor tweede gedeelte enquête</i>	<i>B6-3</i>
<i>Bijlage 6.4.: Genormeerde scores</i>	<i>B6-4</i>

SAMENVATTING

Sinds begin jaren negentig wordt gewerkt aan plannen voor het Grensmaasgebied. Het Grensmaasgebied wordt gevormd door een gedeelte van de rivier de Maas, namelijk vanaf Maastricht tot aan Maaseik. Eén van de maatregelen die voortkomt uit de Grensmaasplannen is rivierverruiming. Bij deze verruimingswerken komen grote hoeveelheden delfstoffen vrij, die voornamelijk bestaan uit zand en grind. De korrel diameter van het grind loopt uiteen van 30 mm tot wel 600 mm. Op 12 locaties in het Grensmaasgebied worden diverse constructies aangelegd, waaronder overlaten en bochtbeschermingen. Traditioneel worden deze constructies uitgevoerd in breuksteen of beton. Wellicht is het mogelijk, zowel technisch als economisch, om de constructies uit te voeren in grof grind in plaats van in de traditionele materialen.

Bij projectlocatie Visserweert dient er, voor de gegraven nevengeul, een overlaatconstructie te worden aangelegd. Op deze manier kan voorkomen worden dat in de toekomst de nevengeul hoofdgeul gaat worden. Bochtbescherming is nodig om ervoor te zorgen dat de rivierloop vast blijft liggen tegen Visserweert aan.

Voor het bepalen van de steendiameter, vereist voor de geplande constructies, wordt onder andere gebruik gemaakt van de parameters voor mobiliteit en transport. De mobiliteitsparameter (Ψ) is een maat voor de hydraulische belasting en de sterkte eigenschappen van het bodemmateriaal. De transportparameter, q_{s*} , is een maat voor de hoeveelheid transport van bodemmateriaal. De transportformule van Paintal, gecorrigeerd door het Waterloopkundig Laboratorium, is tot op heden de meest geschikte voor grind. Het blijft echter moeilijk om het transport te bepalen bij lagere mobiliteitsparameters, omdat bij die waarden de huidige transportformules vooral betrekking hebben op breuksteen.

Uit computersimulaties kon niet met zekerheid worden vastgesteld dat bij de ontwerp-overstromingsfrequentie van 1:250 jaar de maatgevende omstandigheden optreden. De omstandigheden die gebruikt zijn voor het ontwerp komen voort uit de overstromingsfrequentie van 1:50 jaar. Voor de overlaatconstructie is, bij de overstromingsfrequentie van 1:50 jaar, grind nodig met een d_{50} van 0,08 m. De vereiste steengrootte van het grind voor de bochtbeschermingsconstructie heeft een d_{50} van 0,10 m.

Op basis van kosten is de constructie uitgevoerd in breuksteen het goedkoopst. Ten opzichte van breuksteen zijn grind en beton 8% respectievelijk 24% duurder. Verschillende groepen uit de samenleving, te weten beleidsmakers, gebruikers en natuurbeheerders, beoordelen grind als het meest geschikte uitvoeringsmateriaal voor de overlaatconstructie. Deze beoordeling is gebaseerd op de maatschappelijke waarde van het uitvoeringsmateriaal gecombineerd met de kosten van het materiaal. Ten opzichte van het meest geschikt bevonden uitvoeringsmateriaal grind kost de uitvoering in breuksteen 60% meer en is de prijs van de betonvariant 106% hoger.

Maatschappelijk gezien wordt grind als beste oplossing gevonden, ook al is deze optie duurder. Uiteindelijk zal de keuze voor het uitvoeringsmateriaal afhangen van overleg tussen de verschillende belangengroepen.

LIJST VAN SYMBOLEN

Symbool:	Betekenis:	Dimensie:
C	: Chézy coëfficiënt	$[m^{1/2}/s]$
D	: Breedte van de steen (minimale afstand tussen twee parallel lopende lijnen waartussen de steen nog net kan passeren)	$[m]$
d	: Korreldiameter	$[m]$
d₅₀	: Zeefdiameter (diameter van de steen die de 50% waarde van de zeefkromme overschrijdt)	$[m]$
d_n	: Nominale diameter	$[m]$
Δ	: Relatieve dichtheid van het bodemmateriaal onder water	$[-]$
F_d	: Sleepkracht op een steen	$[N]$
F_l	: Liftkracht op een steen	$[N]$
F_r	: Resulterende hydraulische kracht op een steen	$[N]$
F_s	: Schuifkracht op een steen	$[N]$
φ	: Dimensieloze transportparameter, ook wel aangeduid met q_{s*}	$[-]$
g	: Versnelling van de zwaartekracht	$[m/s^2]$
h	: Waterdiepte	$[m]$
i_i	: Verhang van de bodem	$[-]$
i_w	: Weerstandsverhang	$[-]$
φ	: Hoek van natuurlijk talud van granulair materiaal	$[^{\circ}]$
k	: Hydraulische bodemruwheid	$[m]$
κ	: Von Karman's coefficient	$[-]$
L	: Lengte van de steen (grootste afstand tussen twee punten op een steen)	$[m]$
M	: Massa van de steen	$[kg]$
Q	: Debiet	$[m^3/s]$
q_s	: Hoeveelheid transport van stenen	$[m^2/s]$
q_{s,cr}	: Kritieke transport van stenen	$[m^2/s]$
q_{s*}	: Dimensieloze transportparameter, ook wel aangeduid met $φ$	$[-]$
R	: Hydraulische straal	$[m]$
Re	: Reynolds-getal	$[-]$
ρ_s	: Massadichtheid van het bodemmateriaal	$[kg/m^3]$
ρ_w	: Massadichtheid van water	$[kg/m^3]$
τ_b	: Bodemschuifspanning	$[N/m^2]$
u	: Stroomsnelheid	$[m/s]$
ū	: Tijdgemiddelde stroomsnelheid over de verticaal in de x-richting	$[m/s]$
u_{max}	: Maximale snelheid van een verticaal snelheidprofiel	$[m/s]$
u*	: Schuifspanningsnelheid	$[m/s]$
W	: Gewicht van de steen	$[N]$
ν	: Kinematische viscositeit	$[m^2/s]$
Ψ	: Mobiliteitsparameter	$[-]$
Ψ_{cr}	: Shieldsparameter, kritieke mobiliteitsparameter	$[-]$

LITERATUURLIJST

- Boer, G.M. de 'Transport van stenen van een granulaire bodemverdeling', Augustus 1998, Afstudeerverslag
- Bloemberg, G. 'Stroomlijnen van zomerkaden', September 2001, Afstudeerverslag
- Booij, R. 'Turbulentie in de waterloopkunde', 1992, Collegedictaat B82, Civil Engineering, Delft University of Technology
- Boutovski, A. 'Stabiliteit van gestorte steen', Februari 1998, Afstudeerverslag
- Buffington, J.M. 'The legend of A.F. Shields', 1999, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 125, No. 4, Page 376-387
- Buffington, J.M. & Montgomery, D.R. 'A systematic analysis of eight decades of incipient motion studies, with special reference to gravel-bedded rivers', 1997, Water resources research, Vol. 33, No. 8
- CUR CUR 192, Breuksteen in de praktijk, deel 1
- Einstein, H.A. 'Formulas for the transportation of bedload', 1942, Trans ASCE, Vol. 127, Page 561-573
- Einstein, H.A. 'Hydrodynamic forces on a rough wall', July 1949, Review of modern physics, Vol. 21, Page 1-67
- Einstein, H.A. & Barbarossa, N.L. 'River channel roughness', Proc. ASCE 77. Separate No. 78, Trans. ASCE 117; Page 1121-1146
- Forschelen, P. 'Transport van granulair bodemmateriaal', December 1999, Afstudeerverslag
- Hey, R.D. 'Flow resistance in gravel-bed rivers', Proc. ASCE 105(HY4); Page 365-379
- Jansen et al 'Principles of River Engineering', 1979, Pitman, Londen, 509 pp.
- Kennedy, J.F. 'The Albert Shields story', 1995, Journal of Hydraulic engineering, Vol. 121, No. 11, Page 766-772
- Lammers, J.C. 'Shields in de praktijk', Maart 1997, Afstudeerverslag
- Lavalle, J.W. & Mofjeld, H.O. 'Do critical stresses for incipient motion and erosion really exist?', 1987, Journal of Hydraulic Engineering, No. 3, Page 370-385
- De Maaswerken MER Grensmaas

- Paintal, A.P. 'The probabilistic characteristics of bed load transport in alluvial channels', 1969, University of Minnesota, Ph.D., Engineering, Hydraulic
- Paintal, A.P. 'Concept of critical shear stress in loose boundary open channels; 1971, Journal of Hydraulic Research, Vol . 9 (1), Page 91-113
- Rijn, L.C. van 'Sediment transport, Part I: Bed load transport', 1984, Journal of Hydraulic Engineering, No. 10, Page 1431-1455
- Schiereck, G.J. 'Introduction to bed, bank and shore protection', January 2000, Collegedictaat Wa4310, Civil Engineering, Delft University of Technology
- Shields, A. 'Anwendung der Aehnlichkeitsmechanik unter turbulenzforschung auf die Geschibebewegung', 1936, Mitt. Preuss. Versuchsansst. Wasserbau und Schiffbau
- Ven Te Chow 'Open channel hydraulics', 1959, McGraw-Hill Book company
- Vriend, H.J. de 'Riverwaterbouwkunde', 1997, Collegedictaat WA 3340, Civil Engineering, University of Technology Delft
- Waterloopkundig Laboratorium 'Begin van beweging van bodemmateriaal', 1971, rapport S159-I
- Waterloopkundig Laboratorium 'Begin van beweging van bodemmateriaal', 1976, rapport S159-II
- Waterloopkundig Laboratorium 'Low-mobility transport of Coarse-grained material', October 1998, Q2395.40
- Yalin, M.S. 'River Mechanics', 1992, Pergamon press

1. INLEIDING

1.1. ALGEMEEN

Al enige jaren wordt gezocht naar een passende oplossing voor een combinatie tussen grindwinning en natuurontwikkeling in het Maasgebied aan de ene kant en het hoogwaterprobleem op de rivier de Maas aan de andere kant. Door onderzoek naar onder andere de hoogwaterstanden in 1993 en 1995 door de commissie Boertien, is het één en ander in een stroomversnelling gekomen. Een onderdeel van de Maas, de zogenaamde Grensmaas, heeft in de gehele beschouwing een aparte plaats gekregen. De Grensmaas begint in België en eindigt in Limburg. Voor dit onderdeel van de rivier zijn de zogenaamde Grensmaasplannen gemaakt. Het belangrijkste onderdeel van dit plan is de verantwoorde verruiming van de rivier, zodat het water meer ruimte krijgt. Deze ruimte wordt voornamelijk verkregen door weerdverlaging en stroomgeulverbreding. Het traject voor het Nederlandse deel van de geplande rivierverruiming loopt van Maastricht tot voorbij Maaseik. Dit traject is opgedeeld in 12 locaties. Eén van die locaties is het gebied rondom het plaatsje Visserweert. Hier wil men, onder andere voor een betere hoogwaterbeheersing, een nevengeul creëren tussen Visserweert en Illikhoven. Tevens zal de hoofdgeul verbreed worden en een gedeelte van de uiterwaarden worden uitgediept. Bij al deze maatregelen denkt men niet alleen aan hoogwaterbeheersing maar ook aan natuurontwikkeling. Om de natuurontwikkeling te bevorderen wordt vóór de nevengeul een overlaat gemaakt waardoor de geul gedurende ongeveer 200 dagen per jaar voorzien zal worden van water, bij een afvoer van $200 \text{ m}^3/\text{s}$ of meer. Met de overlaat wordt tevens bewerkstelligd, dat de nevengeul geen hoofdgeul wordt.

Bij het verruimen van de rivier komen delfstoffen vrij bestaande uit:

- Dekgrond (klei, silt, zand, grind);
- Zandig grind.

De korreldiameters van het grind lopen uiteen van fijn tot zeer grof, tot wel 600 mm. Een groot gedeelte van het zandig grind wordt veredeld tot zand en grind producten. Het grove grind, $d > 100 \text{ mm}$, heeft niet een directe bestemming. Een gedeelte wordt onder andere verkocht aan tuincentra of gaat naar brekerinstallaties waar het gebroken wordt tot kleinere fracties.

1.2. PROBLEEMOMSCHRIJVING

Voor het maken van overlaat- en beschermingsconstructies wordt doorgaans breuksteen of beton gebruikt. Echter op deze locatie zijn relatief grote grindfracties aanwezig waarmee zulke constructies gemaakt zouden kunnen worden. Een probleem hierbij is alleen dat weinig informatie beschikbaar is over het maken van zulke constructies met relatief ronde stenen. Wel beschikt men over voldoende informatie over de werkwijze met relatief hoekige stenen. Voor te stellen is dat rondere stenen minder haakweerstand van elkaar ondervinden in een stortenbed dan hoekige stenen. Dit probleem zou verholpen kunnen worden door bijvoorbeeld zwaardere stenen te gebruiken. De methode van ontwerpen speelt hierbij een grote

rol. Bij de “traditionele methode” gaat men uit van totale stabiliteit. De constructie dient zijn functie te behouden en schade mag niet optreden; oftewel transport van stenen is niet toegestaan. Bij een methode waarbij gekeken wordt op basis van de “kritieke transport methode” mag wel degelijk schade optreden aan de constructie maar dient de constructie wel zijn functie te behouden. In dit geval zou gedacht kunnen worden aan reparaties die aan de constructie gedaan kunnen worden ten tijde van het niet gebruiken van de nevengeul bij een lagere waterstand. Voor wat betreft de beschermingsconstructies in de bochten van de rivier zou men zich kunnen voorstellen dat daar enig dynamisch gedrag mogelijk dan wel wenselijk is. Daar zou het optreden van enige schade aan de constructie wellicht geen probleem zijn. Echter bij de overlaat zou een situatie kunnen ontstaan dat aan de overlaat zoveel schade optreedt dat deze zijn functie verliest. Hier is schade dan ook minder te tolereren.

1.3. DOELSTELLING

Uit de probleemomschrijving komt voor dit afstudeerwerk de volgende hoofddoelstelling voort:

Optimaler gebruik van de rivier. Een win-win situatie creëren door enerzijds de rivier te verruimen en anderzijds de vrijkomende delfstoffen ter plekke te hergebruiken.

Bij deze doelstelling horen nog 2 subdoelstellingen:

- a) Kijken of het technisch mogelijk is om geplande constructies in de rivier of in de nevengeul te maken dan wel te beschermen, met delfstoffen uit de omgeving die vrijkomen bij de geplande verruimingswerkzaamheden;
- b) Door middel van een kosten- batenanalyse nagaan of het ontwerp economisch haalbaar is in vergelijking met de traditionele manier van bouwen met breuksteen of beton.

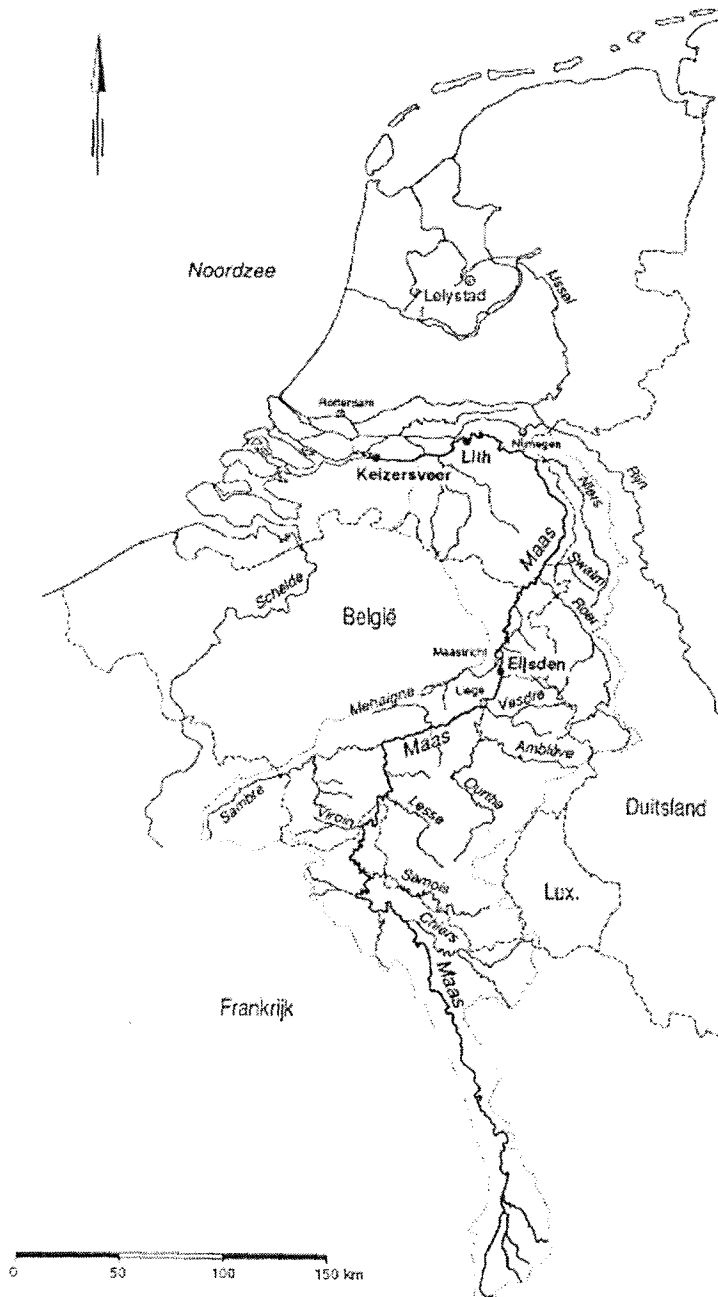
1.4. OPBOUW VAN HET RAPPORT

Na deze inleiding volgt in hoofdstuk 2 een beschrijving en inventarisatie van de rivier de Maas. Tevens wordt het Grensmaasgebied verder belicht en worden de plannen toegelicht. Tot slot van hoofdstuk 2 wordt de studieplaats, Visserweert, verder beschreven. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 aandacht besteed aan resultaten van vier simulaties uit het 2 D-model Waqua. Na analyse zullen uit deze vier simulaties de randvoorwaarden worden opgesteld van de diverse constructies. Het conceptuele ontwerp wordt in hoofdstuk 4 uitgewerkt. In hoofdstuk 5 volgt de toepassing van de gegevens op het ontwerp van de overlaatconstructie en de beschermingsconstructies in de vorm van het dimensioneren van het ontwerp. Hierna volgt in hoofdstuk 6 een kosten- batenanalyse van deze werkwijze. Deze wordt verder vergeleken met een traditionele uitvoeringsmethode in breuksteen of beton. Tot slot volgen in hoofdstuk 7 de conclusies en aanbevelingen.

2. DE (GRENS-) MAAS; TOEN, NU EN LATER

2.1. DE MAAS

De Maas is een regenrivier welke ontspringt in Frankrijk en door de Franse en Waalse Ardennen naar Nederland stroomt. De Chiers, Semois, Lesse, Sambre, Ourthe, Roer en de Niers zijn de belangrijkste zijrivieren, zie **Figuur 2.1.** Het steile verloop van de zijrivieren in de Ardennen zorgt ervoor dat de neerslag snel wordt afgevoerd naar de Maas. Binnen een halve dag is dit water in Nederland. Doordat de rivier in het Nederlandse deel van de Maas vrij breed is wanneer ze buiten haar oevers treedt en een kleiner verhang heeft, verloopt de afvoer hier trager.



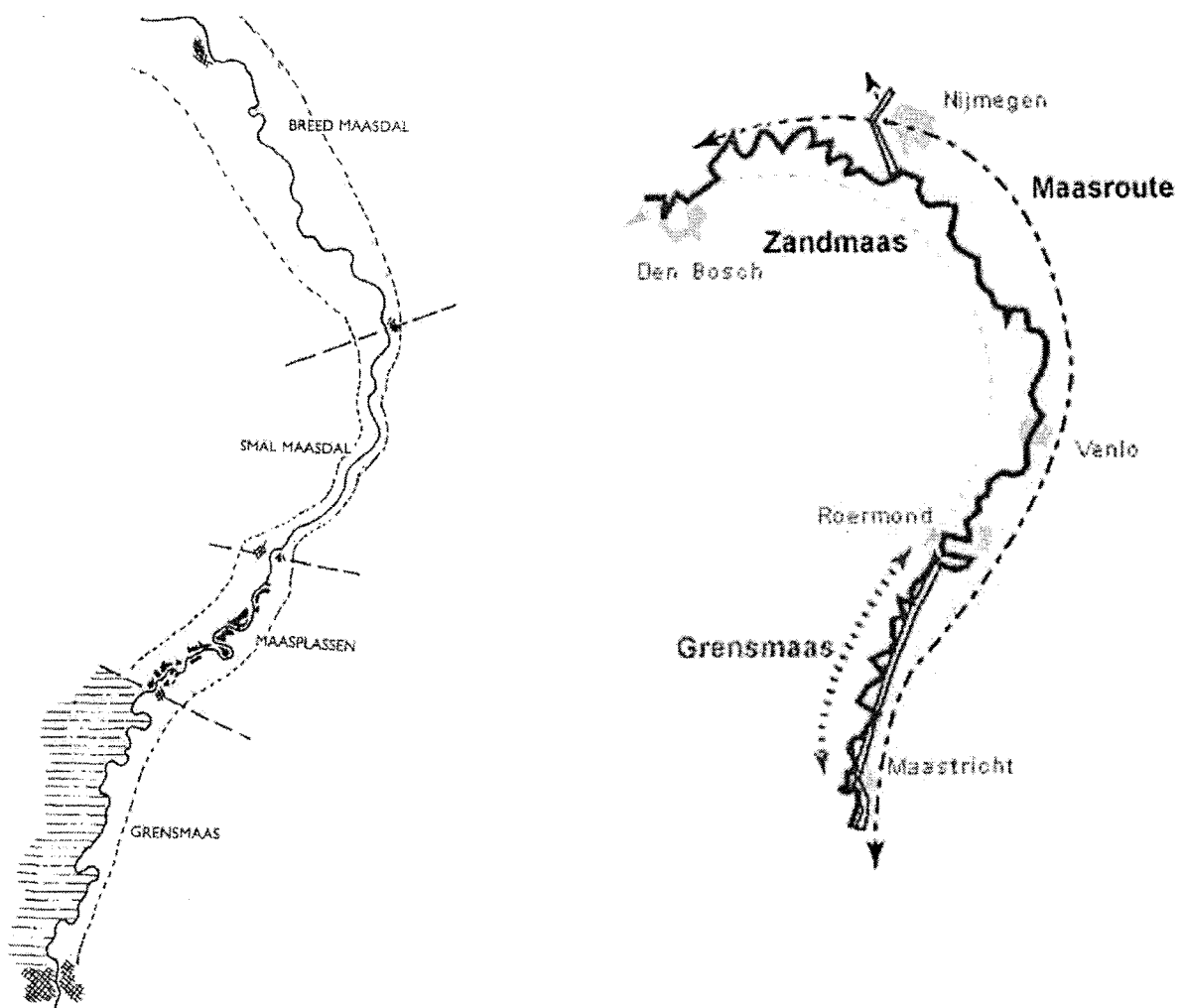
Figuur 2.1. Overzicht stroomgebied van de rivier de Maas.

De Limburgse Maas is een rivier zonder dijken. Het Maasdal laat een voor Nederland unieke situatie zien: een zich insnijdende rivier die geleidelijke grenzen kent tussen gebieden die vaak onderlopen en gebieden waar dat maar zo af en toe gebeurt. Dit in tegenstelling tot de bijvoorbeeld de Schelde, Waal, Rijn of IJssel, die door dijken en kribben zijn vastgelegd. Hierdoor is de grens juist scherp tussen hoge en lage overstromingsfrequentie. Bij deze rivieren ligt het rivierbed veelal betrekkelijk hoog ten opzichte van zijn omgeving en kunnen extreme hoogwaters in grote gebieden ernstige problemen opleveren. Omdat de Maas juist diep ligt ten opzichte van het omringende landschap, leveren extreme hoogwaters hier slechts in een relatief smalle zone problemen op; namelijk in het Maasdal zelf.

De Limburgse Maas kan op grond van rivierkundige en geomorfologische kenmerken onderverdeeld worden in 3 duidelijk verschillende trajecten, zie **Figuur 2.2.**:

1. Het Zuidelijke traject omvat de Grensmaas;
2. Het Middentraject bestaande uit de Maasplassen;
3. Het Noordelijke traject vormt het gestuwde Maasdal, bestaande uit het smal Maasdal en het breed Maasdal.

Onderdeel 2 en 3, de Maasplassen en het gestuwde Maasdal, vormen samen de Zandmaas.



Figuur 2.2. Trajectindelingen van de Maas.

Elk traject kent zijn eigen verhouding tussen gebieden die vaak of zelden overstroomden, heeft een eigen type landschap en mate van natuurlijkheid, en kent andere maatschappelijke programma's.

Grensmaas

De bijzondere plaats die de Maas inneemt is vooral te danken aan de Grensmaas: tussen Maastricht en Maasbracht kronkelt de rivier hier als een snelstromende, vrijwel onbevaarbare rivier over ondiepe grindbanken. Een dergelijke niet-gereguleerde middenloop-rivier is uniek in Europa.

Maasplassen

Ook het Maasplassengebied in de omgeving van Maasbracht en Roermond draagt bij aan het eigen karakter van de Maas. Hier bepalen vele kunstmatig in het winterbed van de Maas gegraven plassen, voor met name grondstoffen winning, het beeld. De plassen zijn sterk verschillend van grootte, vorm, ondergrond en waterstandsfluctuaties. De meeste plassen staan in open verbinding met de Maas.

Gestuwde Maas

Het traject benedenstrooms van Maasbracht is van stuwen voorzien en bevaarbaar. De afgesneden en soms gedempte meanderbogen en oude geulen vormen geen onderdeel meer van het permanent stromende zomerbed en het winterbed wordt weinig overstroomd.

2.1.1. MENS EN MAAS

Sinds mensenheugenis bestaat tussen de mens en het water een haat-liefde verhouding: enerzijds trekt de waterkant aan vanwege de vruchtbare gronden, visserij, recreatie en transportmogelijkheden, terwijl anderzijds het risico van overstroming nog steeds heel reëel blijkt te zijn.

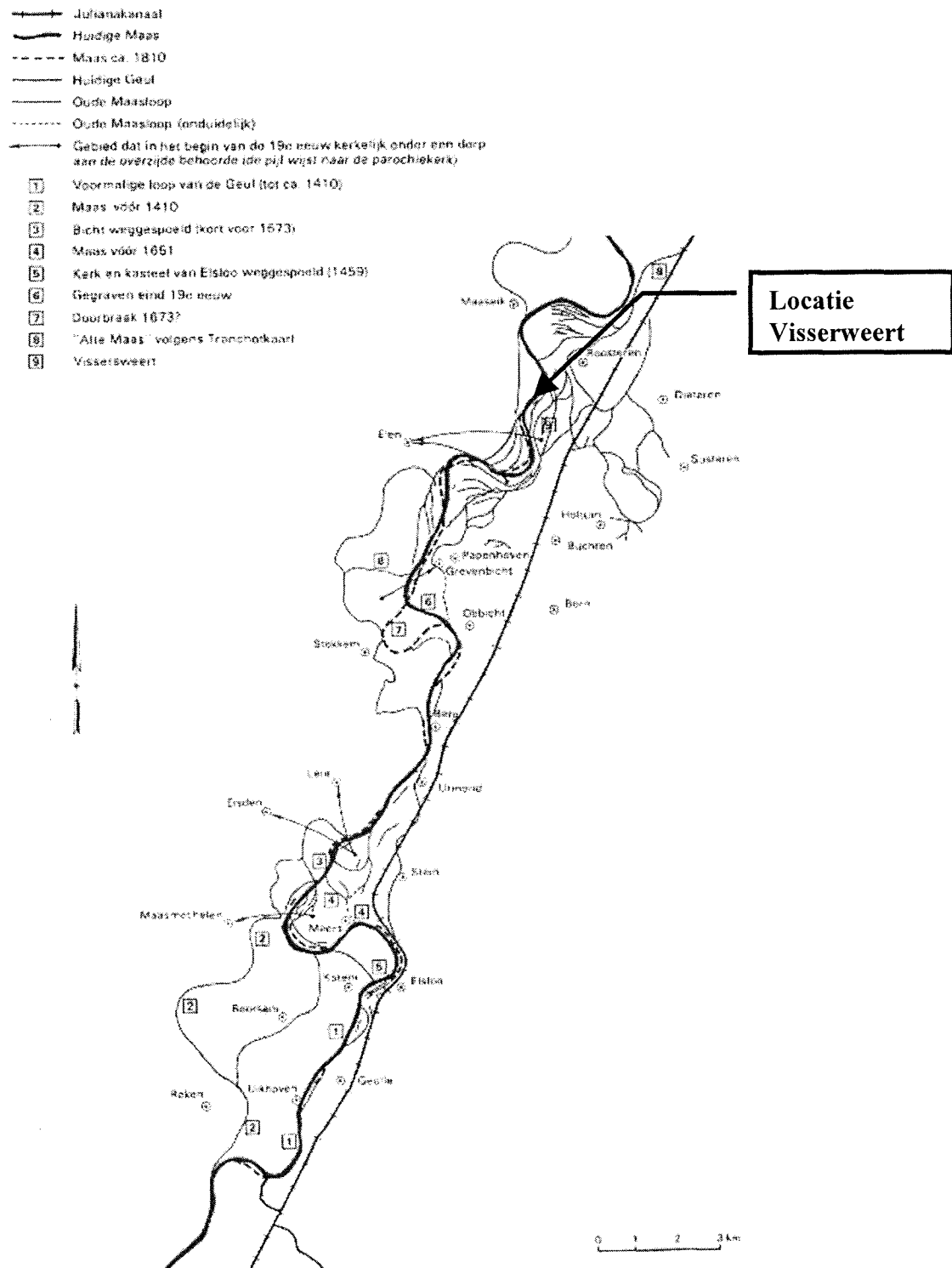
De Maas is hierin geen uitzondering in vergelijking met de andere Nederlandse rivieren. Van oudsher combineerde het Maasdal alle gunstige vestigingseisen. Een nederzetting had in de directe omgeving zowel goed bouwland als water en grasland. Op hoger gelegen plateaus was drinkwatertekort soms een beperkende factor voor ontwikkeling. Bovendien vormde de Maas, samen met de randen van de vele beekdalen, de meest logische transportroute. De laagste stukken van het Maasdal liepen regelmatig onder water en zijn daarom steeds in gebruik gebleven als grasland.

De oudste nederzettingen in het Maasdal liggen op de oeverwallen. Langs de Maas ligt een lange reeks vroegmiddeleeuwse nederzettingen, waaronder Itteren, Borgharen en uiteraard Maastricht. De belangrijkste steden in Limburg – Maastricht, Roermond en Venlo – ontwikkelden zich op plaatsen waar een grote oost-west verbinding de Maas kruiste. De St. Servaasbrug in Maastricht was eeuwenlang de belangrijkste vaste oeververbinding in de wijde omgeving.

De Maas, van meanderende naar gestuwde rivier

Oorspronkelijk was de Maas een uiterst beweeglijke, meanderende rivier. Bochtverleggingen door uitschuring van de buitenbocht en aanslibbing van de

binnenbocht waren normale verschijnselen die de bewoningsgeschiedenis van de Maasvallei sterk beïnvloedden. Vooral het rivierkleigebied ten noorden van Born en Nieuwstad is doorsneden met voormalige Maaslopen. Een spectaculaire verlegging van de Maas was die van omstreeks 1410. De Maas nam toen een geheel nieuwe loop door bovenstrooms van Uikhoven naar het oosten te gaan stromen; ze kwam daardoor bij Itterbricht in het dal van de Geul terecht. Het dorp Geulle ligt sindsdien niet aan de Geul maar, aan de Maas, **Figuur 2.3.**



Figuur 2.3. Overzicht van de rivierlopen van de Maas door de jaren heen

De mens heeft van oudsher invloed uitgeoefend op de natuurlijke loop van de rivier door;

- Terreinen op te hogen;
- Kades en overlaten aan te leggen.

In 1798 werd de waterstaatszorg gecentraliseerd waardoor een einde kwam aan de verdeeldheid tussen de verschillende gewestelijke overheden over het te voeren rivierbeleid. Dat de algemene toestand van de rivieren allerm minst bevredigend was, daar was iedereen het wel over eens. Zowel bij lage waterstanden voor de scheepvaart als bij hoge standen voor de afvoer van water en ijs had men in het begin van de 18^e eeuw problemen.

Een groot aantal infrastructurele (civieltechnische) werken werd in de 19^e en 20^{ste} eeuw langs de Maas uitgevoerd. De belangrijkste ingrepen waren:

- De Maaskanaliseatie door stuwen in de jaren 1920-1940;
- Ontgrinding in het zomerbed, vooral in de benedenloop van de Grensmaas;
- De aanleg van de Zuid-Willemsvaart (1826), het Julianakanaal (1935), het Albertkanaal (1939) en het lateraalkanaal Linne-Buggenum (1971).

Deze ingrepen hadden stuk voor stuk grote invloed op de waterstanden. Bij Maaseik bijvoorbeeld zijn door de grootschalige grindwinning in het zomerbed de laagste en gemiddelde waterstanden vanaf het begin van deze eeuw aanzienlijk gedaald: de eerste 30 jaar ongeveer 1 meter, gevolgd door een versnelde daling van ongeveer 3 meter gedurende de tweede 30 jaar. Het waterstandsverloop bij Borgharen geeft een zelfde beeld te zien, zij het dat de daling hier minder groot is. Door deze waterstandsverlaging raakten de aangrenzende gronden sterker ontwaterd en kwamen de meeste oude geulen in het Grensmaasdal droog te staan. Sinds 1939 is de loop van de rivier nauwelijks meer veranderd, zie **Figuur 2.3.** Afkalving van oevers treedt nagenoeg niet meer op en de afvoer van water, sediment en ijs is voldoende veilig gesteld; behalve bij (extreem) hoge afvoeren. Deze kan vooral in de Grensmaas voor erosieverschijnselen zorgen.

De scheepvaart profiteerde ook van deze normalisatiewerken. Voor de Grensmaas was die betekenis echter maar van korte duur. De schepen werden namelijk dermate groter dat ze hier niet meer konden varen. Ze gingen gebruik maken van de laterale kanalen die inmiddels waren aangelegd. Voor de scheepvaart heeft de Grensmaas derhalve geen betekenis meer.

2.1.2. FUNCTIES VAN DE RIVIER

De Maas dient, meer dan ooit, diverse functies te vervullen. Naast de eeuwenoude functies als afvoer van water, sediment en ijs, en transport van mensen en goederen, strijden nu ook de grondstoffenwinning (grind, zand en klei), recreatie en natuurbehoud om een plaatsje in het zomer- dan wel winterbed. Hierdoor ontstaan ook nieuwe mogelijkheden voor het gebruik van de rivier: functies als grondstoffenwinning, natuurbehoud en bescherming tegen wateroverlast kunnen elkaar versterken.

De waterhuishouding

Hoogwaters op de Nederlandse Maas ontstaan vrijwel rechtstreeks door een combinatie van hoge afvoeren op de Franse Maas en de Waalse zijrivieren. Ze zijn een gevolg van uitgebreide neerslag over het gehele stroomgebied, soms (zoals in 1926) aangevuld met smeltwater van een sneeuwdek. De Maas is een echte regenrivier. Hoewel de neerslag in het stroomgebied van de Maas betrekkelijk gelijkmatig over het jaar verdeeld is, treden de hoogwaters vooral in het winterseizoen op en slechts bij uitzondering in de zomer wanneer de verdamping veel hoger is. De hoogwaters in 1993 en 1995 waren de hoogste sinds 1926. Op basis van een analyse van de afvoeren van de Maas van 22 december 1993 is gebleken dat bij Borgharen een afvoer was van $3.120 \text{ m}^3/\text{s}$, met een overschrijdingskans van 1/155 per jaar.

Klimatologische factoren

Wat voor rol speelt het klimaat in de loop der tijd? Neerslaggegevens zijn bekend vanaf 1882. Tot op heden kunnen 2 perioden worden onderscheiden. De eerste periode loopt tot 1911 – het aanvangsjaar van de meetserie te Borgharen – en is relatief droog vergeleken met de tweede periode na 1911. Het broeikas effect is momenteel nog niet met zekerheid te herkennen in de neerslagseries.

Grondgebruik en urbanisatie

Hoe snel het regenwater in de rivier terechtkomt, hangt af van de karakteristieken van de stroomgebieden. Ofschoon in de literatuur vrijwel altijd gesproken wordt van ontbossing in de Ardennen, blijkt dat per saldo het percentage bos is gegroeid. Naast de bosbouw die vooral geconcentreerd is in de hoger gelegen delen van het stroomgebied, wordt de grond gebruikt voor veeteelt en, voornamelijk in de Maasvallei, voor akkerbouw. Uit onderzoek voor enkele gebieden in Zuid-Limburg is gebleken dat door toepassing van andere gewassen en andere landbewerkingsmethoden de opnamecapaciteit van de bodem voor water lokaal sterk is afgenomen. Hierdoor zijn de piekafvoeren van beken verhoogd. Tevens verschillen de bevolkingstoename en de verstedelijking lokaal sterk. De grootste toename vond plaats in de Waalse industrie-as, die loopt door het stroomgebied van de Sambre en verder door de riviervallei van de Maas. Vooral na 1980 is de toename in veel gebieden spectaculair. Uit studies is gebleken dat de urbanisatie vooral een sterk verhogend effect heeft op afvoeren met een lagere herhalingstijd. Het effect van urbanisatie is dus van belang voor de hoogwaters die relatief vaak voorkomen, maar veel minder voor extreme hoogwaters. Bij extreme hoogwaters is het gehele stroomgebied al verzadigd met water en stroomt extra neerslag vrijwel direct af.

2.2. DE GRENSMAAS

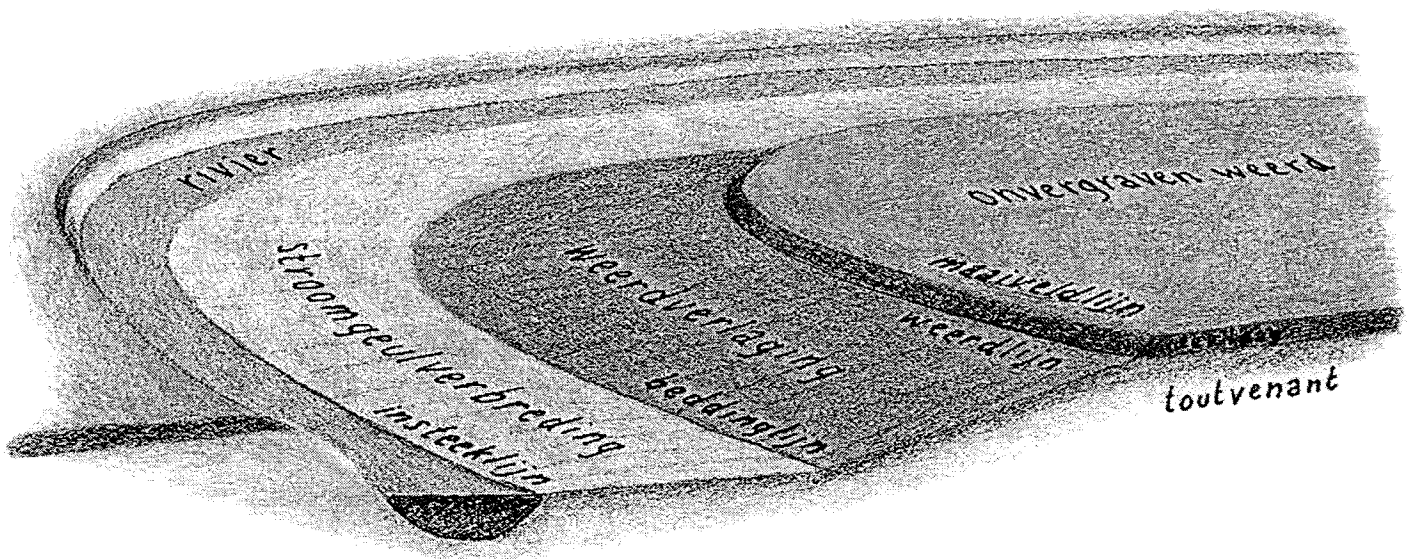
In de provincie Limburg ligt het Grensmaasgebied, dat ingeklemd is tussen het Julianakanaal en de rivier de Maas. De naam Grensmaas komt voort uit de positie van de Maas, namelijk de landgrens met België. De zuidelijke grens van de Grensmaas wordt gevormd door het verbindingskanaal ten noorden van Maastricht, welke de Zuid-Willemsvaart en de Maas met elkaar verbindt. In het noorden bevindt de grens zich nabij Aasterberg-Echt, in de Oude Maas. Het langgerekte gebied heeft een totale oppervlakte van ca. 3.150 ha, exclusief de oppervlakte van de rivier de

Maas (ca. 270 ha). Tweederde van het totale gebied behoort tot het stroomvoerende gedeelte van de rivier welke grotendeels begrensd wordt door kaden. Periodiek vinden binnen deze kades overstromingen plaats. De 7 kleine en grotere kernen en ook enkele gehuchten in dit gebied ondervinden hier in zekere mate hinder van. De ruimte die deze bebouwing in beslag neemt is ca. 350 ha. De overige hectares kunnen worden toegeschreven aan wegen, waterlopen, afgravingen, gronden in gebruik als waterwingebied, bedrijventerreinen, bos, en dergelijke. Door de eeuwen heen heeft de Maas een lichtglooiende riviergrond gevormd. Deze grond bestaat uit een kleidek met wisselende dikte van tussen de 1 en 3 meter met zavel en klei. In de ondergrond bevindt zich overwegend zand en grind. Merendeels wordt het gebied gebruikt door de landbouw. De grootste tak hierin is de melkveehouderij. Een kleiner deel is ingericht voor recreatie, welke zich nagenoeg uitsluitend richt op dagrecreatie zoals; fietsen, vissen, kanovaren en wandelen.

2.3. PLAN GRENSMAAS

Door de maatschappelijke weerstand tegen het grootschalig winnen van grind, in de jaren tachtig, is het eigenlijke begin gemaakt van het plan Grensmaas. De grote en diepe plassen waren maatschappelijk niet meer aanvaardbaar en daarom werd gezocht naar een meer verantwoorde afbouw van de grindwinning. Hierdoor zou de rivier zich ecologisch moeten herstellen in combinatie met grindwinning. Begin jaren negentig is hiernaar onderzoek verricht, waaruit de volgende drie basisprincipes in naar voren kwamen voor het Grensmaasproject, verduidelijkt in **Figuur 2.4.**:

- Verbreding van de stroomgeul van de rivier tussen Maastricht en Roosteren;
- Verlaging van de aan de nieuwe, verbrede stroomgeul grenzende terreinen (weerdverlaging);
- Aanleg van kleischermen (verwerking van het vrijkomende kleidek in diepere winning).



Figuur 2.4. Principe van vergravingswerken

In december 1993 was in de Provincie Limburg sprake van hoge waterstanden op de rivier de Maas. Hiertoe is de Commissie Watersnood Maas (CWM) ingesteld onder leiding van dr. C Boertien. De CWM heeft in 1994 een advies uitgebracht hoe toekomstige wateroverlast beperkt zou kunnen worden. In januari/februari 1995 volgde nogmaals hoogwater en dit leidde ertoe dat in de Tweede Kamer het Deltaplan Grote Rivieren werd ingesteld. Dit betekende voor de Maas een snellere uitvoering van de bestaande plannen van de commissie CWM. Het hoofdpunt uit de plannen van de CWM bestaat uit een beschermingsniveau dat voor het jaar 2006 gerealiseerd moet zijn. Dit niveau bedraagt een bescherming tegen een afvoer met een kans van eens in de 250 jaar (afvoer $3.380 \text{ m}^3/\text{s}$).

Voor het Grensmaasgebied betekent dit de volgende aanpassingen:

- De door de CWM voorziene kades worden versneld aangelegd in het kader van de Deltawet Grote Rivieren;
- Uitvoering rivierverruiming, aangevuld met rivierverruimende maatregelen op drie Vlaamse locaties;
- Bestuurlijke maatregelen inzake de ruimtelijke ordening om toekomstige nieuwe schade te voorkomen;
- Rioleringsaanpassingen en andere kleinschalige maatregelen.

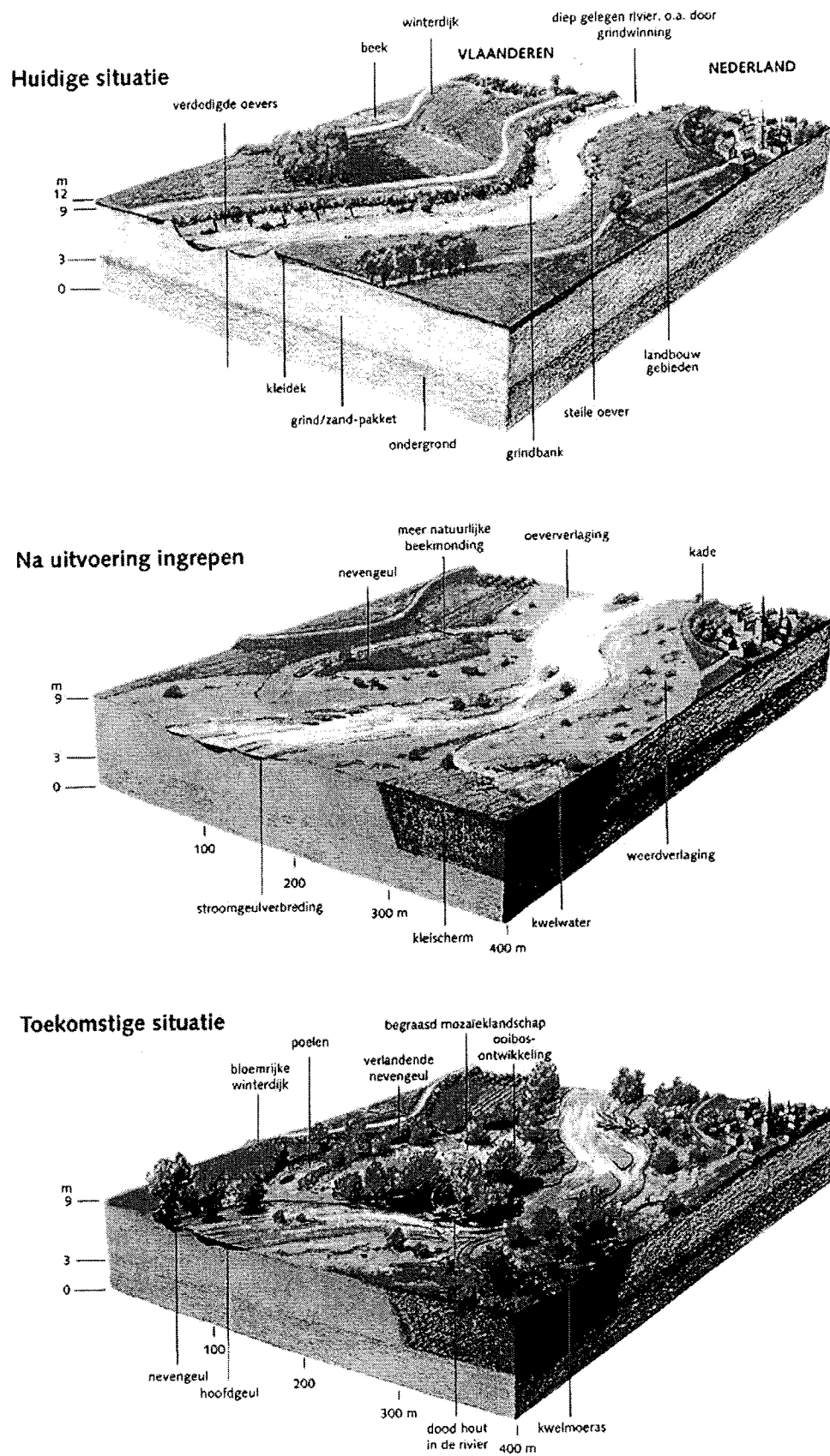
Voornamelijk de rivierverruimende maatregelen werden gecombineerd met het Grensmaasproject. Hierdoor ontstaat voor dit plan de volgende, driedelige doelstelling:

- Winning van grind voor de nationale behoefte, waarmee de grindwinning in Limburg wordt verminderd;
- Grootschalige natuurontwikkeling en ecologisch herstel van de rivier;
- Tegengaan van wateroverlast.

Om de gestelde doelen te realiseren, hebben de drie betrokken partijen (ministerie van verkeer en waterstaat, ministerie van landbouw, natuurbeheer en visserij en de provincie Limburg) in 1997 een bestuursovereenkomst getekend: 'Bestuursovereenkomst Maas'. Samen zullen zij intensief samenwerken om de gestelde doelen te realiseren.

In het Grensmaasgebied ontstaat door deze maatregelen een natuurgebied van internationale allure. Hierin kan de rivier de Maas op een zo natuurlijk mogelijke wijze haar functies vervullen. Door de rivierverruiming treden erosie- en sedimentatieprocessen op, waardoor verschillende rivierecotopen ontstaan, die elkaar in ruimte en tijd afwisselen. De weerdverlaging en stroomgeulverbreding dragen ertoe bij dat de rivier eilanden, zand- en grindbanken kan vormen alsmede nevengeulen. Door het ontstaan van vele nieuwe rivierbiotopen, de verbeterde zuurstofhuishouding en de toename van het zelfreinigende vermogen wordt de ecologische kwaliteit van de rivier zelf vergroot.

Het ontwikkelingsverloop van de Grensmaas, van de huidige naar de uiteindelijke situatie, is te zien in **Figuur 2.5.**



Figuur 2.5. Ontwikkelingsverloop van de Grensmaas

2.4. VISSERWEERT

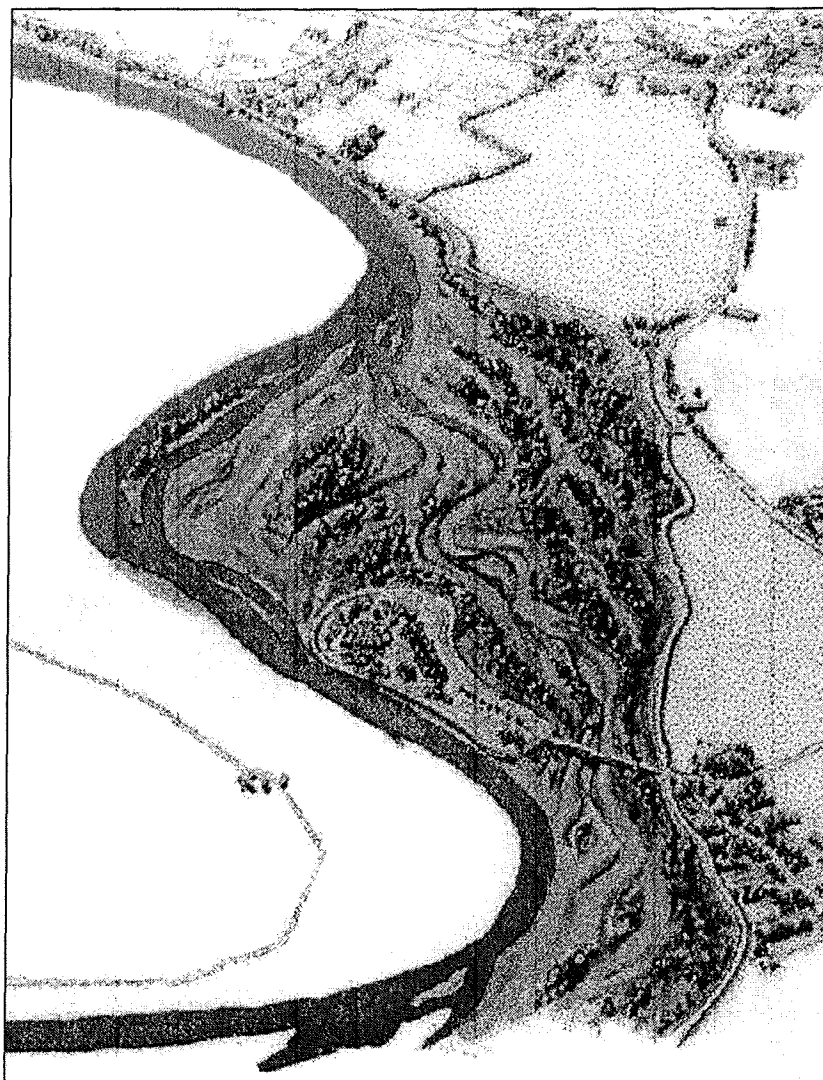
Als studielocatie is gekozen voor het plaatsje Visserweert. Visserweert is gelegen in een relatief smalle meanderende bocht ten noorden van Koeweide in het noordelijke deel van de Grensmaas, zie **Figuur 2.3.** In het westelijke deel van de rivier zijn jonge rivierafzettingen te vinden, die gedeeltelijk zijn afgegraven. Eeuwenlang hebben zich hier woelige taferelen afgespeeld; stroomgeulen en eilanden lagen naast elkaar en veranderden voortdurend van plaats. Na de normalisatie van de rivier de Maas in de negentiende eeuw is hier een eind angekommen en ligt de rivier in de huidige bocht. Oorspronkelijk lag Visserweert tussen 2 Maaslopen in; tussen Visserweert en Illikhoven lag een hoogwatergeul. Her en der in de oude rivierafzettingen zijn nog oude stroomgeulen te vinden. Incidenteel dienen deze geulen nog voor afvoer van overstromingswater.

2.4.1. MAATREGELEN

Ter plaatse van Visserweert wordt, ten noorden van het dorp, stroomgeulverbreding uitgevoerd in een strook langs de Maas. Het zomerbed wordt op deze manier 2x zo groot. Om een geleidelijke overgang te creëren naar de hoger gelegen delen wordt aansluitend aan de stroomgeulverbreding weerdverlaging toegepast. Deels wordt de weerdverlaging aangelegd in de vorm van een nevengeul, ter plaatse van de, op historische kaarten terug te vinden, hoogwatergeul. Zo ontstaat tijdens hoogwater als het ware “het eiland” Visserweert. Door deze ingrepen ontstaat ten zuiden van Visserweert een flessenhals. Om te voorkomen dat de rivier de Maas uiteindelijk de nevengeul als hoofdgeul gaat gebruiken wordt bij het begin van de nevengeul een weerstand ingebouwd in de vorm van een overlaat. De hoogte van de overlaat is zo gekozen dat de overlaat overstroomt bij een debiet $>200 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit houdt in dat de nevengeul ongeveer 200 dagen per jaar voorzien wordt van water, overwegend in de periode najaar tot en met voorjaar. Achter deze overlaat dient de bedding verstevigd te worden alsmede de kades en oevers langs de stroomgeulverbreding. Dit vanwege eventuele hogere stroomsnelheden. Tijdens deze omstandigheden zou erosie kunnen optreden en verdwijnt een gedeelte van de oever. Door de bochtbescherming blijft de rivier vastliggen tegen de kade van Visserweert aan. Om tijdens hoogwater “het eiland Visserweert” goed te kunnen blijven bereiken, wordt hier een brug aangelegd over de nevengeul.

2.5. TOEKOMSTBEELD

Het dorp Visserweert komt in de nieuwe situatie als het ware op een 6 à 7 meter hoge terp/heuvel te liggen, temidden van een dynamisch natuurgebied, welke steeds in ontwikkeling is. Oude tijden kunnen herleven toen Visserweert ook aan beide zijden de Maas aan haar zijde vond. De nevengeul zal een hoofdrol spelen bij de vormgeving van dit geheel. 's Zomers zal de nevengeul doorgaans droogstaan, 's winters daarentegen is de nevengeul meestal voorzien van water. Echter een flinke zomerse bui in de Ardennen kan ook in zomerse perioden zorgen voor water in de nevengeul, zij het kortstondig. Ondanks de rechte aanleg van de nevengeul zal het dynamische gedrag van de rivier zorg dragen voor een verandering van het landschap. De nevengeul zal gaan meanderen en de oevers van de weerdverlaging zullen gaan eroderen. Het toekomstbeeld is geschetst in **Figuur 2.7.**



Figuur 2.7. Toekomstbeeld voor Visserweert

3. RANDVOORWAARDEN

3.1. ONTWERPOMSTANDIGHEDEN NABIJ VISSERWEERT

Aan de hand van gegevens van projectorganisatie De Maaswerken is gekeken naar de omstandigheden bij Visserweert bij verschillende overstromingsfrequentie. Zij hebben met behulp van het 2-D stromingsprogramma Waqua een dataset verkregen met daarin onder andere de volgende parameters: stromingsrichting, waterstand, stroomsnelheid in x- en y-richting, coördinaten en schuifspanning. Deze parameters zijn de uitgangspunten voor het ontwerptraject.

3.1.1. SIMULATIES

De Maaswerken heeft voor verschillende doeleinden simulaties gedaan. Onder andere voor grondwater, ecologie en hoogwater. De gegevens die voor dit onderzoek gebruikt worden, komen voort uit het onderzoek naar de omstandigheden bij hoogwater. De daarbij behorende simulaties, wat betreft frequenties en debieten, zijn als volgt:

- Frequentie 1:50 jaar, debiet 2710 m³/s;
- Frequentie 1:100 jaar, debiet 3000 m³/s;
- Frequentie 1:250 jaar, debiet 3275 m³/s;
- Frequentie 1:1250 jaar, debiet 3810 m³/s.

De gegevens die uit de dataset naar voren komen, zijn niet allemaal gebruikt in dit onderzoek. Een gedeelte van de gegevensuitdraai is te vinden in **Bijlage 3.1.**. De parameters die gebruikt worden, zijn de volgende:

- Stroomsnelheid (gemiddeld over de verticaal);
- Waterhoogte;
- Bodemniveau.

3.1.2. VISUALISERING

Om met de gegevens rond Visserweert te kunnen werken, zijn deze gevisualiseerd. Met behulp van een applicatie in Autocad zijn voor elk van de vier simulaties tekeningen gemaakt met de drie verschillende parameters uit **Paragraaf 3.1.1.**. Hierdoor wordt per simulatie voor elk van de drie parameters een tekening verkregen, welke verwerkt zijn in **Bijlage 3.2.**. Uit deze tekeningen zijn de omstandigheden bepaald welke gelden ter plaatse van de overlaatconstructie. Tevens is gekeken of wellicht op andere plaatsen in het gebied rond Visserweert de stroomsnelheid dusdanig hoog wordt, dat op die plaatsen ook bescherming nodig zou kunnen zijn.

Het verloop van de waarde van de 3 parameters is verdeeld in schalen met ieder een verschillend interval. Zo is voor de waterstand en stroomsnelheid een interval gekozen van 0,25 m respectievelijk m/s terwijl dat bij de bodemligging een interval is van 1 m. Op deze manier ontstaat per locatie een gebied met een minimale en maximale waarde. In **Figuur 3.1.** is de omvang van de gebieden aangegeven. Afhankelijk van wat het meest maatgevend is, wordt gekozen voor het gebruiken van de minimale of maximale waarde van het desbetreffende gebied. Door het gekozen interval, gaat een gedeelte van de gegevens verloren. Hierdoor ontstaan grenzen van de intervallen, waarbij het mogelijk is dat het ene gebied bijvoorbeeld niet kritisch is en het andere gebied wel ondanks het feit dat de onderlinge verschillen heel klein zijn. Ter illustratie het volgende voorbeeld:

Op een bepaalde plaats is de stroomsnelheid tussen de 2,00 m/s en 2,25 m/s. Wanneer een specifieke plek wordt bekeken in dit gebied, kan de stroomsnelheid 2,25 m/s bedragen. In een aangrenzend gebied ligt de stroomsnelheid tussen de 2,25 m/s en 2,50 m/s. De stroomsnelheid in dit gebied kan dan 2,26 m/s zijn, maar geeft uiteindelijk wel een hogere waarde door de indeling in schalen.

Na bestudering van de tekeningen uit **Bijlage 3.2.** komen 3 locaties naar voren die eventueel beschermd dienen te worden. Het criterium, dat gebruikt is voor het wel of niet maken van een beschermingsconstructie, is gekozen aan de hand van de locaties waar de hoogste stroomsnelheden optreden. Deze hoogste stroomsnelheid is het duidelijkst te zien in de overstromingsfrequentie van 1:1250 jaar. Bij de lagere overstromingsfrequenties zullen dit ook de locaties zijn die het zwaarst zullen worden aangevallen. De 3 locaties zijn aangegeven in **Figuur 3.1.**. **Locatie 1** is gesitueerd boven de overlaatconstructie en de **Locaties 2 en 3** bevinden zich op de hoekpunten van het dorp Visserweert aan de rivierzijde. Omdat het bij **Locatie 2 en 3** om hetzelfde constructietype gaat, namelijk bochtbescherming, wordt alleen **Locatie 2** bekeken. **Locatie 3** kan dan analoog worden uitgevoerd. In **Tabel 3.1.** zijn de waarden van de 3 parameters weergegeven voor de **Locaties 1 en 2**, bij de verschillende overstromingsfrequenties.

Overstromingsfrequentie	1:50 jaar		1:100 jaar		1:250 jaar		1:1250 jaar	
Locatie	1	2	1	2	1	2	1	2
Waterniveau boven N.A.P. [m]								
Minimaal	30.50	30.50	30.75	30.75	31.00	31.00	31.25	31.25
Maximaal	31.00	31.00	31.25	31.25	31.50	31.50	32.00	32.00
Gemiddelde stroomsnelheid [m/s]								
Minimaal	0.75	1.25	0.75	1.25	0.75	1.25	0.75	1.25
Maximaal	2.25	2.50	2.25	2.25	2.25	2.25	2.50	3.00
Waterdiepte [m]								
Minimaal	2.00	2.00	2.25	2.25	2.50	2.50	2.75	2.75
Maximaal	7.50	11.50	7.75	11.75	8.00	12.00	8.50	12.25

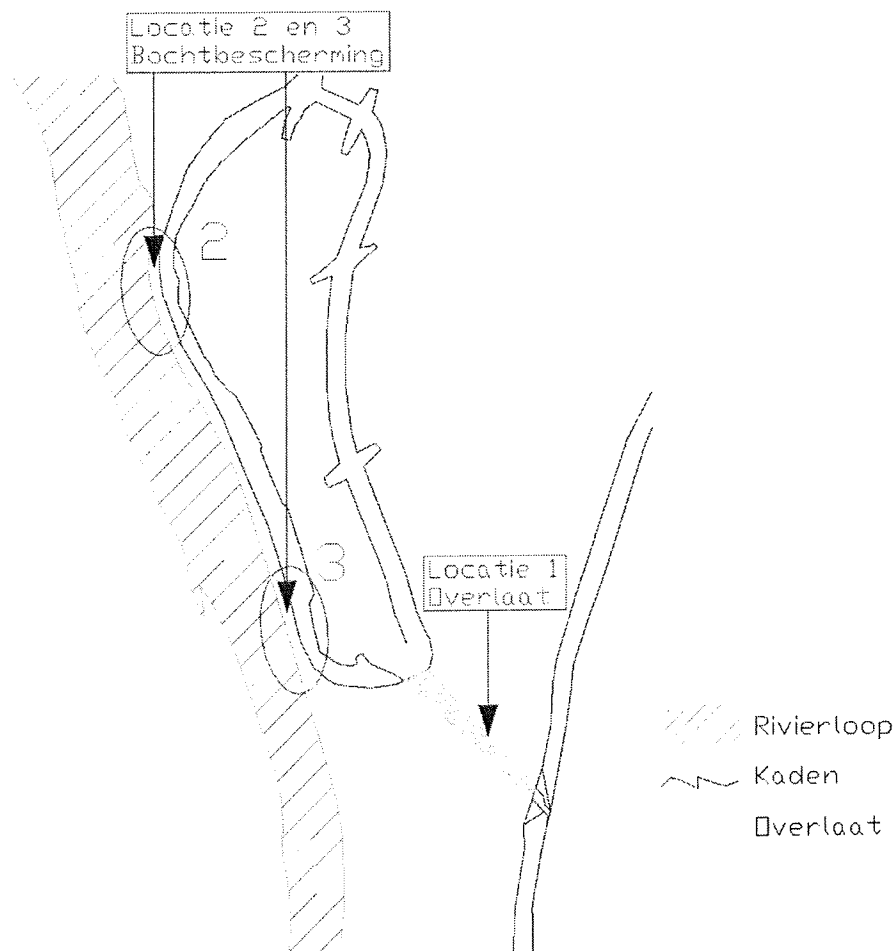
Tabel 3.1. Gegevens rond Visserweert bij Locatie 1 en 2.

Voor de 2 locaties verschilt de bodemligging. Deze verandert echter niet bij de verschillende overstromingsfrequenties. De bodemligging bij **Locatie 1 en 2** is weergegeven in **Tabel 3.2.**:

Locatie	1	2
Bodemniveau boven N.A.P. [m]		
Minimaal	23.50	19.50
Maximaal	28.50	28.50

Tabel 3.2. Bodemniveau ter plaatse van Locatie 1 en 2.

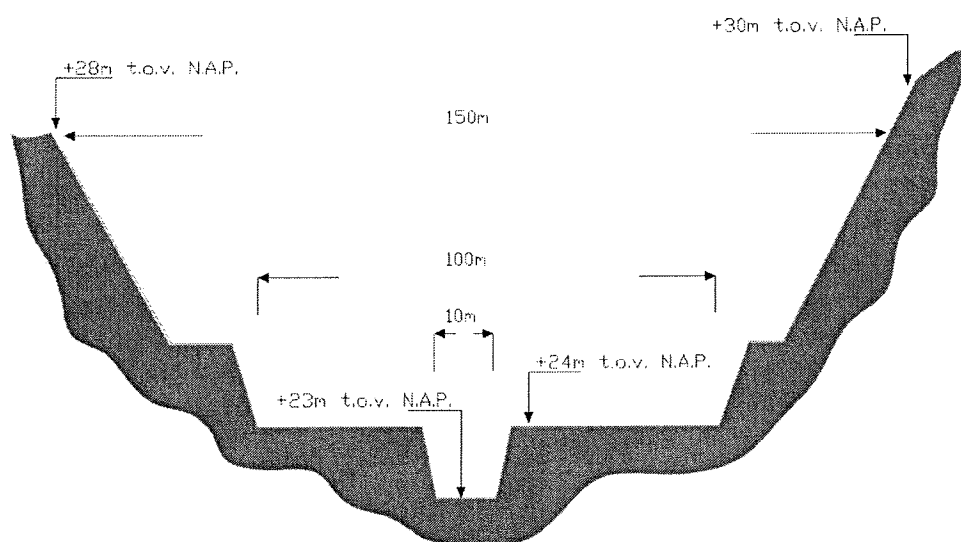
In **Tabel 3.1.** is te zien dat bij **Locatie 2** een grotere stroomsnelheid optreedt bij een overstromingsfrequentie van 1:50 jaar dan bij de overstromingsfrequenties 1:100 jaar en 1:250 jaar. Dit verschil is opmerkelijk omdat de verwachting zou zijn dat bij een hoger debiet en een zelfde stroomprofiel, de stroomsnelheid juist zou verhogen in plaats van verlagen. Omdat in deze situatie geen wijziging in het stroomprofiel, heeft het verschil mogelijk te maken met onduidelijkheden in het computerprogramma Waqua of komt het door de al eerder genoemde keuze van de intervallen. Het effect van deze hogere stroomsnelheid zal verderop in het onderzoek nader bekeken worden.



Figuur 3.1. Onderzoeklocaties

3.2. UITGANGSPUNTEN VOOR HET ONTWERPTRAJECT

Om de gegevens uit **Tabel 3.1. en 3.2.** mee te nemen in het ontwerptraject, dient allereerst te worden vastgelegd welke waterstand wordt gebruikt. Over het algemeen geldt dat de situatie het meest ongunstig is, wanneer de waterdiepte het kleinst is, bij gelijkblijvende stroomsnelheden. Daarom wordt voor **Locatie 2** dit ook als uitgangspositie genomen. Door het vergraven talud kunnen de optredende stroomsnelheid en de minimale waterdiepte hier samen voorkomen. Echter bij **Locatie 1**, boven de overlaat, is dit niet het geval. De reden hiervoor is, dat bij de overlaat sprake is van een tamelijk rechthoekig profiel, zie **Figuur 3.2.**. De hier geldende waterdiepte verandert niet of nauwelijks over de breedte, afgezien van de uiteinden bij de overgang naar de kaden. Vanzelfsprekend is de bijbehorende stroomsnelheid voor zowel **Locatie 1 als 2** de maximale stroomsnelheid, omdat deze het meest ongunstig is.



Figuur 3.2. Dwarsdoorsnede overlaat.

3.3. GRONDGEGEVENS

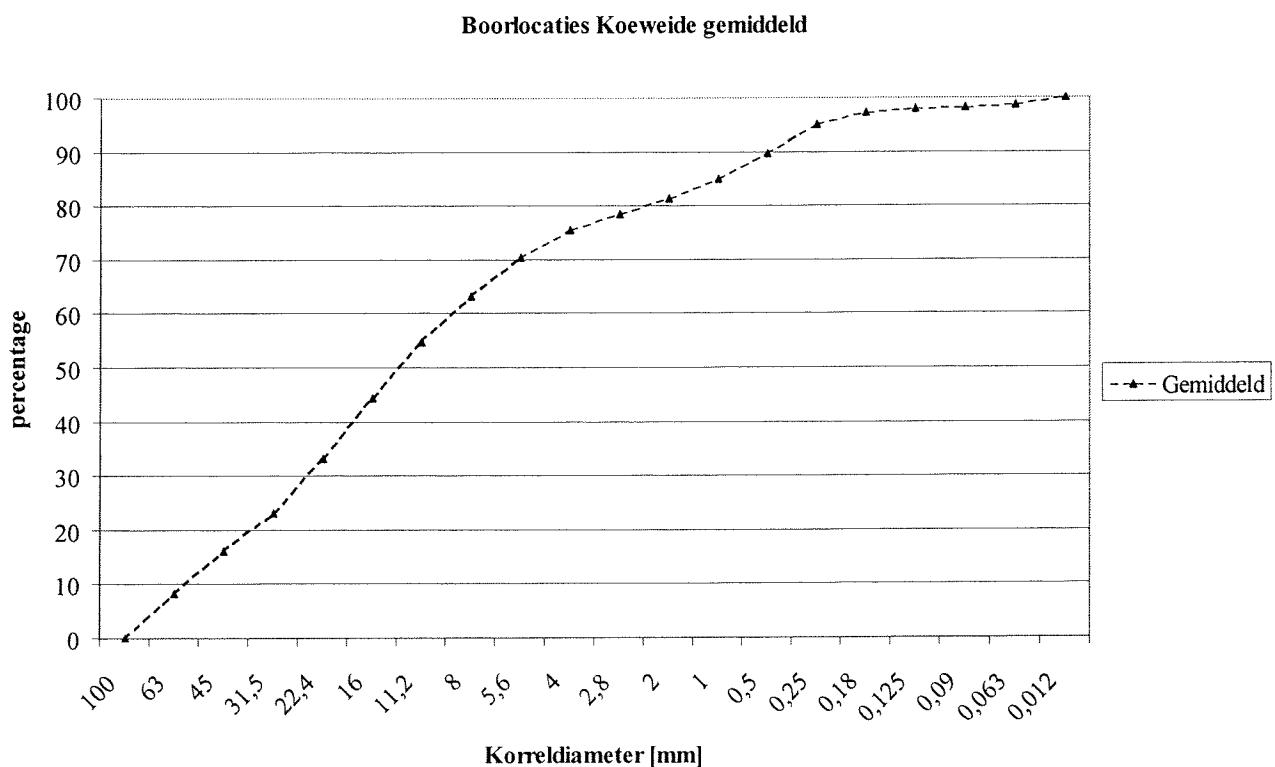
Om uiteindelijk bescherming te bieden tegen de optredende stroomsnelheden, worden de aangevallen locaties verdedigd. In dit onderzoek wordt gekeken of dat kan gebeuren met het grind, dat zich in het toutvenant bevindt en beschikbaar komt bij de verruimingswerkzaamheden. Deze verruimingswerkzaamheden vinden plaats over het gehele Grensmaastraject op de verschillende projectlocaties. De voor dit onderzoek beschikbare grondinformatie is afkomstig van de projectlocatie Koeweide, dicht bij Visserweert. Aangenomen kan worden dat deze gegevens niet veel zullen verschillen van die van Visserweert en daarmee gebruikt kunnen worden. Tevens is bij de projectlocatie Koeweide een verwerkingsinstallatie aanwezig waar al het toutvenant naar toe wordt getransporteerd dat uit die omgeving gewonnen wordt en derhalve ook hetgeen dat afkomstig is uit Visserweert. Bij deze

verwerkingsinstallatie wordt het toutvenant gescheiden in onder andere klei, zand en grind. Welk deel van het gewonnen grind gebruikt kan worden voor de constructies, hangt af van voornamelijk de volgende zaken:

- De korrelverdeling van het gewonnen grind;
- Beschikbare hoeveelheid grind;
- Percentage relatief grote stenen;
- Verdeling na het zeven van het grind.

3.3.1. HUIDIGE VERDELING EN HOEVEELHEDEN

Voor de projectlocatie Koeweide zijn een tweetal boringen verricht. De diepte van de boringen bedroeg ongeveer 17,5 m onder maaiveld. Hierbij is iedere keer om de meter gekeken welke steengrootten aanwezig waren en in welke hoeveelheid. Door de twee boringen te middelen worden gegevens verkregen die gebruikt kunnen worden voor het projectgebied Visserweert. In sommige lagen kwamen, incidenteel, extreme waarden voor. De boor kwam namelijk af en toe vast te zitten in een steen wat duidt op steengrootten van meer dan 600 mm. Deze stenen zijn echter niet meegenomen in het totaaloverzicht van de verdeling omdat deze incidenteel voorkwamen. Het totaal aan toutvenant is afgezeefd op standaardmaten met een maximale zeefdiameter van 63 mm. Alle stenen die groter waren, zijn nog eenmaal afgezeefd en daaruit bleek dat in die hoeveelheid stenen groter dan 63 mm, 20% van de stenen groter was dan 200 mm. Van dit gedeelte toutvenant had dus 80% een diameter tussen de 63 mm en 200 mm. In **Figuur 3.3.** is de gemiddelde korrelverdeling van 2 verschillende boringen te zien en in **Bijlage 3.3.** zijn de grondgegevens van deze 2 boringen opgenomen. Tevens is in **Bijlage 3.3.** een andere boring te vinden waarin naar voren komt hoe de grondlagen zijn opgebouwd in de



Figuur 3.3. Korrelverdeling projectlocatie Koeweide

omgeving van Koeweide.

In **Figuur 3.1.** is te zien dat het percentage stenen groter dan 63 mm ongeveer 8% bedraagt. Voor de constructies zullen waarschijnlijk grote hoeveelheden stenen nodig zijn. Bij de verruimingswerkzaamheden komen echter grote hoeveelheden vrij. Uit gegevens afkomstig van De Maaswerken blijkt alleen al bij de projectlocatie Koeweide meer dan $4,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ toutvenant vrij te komen. In **Tabel 3.3.** volgen de preciezere getallen over de hoeveelheid beschikbare stenen groter dan 63 mm.

Totale hoeveelheid toutvenant	:	4513588 m ³
Volume hoeveelheid stenen > 63 mm (8% van het geheel)	:	361087 m ³
Volume hoeveelheid stenen 63 mm < d < 200 mm (80% van de 8%)	:	288870 m ³

Tabel 3.3. Hoeveelheid beschikbaar grind.

Om te illustreren hoeveel stenen dit nu ongeveer zijn, dient het volume grind nog omgerekend te worden. Daarbij speelt het percentage holle ruimt een rol, volgens NEN 5180 is dit voor relatief smalle sorteringen ongeveer 40%. Uit de volgende berekening volgt dan de hoeveelheid stenen:

$$\frac{\text{Volume stenen}}{\text{steendiameter}^3} \times (1 - \text{poriënvolume}) \cong \text{aantal stenen} \Rightarrow \frac{288869}{0,2^3} \times (1 - 0,40) \cong 21,7 \times 10^6 \text{ stenen}$$

Formule 3.1. Voorbeeldberekening hoeveelheid stenen.

3.3.2. VERDELING GEZEEFD GRIND

Wanneer het toutvenant gewonnen is, zal het worden afgevoerd naar de verwerkingsinstallatie bij Koeweide. Daar worden de delfstoffen gescheiden in voornamelijk klei, zand en grind. De kleinere grindfracties worden voornamelijk verkocht aan wegenbouwbedrijven en betoncentrales. De grovere fracties zouden kunnen worden gebruikt voor de diverse constructies in de Grensmaas. Deze fracties hebben een diameter groter dan 63 mm. Voor de kleinere fracties gelden vastgestelde zeefmaten. Wanneer stenen groter zijn, kunnen deze niet meer gezeefd worden, maar gebeurt het scheiden door middel van het wegen van de stenen. De vastgestelde zeefmaten voor breuksteen lopen van 30 mm tot 200 mm. Boven de 200 mm worden de stenen gewogen. De gebruikelijke sortering van de zeefmaten is de volgende:

Fijne sorteringen	d ₈₅ [m]		d ₁₅ [m]		d ₅₀ [m]	
	minimaal	maximaal	minimaal	maximaal	minimaal	maximaal
30/60 mm	0,048	0,061	0,028	0,039	0,04	0,05
40/100 mm	0,086	0,118	0,038	0,067	0,06	0,09
50/150 mm	0,125	0,173	0,054	0,096	0,09	0,13
80/200 mm	0,169	0,226	0,075	0,136	0,13	0,18

Tabel 3.4. Sorteringsmaten volgens NEN 5180.

Bij dit onderzoek zal gebruik worden gemaakt van dezelfde verdeling van de zeefmaten.

3.3.3. D_{50}/D_{N50}

Het verschil tussen d_{50} en d_{n50} ligt in de vorm en gewicht van de stenen. Het kan namelijk gebeuren dat een steen wat betreft gewicht wel bij een zekere sortering hoort, maar dat door zijn vorm deze steen in een hogere sortering terechtkomt. Nu zal dit bij de fijne sorteringen niet zo snel voorkomen omdat de verschillen hier relatief klein zijn. Voor grotere stenen wordt daarom de d_n gehanteerd waarbij de steen wordt gewogen. Een steenstuk wordt vereenvoudigd voorgesteld als een kubus met gelijk volume als dat steenstuk. De ribbe van de kubus [m] is gelijk aan d_n en wordt berekend met:

$$d_n = \sqrt[3]{\frac{M}{\rho_r}}$$

Formule 3.2. Berekening d_n .

waarin:

- M : Massa van een steenstuk [kg]
 ρ_r : Dichtheid van het materiaal [kg/m^3]

De d_{n50} is daarmee de nominale steendiameter van een steenstuk met een massa die gelijk is aan M_{50} . Voor kleinere fracties is het niet nodig gebleken om onderscheid te maken tussen d_{50} en d_{n50} . Bij fijne graderingen worden de steendiameters voorgesteld door de zeefdiameters, dat is dan de d_{50} . Echter wanneer sprake is van grotere stenen, > 200 mm, dan dient wel de d_{n50} te worden toegepast.

4. CONCEPTUEEL ONTWERP

Voor waterbouwkundige werken zijn verdedigingswerken van groot belang. De verdedigingswerken voor bijvoorbeeld bodems en bochten beschermen de ondergrond in de directe omgeving van een constructie tegen ongewenste erosie, zodat de constructie kan blijven functioneren. De bodem- of bochtverdediging beschermt de constructie tegen krachten van buitenaf. In dit geval is de constructie geïntegreerd in de bodembescherming omdat de overlaat overloopt in de bodemverdediging. Daarom zal in het vervolg van het verslag daar waar bodemverdediging gebruikt wordt, de overlaat bedoeld worden en andersom. De verdediging moet bestand zijn tegen de heersende hydraulische belastingen, stroming en golven. Voor het ontwerp van een bodemverdediging zijn momenteel 2 ontwerpmethoden beschikbaar, te weten:

- Traditionele ontwerpmethode;
- ‘Kritieke transport’ ontwerpmethode.

4.1. TRADITIONELE ONTWERPMETHODE

De traditionele ontwerpmethode is gebaseerd op de veronderstelling dat er een beginpunt van bewegen is van de stenen in de beschermingsconstructie. Aangezien in werkelijkheid de overgang van niet bewegen naar bewegen onduidelijk is, worden stabiliteitsniveaus gedefinieerd. De uitdrukking van deze niveaus wordt gedaan met behulp van de empirische stabiliteitsformule van Shields.

4.1.1. ‘NO MOVEMENT’ EN ‘LIMITED MOVEMENT’ ONTWERP

Voor de traditionele ontwerpmethode zijn kwalitatieve instabiliteitsniveaus gedefinieerd. De ontwerp-niveaus worden uitgedrukt aan de hand van de Shieldsrelatie. De 2 meest toegepaste ontwerp-niveaus zijn het ‘no movement’ en het ‘limited movement’ ontwerp. De Shieldsrelatie, **Formule 4.1.**, geeft de verhouding weer tussen de dimensieloze schuifspanning en het zogenaamde Reynolds-getal (Re_*). De mobiliteitsparameters (Ψ) van de 2 instabiliteitsniveaus zijn gelijkgesteld aan de volgende kritieke Shieldswaarden (Ψ_{cr}) voor $Re_* > 500$:

- $\Psi_{cr} = 0,03$ ‘no movement’ ontwerp
- $\Psi_{cr} = 0,05 - 0,055$ ‘limited movement’ ontwerp

Heden ten dage wordt deze ontwerpmethode veel toegepast. De methode is algemeen geaccepteerd en heeft een grote betrouwbaarheid en veiligheid. Dergelijke ontwerpen worden toegepast bij werken waarbij de gevolgen van eventuele schade groot kunnen zijn.

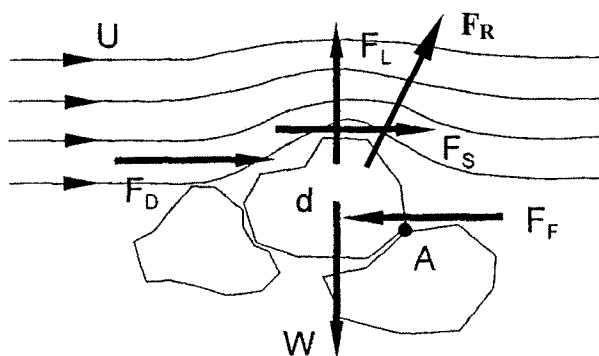
4.2. ‘KRITIEKE TRANSPORT’ ONTWERPMETHODE

De ‘kritieke transport’ ontwerpmethode gaat met zijn tijd mee of beter gezegd ontstaat met de tijd. De methode maakt gebruik van de groeiende kennis en inzichten op het gebied van probabilistisch ontwerpen en stabiliteit alsmede transport van

stenen. Deze ontwerpmethode is gebaseerd op het idee dat transport van stenen niet direct hoeft te leiden tot falen van een bodembescherming. Dit uitgangspunt lijkt enigszins onveilig, echter ook in de traditionele ontwerpmethode vindt enig transport van stenen plaats. Het uiteindelijke verschil van de 'kritieke transport' ontwerpmethode met de traditionele methode is, dat scherper ontworpen wordt. Het is meer maatwerk door de groeiende kennis en inzicht op het gebied van probabilistisch ontwerpen en transport van stenen. Bij dit probabilistische proces is de belangrijkste parameter de schadevoorspelling. Deze wordt gedaan met behulp van een bodemtransportformule, meestal de Paintal-formule. Deze formule zal verderop in het verslag uitvoerig aanbod komen.

4.3. KRACHTENSPEL OP INDIVIDUELE STEEN

Veel onderzoekers hebben het probleem van begin van bewegen van stenen onderzocht. Sommigen beschouwen de schuifspanning als de optredende kracht, de anderen de sleepkracht op de steen, waarbij sommigen de liftkracht wel gebruiken en anderen niet. Een analyse van het krachten spel op een korrel vergroot het inzicht in het begin van bewegen. Het 2-D krachten spel op een individuele korrel is geschematiseerd in **Figuur 4.1**.



Figuur 4.1. Krachten spel op individuele steen.

In **Figuur 4.1** zijn 3 krachten te onderscheiden die de stroming op de korrel uitoefent:

1. F_D Sleepkracht ('drag force');
2. F_S Schuifkracht ('shear force');
3. F_L Liftkracht ('lift force').

De hydraulische krachten op een steentje kunnen met behulp van de aërodynamica worden afgeleid en zijn evenredig met het aanstroom oppervlak van de steen d^2 en de snelheid in het kwadraat, wiskundig als volgt weer te geven:

$$F \propto \rho_w u^2 d^2$$

De hydraulische krachten vormen de resulterende hydraulische kracht F_R op de steen. De krachten die de steen op zijn plaats houden zijn de zwaartekracht W en de reactiekracht van de omliggende stenen F_F . Een evenwichtsverstoring vindt plaats wanneer de hydraulische krachten of momenten op de korrel groter zijn dan de stabiliserende krachten of momenten. In de meeste gevallen is de verplaatsing van een steen een roterende beweging om een steunpunt / draaipunt, A . Als de

hydraulische krachten F_R een groter moment uitoefenen dan de zwaartekracht gaat de korrel roteren. Duurt deze situatie lang genoeg dan komt de korrel vrij van zijn steunpunten. De tijdsduur en de grootte van de hydraulische krachten zijn dus van belang. De toplaag van een granulaire bodemverdediging bestaat uit losgestorte stenen. De dikte van de toplaag is meestal 2 tot 3 keer de d_{50} van het gestorte materiaal. De losse stenen dienen bestand te zijn tegen de werkende krachten op de stenen, om daarmee een stabiele verdediging te vormen.

4.4. STABILITEIT VAN GRANULAIRE BODEMVERDEDIGINGEN

4.4.1. BEGIN VAN BEWEGEN

Een belangrijk onderdeel voor de stabiliteit van losgestorte stenen is het begin van bewegen van het materiaal. Dit punt wordt bereikt wanneer de belasting van het materiaal groter wordt dan de sterkte van het materiaal. Door naar het krachterspel op 1 steentje te kijken, valt dit punt te berekenen aan de hand van de hydrodynamica en dynamica, zie ook **Paragraaf 4.3.** Helaas is deze theorie niet toe te passen op een verzameling losgestorte stenen. Dit komt doordat hun ligging niet identiek is en de hydraulische belasting niet constant is.

4.4.2. SHIELDSCURVE

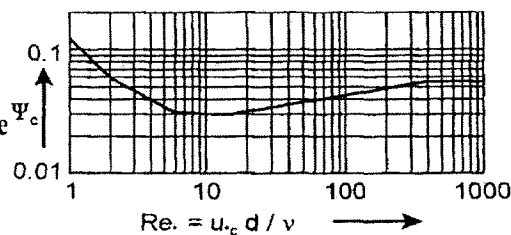
Bij het ontwerpproces gaat men toch uit van een kritieke stromingssituatie waarbij wordt verondersteld dat de stenen op het punt van begin van bewegen zitten. Dit kritieke punt is door Shields onderzocht in 1936 en hij kwam door extrapolatie van klein transport van zand tot een kritieke stromingsparameter, de kritieke Shieldsparameter, voor verschillende condities. Dit resulteerde in de Shieldscurve, die de relatie weergeeft tussen de Shieldsparameter (Ψ_{cr}), **Formule 4.1.**, en het getal van Reynolds (Re), **Formule 4.2.**, De relatie is uitgewerkt in **Figuur 4.2.** waarin:

$$\Psi = \frac{\tau_b}{(\rho_s - \rho_w)gd_{50}}$$

Formule 4.1. Shieldsparameter

$$Re_* = \frac{u_* d_{50}}{\nu}$$

Formule 4.2 Reynolds-getal.



Figuur 4.2. Shieldsrelatie.

Ψ	: Mobiliteitsparameter	[-]
τ_b	: Bodemschuifspanning	[N/m ²]
ρ_s	: Massadichtheid bodemmateriaal	[kg/m ³]
ρ_w	: Massadichtheid water	[kg/m ³]
g	: Versnelling van de zwaartekracht	[m/s ²]
d_{50}	: Zeefdiameter (diameter van de steen die de 50 % waarde van de zeefkromme overschrijdt)	[m]
Re_*	: Getal van Reynolds	[-]
u_*	: Schuifspanningssnelheid	[m/s]
ν	: Kinematische viscositeit	[m ² /s]

De Shieldscurve geeft de grens aan tussen rust en bewegen, hierbij is niet een eenduidige lijn aan te geven, maar wel een band als grens door Shields gedefinieerd. De Shieldscurve is op te splitsen in 3 gebieden. Het eerste gebied ($Re_* < 2$) geldt voor een hydraulisch gladde bodem. De mate van gladheid van de bodem wordt bepaald door de steendiameter. Hoe kleiner de steen hoe relatief gladder de bodem is. Het tweede gebied ($2 < Re_* < 500$) is een overgangsgebied tussen hydraulisch gladde en ruwe bodem. In het derde gebied ($Re_* > 500$) is de kritieke Shieldsparameter constant en heeft een waarde van 0,055. Dit betekent dat Ψ_{cr} onafhankelijk is van de stromingscondities bij de bodem. Deze situatie wordt bereikt bij een steendiameter groter dan 7 mm. De kritieke Shieldsparameter heeft dan dezelfde waarde voor schaalmodellen als voor praktijksituaties, waarvoor over het algemeen geldt dat $Re_* > 500$ is. Voor de toepassing van de Shieldscurve zijn de volgende formules, **Formules 4.3., 4.4. en 4.5.**, gedefinieerd voor de kritieke stromingssituatie:

$$\Psi_{cr} = \frac{\tau_{cr,b}}{(\rho_s - \rho_w)gd_{50}} = \frac{u_{*cr}^2}{\Delta gd_{50}}$$

$$u_{*cr} = \bar{u}_{cr} \sqrt{\frac{g}{C}}$$

$$\Psi_{cr} = \frac{\bar{u}_{cr}^2}{C^2 \Delta d_{50}}$$

Formules 4.3., 4.4. en 4.5. Formules behorende bij kritieke stromingssituatie

waarin:

Ψ_{cr}	: Shieldsparameter, kritieke mobiliteitsparameter	[-]
$\tau_{cr,b}$	: Kritieke bodemschuifspanning	[N/m ²]
ρ_s	: Massadichtheid bodemmateriaal	[kg/m ³]
ρ_w	: Massadichtheid water	[kg/m ³]
g	: Versnelling van de zwaartekracht	[m/s ²]
d_{50}	: Zeefdiameter (diameter van de steen die de 50 % waarde van de zeefkromme overschrijdt)	[m]
u_{cr*}	: Kritieke schuifspanningsnelheid	[m/s]
Δ	: Relatieve dichtheid van het bodemmateriaal onder water	[-]
$\bar{u}_{cr}$	: Kritieke tijdgemiddelde stroomsnelheid over de verticaal in de x-richting	[m/s]
C	: Chézy coëfficiënt	[m ^{1/2} /s]
Re_*	: Getal van Reynolds	
ν	: Kinematische viscositeit	[m ² /s]

De Chézy coëfficiënt wordt bepaald met behulp van de volgende formule,

Formule 4.6.:

$$C = 18 \log \left(\frac{12R}{k} \right)$$

Formules 4.6. Berekening Chézy coëfficiënt.

waarbij:

C	: Chézy coëfficiënt	[m ^{1/2} /s]
R	: Hydraulische straal	[m]
k	: Hydraulische bodemruwheid	[m]

4.4.3. CRITERIA VOOR BEGIN VAN BEWEGEN

De Shieldscurve geeft de grens aan tussen rust en beweging van stenen, waarbij Ψ_{cr} bepaald wordt door extrapolatie uit een situatie met klein transport. Dit is in feite een zeer subjectieve definitie. In het rapport M648/M863 van het Waterloopkundig Laboratorium, WL, is het begin van bewegen uitvoerig onderzocht en zijn zeven verschillende definities voor bewegen van stenen aangegeven. De zeven definities luiden:

1. *Verplaatsing van de korrels, af en toe;*
2. *Korrels aan de wandel, hier en daar;*
3. *Korrels aan de wandel, op vrij veel plaatsen;*
4. *Korrels aan de wandel, bijna overal;*
5. *Korrels aan de wandel, overal doch niet permanent;*
6. *Korrels aan de wandel, overal en permanent;*
7. *Begin van opmars van de korrels.*

Eerder dan dit rapport van het WL heeft Paintal onderzoek gedaan naar het begin van bewegen door zeer lage transporten te onderzoeken. Hierbij kwam Paintal eveneens tot de conclusie dat een punt van bewegen niet duidelijk is en dat bij elke stromingssituatie een zeker transport optreedt, behalve in stilstaand water. Paintal vond een relatie tussen de mobiliteitsparameter Ψ en een dimensieloze transportparameter ϕ . De dimensieloze transportparameter ϕ wordt ook wel aangeduid met q_{s*} , zie **Formule 4.7.**

$$\phi \equiv q_{s*} = \frac{q_s}{\sqrt{\Delta g d_{50}^3}}$$

Formule 4.7. Transportparameter.

$\phi = 6,56 \times 10^{18} \times \Psi^{16}$	voor $\Psi < 0,05$	Paintal
$\phi = 13 \Psi^{2,5}$	voor $\Psi > 0,05$	

$\phi = 1,64 \times 10^{10} \times \Psi^{10,86}$	voor $\Psi < 0,085$	WL-gecorrigeerd
--	---------------------	------------------------

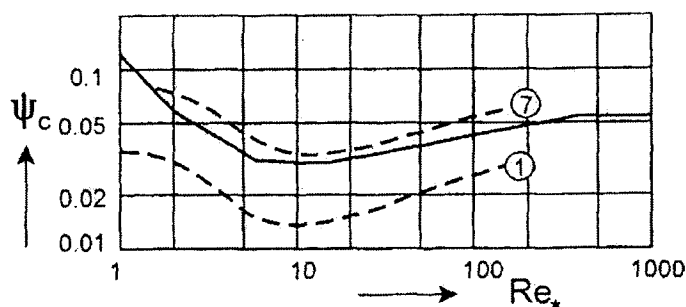
Formule 4.8a., 4.8b. en 4.9. Transportparameters volgens Paintal en het WL.

Formule 4.9. is de door het WL gecorrigeerde formule van Paintal. Door deze bevindingen kan de Shieldscurve getransformeerd worden naar een begin van bewegen met behulp van een transportcriteria diagram, **Figuur 4.3.**

De mobiliteitsparameter Ψ heeft dus een zekere relatie met de transportcriteria van het WL en van Paintal. De belangrijkste relaties zijn die voor de kritieke Shieldsparameter en de 'no movement' ontwerp-parameter, respectievelijk:

- $\Psi_{cr} = 0,055$ 'Overall korrels aan de wandel' en $\phi = 10^{-4}$ (WL);
- $\Psi = 0,03$ 'Geen verplaatsing van korrels' en $\phi = 10^{-7}$ (WL).

Hieruit valt te concluderen dat voor elke granulaire bodemverdediging transport van stenen zal plaatsvinden. Bij veel constructies is een bepaalde mate van transport toelaatbaar. Voor een bodemverdediging met een toplaag van een paar keer de steendiameter wordt het toelaatbare transport vaak uitgedrukt in aantallen stenen.



Figuur 4.3. Shieldscurve met transportcriteria 1 en 7.

4.4.4. BESTAANDE BODEMTRANSPORTFORMULES

Bodemtransportformules zijn relaties die zijn opgesteld tussen de mobiliteitsparameter en de transportparameter. In dit gedeelte zullen 3 formules worden beschreven, die gebruikt kunnen worden om een granulaire bodemverdediging te kunnen ontwerpen. Deze formules zijn vergelijkbaar opgebouwd uit een mobiliteitsparameter die wordt gerelateerd aan de transportparameter. Achtereenvolgens worden de formules beschreven van:

- Paintal (1969);
- De Boer (1998);
- Waterloopkundig Laboratorium, bevestigd door Forschelen (2000).

Deze formules voorspellen het transport van bodemmateriaal bij lage hydraulische belastingen. Voor alle 3 de formules wordt dezelfde mobiliteitsparameter gebruikt, **Formule 4.5.** Bovendien hebben Paintal, De Boer en het WL niet alleen gekeken naar het bodemmateriaal breuksteen, maar ook naar het bodemmateriaal grind.

Paintal, De Boer en het WL kwamen tot de volgende bodemtransportformules:

- **Paintal**

Uit het onderzoek van Paintal zijn de volgende bodemtransportformules naar voren gekomen, die betrekking hebben op grindachtige materialen:

$$q_{s*} = 6,56 \times 10^{18} \times \Psi^{16} \quad \text{voor } \Psi < 0,05$$

$$q_{s*} = 13 \times \Psi^{2,5} \quad \text{voor } \Psi > 0,05$$

Formules 4.10a. en 4.10b. Transportparameters volgens Paintal.

- **De Boer**

De bodemtransportformule volgens De Boer is:

$$q_{s*} = 0,55 \times \Psi^{3,9}$$

Formule 4.11. Bodemtransportformule volgens De Boer voor grind.

Deze formule is te gebruiken bij een mobiliteitsparameter van $\Psi < 0,07$ en heeft betrekking op grind. Voor breuksteen vond hij een andere formule.

- **Waterloopkundig Laboratorium**

Het WL heeft verder gekeken naar het onderzoek van Paintal en vond een iets andere waarde voor de bodemtransportformule, namelijk:

$$q_{s*} = 1,64 \times 10^{10} \times \Psi^{10,86}$$

Formule 4.12. Bodemtransportformule volgens WL.

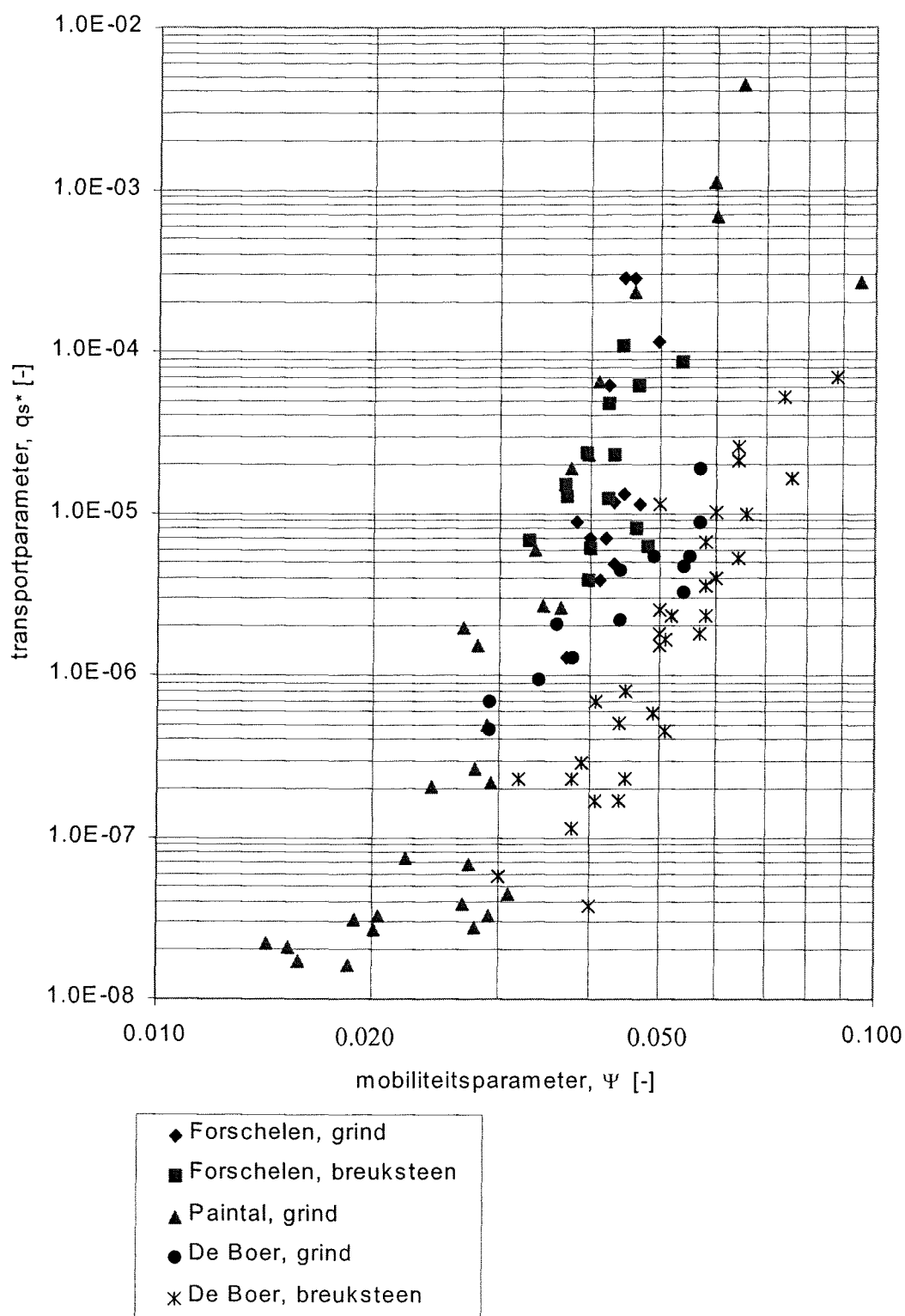
Deze formule is te gebruiken bij een mobiliteitsparameter van $\Psi < 0,085$ en heeft betrekking op grindachtige materialen.

Door Forschelen is in 2000 is onderzoek gedaan naar de verschillen tussen de verschillende formules. Het verschil tussen de 3 formules ligt volgens het onderzoek van Forschelen in de wijze van bepaling van de mobiliteitsparameter. Deze parameters zijn bij de onderzoeken op de volgende manier bepaald:

- Paintal : Mobiliteitsparameter globaal bepaald uit de schuifspanning door de korrels;
- De Boer : Mobiliteitsparameter lokaal bepaald uit snelheidsprofiel en toegepast voor de gehele goot;
- WL : Mobiliteitsparameter globaal bepaald uit de schuifspanning door het bed.

De verschillen in de bepaling van de mobiliteitsparameter zorgen ervoor dat de bodemtransportformules van elkaar verschillen. Uit het onderzoek van Forschelen is naar voren gekomen dat de formule van het WL de beste benadering geeft van de werkelijke hoeveelheid transport, die bij zijn experimenten optraden. In **Figuur 4.4.** zijn de verschillen tussen de 3 onderzoeken zichtbaar.

Experimenten Forschelen, Paintal en De Boer, oorspronkelijke mobiliteitsparameter van elk onderzoek



Figuur 4.4. Experimenten Forschelen, Paintal en de Boer.

In **Figuur 4.4.** is te zien dat de experimenten van Forschelen alleen betrekking hebben op een mobiliteitsparameter tussen ongeveer 0,03 en 0,06. Hierbij heeft Forschelen gekeken naar zowel grind als breuksteen. Paintal daarentegen heeft een veel groter gebied bekeken, namelijk tussen 0,015 en 0,065 en naar materiaal dat door hem omschreven wordt als 'sub-rounded' tot 'sub-angular'. De Boer kwam uit op een mobiliteitsparameter tussen de 0,03 en 0,09 en heeft, net als Forschelen, naar grind en breuksteen gekeken. In dit figuur valt op dat de resultaten van Forschelen redelijk overeenkomen met die van Paintal. Tevens is te zien dat bij een mobiliteitsparameter tussen de 0,04 en 0,045 door Forschelen geen verschil wordt geconstateerd in de mate van transport bij andere vormen van het materiaal. De hoeveelheid transport is voor grind en breuksteen vrijwel gelijk. Bij de Boer is duidelijk te zien dat naarmate de mobiliteitsparameter kleiner wordt er wel degelijk invloed is van de vorm van het materiaal. Bij een lagere mobiliteitsparameter zal bij grind meer transport optreden dan bij breuksteen. Echter constateert de Boer over het algemeen een lager transport dan de andere onderzoeken. Dit heeft te maken met een afwijkende bepaling van de mobiliteitsparameter in de onderzoeken. Het onderzoek van de Boer toont derhalve wel aan dat bij een constructie die ontworpen wordt bij een lage mobiliteitsparameter er naar alle waarschijnlijkheid meer transport zal optreden bij grind dan bij breuksteen. Dit probleem zou kunnen worden opgevangen door bijvoorbeeld een grotere laagdikte toe te passen bij grind zodat meer materiaal aanwezig is dat getransporteerd kan worden. De functie van de constructie blijft dan echter nog wel gehandhaafd.

4.4.5. DE TE GEBRUIKEN TRANSPORTFORMULES

Het onderzoek dat door Forschelen is verricht naar de formules van Paintal, WL en De Boer geeft aan dat zijn resultaten het best benaderd werden door de formule van het WL. Zoals in **Figuur 4.4.** te zien is heeft hij dat voor zowel grind als breuksteen gedaan. Voor het vervolg van dit onderzoek zal dan ook gebruik gemaakt worden van de bodemtransportformule van het WL, welke door Forschelen is bevestigd.

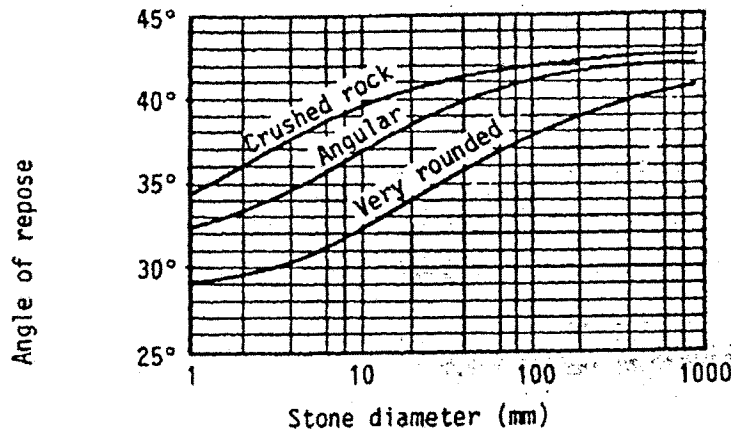
Eventuele verschillen tussen de materialen breuksteen en grind zullen in

Hoofdstuk 5 verder worden bekeken.

De algemene mobiliteitsparameter, zoals vermeld in **Formule 4.5.**, kan nog worden aangepast aan de omstandigheden die optreden bij de overlaatconstructie en de bochtbescherming. In **Formule 4.5.** is geen rekening gehouden met de mogelijkheid dat de stenen op een helling liggen. Bij zowel de overlaatconstructie als bij de bochtbescherming is dit echter voor een groot aantal stenen het geval. Daarom dient hiervoor een correctie factor worden toegepast, te weten K_s . Deze K_s hangt af van 3 verschillende factoren, te weten:

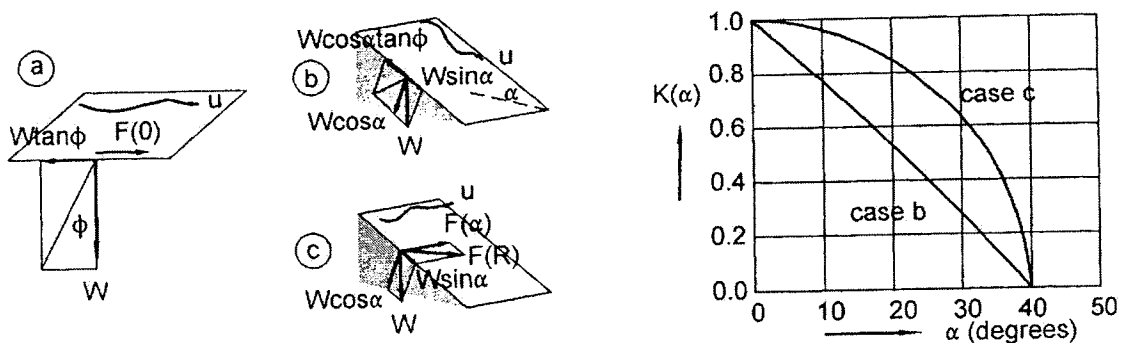
- Hoek van inwendige wrijving van de stenen;
- De hellingshoek;
- De stromingsrichting.

In **Figuur 4.5.** is te zien welke hoek van inwendige wrijving hoort bij welke type steen, rond of meer hoekig, met de daarbij behorende steendiameter.



Figuur 4.5. Hoek van inwendige wrijving afhankelijk van steendiameter en steenvorm.

De stromingsrichting kan verschillen in meestroming en loodrechte stroming. In **Figuur 4.6.** is dit verschil weergegeven.



Figuur 4.6. K_s berekening voor diverse type stromingen.

Met behulp van **Formule 4.13.** en **4.14.** is het mogelijk om de factor K_s te berekenen.

$$K_{(\alpha//)} = \frac{F_{(\alpha//)}}{F_{(0)}} = \frac{W \cos \alpha \tan \varphi - W \sin \alpha}{W \tan \varphi} = \frac{\sin \varphi \cos \alpha - \cos \varphi \sin \alpha}{\sin \varphi} = \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\sin \varphi}$$

Formule 4.13. K_s voor meestroming.

$$K_{(\alpha\perp)} = \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha \tan^2 \varphi - \sin^2 \alpha}{\tan^2 \varphi}} = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha \left(1 + \frac{1}{\tan^2 \varphi}\right)} = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \varphi}}$$

Formule 4.14. K_s voor loodrechte stroming.

De algemene mobiliteitsparameter verandert daarmee in **Formule 4.15.**, waarbij rekening wordt gehouden met stenen op een helling:

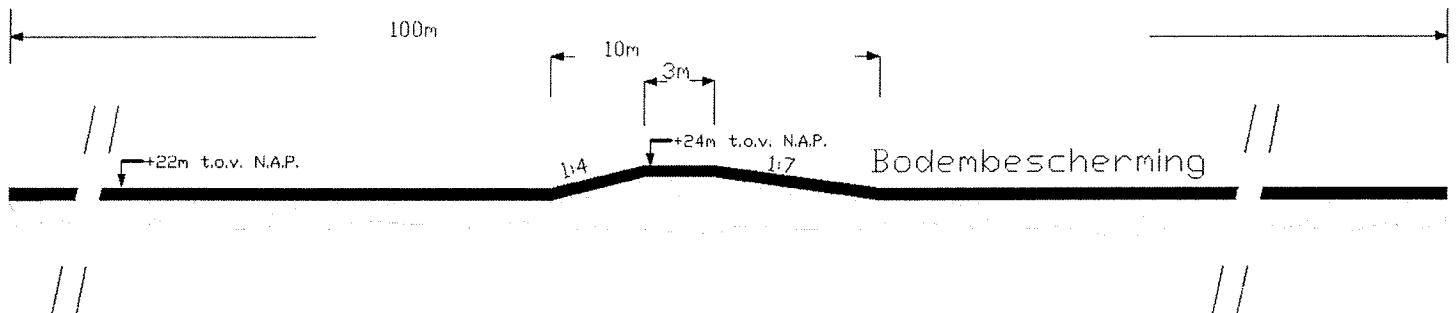
$$\Psi = \frac{\bar{u}^2}{K_s d_{50} \Delta C^2}$$

Formule 4.15. Mobiliteitsparameter met K_s .

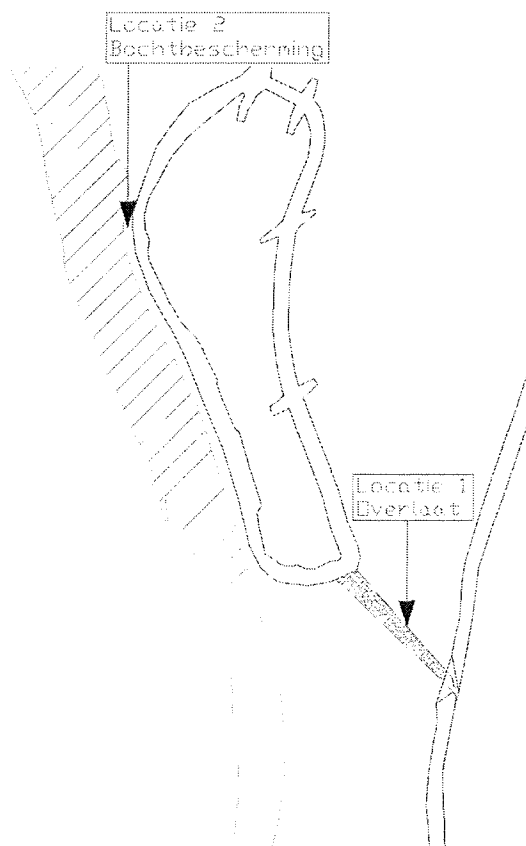
5. DIMENSIONERING ONTWERP

5.1. OVERLAAT, LOCATIE 1

Ten zuiden van Visserweert is tussen het dorpje Visserweert en de bestaande winterdijk de overlaat gelegen. De overlaat wordt niet het gehele jaar voorzien van water en zou daarom ook een drempel kunnen worden genoemd. De totale breedte tussen Visserweert en de winterdijk bedraagt ongeveer 150 m op de hoogte waar de ontgravingen beginnen. Op het bodemniveau van ontgraving, voor het te construeren profiel, bedraagt de breedte ongeveer 75 m. In het midden van de totale ontgraving is een vore gelegen. Een vore is een geul in het midden van de overlaat. Een schets van de overlaat en een overzicht van de locatie is weergegeven in **Figuur 5.1.** en **5.2.**



Figuur 5.1. Lengtedoorsnede overlaatconstructie, Locatie 1.



Figuur 5.2. Locatie aanduiding.

Bij het bepalen van de bodemhoogte van deze vore is uitgegaan van een waterstand van 0,5 m bij een afvoer van 50 m³/s in de Maas. De top van de overlaat is 10 m lang. De oevers van de nevengeul en weerdverlaging worden vergraven onder een helling van 1:3, evenals de vergraving van de vore. Voor het ontwerp van de overlaat is onder ander gebruik gemaakt van het afstudeerwerk van Bloemberg, “stroomlijnen van zomerkaden” 2001, waarin richtlijnen worden gegeven over de hellingen van, in dit geval, de boven- en benedenstroomse helling. Uit dit rapport komt naar voren dat de ideale helling voor de bovenstroomse zijde 1:4 is en voor de benedenstroomse 1:7. Bij grind kan een ϕ worden gebruikt van ongeveer 38°. Dit houdt het volgende in voor de diverse K_s :

Helling	Type stroming	K_s
1:4	mee	0,660
1:7	mee	0,809
1:3	loodrecht	0,858

Tabel 5.1. Diverse waarden voor K_s .

5.1.1. STEENGROOTTE LOCATIE 1

Met behulp van de gegevens die in het voorafgaande naar voren zijn gekomen en de gegevens uit **hoofdstuk 3** kan gekeken gaan worden welke steengrootte nodig zal zijn voor de beschermingsconstructie. Hierin worden alle simulatiegegevens meegenomen en gekeken waar de maatgevende steen uit naar voren komt. Via een spreadsheet programma is geprobeerd op iteratieve wijze **Formule 4.15.** in te vullen. Hierbij is gebruik gemaakt van verschillende bodemruwheden voor de constructie, van $k_r = 2d_{50}$ tot en met $k_r = 5d_{50}$. Deze k_r heeft invloed op de Chézy coëfficiënt en beïnvloedt daarmee uiteindelijk de benodigde steengrootte.

Om allereerst een indruk te krijgen in welke orde van grote de berekende steengrootte zal komen te liggen, is een berekening gemaakt met $\Psi = 0,030$, waarbij volgens Shields geen noemenswaardig transport optreedt. Omdat de intentie van het Grensmaasproject onder andere inhoudt dat de natuur zoveel mogelijk haar gang moet kunnen gaan, is gekozen voor $\Psi = 0,030$. Hierdoor zal in de toekomst niet of nauwelijks onderhoud aan de constructie nodig zijn. Het gebied zal daardoor minder vaak verstoord worden. Verder is gerekend met 2 verschillende bodemruwheden, te weten $k_r = 2d_{50}$ en $k_r = 5d_{50}$ en $K_s = 1$. De overige gegevens zijn afkomstig uit **Tabel 3.1.**, welke bij de diverse overstromingsfrequenties horen. De berekende steengrootten hebben betrekking op breuksteen en niet op grind. In **Paragraaf 5.4.** zal een vergelijking worden getrokken tussen breuksteen en grind.

$$\Psi = \frac{\tau_b}{(\rho_s - \rho_w)gd_{50}} = \frac{\bar{u}^2}{K_s d_{50} \Delta C^2} \Rightarrow d_{50} = \frac{\bar{u}^2}{K_s \Psi \Delta C^2}$$

Formule 5.1. Berekening d_{50} .

Formule 5.1. ingevuld bij $k_r=2d_{50}$ en $\Psi = 0,030$ levert voor de 4 simulaties de volgende steengroottes, d_{50} , op:

	Stroomsnelheden	$k_r=2d_{50}$	$k_r = 5d_{50}$
Overstromingsfrequentie [per jaar]	[m/s]	Steengrootte, d_{50} [m]	Steengrootte, d_{50} [m]
1:50	2,25	0,032	0,047
1:100	2,25	0,031	0,047
1:250	2,25	0,031	0,046
1:1250	2,50	0,041	0,061

Tabel 5.2. d_{50} bij vlak bed en met verschillende overstromingsfrequenties en k_r .

In **Tabel 5.2.** is te zien dat de invloed van de bodemruwheid wel aanwezig is, maar niet tot grote verschillen leidt. Derhalve wordt voor de rest van het onderzoek een middenweg genomen wat betreft de bodemruwheid. De verder te gebruiken bodemruwheid is $k_r = 3 d_{50}$. Tevens is te zien dat van de 4 overstromingsfrequenties die van 1:1250 jaar de grootste steen naar voren komt. Deze is echter niet representatief, omdat voor het gehele Grensmaastraject, het ontwerpniveau ligt bij een overstromingsfrequentie van 1:250 jaar. Als dan naar de 3 eerste overstromingsfrequenties wordt gekeken, blijkt dat bij 1:50 jaar de grootste steen naar voren komt. Zoals in **Paragraaf 3.1.2.** al aangehaald is, zou dit te maken kunnen hebben met de output-resolutie van het programma Waqua. De steengrootte verandert nog wanneer de helling in rekening wordt gebracht. Een helling van 1:4, verschillende bodemruwheden en $\Psi = 0,030$ levert de volgende waarden bij een overstromingsfrequentie van 1:50 jaar:

Bodemruwheid [m]	Steengrootte, d_{50} [m]
$k_r = 2d_{50}$	0,057
$k_r = 3d_{50}$	0,069
$k_r = 4d_{50}$	0,080
$k_r = 5d_{50}$	0,091

Tabel 5.3. Bodemruwheid met bijbehorende d_{50} bij een helling van 1:4.

In **Bijlage 5.1.** is een overzicht weergegeven van alle berekeningen met de diverse simulaties, mobiliteitsparameters en de verschillende bodemruwheden.

Uit het voorgaande volgt een steengrootte van ongeveer 0,07 m. Dit zou inhouden dat een steensortering van 40/100 mm zou kunnen voldoen. Bij deze sortering hoort namelijk een minimale d_{50} van 0,06 m en maximaal 0,09 m. Echter gezien de duur van deze omstandigheden zou dit kunnen leiden tot een te grote mate van transport. Daarom dient nu gekeken te worden naar de transportparameter van WL,

Formule 4.12., met daarin meegenomen de duur van de belasting. Uitgaande van een relatieve dichtheid van 1,65, een zwaartekrachtversnelling van $9,81 \text{ m/s}^2$, een steengrootte van 0,07 m, $\Psi = 0,030$ en een belastingsduur van 1 dag (86400 seconden) levert dat het volgende transport op, na invulling van de **Formule 4.12. en 3.1.**:

Transport bij 1 dag	Transport bij 2 dagen	Transport bij 1 week
9 stenen	18 stenen	63 stenen

Tabel 5.4. Hoeveelheid stenen bij verschillende duren van belasting, $d_{50} = 0,07 \text{ m}$.

Deze hoeveelheid kan acceptabel zijn bij een tijdsduur van niet meer dan 2 dagen. Een hoogwatergolf duurt vaak niet veel langer dan 2 dagen, echter de omstandigheden van hoogwater en de daarbij behorende stroomsnelheden kunnen langer duren. Daarom kan, mede omwille van de veiligheid en minder onderhoud, een grotere d_{50} worden gekozen. Allereerst zal worden gekeken naar een grotere d_{50} die nog wel binnen de sortering valt, namelijk $d_{50} = 0,08 \text{ m}$. De rest van de omstandigheden blijven gelijk. Hieruit volgt:

Transport bij 1 dag	Transport bij 2 dagen	Transport bij 1 week
7 stenen	14 stenen	49 stenen

Tabel 5.5. Hoeveelheid stenen bij verschillende duren van belasting, $d_{50} = 0,08 \text{ m}$.

Met een laagdikte van 3 à 4 keer de d_{50} , in dit geval 3 à 4 keer 0,08 m is 0,30 m, liggen op 1 m^2 ongeveer de volgende hoeveelheid stenen, na invullen van

Formule 3.1.:

$$\frac{\text{Volume stenen}}{\text{steendiameter}^3} \times (1 - \text{poriënvolume}) \cong \text{aantal stenen} \Rightarrow \frac{1 \times 1 \times 0,3}{0,08^3} \times (1 - 0,40) \cong 352 \text{ stenen}$$

Formule 5.2. Berekening hoeveelheid stenen in 1 m^2 constructie.

Het transport dat nu optreedt na 1 week is groter dan 10%, namelijk 14%. Het transport geschiedt vanuit 1 m^2 bodemmateriaal. Om te voorkomen dat in de constructie gaten vallen doordat te veel stenen getransporteerd worden, kan een extra laagdikte worden toegepast. Als bijvoorbeeld een laagdikte van 0,40 m à 0,50 m wordt toegepast, bevinden zich in de constructie 469 stenen respectievelijk 585 stenen. Het percentage stenen dat getransporteerd wordt, is 11% en 8%. Een laagdikte van tussen de 0,40 m en 0,50 m lijkt daarmee acceptabel. Een bijkomend voordeel van extra stenen is dat deze de plaats in kunnen nemen van andere stenen die getransporteerd zijn. Hierdoor verdwijnen uiteindelijk minder stenen uit het gebied. Op deze nieuwe plaats liggen deze getransporteerde stenen stabiel en zullen het bed dus minder snel verlaten en blijven deelnemen aan de constructie. Datgene wat hier niet bekeken is, zijn de transporten bij lagere overstromingsfrequenties omdat hierover niet voldoende gegevens beschikbaar waren. Het zou echter in de praktijk wel zo kunnen zijn dat bij de lagere overstromingsfrequenties, door de langere duur van de omstandigheden, de optredende transporten hoger uitvallen. Hiervoor zou dan een probabilistische benadering voor moeten worden gedaan.

5.1.2. FILTERCONSTRUCTIE LOCATIE 1

Om bij de aan te leggen overlaatconstructie geen uitspoeling te krijgen van het onderliggende fijne materiaal, dient een filterconstructie te worden aangelegd. Grofweg kunnen 2 type filters bekeken worden:

- Granulaire filters;
- Geotextiel.

Een granulair filter is opgebouwd uit diverse lagen stenen, waarbij iedere laag ervoor zorgt dat de laag onder de desbetreffende laag niet kan uitspoelen. Zo wordt de constructie van bovenaf “dichtgebouwd” tot aan het maaiveld, waar het fijnere materiaal zich bevindt. Granulaire filters kunnen op 2 manieren worden ontworpen:

- Geometrisch open;
- Geometrisch gesloten.

Geometrisch gesloten filters zijn stabiel, zonder te kijken naar de stroming door het filter. De kritieke stromingsgradiënt treedt niet op omdat de relatie tussen de diameters in het filter zo is dat de fijnere korrels niet door de poriën tussen de grotere stenen kunnen bewegen. Geometrisch gesloten filters moeten ontworpen worden met in achtneming van de marge tussen stabiliteit en doorlatendheid. Hiervoor zijn 3 ontwerpregels beschikbaar die niet los van elkaar kunnen worden gezien:

$$\text{Stabiliteit} : \frac{d_{15\text{Toplaag}}}{d_{85\text{Basislaag}}} < 5; \quad \text{Doorlatendheid} : \frac{d_{15\text{Toplaag}}}{d_{15\text{Basislaag}}} > 5; \quad \text{Interne stabiliteit} : \frac{d_{60}}{d_{10}} < 10$$

Formules 5.3., 5.4. en 5.5. Berekening filterlaag.

Geometrisch open filters hebben een kritische gradiënt, waarboven de basislaag niet meer stabiel is. Zolang de optredende gradiënt beneden de kritische waarde blijft, is dit geen probleem. Echter deze optredende gradiënt dient doormiddel van metingen of berekeningen in het filter bepaald te worden. Hierin speelt onder ander turbulentie een zeer sterke rol waardoor de bepaling van die gradiënt lastig is. De berekeningen die nodig zijn voor het bepalen van de gradiënt vallen buiten dit onderzoek en daarom zal hier gerekend worden aan een geometrisch gesloten filterconstructie.

In de toplaag van de overlaatconstructie bevindt zich een sortering stenen met een $d_{50} = 0,08$ m. De steengrootte volgt uit de berekening in **Paragraaf 5.1.1**. Bij deze steengrootte hoort een sortering van 40/100 mm, zie **Tabel 3.4.** . In deze sortering bevindt zich de benodigde d_{50} van 80 mm. Echter in een sortering ligt de precieze d_{50} niet vast. Deze kan uiteenlopen van 60 mm tot 90 mm. Voor de d_{15} en d_{85} geldt hetzelfde als voor de d_{50} dat sprake is van minimale en maximale waarden voor de diameter in een sortering. Voor de d_{15} loopt de diameter uiteen van minimaal 38 mm tot maximaal 67 mm. Bij de d_{85} loopt dit van 86 mm tot 118 mm. Het onderliggende maaiveld bevat diverse lagen die nogal verschillen van samenstelling, zie **Bijlage 3.3.**. De diepte waarop de overlaatconstructie wordt aangelegd, ligt op ongeveer 8 m beneden maaiveld. Op deze diepte volgt uit **Bijlage 3.3.** een d_{85} van ongeveer 75 mm, een d_{50} van 12,5 mm en een d_{15} van 1,5 mm. Omdat de grondgegevens van Koeweide gebruikt worden voor de locatie Visserweert, kunnen hier verschillen optreden die van invloed kunnen zijn op de filterconstructie. Om dit

probleem enigszins te ondervangen, wordt een bredere analyse gemaakt van de mogelijke ondergrond. Hiertoe zijn de monsters 7 tot en met 12 bekeken op de minimale en maximale waarde voor de d_{85} en de d_{15} . Deze lagen liggen het meest in de buurt van de diepte waarop de overlaatconstructie gemaakt dient te worden. Het voorgaande levert de volgende waarden, **Tabel 5.6.**:

Zeefdiameter	Monster	Steengrootte [mm]
d_{85}	8	75
d_{15}	8	1,5
Minimale d_{85}	12	33
Maximale d_{85}	9	85
Minimale d_{15}	7	0,9
Maximale d_{15}	9	3,5

Tabel 5.6a. Diverse waarden d_{15} en d_{85} .

Monster	gemiddeld	8 ontwerp	9 maximaal	12 minimaal
Zeefdiameter [mm]				
d_{10}	0,5	1,0	0,9	0,4
d_{60}	18	19	60	20

Tabel 5.6b. Diverse waarden d_{10} en d_{60} .

Wanneer de gegevens uit **Tabel 5.6.** afzonderlijk worden ingevuld in de **Formules 5.3., 5.4. en 5.5.** blijken deze allemaal te voldoen voor zowel de stabiliteit als de doorlatendheid. In **Tabel 5.7a.** is een overzicht van de berekeningen opgenomen van de verschillende waarden uit **Tabel 5.6a.**, ingevuld in **Formule 5.3., 5.4..**

Sortering 50/150 mm			Stabiliteit		Doorlatendheid		
d_{15} min/max [mm]	54,0	96,0					
Laag 8			Minimaal	Maximaal	Minimaal	Maximaal	
d_{85} [mm]	75,0		0,7	1,3			
d_{15} [mm]	1,5				36,0	64,0	
Minimaal							
d_{85} [mm]	33,0		1,6	2,9			
d_{15} [mm]	0,9				60,0	106,7	
Maximaal							
d_{85} [mm]	85,0		0,6	1,1			
d_{15} [mm]	3,5				15,4	27,4	

Tabel 5.7a. Berekening stabiliteit/doorlatendheid filterconstructie Locatie 1.

Voor wat betreft de interne stabiliteit van het bodemmateriaal blijkt niet te worden voldaan aan de filterregel uit **Formule 5.5**. In **Tabel 5.7b**. komt naar voren dat voor elke laag waarop de constructie zou kunnen worden aangelegd, de norm niet gehaald wordt.

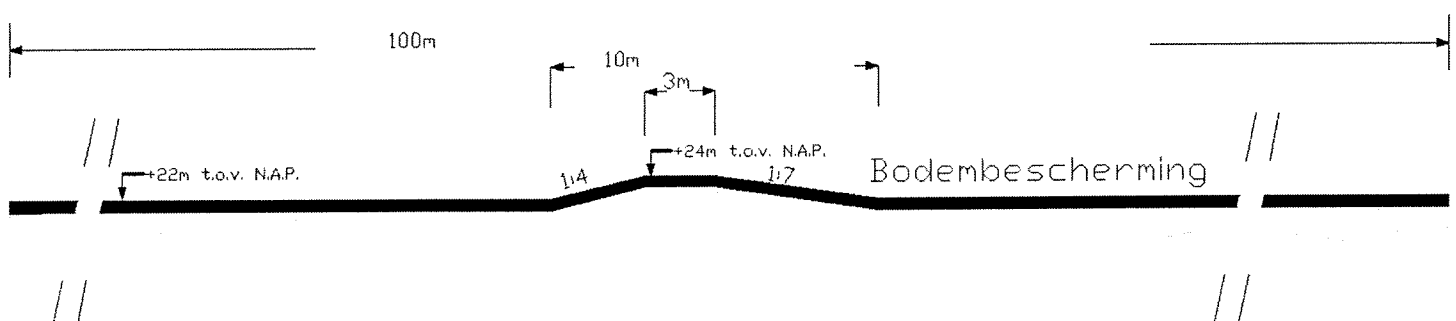
Monster	gemiddeld	8 ontwerp	9 maximaal	12 minimaal
d_{60}/d_{10}	36	19	66,7	50

Tabel 5.7b. Berekening interne stabiliteit filterconstructie Locatie 1.

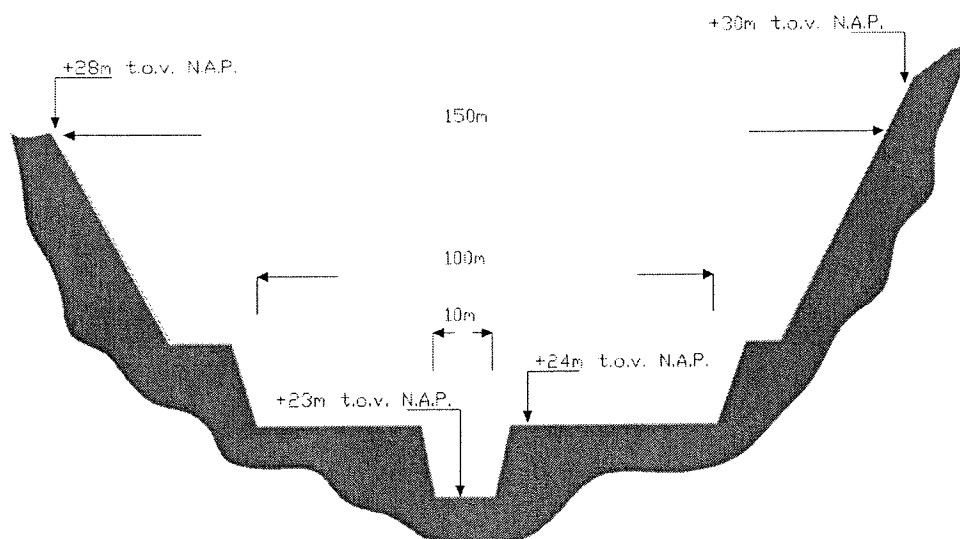
Om dit probleem te verhelpen, kan geprobeerd worden om de invloed van de stroming op de onderlaag te beperken. Dit kan gedaan worden door de laagdikte aan te passen. Bij de bepaling van de formule voor de interne stabiliteit, **Formule 5.5.**, is uitgegaan van een laagdikte van 2 à 3 keer de d_{50} . In dit ontwerp wordt uitgegaan van een grotere laagdikte, ongeveer 5 à 6 keer de d_{50} , zodat de invloed van de stroming al sterk verminderd zal zijn. De interne stabiliteit zal daarom waarschijnlijk geen problemen opleveren. Zodoende kan de toplaag rechtstreeks op de vergraven ondergrond worden aangelegd. Voor de filterconstructie zijn geen tussenlagen nodig.

5.1.3. HOEEVEELHEID STENEN LOCATIE 1

Bij de bepaling van de hoeveelheid stenen die nodig zijn, kan ruwweg uitgegaan worden van een constructie die eruit ziet zoals in **Figuur 5.3. en 5.4.** is weergegeven. De lengte van de bodembescherming wordt bepaald met de stelregel dat de lengte van de bodembescherming ongeveer 10 keer de waterdiepte bedraagt. De waterdiepte ter plaatse van de overlaat bedraagt ongeveer 8 m. In combinatie met de lengte van de overlaat komt de totale constructielengte op 100 m. Met een breedte van de doorstroomopening, de breedte van de overlaat, van 75 m en een totale lengte van 100 m, wordt het oppervlak van de constructie 7500 m². De gehele constructie wordt uitgevoerd in een laagdikte van ongeveer 0,5 m wat leidt tot een volume steen van 3750 m³. Met een d_{50} van 0,08 m en een porositeit van 40% komt dit neer op globaal $4,4 \times 10^6$ stenen.



Figuur 5.3. Lengtedoorsnede overlaatconstructie, Locatie 1.



Figuur 5.4. Dwarsdoorsnede overlaat.

5.2. LINKSBOVEN VISSERWEERT, LOCATIE 2

Linksboven Visserweert is een locatie aangrenzend aan het dorpje Visserweert, **Locatie 2**, zie **Figuur 5.2.** Hier treden dusdanige stroomsnelheden op dat bochtbescherming nodig is om geen verdere uitschuring te laten optreden. De berekening van de steengrootte en filterconstructie zal op analoge wijze geschieden als in **Paragraaf 5.1.**, alleen met andere invoerwaarden.

5.2.1. STEENGROOTTE LOCATIE 2

Bij de bochtbescherming treedt een loodrechte aanval van de stroming op. De helling van het talud bedraagt 1:3. Dit leidt tot een $K_s = 0,858$. Ook hier is om een eerste indruk te krijgen over de orde van grootte van stenen een berekening gemaakt met $\Psi = 0,030$. Verder is direct gerekend met een bodemruwheid van $k_r = 3d_{50}$.

Formule 5.1. ingevuld bij $k_r = 3d_{50}$, $K_s = 0,858$ en $\Psi = 0,030$ levert voor de 4 simulaties de volgende steengroottes, d_{50} , op:

Overstromingsfrequentie [per jaar]	Stroomsnelheden [m/s]	Steengrootte, d_{50} [m]
1:50	2,25	0,155
1:100	2,25	0,094
1:250	2,25	0,086
1:1250	2,50	0,116

Tabel 5.8. Overstromingsfrequentie met bijbehorende steengrootte.

Te zien is dat bij de 4 overstromingsfrequenties die van 1: 50 jaar de grootste steen naar voren komt. Omdat het ontwerpniveau ligt op 1:250 jaar, wordt verder gerekend met de grootste steen uit de eerste 3 simulaties. In dit geval ook de steen uit de simulatie met een overstromingsfrequentie van 1:50 jaar, te weten 0,155 m. Deze steengrootte verschilt echter aanzienlijk met die van de overstromingsfrequentie van 1:100 jaar en 1:250 jaar. Dit grote verschil komt voort uit de verschillen in de stroomsnelheid en de waterdiepte die optreedt bij de overstromingsfrequenties. Ter plaatse is echter geen duidelijke reden aanwijsbaar die te maken heeft met een eventuele verandering in het stroomprofiel, waardoor de grotere stroomsnelheid en de lagere waterstand te verwachten zouden zijn. Deze verschillen zullen dan ook naar alle waarschijnlijkheid te maken hebben met het gebruiken van de intervallen, zoals in **Paragraaf 3.1.2.** is uitgelegd. De verwachting is dan ook dat de gevonden steengrootte eerder in de buurt zal liggen van de overstromingsfrequenties van 1:100 jaar en 1:250 jaar. Voor de verdere berekening wordt dan ook uitgegaan van een steengrootte die ligt in de buurt van de overstromingsfrequentie van 1:100 jaar. Daarom wordt verder gerekend met een d_{50} gelijk aan 0,10 m. Deze diameter valt in een sortering van 50/150 mm. De minimale d_{50} van deze sortering is 0,09 mm en de maximale d_{50} is 0,13 mm, zie **Tabel 3.4.**

Wanneer de duur van de belasting wordt meegenomen, volgt uit **Formule 4.12.** en **Formule 3.1.**, de hoeveelheid transport. Uitgegaan wordt van 1,65 als relatieve dichtheid, een zwaartekrachtversnelling van $9,81 \text{ m/s}^2$, een steengrootte van 0,10 m, $\Psi = 0,030$ en een belastingsduur van 1 dag (86400 seconden).

Transport bij 1 dag	Transport bij 2 dagen	Transport bij 1 week
5 stenen	10 stenen	35 stenen

Tabel 5.9. Hoeveelheid stenen bij verschillende duren van belasting.

Deze hoeveelheid transport van stenen is van het geheel 20%, bij een laagdikte van 0,30 m. Bij een laagdikte van 0,40 m bedraagt het transport 15% en bij 0,50 m bedraagt het transport 12%. Ook hier geldt dat stenen die getransporteerd worden, in de regel op een andere plaats in de constructie terechtkomen en daar stabielere komen te liggen. Daardoor lijkt een laagdikte van 0,50 m te kunnen worden volstaan.

5.2.2. FILTERCONSTRUCTIE LOCATIE 2

Analoog aan de filterconstructie voor **Locatie 1** kan voor **Locatie 2** ook de filterconstructie worden uitgerekend. De lagen waar de filterconstructie op komt te liggen is echter nog diverser omdat deze filterconstructie meer verticaal komt te liggen. Deze filterconstructie komt te liggen vanaf de waterspiegel tot aan de rivierbodem. Dit houdt in dat op dit traject rekening gehouden dient te worden met de lagen van de monsters 1 tot en met 12. In deze monsters komen de volgende d_{15} en d_{85} waarden naar voren, **Tabel 5.10.**

Zeefdiameter	Monster	Steengrootte [mm]
Minimale d_{85}	2	17
Maximale d_{85}	9	85
Minimale d_{15}	1	0,2
Maximale d_{15}	9	3,5

Tabel 5.10. Minimale en maximale d_{15} en d_{85} voor Locatie 2.

Wanneer de gegevens uit **Tabel 5.10.** afzonderlijk worden ingevuld in de **Formules 5.3., 5.4.** blijken deze net niet allemaal te voldoen voor de stabiliteit en wel voor de doorlatendheid. Doordat in het ontwerp een grotere laagdikte wordt toegepast, zoals al is aangegeven in **Paragraaf 5.1.2.**, zal dit niet tot problemen leiden. Voor de interne stabiliteit van het bodemmateriaal geldt hetzelfde als bij de overlaatconstructie. Ook hier wordt niet voldaan aan de filterregel, **Formule 5.5.** Op analoge wijze wordt ervan uitgegaan dat, door de dikkere constructielag, de interne stabiliteit wel gewaarborgd zal zijn. De bochtbeschermingsconstructie kan rechtstreeks op het vergraven talud aan te leggen.

In **Tabel 5.11.** is een overzicht van de berekeningen opgenomen van de verschillende waarden uit **Tabel 5.10.**, ingevuld in **Formules 5.3., 5.4. en 5.5.**

Sortering 50/150 mm						
d ₁₅ min/max [mm]	54,0	96,0				
			Stabiliteit		Doorlatendheid	
			Minimaal	Maximaal	Minimaal	Maximaal
			2,7	5,6		
					270,0	480,0
Minimaal						
d ₈₅ [mm]	17					
d ₁₅ [mm]	0,2					
Maximaal						
d ₈₅ [mm]	85,0		0,6	1,1		
d ₁₅ [mm]	3,5				15,4 27,4	

Tabel 5.11. Berekening filterconstructie Locatie 2.

Om de bochtbescherming niet te laten wegspoelen door uitschuring voor of achter de constructie, dient de bescherming nog te worden doorgetrokken, zowel boven- als benedenstrooms. Hierbij kan worden uitgegaan van de stelregel dat de bescherming doorgetrokken dient te worden over een lengte ongeveer gelijk aan 10 keer de waterdiepte. De waterdiepte is in dit geval gelijk aan 2,00 m wat leidt tot een lengte

van 20 m, zowel boven- als benedenstrooms. De totale lengte van de constructie komt daarmee op ongeveer 40 m. De bescherming wordt over de gehele helling doorgetrokken tot aan de rivierbodem.

5.2.3. HOEVEELHEID STENEN LOCATIE 2

Met een helling van 1:3 en een diepte van 11,50 m komt de lengte van de bochtbescherming in lengterichting overeen met een $L_1 = 36$ m. Met de stroom mee is de lengte $L_s = 40$ m. Rekeninghoudend met een laagdikte van 0,50 m leidt dit tot een volume stenen gelijk aan 720 m^3 . De d_{50} van de beschermingslaag is 0,10 m waardoor het aantal benodigde stenen neerkomt op 432×10^3 stenen.

5.3. TOTALE HOEVEELHEID STENEN

De hoeveelheden stenen die berekend zijn in **Paragraaf 5.1.3.** en **5.2.3.** geven de volgende totale hoeveelheid, volgend uit **Formule 3.1.:**

	Volume [m ³]	Aantal [stenen]
Overlaatconstructie	3750	$4,4 \times 10^6$
Bochtbescherming	720	432×10^3
Totaal benodigd	4470	$4,8 \times 10^6$
Totaal beschikbaar	289×10^3	$21,7 \times 10^6$

Tabel 5.12. Overzicht benodigde hoeveelheden stenen.

Gezien de totale hoeveelheid toutvenant die vrijkomt, alleen al bij de vergravingswerkzaamheden bij Koeweide, zou meer dan genoeg materiaal aanwezig moeten zijn voor het maken van de 2 constructies. Tevens zijn voor de constructie bij **Locatie 3**, ook bochtbescherming, voldoende stenen aanwezig. Bij **Locatie 3** is ongeveer dezelfde hoeveelheid stenen nodig als bij **Locatie 2**. Daarmee komt de benodigde hoeveelheid stenen voor de 3 locaties bij Visserweert op 5190 m^3 . Deze hoeveelheid is ongeveer 2% van de bruikbare hoeveelheid grind dat vrijkomt bij de verruimingswerken bij de projectlocatie Koeweide. In **Hoofdstuk 6** wordt bekeken of dit economisch haalbaar is of dat traditionele oplossingen in beton of breuksteen voordeliger zijn. De vergelijking wordt gedaan aan de hand van een kosten- batenanalyse.

5.4. BEREKENING VOOR GRIND OF BREUKSTEEN

Zoals al in **Paragraaf 4.4.4.** vermeld is, zijn de formules voor transport meer toegespitst op breuksteen dan grindachtige materialen. Bij grindachtige materialen kunnen grotere transporten worden verwacht. De gevonden transporten voor de constructie die nodig zijn voor **Locatie 1 en 2** zullen daarom voor grind hoger uitvallen. Dit heeft te maken met het meer instabiele gedrag van grind ten opzichte van breuksteen. Om een schatting te maken van de te verwachten transportverschillen kan gekeken worden naar de hoeveelheid transport bij een iets hogere mobiliteitswaarde van $\Psi = 0,035$ en een zelfde steengrootte. Wanneer een grotere waarde voor Ψ gehanteerd zou worden, tussen de 0,04 en 0,045, is tussen grind en breuksteen geen verschil meer in de hoeveelheid transport. De hoeveelheid transport is bij deze waarden echter te groot. Voor de overlaatconstructie bij **Locatie 1** komt dit er als volgt uit te zien, met een $d_{50} = 0,08$ m:

Mobiliteitsparameter	Transport bij 1 dag	Transport bij 2 dagen	Transport bij 1 week
$\Psi = 0,030$	7 stenen	14 stenen	49 stenen
$\Psi = 0,035$	39 stenen	78 stenen	273 stenen

Tabel 5.13. Hoeveelheden transport bij verschillende mobiliteitsparameters voor Locatie 1.

Het uiteindelijk te verwachten transport bij grind zal liggen tussen de 49 en 273 stenen. Bij een laagdikte van 0,5 m zitten per m^2 ongeveer 585 stenen in de constructie. Het transport is dan respectievelijk 8% en 47%. Deze hoeveelheden zullen de functie van de constructie niet aantasten, maar er dient wel onderhoud te worden gepleegd, wanneer het transport daadwerkelijk zo hoog is. Daarmee lijkt het mogelijk om de overlaatconstructie uit te voeren in grindfracties met een d_{50} van 0,08 m.

Voor de bochtbescherming geldt hetzelfde als bij de overlaatconstructie. De verschillende transporten die hier optreden zijn, met een d_{50} van 0,10 m:

Mobiliteitsparameter	Transport bij 1 dag	Transport bij 2 dagen	Transport bij 1 week
$\Psi = 0,030$	5 stenen	10 stenen	35 stenen
$\Psi = 0,035$	28 stenen	56 stenen	196 stenen

Tabel 5.14. Hoeveelheden transport bij verschillende mobiliteitsparameters voor Locatie 2.

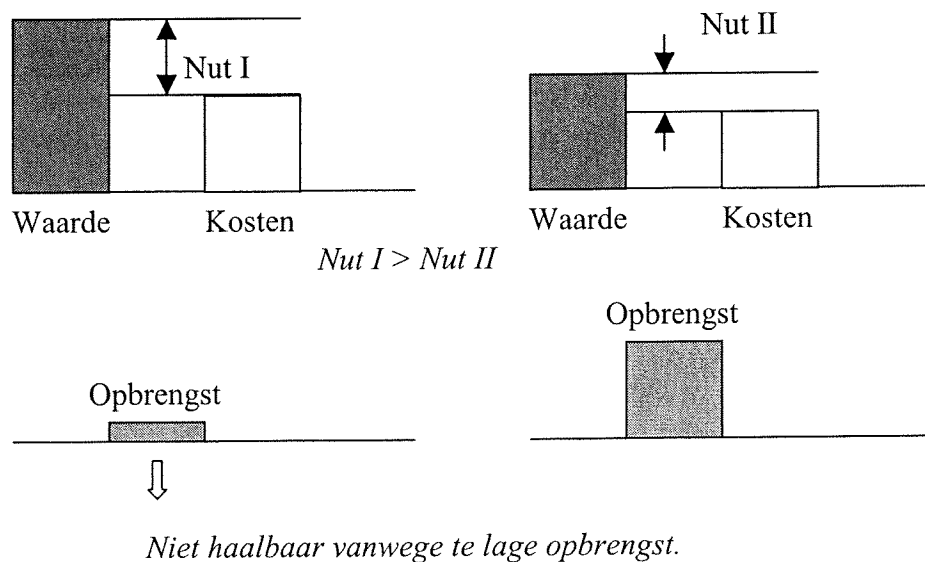
Het transport van grind zal in dit geval komen te liggen tussen de 10 stenen en 56 stenen. Totaal zitten in de bochtbeschermingsconstructie ongeveer 300 stenen bij een laagdikte van 0,5 m. Procentueel zijn dan de transporten 12% respectievelijk 65%. De functie van de bochtbescherming zal bij dit transport niet verloren gaan. Echter zal bij zulke hoge transporten wel gekeken moeten worden of eventueel onderhoud nodig is, zodat de constructie weer op voldoende sterkte kan blijven. Op die manier is het mogelijk zijn om de bochtbescherming uit te voeren in grind met een d_{50} van 0,10 m.

6. KOSTEN- BATENANALYSE

Om een beeld te krijgen van wat de waarde is van een bepaalde constructie, is een kosten- batenanalyse uitgevoerd voor de overlaatconstructie. De waarde van een constructie kan gezien worden als een vorm van baten. Een kosten- batenanalyse kan opgezet worden voor het gehele projectgebied of onderdelen daarvan. In dit onderzoek wordt alleen gekeken naar de overlaatconstructie in het projectgebied. Voor de constructie worden 3 varianten ontworpen. Als eerste ontwerp wordt de overlaatconstructie gebruikt die volgt uit **Hoofdstuk 5**, uitvoering in grind. Het tweede ontwerp is een overlaatconstructie in breuksteen en het derde ontwerp één in beton, die beide nog globaal ontworpen moeten worden. Iedere variant dient beoordeeld te worden op de waarde van die variant, onafhankelijk van de kosten. De beoordeling van de varianten gebeurt in verschillende categorieën en door diverse instanties opdat een algemeen beeld van waarde wordt verkregen. Voorbeelden van instanties en onder welke categorie zij zijn ingedeeld, zijn:

- Rijkswaterstaat en ministeries als “beleidsmakers”;
- Bewoners en toeristen als “gebruikers”;
- Staatsbosbeheer en Wereld Natuur Fonds, als “natuurbeheerders”.

Deze onderverdeling is in dit onderzoek gebruikt. Het waardeoordeel van de diverse categorieën wordt gekoppeld aan de kosten van de constructie. Op die manier is een goede vergelijking te maken tussen de kosten en de eventuele opbrengsten tussen de 3 varianten. In een traditionele kosten- batenanalyse wordt allereerst gekeken naar het nut van de constructie. Het verschil tussen waarde van een variant en de kosten zijn het nut. Het verschil opbrengst $\leftrightarrow$ kosten is de winst of het verlies. Wanneer de verschillende waardeoordelen worden bekeken ten opzichte van de kosten, leidt dit tot een verschil in nut tussen de varianten. De variant met het grootste nut leidt niet automatisch tot de te kiezen variant, omdat in de keuze ook de opbrengst een rol speelt. Uiteindelijk wordt de keuze voor de meest geschikte variant gemaakt door het nut en de opbrengst met elkaar te vergelijken. Het één en ander is verduidelijkt in **Figuur 6.1.**:



Figuur 6.1. Overzicht kosten $\leftrightarrow$ waarden.

Bij dit onderzoek is echter het nut van de constructie reeds bepaald. De beslissing is al genomen en daarmee is voor alle 3 de varianten het nut gelijk. Wel is er een verschil in waarde van de varianten en zullen de kosten verschillen. Door het verschil in waardeoordeel en het verschil in kosten met elkaar te vergelijken, kan toch een bredere analyse gemaakt worden van de uiteindelijke beslissing. Allereerst zal gekeken worden naar het waardeoordeel, per variant, door de 3 categorieën. Vervolgens worden de kosten van de varianten bepaald per strekkende meter overlaatsconstructie en de onderlinge verschillen bepaald. Aan het eind worden het waardeoordeel en de kosten per variant met elkaar gecombineerd tot een andere beoordeling van de varianten. Dit gebeurt door voor de varianten de kosten per waardepunt te bepalen en die met elkaar te vergelijken.

6.1. OPZET WAARDEOORDEEL

Het waarde oordeel is bepaald met behulp van een enquête. Deze enquête bestaat uit 2 delen, te weten:

1. Beoordeling van materiaalaspecten;
2. Vergelijking van de materiaalaspecten uit het eerste gedeelte van de enquête met de 3 uitvoeringsmaterialen, te weten breuksteen, grind en beton.

Voor het eerste deel van de enquête zijn, onafhankelijk van de materiaalkeuze, 10 aspecten opgesteld welke beoordeeld worden door verschillende mensen uit de 3 categorieën. In het tweede deel van de enquête is een koppeling gemaakt tussen de 10 aspecten uit het eerste deel en de 3 varianten van het uitvoeringsmateriaal, breuksteen, grind en beton. Per categorie zijn 10 verschillende mensen ondervraagd. De enquête is hoofdzakelijk telefonisch uitgevoerd. Dit bracht de volgende voordelen met zich mee:

- Makkelijke bereikbaarheid van de geënquêteerde;
- Minder beïnvloeding van het oordeel per vraag door andere onderdelen omdat de resultaten niet zichtbaar zijn;
- Tijdsbesparing doordat geen reistijd nodig is.

Echter zijn aan deze methode ook nadelen verbonden. Zo is minder goed te bepalen of de interpretatie van de vragen en alternatieven juist is. Verder is niet te bepalen of de enquête consistent wordt ingevuld. Het is aannemelijk dat wanneer de geënquêteerde gevraagd zou worden om de enquête voor een tweede of derde keer in te vullen, hier andere resultaten naar voren komen. Waarschijnlijk zal de gemiddelde uitslag van de enquête echter niet veranderen.

Per categorie is geprobeerd om een zo breed mogelijk beeld te krijgen, dus niet alleen maar mensen van Rijkswaterstaat of alleen bewoners. In **Tabel 6.1.** zijn de verschillende geënquêteerden per categorie weergegeven.

Enquêtenummer	Categorie		
	Beleidsmakers	Gebruikers	Natuurbeheerders
1	Ministerie Landbouw Natuurbeheer en Visserij	Toerist	Wereldnatuurfonds
2	De Maaswerken	Toerist	Stichting Meander
3	Aannemerij	Toerist	Wereldnatuurfonds
4	De Maaswerken	Bewoner	Stichting Ark
5	Universiteit	Bewoner	Stichting Limburgslandschap
6	Aannemerij	Bewoner	Ministerie Verkeer en Waterstaat
7	Universiteit	Bewoner	Wereldnatuurfonds
8	Rijkswaterstaat	Toerist	Staatsbosbeheer
9	Ministerie Verkeer en Waterstaat	Toerist	Staatsbosbeheer
10	Rijkswaterstaat	Toerist	Wereldnatuurfonds

Tabel 6.1. Geënquêteerde per categorie.

6.1.1. BEOORDELING VAN MATERIAALASPECTEN

Materialen hebben, afhankelijk van hun functie of waar het wordt toegepast, onderdelen waarop ze beoordeeld kunnen worden. In dit onderzoek zijn 10 aspecten opgesteld voor materialen die gebruikt kunnen worden voor het maken van een overlaatsconstructie, bijvoorbeeld breuksteen, asfalt, gras en beton. De 10 aspecten, met daarbij enige toelichting, zijn:

1. **Inpasbaarheid:** *In hoeverre is het gebruikte materiaal in te passen in het gebied;*
2. **Milieuvriendelijkheid:** *Het te gebruiken materiaal heeft bijvoorbeeld enige schadelijke emissie;*
3. **Onderhoudsgevoeligheid:** *Het gebruikte materiaal heeft veel of weinig onderhoud nodig;*
4. **Begroeiing:** *Bij het materiaal kunnen planten, gras, struiken en dergelijke groeien;*
5. **Levensduur:** *Het ene materiaal heeft een lange levensduur en het ander een kortere;*
6. **Hergebruik:** *Het ene materiaal kan na verloop van tijd worden hergebruikt, het andere kan beschouwd worden als afval;*
7. **Uitvoeringsoverlast:** *Bij het ene materiaal vindt veel overlast plaats, bijvoorbeeld heien, en bij het andere niet of nauwelijks;*
8. **Functionaliteit:** *Het ene materiaal zorgt voor een beter functioneren van de constructie dan het ander;*
9. **Beschikbaarheid:** *Het ene materiaal is in grote mate beschikbaar in de omgeving en het andere moet ergens anders vandaan gehaald worden;*
10. **Diervriendelijkheid:** *Voor bijvoorbeeld micro-organismen zijn in open constructie meer mogelijkheden dan in gesloten constructies.*

De 10 aspecten worden onderling vergeleken en beoordeeld. De keuzemogelijkheid voor de geënquêteerde bestaat uit alles of niets; men vindt het ene aspect beter dan de ander. Wanneer het ene aspect beter wordt bevonden dan het ander, krijgt het aspect 1 punt. Het andere aspect krijgt een 0. Wanneer alle vergelijkingen tussen de aspecten zijn gemaakt, worden de punten van ieder aspect opgeteld. In **Figuur 6.2.** is een ingevulde voorbeeldmatrix weergegeven, die bij deze aspecten hoort.

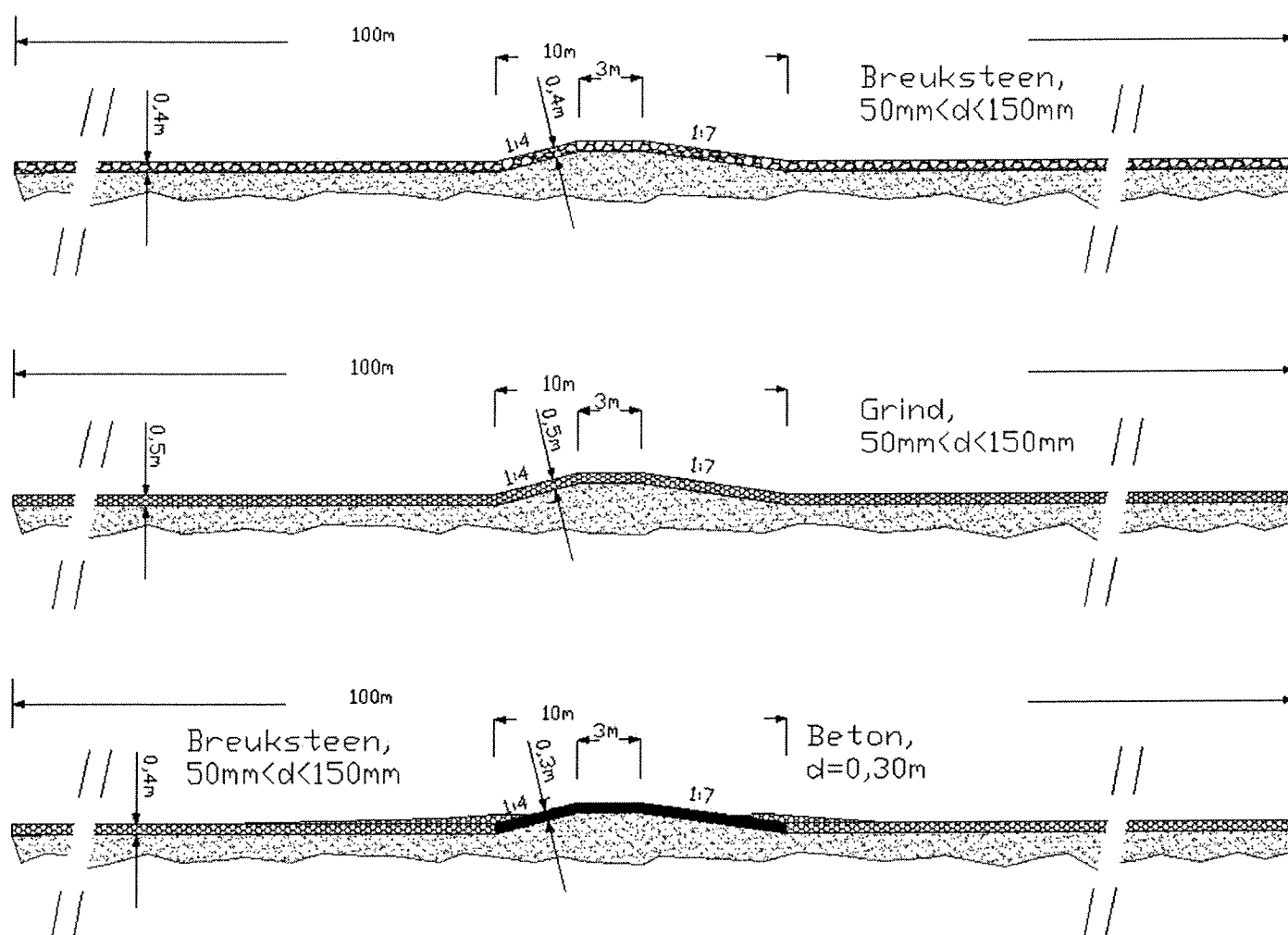
Aspect	Aspect										Punten
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1 Inpasbaarheid in het landschap		1	0	1	1	0	1	0	0	1	5
2 Milieuvriendelijkheid	0		1	0	1	0	1	0	0	1	4
3 Onderhoudsgevoeligheid	1	0		1	0	0	1	0	0	1	4
4 Begroeiing	0	1	0		0	0	1	0	0	1	3
5 Levensduur	0	0	1	1		0	0	0	0	0	2
6 Hergebruik	1	1	1	1	1		1	0	1	0	7
7 Uitvoeringsoverlast	0	0	0	0	1	0		0	0	0	1
8 Functionaliteit	1	1	1	1	1	1	1		1	1	9
9 Beschikbaarheid	1	1	1	1	1	0	1	0		0	6
10 Diervriendelijkheid	0	0	0	0	1	1	1	0	1		4

Figuur 6.2. Willekeurig ingevulde matrix eerste gedeelte van de enquête.

6.1.2. VERGELIJKING MATERIALEN EN DE ASPECTEN

Na de beoordeling van de aspecten onderling, worden in het tweede deel de aspecten gecombineerd met de 3 verschillende materialen breuksteen, grind en beton tot een zogeheten score. De uitvoering van de overlaat in de verschillende materialen is weergegeven in **Figuur 6.3.**. Aan de geënquêteerden is gevraagd, bij elk van de 10 aspecten, welk materiaal zij het beste vonden passen. Ook hier is weer de keuze tussen 2 oordelen, beter of slechter, en de score van 1 of 0. Bij de aspecten is de keuze niet altijd even duidelijk. Daarom is bij de 10 aspecten de volgende verduidelijking geven met betrekking tot het materiaal:

1. **Inpasbaarheid:** *Beter of slechter;*
2. **Milieuvriendelijkheid:** *Vriendelijker of onvriendelijker;*
3. **Onderhoudsgevoeligheid:** *Gevoeliger of ongevoeliger;*
4. **Begroeiing:** *Beter of slechter;*
5. **Levensduur:** *Langer of korter;*
6. **Hergebruik:** *Beter of slechter;*
7. **Uitvoeringsoverlast:** *Meer of minder;*
8. **Functionaliteit:** *Beter of slechter;*
9. **Beschikbaarheid:** *Beter of slechter;*
10. **Diervriendelijkheid:** *Vriendelijker of onvriendelijker.*



Figuur 6.3. Doorsneden van de 3 materiaalvarianten.

De punten worden per materiaal en per aspect opgeteld. De vergelijking is gebeurd voor elk aspect en tussen ieder materiaal. In **Figuur 6.4.** is een willekeurig voorbeeld weergegeven voor het aspect inpasbaarheid. In **Bijlage 6.1.** is het totale overzicht te zien van een willekeurig ingevuld deel van het tweede enquêteonderdeel.

Aspect: Inpasbaarheid				
	Br	G	Be	Punten
Breuksteen		1	1	2
Grind	0		1	1
Beton	0	0		0

Figuur 6.4. Willekeurig ingevulde matrix voor het aspect inpasbaarheid.

Uit **Figuur 6.4.** blijkt, in dit geval, het materiaal breuksteen het beste inpasbaar, gevolgd door grind. Het materiaal beton blijkt totaal niet inpasbaar.

6.2. UITWERKING WAARDEOORDEEL

De 3 categorieën leverden verschillende resultaten voor de beoordeling, zowel voor het eerste gedeelte als het tweede gedeelte van de enquête. In **Bijlage 6.2.** is de uitwerking van het eerste gedeelte van de enquête voor de 3 verschillende categorieën weergegeven en in **Tabel 6.2.** is het gemiddelde gewicht opgenomen, die per categorie werd gegeven aan de 10 verschillende aspecten.

	Beleidsmakers	Gebruikers	Natuurbeheerders
1 Inpasbaarheid	5,1	3,6	6,4
2 Milieuvriendelijkheid	5,5	6,2	7,2
3 Onderhoudsgevoeligheid	5,2	4,1	2,9
4 Begroeiing	3,7	2,9	3,9
5 Levensduur	4,6	5,4	3,8
6 Hergebruik	3,3	4,7	4,5
7 Uitvoeringsoverlast	2,2	1,3	2,8
8 Functionaliteit	7,7	8,4	5,8
9 Beschikbaarheid	4,2	3,2	2,4
10 Diervriendelijkheid	3,5	5,2	5,3

Tabel 6.2. Gemiddelde gewicht eerste onderdeel enquête.

Op meerdere punten in de beoordelingen zijn er verschillen tussen de 3 categorieën. Het meest opvallend is de lage waarde die bij de gebruikers naar voren komt bij het aspect uitvoeringsoverlast. Dit is opmerkelijk omdat zij als direct betrokkene het meeste last ondervinden van de uitvoering. Een andere opmerkelijk gewicht is die bij het aspect inpasbaarheid. Ook hier is het gewicht van de categorie gebruikers het laagst. Kennelijk maakt dat de gebruikers niet zoveel uit. Zij vinden daarentegen de functionaliteit wel zeer belangrijk en kennen daar het hoogste gewicht van alle 3 de categorieën aan toe. Bij de categorie beleidsmakers valt op dat in de beoordeling weinig verschillen zijn bij de aspecten onderling. Alleen bij de aspecten uitvoeringsoverlast en functionaliteit zijn extremere waarden te zien. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat de beleidsmakers alle aspecten even belangrijk vinden waarbij de functionaliteit altijd bovenaan blijft staan. Bij de categorie natuurbeheerders wordt een kleine bevestiging gegeven van de vooroordelen die over die groep bestaan. Zij worden vaak gezien als mensen die vooral oog hebben voor natuur, milieu en de dieren waarbij dat ten koste mag gaan van de functionaliteit en de kosten. Zij kennen in deze enquête dan ook het hoogste gewicht toe aan de aspecten inpasbaarheid, milieuvriendelijkheid en diervriendelijkheid terwijl de functionaliteit en levensduur het laagst worden beoordeeld. Bij een korte levensduur van de constructie kunnen hogere kosten verwacht worden.

Voor het tweede onderdeel van de enquête kwamen de volgende gemiddelde punten naar voren, **Tabel 6.3.**

Aspect			
Inpasbaarheid	Beleidsmakers	Gebruikers	Natuurbeheerders
Breuksteen	0,8	1	0,8
Grind	1,7	1,7	2
Beton	0,5	0,3	0,2
Milieuvriendelijkheid			
Breuksteen	1,1	1,1	0,8
Grind	1,6	1,8	2
Beton	0,3	0,1	0,2
Onderhoudsgevoeligheid			
Breuksteen	0,9	0,7	1,1
Grind	0,8	0,8	0,6
Beton	1,3	1,5	1,3
Begroeiing			
Breuksteen	1,6	1,4	1,3
Grind	1,4	1,6	1,6
Beton	0	0	0,1
Levensduur			
Breuksteen	1	0,3	0,3
Grind	1,1	1,4	1,2
Beton	0,9	1,3	1,5
Hergebruik			
Breuksteen	1,2	0,6	1,1
Grind	1,4	1,4	1,9
Beton	0,4	1	0
Uitvoeringsoverlast			
Breuksteen	0,9	0,6	0,5
Grind	1,4	1,7	1,3
Beton	0,7	0,7	1,2
Functionaliteit			
Breuksteen	0,9	0,4	0,7
Grind	0,5	1,1	1,7
Beton	1,6	1,5	0,6
Beschikbaarheid			
Breuksteen	0,3	0,2	0,2
Grind	1,8	1,8	2
Beton	0,9	1	0,8
Diervriendelijkheid			
Breuksteen	1	0,7	0,8
Grind	1,8	1,8	1,9
Beton	0,2	0,5	0,3

Tabel 6.3. Gemiddelde scores van de materialen bij de 10 aspecten.

De oorspronkelijke scores per categorie zijn opgenomen in **Bijlag 6.3.** Een mogelijkheid om nu uit deze 2 gegevensreeksen een waardeoordeel te krijgen, kan door de gegevens uit het eerste onderdeel te vermenigvuldigen met het tweede onderdeel. Probleem hierbij is echter dat, vooral bij het tweede onderdeel, de onderlinge verschillen nogal groot zijn. Bijvoorbeeld bij de aspecten begroeiing en hergebruik komen nullen voor terwijl daar geen totale uitsluiting bedoeld hoeft te

zijn. Door de harde beoordeling, goed of slecht, kan dit echter wel optreden. Daarom is ervoor gekozen om de beoordeling van het tweede onderdeel enigszins aan te passen. Dit is gedaan door per aspect 20 punten te verdelen met een minimum van 2 punten zodat ook de materialen met 0 punten toch meetellen in de beoordeling. Het nu verkregen aantal punten wordt het cijfer genoemd. Deze verdeling is gevoelsmatig gedaan, waarbij gekeken is naar de verhouding tussen de punten. Doordat een materiaal zeker het cijfer 2 krijgt, kan het voorkomen dat andere materialen naar verhouding minder cijferpunten krijgen dan bij de eerste puntenverdeling. Tevens is het hierdoor mogelijk dat een materiaal bij het ene aspect 1,6 punten heeft en daarmee cijfer 10 krijgt in de nieuwe beoordeling terwijl bij een andere aspect ook 1,6 punten behaald werden en daar het cijfer 11 krijgt. Voor het aspect begroeiing geeft dit bij de beleidsmakers het volgende resultaat, **Tabel 6.4.:**

Aspect		
Begroeiing	Oud	Nieuw
	<i>Punten</i>	<i>Cijfer</i>
Breuksteen	1,6	10
Grind	1,4	8
Beton	0	2

Tabel 6.4. Voorbeeld van nieuwe puntenverdeling.

In **Tabel 6.5.** is het totale overzicht van deze nieuwe verdeling te zien.

Aspect			
Inpasbaarheid	Beleidsmakers	Gebruikers	Natuurbeheerders
Breuksteen	6	7	6
Grind	11	11	12
Beton	3	2	2
Milieuvriendelijkheid			
Breuksteen	7	7	6
Grind	11	11	12
Beton	2	2	2
Onderhoudsgevoeligheid			
Breuksteen	6	5	7
Grind	6	6	5
Beton	8	9	8
Begroeiing			
Breuksteen	10	8	8
Grind	8	10	10
Beton	2	2	2
Levensduur			
Breuksteen	7	3	2
Grind	7	9	8
Beton	6	8	10
Hergebruik			
Breuksteen	8	4	7
Grind	10	9	11
Beton	2	7	2
Uitvoeringsoverlast			
Breuksteen	7	4	3
Grind	9	11	9

Beton	4	5	8
Functionaliteit			
Breksteen	6	3	5
Grind	3	7	11
Beton	11	10	4
Beschikbaarheid			
Breksteen	2	2	2
Grind	12	11	12
Beton	6	7	6
Diervriendelijkheid			
Breksteen	6	5	6
Grind	12	11	12
Beton	2	4	2

Tabel 6.5. Totaal overzicht van vernieuwde puntenverdeling

Doormiddel van een vermenigvuldiging van de waarde van het aspect met de waardebeoordeling van het materiaal dat bij dit aspect hoort, het cijfer, kan een zogenaamde score worden verkregen. Voor de categorie beleidsmakers komt deze vermenigvuldiging er als volgt uit te zien voor de 10 aspecten bij het materiaal breuksteen, **Tabel 6.6.:**

Aspect	Breuksteen			
	Punten	Cijfer	Totaal	Genormeerd
1 Inpasbaarheid in het landschap	5,1	6	30,6	11%
2 Milieuvriendelijkheid	5,5	7	38,5	13%
3 Onderhoudsgevoeligheid	5,2	6	31,2	11%
4 Begroeiing	3,7	10	37	13%
5 Levensduur	4,6	7	32,2	11%
6 Hergebruik	3,3	8	26,4	9%
7 Uitvoeringsoverlast	2,2	7	15,4	5%
8 Functionaliteit	7,7	6	46,2	16%
9 Beschikbaarheid	4,2	2	8,4	4%
10 Diervriendelijkheid	3,5	6	21	7%

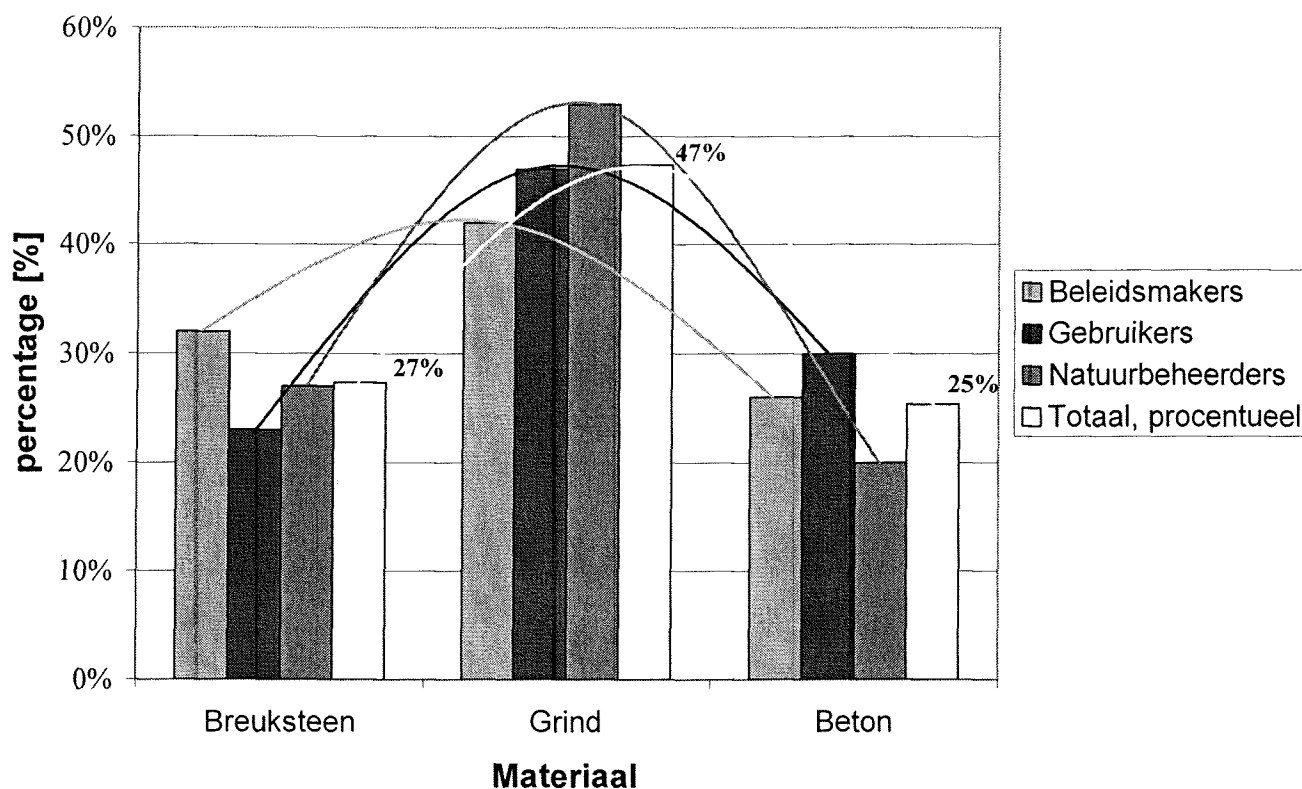
Tabel 6.6. Overzicht scores voor de categorie Beleidsmakers.

In **Bijlage 6.4.** zijn alle genormeerde scores opgenomen van de 3 categorieën.

In de onderstaande **Tabel 6.7.** en **Figuur 6.5.**, zijn de totale scores opgenomen, van de verschillende materialen, gekoppeld aan de 3 categorieën.

	Beleidsmakers	Gebruikers	Natuurbeheerders	Totaal	Totaal, procentueel
Breksteen	32%	23%	27%	82%	27%
Grind	42%	47%	53%	142%	47%
Beton	26%	30%	20%	76%	26%
Totaal				300%	

Tabel 6.7. Totaaloverzicht scores.



Uit de resultaten blijkt een duidelijke voorkeur naar voren te komen voor grind. Het verschil tussen breuksteen en beton is klein bij de 3 categorieën. Of grind in dit geval ook de beste keus is als ontwerpmateriaal hangt echter ook nog af van de verhouding met de kosten.

6.3. KOSTEN VAN DE VARIANTEN

6.3.1. KOSTEN MATERIALEN

De kosten van de varianten worden globaal bepaald. Alleen de materiaalkosten worden meegenomen en worden bekeken per strekkende meter overlaet. Voor het maken van de varianten zullen de kosten niet al te sterk uiteenlopen. De kentallen van de 3 verschillende materialen zijn verkregen bij Rijkswaterstaat. Voor zowel het materiaal breuksteen als beton waren duidelijke prijzen bekend. Echter voor het grind is dit problematischer vanwege een aantal factoren. Tussen grind en breuksteen van dezelfde fractie is normaal gesproken een prijsverschil van 20 procent. Onder andere doordat het grind lokaal gewonnen wordt en ter plaatse weer gebruikt kan worden, kan de prijs lager uitvallen dan wanneer het grind ergens anders vandaan gehaald moet worden. Verder speelt ook de grote van de fractie een rol. Het grind dat gebruikt wordt zou anders gedeeltelijk verkocht worden aan tuincentra of verwerkt worden in brekerijen tot kleinere fracties. Dit alles maakt het bepalen van een juiste prijs voor het grind moeilijk. Uiteindelijk wordt uitgegaan van prijs die ongeveer 10% lager ligt dan die van breuksteen. Voor het beton is uitgegaan van prefab glooiingselementen. De dikte van deze elementen bedraagt 0,30 m.

De prijzen voor de 3 materialen zijn opgenomen in **Tabel 6.8.**

	Kosten in euro's
Breksteen	14,5 per ton
Grind	13 per ton
Beton	33 per m ²

Tabel 6.8. Prijzen van de 3 verschillende materialen.

6.3.2. HOEVEELHEDEN MATERIAAL

De varianten breuksteen en grind verschillen in hoeveelheid stenen. Doordat bij breuksteen een grotere stabiliteit gehaald wordt bij dezelfde steengrootte, hoeft bij breuksteen minder materiaal aanwezig te zijn. Dit extra materiaal dient bij grind voornamelijk voor het compenseren van grotere hoeveelheid transport. De laagdikte van de breuksteenvariant kan daarmee kleiner worden uitgevoerd dan bij grind. Wel wordt dezelfde d_{50} toegepast, te weten 0,08 m. Verder heeft breuksteen een kleinere waarde voor de porositeit. Dit houdt in dat bij breuksteen relatief minder holle ruimte tussen de stenen aanwezig is. Daardoor bevindt zich per volumeenheid meer breuksteenmateriaal in het volume dan bij dezelfde volumeenheid maar dan met grindmateriaal. Daarom wordt voor de breukstenenconstructie uitgegaan van een laagdikte van 0,40 m. De lengte van de bodembescherming die voor en achter de overlaat ligt, is voor grind en breuksteen gelijk. Deze lengte bedraagt voor beide zijden van de overlaat ongeveer 44,5 m. Voor de overlaat is rekening gehouden met een lengte van 11 m. In het totaal is de constructie 100 meter lang, zie **Figuur 6.3.** Bij het beton wordt alleen de overlaat in beton uitgevoerd en de bodembescherming in breuksteen. De oppervlakte, die benodigd is voor de overlaat, bedraagt 11 m². In **Tabel 6.9.** is een overzicht van de benodigde hoeveelheden materiaal per strekkende meter overlaatconstructie weergegeven.

	Lengte [m]	Dikte [m]	Volume [m ³ /m ¹]	Porositeit	Volume [m ³ /m ¹]	Dichtheid [kg/m ³]	Gewicht [ton]
Breksteen	100	0,4	40	0,38	24,8	2650	65,72
Grind	100	0,5	50	0,40	30	2650	79,50
Beton							
breuksteen	89	0,4	35,6	0,38	22,07	2650	58,49
			Oppervlak [m ² /m ¹]				
elementen	11		11				

Tabel 6.9. Overzicht van de benodigde hoeveelheden materiaal.

6.3.3. KOSTEN VARIANTEN

De gegevens uit **Tabel 6.8. en 6.9.** geven de totale kosten per variant per strekkende meter. Deze kosten zijn weergegeven in **Tabel 6.10.**

	Gewicht	Prijs	Kosten per variant	Meerprijs t.o.v. breuksteen	Procentuele meerprijs t.o.v. breuksteen
	[ton]	[euro per ton]	[euro per m]	[euro per m]	
Breuksteen	65,72	14,5	$0,95 \times 10^3$		
Grind	79,5	13	$1,03 \times 10^3$	80	8%
Beton			$1,18 \times 10^3$	230	24%
<i>breuksteen</i>	58,49	14,5	$0,85 \times 10^3$		
	Oppervlak	Prijs	Kosten		
	[m ²]	[euro per m ²]	[euro per m]		
<i>elementen</i>	11	33	330		

Tabel 6.10. Totale kosten per strekkende meter.

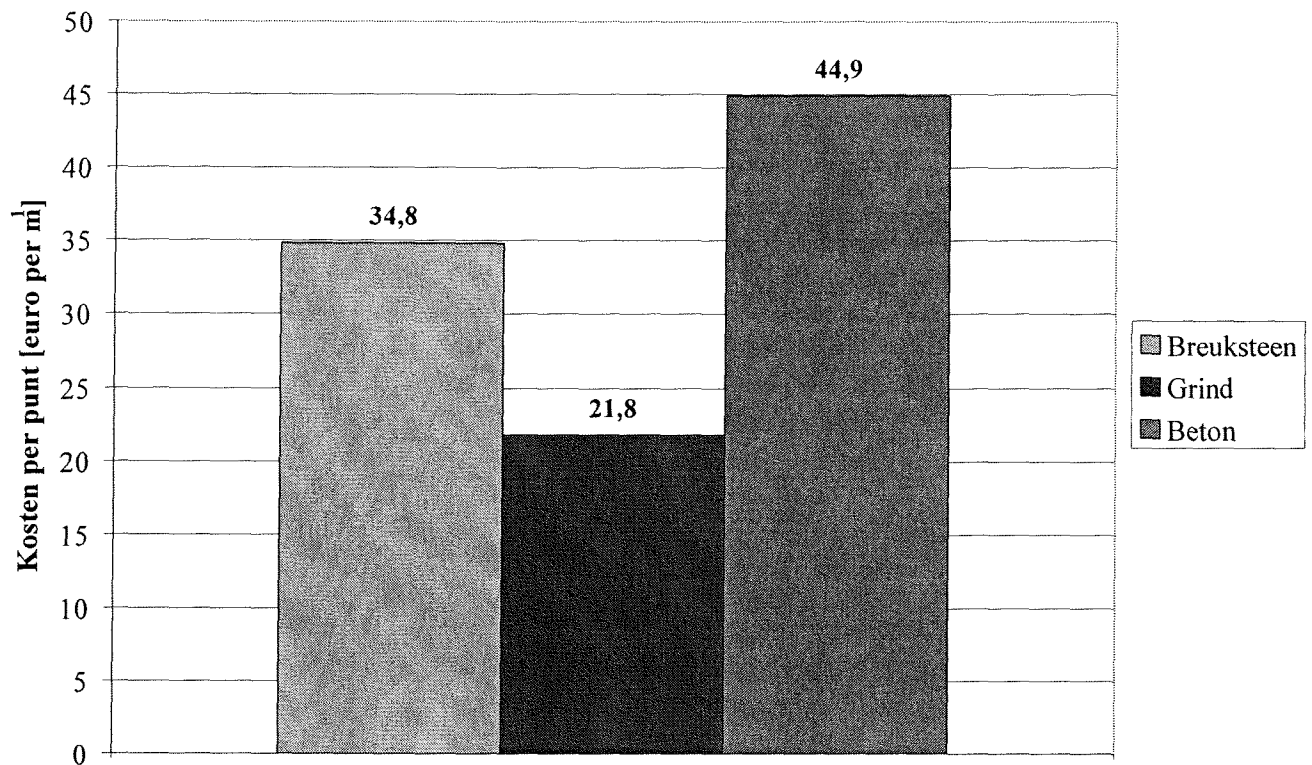
De keuze van het materiaal dat gebruikt zou moeten worden voor de overlaat, zou volgens de gegevens uit **Tabel 6.10.** breuksteen zijn. Ten opzichte van de breuksteenvariant zijn de kosten van de grindvariant 8% hoger en die van de betonvariant zelfs 24% hoger. De keuze voor breuksteen is echter alleen gebaseerd op de kosten. De waarde van het uitvoeringsmateriaal voor de gemeenschap wordt in deze beschouwing niet meegenomen.

6.4. KOSTEN $\leftrightarrow$ WAARDEN

Wanneer de percentages van de waardeoordelen van de 3 varianten beschouwd worden op een schaal van 100 punten, is het mogelijk om per variant uit te rekenen hoeveel de variant kost per punt. Op deze manier komt naar voren hoe de kosten van het materiaal en de waarde van het materiaal in de constructie zich ten opzichte van elkaar verhouden. In **Tabel 6.11.** en **Figuur 6.6.** is dit uitgewerkt. Hierin zijn de punten het waardeoordeel die uiteindelijk door de 3 categorieën gegeven zijn aan de materiaalvarianten breuksteen, grind en beton.

	Punten	Kosten	Kosten per punt	Procentueel prijsverschil t.o.v. grind
		[euro/m ¹]	[euro/m ¹]	
Breuksteen	27,3	950	34,8	160%
Grind	47,3	1030	21,8	100%
Beton	26,3	1180	44,9	206%

Tabel 6.11. Overzicht kosten per punt voor de 3 materiaalvarianten per m¹.



Op basis van de gegevens uit **Tabel 6.8.** en **Figuur 6.6.** komt de keuze van het uitvoeringsmateriaal anders te liggen. Nu zou gekozen dienen te worden voor de uitvoering in grind. Grind is namelijk aanzienlijk goedkoper dan breuksteen en beton als gekeken wordt naar de kosten per punt. Met een verschil van 60% tussen grind en breuksteen is het verschil veel groter dan wanneer alleen gekeken wordt naar de kosten. Het verschil tussen breuksteen en beton verandert niet zoveel. Wel wordt het verschil tussen grind en beton veel groter. Echter de extra kosten die gemaakt worden bij de uitvoering in grind moeten wel opgebracht worden. Door overleg tussen de betrokken partijen kan een verdeling worden gemaakt, van het percentage dat de partij voor zijn of haar rekening dient te nemen. Als bijvoorbeeld de categorie natuurbeheerders echt heel veel waarde aan de grinduitvoering hechten, zullen zij ook bereid moeten zijn om hierin een gedeelte mee te financieren. Hetzelfde geldt voor de gebruikers. Wanneer bijvoorbeeld een kanovereniging hiermee een beter recreatiegebied krijgen, zijn zij wellicht bereid om daarvoor geld in te zamelen. Dit kan gebeuren door bijvoorbeeld een loterij of sponsoractie te organiseren. Voor de categorie kan deze uitslag reden zijn om meer geld beschikbaar te stellen omdat de maatschappelijke waarde hoger wordt bevonden.

6.5. GEVOELIGHEID RESULTATEN

Geprobeerd is om een zo representatief mogelijke enquête te verkrijgen. Dit is gedaan door een brede groep instanties te enquêteren per categorie. Zo zijn bij de categorieën beleidsmakers en natuurbeheerders meer dan 4 verschillende instanties benaderd. Echter door deze brede aanpak komen in de beoordeling verschillen naar voren die vervolgens verdwijnen door de middeling van de punten. Hierdoor gaat een gedeelte van de informatie verloren. Door een groter aantal geënquêteerden te ondervragen, kunnen deze invloeden verkleind worden. De gevoeligheid van de resultaten wordt tevens beïnvloed door de harde keuze die gemaakt moet worden tussen de verschillende aspecten. Door een heroverweging van de scores na de beoordeling zou een evenwichtiger beeld kunnen worden verkregen. Helaas is omwille van de tijd dat dit met zich meebrengt en het feit dat die heroverweging door alle geënquêteerden per categorie gezamenlijk gedaan moet worden, deze heroverweging lastig uitvoerbaar. Voor het tweede onderdeel van de enquête is de heroverweging in kleine mate toegepast om het effect van de 0-en in de beoordeling weg te werken. Anders zouden deze beoordelingen niet meetellen in het geheel.

7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk worden de conclusies en aanbevelingen gepresenteerd, die uit dit onderzoek naar voren komen. De hoofddoelstelling van het onderzoek is:

Optimaler gebruik van de rivier. Een win-win situatie creëren door enerzijds de rivier te verruimen en anderzijds de vrijkomende delfstoffen ter plekke te hergebruiken.

Bij deze doelstelling horen 2 subdoelstellingen:

- a) Kijken of het technisch mogelijk is om geplande constructies in de rivier of in de nevengeul te maken dan wel te beschermen, met delfstoffen uit de omgeving die vrijkomen bij de geplande verruimingswerkzaamheden;
- b) Door middel van een kosten- batenanalyse nagaan of het ontwerp economisch haalbaar is in vergelijking met de traditionele manier van bouwen met breuksteen of beton.

7.1. CONCLUSIES

1. Bij de huidige bodemtransportformules is vooral veel informatie beschikbaar over breuksteen en in mindere mate over grind. Voor een mobiliteitsparameter tussen $0,04 < \Psi < 0,045$ is gebleken dat het verschil tussen het transport van breuksteen en grind niet veel van elkaar verschillen. Voor $\Psi = 0,03$ kan alleen een benadering worden gegeven van de te verwachten hoeveelheid transport van grind.
2. De gemiddelde stroomsnelheid over de verticaal verandert niet sterk, minder dan 10%, bij de 4 verschillende overstromingsfrequenties. De uiteindelijke keuze voor het maatgevende belastingsgeval is gemaakt door een combinatie te nemen van de stroomsnelheid en de iets meer fluctuerende waterstand. De waterstand verschilt minder dan 13%. De maatgevende overstromingsfrequentie ligt bij de laagste frequentie waarvan de gegevens beschikbaar zijn, namelijk de overstromingsfrequentie van 1:50 jaar.
3. Bij de gegeven randvoorwaarden, die voortkomen uit het Voorlopig Ontwerp van “De Maaswerken”, is het mogelijk om de geplande constructie, overlaat en bochtbescherming, uit te voeren in grove grindfracties. Uitgaande van een Shieldsparameter van $\Psi = 0,03$ en een bijgestelde transportformule van Paintal door het Waterloopkundig Laboratorium treden bij de overlaat transporten op van 49 stenen per week. Dit is 8% van de hoeveelheid stenen in de constructie. De benodigde d_{50} is 0,08 m. Bij de bochtbescherming is het te verwachten transport 35 stenen per week bij een d_{50} van 0,10 m. Deze hoeveelheid is 12% van de bochtbeschermingsconstructie. Deze hoeveelheden van transport zijn acceptabel omdat de constructie hierbij blijft functioneren.

4. De hoeveelheden grind die vrijkomen bij de verruimingswerkzaamheden zijn groot genoeg om de constructieve maatregelen uit te voeren. Alleen al bij de projectlocatie Koeweide is de totale vrijkomende hoeveelheid, hier bruikbare, grind $289 \times 10^3 \text{ m}^3$. Voor de overlaatconstructie en de bochtbescherming is een totale hoeveelheid benodigd van 5190 m^3 .
5. Zowel beleidsmakers als gebruikers en natuurbeheerders hebben een duidelijke voorkeur voor het materiaal grind als het gaat om het uitvoeringsmateriaal voor de constructieve maatregelen.

	Beleidsmakers	Gebruikers	Natuurbeheerders	Totaal
Breuksteen	32%	23%	27%	27%
Grind	42%	47%	53%	47%
Beton	26%	30%	20%	26%

Tabel 7.1. Overzicht scores per uitvoeringsmateriaal

6. Wat betreft de kosten van de materiaalvarianten is de uitvoering in breuksteen de goedkoopste oplossing. Beton is de duurste variant. De materiaalkosten per strekkende meter overlaatconstructie bedraagt voor breuksteen 950 euro. Voor de grinduitvoering zal dit 1030 euro zijn, terwijl de betonuitvoering 1180 euro zal gaan kosten.
7. In combinatie met de kosten voor het materiaal per strekkende meter overlaatconstructie komt grind als het gunstigste uitvoeringsmateriaal naar voren. De grindvariant kost 21,8 euro/m¹/punt. De breuksteenvariant heeft een prijs van 34,8 euro/m¹/punt. Daarmee is deze variant 60% duurder dan de grindvariant. Wanneer beton gebruikt zou worden voor onderdelen van de overlaatconstructie, zijn de kosten daarvan 44,9 euro/m¹/punt. Hiermee is de betonvariant 106% duurder dan de grindvariant en zou derhalve de minst geschikte keuze zijn.

7.2. AANBEVELINGEN

De aanbevelingen zijn onder te verdelen in 2 groepen, het technische en het kosten- batengedeelte. Allereerst de technische kant:

1. Grondiger onderzoek naar de stabiliteit van grind zou het mogelijk maken om te kijken naar transporten van grind bij meerdere mobiliteitsniveaus. Hiermee kan een beter beeld worden verkregen van de transporten van grind bij lagere Shieldsparameters.
2. De gegevens over de stroomsnelheid, waterstand en bodemniveau kunnen beter bepaald worden. Door kleinere intervallen te kiezen of door rechtstreeks de gegevens uit het stromingsprogramma te halen, moet het mogelijk zijn om de randvoorwaarden gedetailleerder te krijgen.

3. Meerdere boringen kunnen een beter beeld van de grondopbouw geven. Tevens dienen een groter aantal zeefsessies van het meer grove grind gedaan worden. Zo wordt het inzicht over de verdeling van de stenen in het grind op deze locaties vergroot.

Voor het kosten- batengedeelte kunnen de volgende aanbevelingen worden aangedragen:

4. Breder aanpak van de enquête waarbij iedere doelgroep de beoordelingen evalueert. Op die manier kan bereikt worden dat de onderlinge verhoudingen tussen de aspecten betrouwbaarder zijn. Vooral voor het tweede gedeelte van de enquête, de beoordeling van de materiaalvarianten, draagt dit bij tot een evenwichtiger beeld.
5. De kosten- batenanalyse zou opgezet kunnen worden voor niet alleen de constructie maar voor het gehele gebied. Zo worden niet alleen de constructieve maatregelen beoordeeld maar ook de randverschijnselen, die de hoofdzaak zijn. In deze situatie is het creëren van de nevengeul bijvoorbeeld nodig om meer capaciteit voor de rivier te krijgen. Een maatregel om de nevengeul te behouden is de overlaatconstructie.

BIJLAGEN**BIJLAGEN HOOFDSTUK 3***Bijlage 3.1.: Gedeelte van gegevensuitdraai Waqua***B3-1***Bijlage 3.2.: Simulatietekeningen***B3-2***Bijlage 3.3.: Grondgegevens***B3-3****BIJLAGEN HOOFDSTUK 5***Bijlage 5.1.: Verschillende berekeningen***B5-1****BIJLAGEN HOOFDSTUK 6***Bijlage 6.1.: Willekeurig ingevulde tweede gedeelte enquête***B6-1***Bijlage 6.2.: Uitwerking eerste gedeelte enquête***B6-2***Bijlage 6.3.: Scores per categorie voor tweede gedeelte enquête***B6-3***Bijlage 6.4.: Genormeerde scores***B6-4**

BIJLAGEN HOOFDSTUK 3

Bijlage 3.1.: Gegevensuitdraai Waqua

Bijlage 3.2.: Simulatietekeningen

Bijlage 3.3.: Grondgegevens

Bijlage 3.1.: Gedeelte van gegevensuitdraai Waqua

Gedeelte van gegevensuitdraai Waqua

*

*04V_wml_, PRE: 01/01/10 04:41:44, SIM: ?????

*

*

* 04V_wml_prog

*Time= 12000.0 min (0/01/09 8:00:00), Nst= 60000, DT= 0.200 min

*

* WAQ2GIS VERSION W2G B.07 (18-10-2000)

* ALL PARAMETERS ARE GIVEN AT WATER LEVEL POINTS

* U and V in global X and Y directions

* Cell discharges in local ksi and eta directions

* PARAMETERS APPEAR IN FOLLOWING ORDER:

* 1: ID-number, Number of colums

* 2: Position M

* 3: Position N

* 4: X-value

* 5: Y-value

* 6: Water level

* 7: Average bed level

* 8: Average velocity component U

* 9: Average velocity component V

* 10: Magnitude of velocity vector

* 11: Direction; Horizontal=0, counter clockwise > 0

* 12: Code for drawing each vector

* 13: Code for drawing each second vector

* 14: Code for drawing each third vector

* 15: Cell discharge in ksi-direction

* 16: Cell discharge in eta-direction

* 17: Cell length in ksi direction

* 18: Cell length in eta direction

* 19: Shearstress

* 20: Shearstress - Shearstress critic

B001

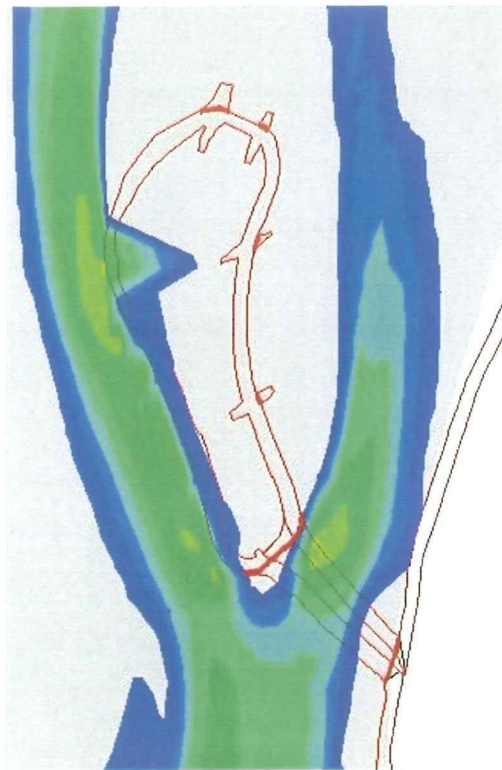
73570 20

13758	85	131	176796.078	315488.719	47.081	44.438	-0.110	1.447	1.451	4.336	1 0 0	-5.915	51.936	13.538	66.435	12.862	-99
13759	86	131	176809.750	315489.516	47.082	40.898	-0.187	2.368	2.375	4.517	1 0 0	-26.721	203.414	13.852	66.306	25.338	1
13760	87	131	176823.887	315490.351	47.083	39.752	-0.191	2.607	2.614	4.180	1 0 0	-29.173	277.231	14.471	66.192	29.017	1
13761	88	131	176838.699	315491.211	47.083	39.450	-0.174	2.666	2.672	3.733	1 0 0	-22.980	310.083	15.204	66.123	29.929	1
13762	89	131	176854.113	315492.086	47.084	39.127	-0.167	2.715	2.720	3.518	1 0 0	-21.006	339.220	15.674	66.088	30.606	1
13763	90	131	176869.985	315492.992	47.084	38.870	-0.176	2.728	2.734	3.684	1 0 0	-26.866	361.974	16.120	66.023	30.599	1

Bijlage 3.2.: Simulatietekeningen



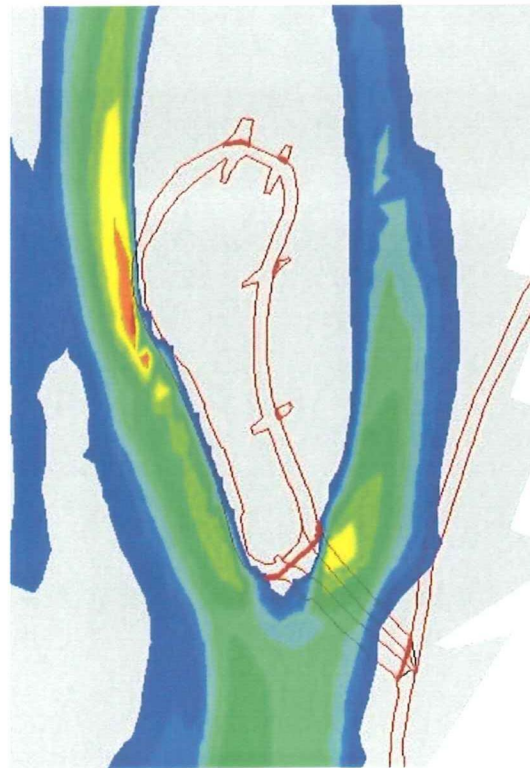
Overstromingsfrequentie 1:50 jaar



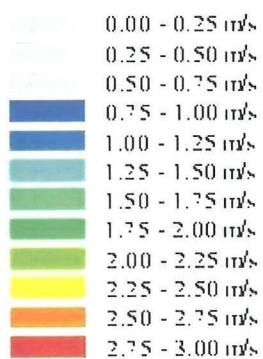
Overstromingsfrequentie 1:100 jaar



Overstromingsfrequentie 1:250 jaar



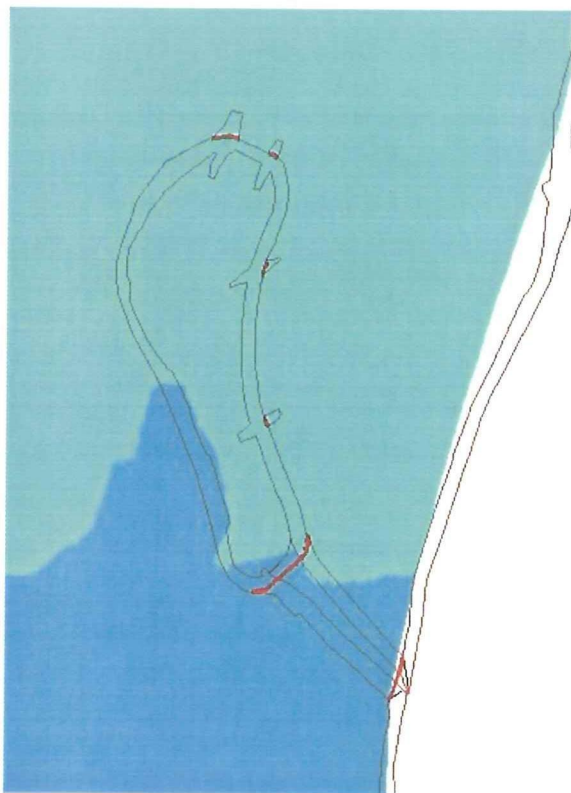
Overstromingsfrequentie 1:1250 jaar



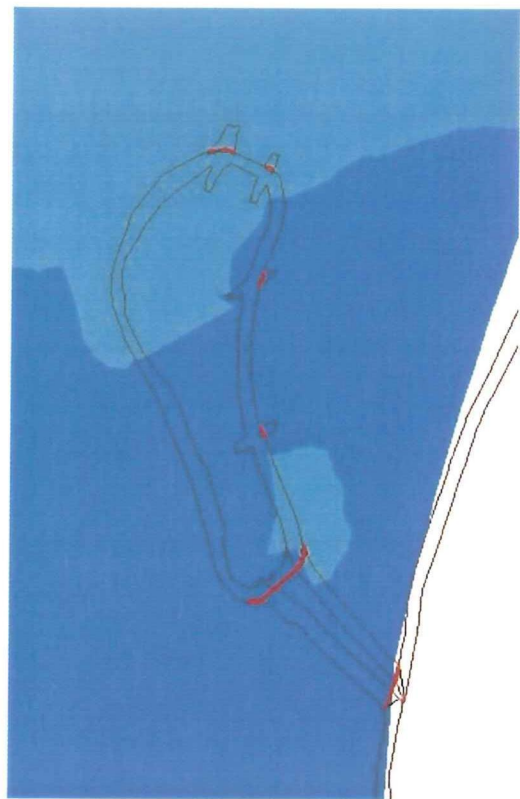
~ Kaden

Locatie Visserweert

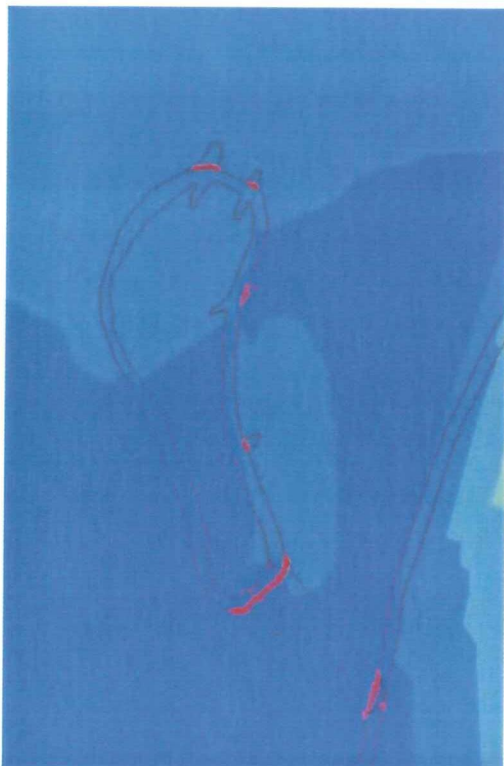
Stroomsnelheid



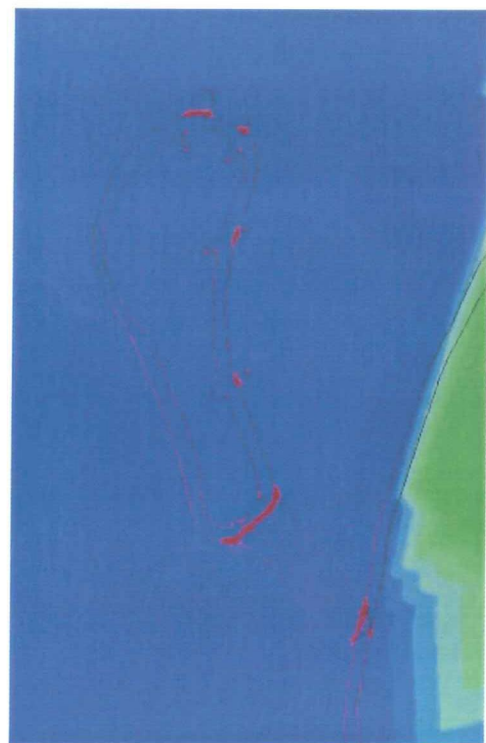
Overstromingsfrequentie 1:50 jaar



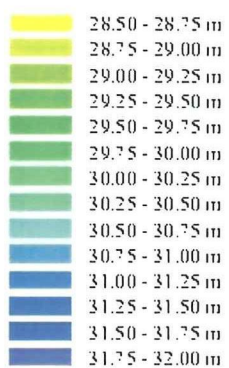
Overstromingsfrequentie 1:100 jaar



Overstromingsfrequentie 1:250 jaar



Overstromingsfrequentie 1:1250 jaar



~ Kaden

Locatie Visserweert

Waterhoogte t.o.v. N.A.P.



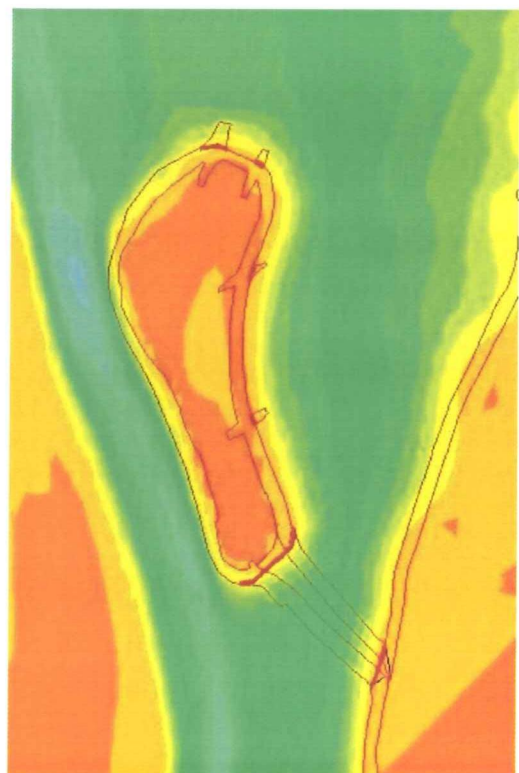
Overstromingsfrequentie 1:50 jaar



Overstromingsfrequentie 1:100 jaar



Overstromingsfrequentie 1:250 jaar



Overstromingsfrequentie 1:1250 jaar



~ Kaden

Locatie Visserweert

Bodemniveau t.o.v N.A.P.

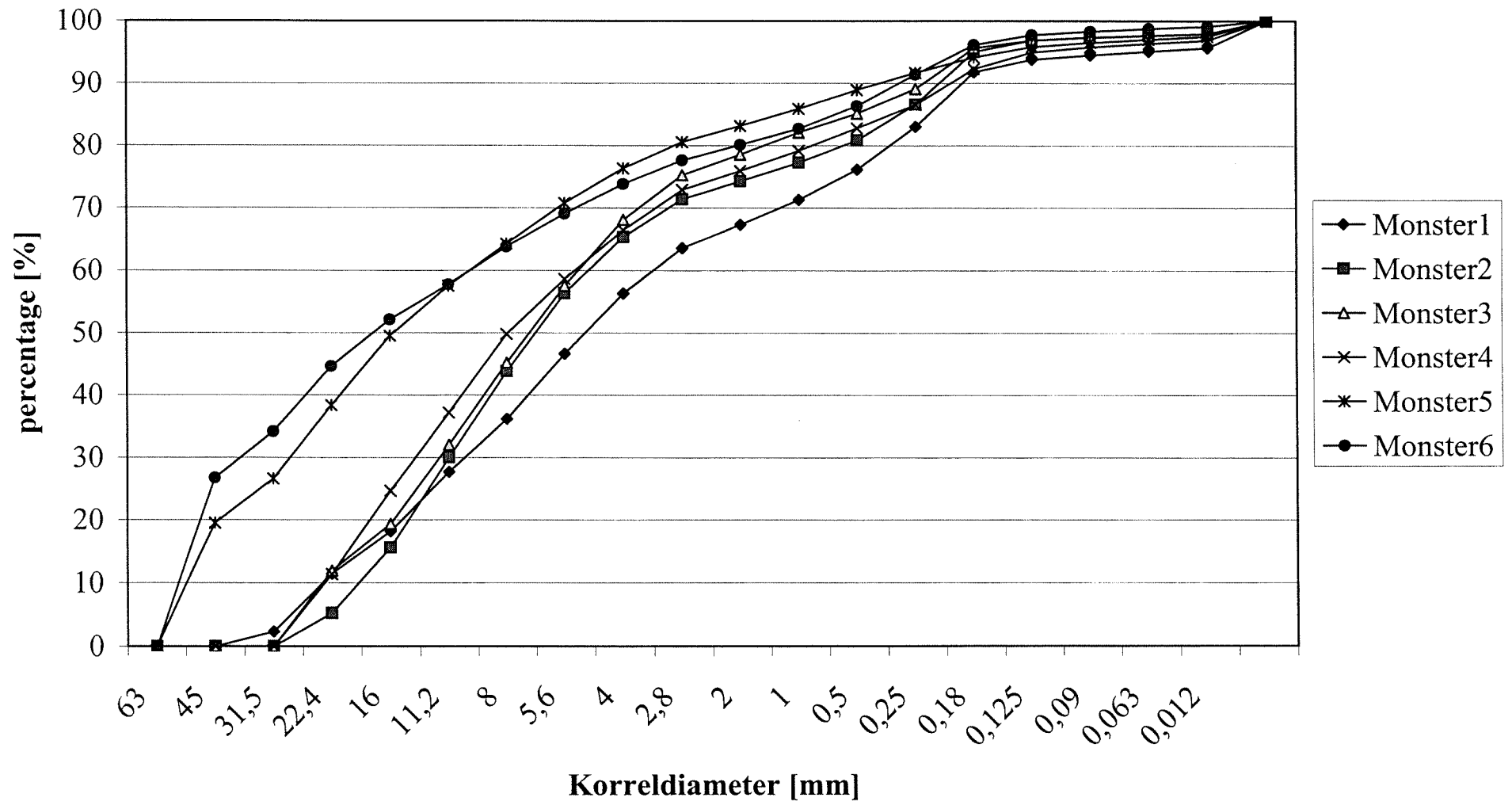
Bijlage 3.3.: Grondgegevens

Locatie	Steengrootte [mm]																			
	100	63	45	31,5	22,4	16	11,2	8	5,6	4	2,8	2	1	0,5	0,25	0,18	0,125	0,09	0,063	0,012
Koeweide I	0,00	12,00	15,60	23,75	33,01	43,49	53,60	62,11	68,94	73,94	76,61	79,44	82,68	87,36	93,85	96,77	97,54	97,98	98,37	100,00
Koeweide II	0,00	4,54	16,73	22,48	33,56	45,36	55,63	64,56	71,72	77,11	80,16	83,39	87,13	91,99	96,37	97,63	98,21	98,58	98,91	100,00
Gemiddeld	0	8,27	16,2	23,1	33,3	44,4	54,6	63,3	70,3	75,5	78,4	81,4	84,9	89,7	95,1	97,2	97,877	98,3	98,643	100

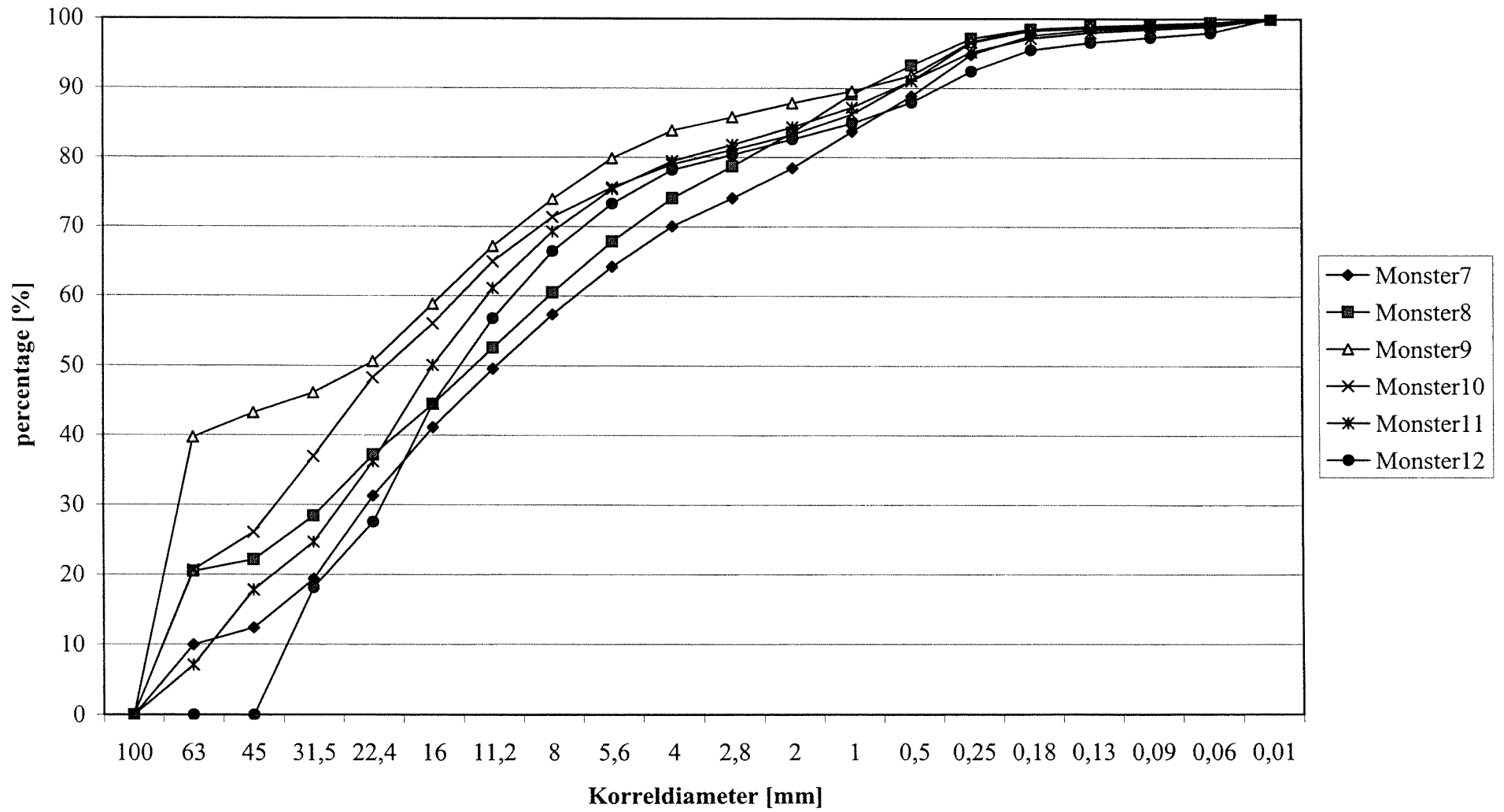
	[m]			Steengrootte [mm]																			
Monster	van	tot	dikte	100	63	45	31,5	22,4	16	11,2	8	5,6	4	2,8	2	1	0,5	0,25	0,18	0,125	0,09	0,063	0,012
1	0,5	1	0,5	0,00	0,00	2,33	11,39	18,17	27,70	36,21	46,69	56,35	63,58	67,33	71,30	76,18	83,03	91,80	93,85	94,52	95,14	95,71	100,00
2	1,5	2,5	1	0,00	0,00	0,00	5,25	15,57	30,03	43,82	56,36	65,33	71,39	74,25	77,28	80,83	86,62	95,03	96,92	97,41	97,70	97,96	100,00
3	2,5	3,5	1	0,00	0,00	0,00	11,90	19,37	32,07	45,21	57,55	68,10	75,25	78,58	82,10	85,14	89,10	95,66	96,91	97,35	97,65	97,93	100,00
4	3,5	4,5	1	0,00	0,00	0,00	11,34	24,66	37,22	49,83	58,65	66,44	72,88	75,94	79,19	82,79	86,55	92,34	94,97	95,80	96,39	96,93	100,00
5	4,5	5,5	1	0,00	19,52	26,64	38,38	49,56	57,57	64,30	70,77	76,36	80,57	83,17	85,92	88,98	91,72	94,20	95,87	96,55	97,05	97,52	100,00
6	5,5	6,5	1	0,00	26,74	34,18	44,65	52,17	57,73	63,81	69,09	73,83	77,66	80,12	82,72	86,37	91,45	96,17	97,79	98,36	98,77	99,16	100,00
7	6,5	7,5	1	0,00	9,95	12,40	19,37	31,32	41,12	49,55	57,35	64,17	70,03	74,12	78,46	83,79	88,84	94,82	97,56	98,37	98,77	99,15	100,00
8	7,5	8,5	1	0,00	20,47	22,14	28,41	37,17	44,47	52,56	60,46	67,81	74,12	78,71	83,58	89,11	93,31	97,14	98,47	98,91	99,19	99,46	100,00
9	8,5	9,5	1	0,00	39,72	43,24	46,09	50,63	58,82	67,13	73,97	79,85	83,93	85,83	87,85	89,56	91,81	96,68	98,37	98,84	99,11	99,36	100,00
10	9,5	10,5	1	0,00	20,66	26,07	37,02	48,30	56,06	64,93	71,37	75,66	78,99	81,09	83,32	86,24	91,02	96,56	98,28	98,67	98,94	99,20	100,00
11	10,5	11,5	1	0,00	7,11	17,81	24,67	36,26	50,10	61,09	69,25	75,43	79,47	81,86	84,39	87,22	91,06	95,17	97,19	98,02	98,47	98,89	100,00
12	11,5	12,5	1	0,00	0,00	0,00	18,15	27,56	44,54	56,77	66,38	73,30	78,19	80,36	82,67	84,93	87,96	92,45	95,52	96,59	97,32	98,00	100,00
13	12,5	13,5	1	0,00	0,00	0,00	5,95	8,89	19,52	31,63	42,24	49,62	54,61	56,53	58,56	62,08	68,80	84,50	94,51	95,82	96,31	96,77	100,00
14	13,5	14,5	1	0,00	10,30	16,70	19,20	25,83	34,59	44,56	53,83	61,98	67,65	70,39	73,30	76,87	84,34	90,05	96,66	97,84	98,29	98,71	100,00
15	14,5	15,5	1	0,00	15,24	23,67	28,31	42,68	53,54	63,10	70,55	75,42	78,97	80,48	82,08	83,94	88,39	94,13	96,46	97,73	98,25	98,73	100,00
16	15,5	16,5	1	0,00	15,99	15,99	23,69	31,05	41,72	51,98	60,01	66,83	71,53	74,01	76,63	79,28	84,97	93,84	96,97	97,79	98,18	98,53	100,00
17	16,5	17,5	1	0,00	12,36	17,42	23,78	34,64	44,69	56,02	63,60	69,13	72,94	74,98	77,14	79,09	83,98	93,88	97,31	98,20	98,63	99,04	100,00
		Gemiddeld		0,00	11,65	15,21	23,38	32,58	43,03	53,09	61,65	68,57	73,63	76,34	79,21	82,49	87,23	93,79	96,68	97,46	97,89	98,30	100,00

3 verschillende boringen waarvan 1 afgezeefd per monster. De andere 2 boringen zijn in hun totaliteit gezeefd.

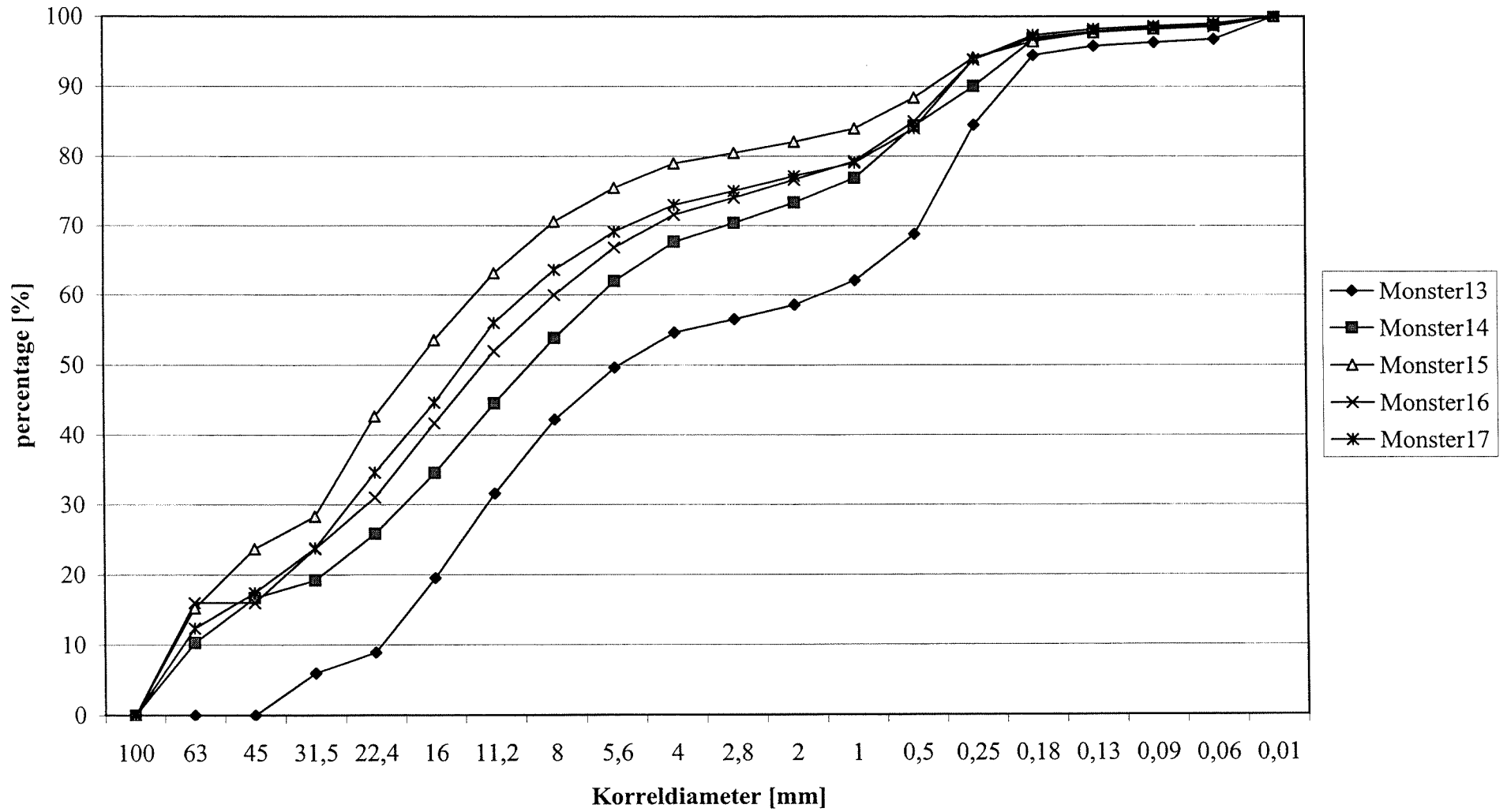
Monster 1 t/m 6



Monster 7 t/m 12



Monster 13t/m17



BIJLAGEN HOOFDSTUK 5

Bijlage 5.1.: Verschillende berekeningen

Bijlage 5.1.: Verschillende berekeningen

Locatie 1: Overlaat

h = maximaal
k_r = 3d₅₀ [m]
Ψ_c = 0,030 [°]
α (1:3) = 18,435 [°]
α (1:4) = 14,036 [°]
α (1:7) = 8,130 [°]
ø = 38 [°]
K_{s//} 1:4 = 0,660
K_{s//} 1:7 = 0,809
K_{sL} 1:3 = 0,858

K_{s//} = 1,000	d₅₀ [m]	Uc [m/s ²]	h [m]	Ψc [-]	C [m ^{0,5} /s]	C_{berekend} [m ^{0,5} /s]	Δ [-]	K_s [-]	k_r [m]
Frequentie : 1:50	0,037	2,25	7,50	0,030	52,27	52,27	1,65	1,000	0,112
Frequentie : 1:100	0,037	2,25	7,75	0,030	52,63	52,63	1,65	1,000	0,111
Frequentie : 1:250	0,036	2,25	8,00	0,030	52,99	52,99	1,65	1,000	0,109
Frequentie : 1:1250	0,048	2,50	8,50	0,030	51,31	51,31	1,65	1,000	0,144

K_{s//} 1:4 = 0,660	d₅₀ [m]	Uc [m/s ²]	h [m]	Ψc [-]	C [m ^{0,5} /s]	C_{berekend} [m ^{0,5} /s]	Δ [-]	K_s [-]	k_r [m]
Frequentie : 1:50	0,069	2,25	7,50	0,030	47,54	47,54	1,65	0,660	0,206

K_{s//} 1:7 = 0,809	d₅₀ [m]	Uc [m/s ²]	h [m]	Ψc [-]	C [m ^{0,5} /s]	C_{berekend} [m ^{0,5} /s]	Δ [-]	K_s [-]	k_r [m]
Frequentie : 1:50	0,051	2,25	7,50	0,030	49,88	49,88	1,65	0,809	0,152

Locatie 1: Overlaat

h	=	maximaal
k_r	=	$3d_{50}$ [m]
$\alpha (1:3)$	=	18,435 [°]
$\alpha (1:4)$	=	14,036 [°]
$\alpha (1:7)$	=	8,130 [°]
θ	=	38 [°]
$K_{s//} 1:4$	=	0,660
$K_{s//} 1:7$	=	0,809
$K_{sL} 1:3$	=	0,858

$K_{s//}$	=	1,000	Ψ_c	U_c	h	d_{50}	C	Δ	K_s	k_r
			[-]	[m/s ²]	[m]	[m]	[m ^{0,5} /s]	[-]	[-]	[m]
Frequentie	:	1:50	0,020	2,25	7,50	0,070	47,38	1,65	1,000	0,210

$K_{s//} 1:4$	=	0,660	Ψ_c	U_c	h	d_{50}	C	Δ	K_s	k_r
			[-]	[m/s ²]	[m]	[m]	[m ^{0,5} /s]	[-]	[-]	[m]
Frequentie	:	1:50	0,030	2,25	7,50	0,070	47,38	1,65	0,660	0,210

$K_{s//} 1:7$	=	0,809	Ψ_c	U_c	h	d_{50}	C	Δ	K_s	k_r
			[-]	[m/s ²]	[m]	[m]	[m ^{0,5} /s]	[-]	[-]	[m]
Frequentie	:	1:50	0,024	2,25	7,50	0,070	47,38	1,65	0,809	0,210

$K_{sL} 1:3$	=	0,858	Ψ_c	U_c	h	d_{50}	C	Δ	K_s	k_r
			[-]	[m/s ²]	[m]	[m]	[m ^{0,5} /s]	[-]	[-]	[m]
Frequentie	:	1:50	0,023	2,25	7,50	0,070	47,38	1,65	0,858	0,210

Locatie 1: Overlaat

h = maximaal
k_r = 3d₅₀ [m]
α (1:3) = 18,435 [°]
α (1:4) = 14,036 [°]
α (1:7) = 8,130 [°]
ø = 38 [°]
K_{s//} 1:4 = 0,660
K_{s//} 1:7 = 0,809
K_{sL} 1:3 = 0,858

<i>K_{s//}</i> = 1,000	Ψc	Uc	h	d₅₀	C	Δ	K_s	k_r
	[-]	[m/s ²]	[m]	[m]	[m ^{0,5} /s]	[-]	[-]	[m]
Frequentie : 1:50	0,018	2,25	7,50	0,080	46,33	1,65	1,000	0,240

<i>K_{s//} 1:4</i> = 0,660	Ψc	Uc	h	d₅₀	C	Δ	K_s	k_r
	[-]	[m/s ²]	[m]	[m]	[m ^{0,5} /s]	[-]	[-]	[m]
Frequentie : 1:50	0,027	2,25	7,50	0,080	46,33	1,65	0,660	0,240

<i>K_{s//} 1:7</i> = 0,809	Ψc	Uc	h	d₅₀	C	Δ	K_s	k_r
	[-]	[m/s ²]	[m]	[m]	[m ^{0,5} /s]	[-]	[-]	[m]
Frequentie : 1:50	0,022	2,25	7,50	0,080	46,33	1,65	0,809	0,240

<i>K_{sL} 1:3</i> = 0,858	Ψc	Uc	h	d₅₀	C	Δ	K_s	k_r
	[-]	[m/s ²]	[m]	[m]	[m ^{0,5} /s]	[-]	[-]	[m]
Frequentie : 1:50	0,021	2,25	7,50	0,080	46,33	1,65	0,858	0,240

Locatie 1: Overlaat

$$\Delta = 1,65$$

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$d_{50} = 0,070 \text{ [m]}$$

Transportparameter WL		$q_{s*}=1,64 \times 10^{10} \times \Psi_c^{10,86}$	
Ψ_c	0,025	0,03	0,035
q_{s*}	6,55E-08	4,75E-07	2,53E-06

Aantal stenen		$q_s = (q_{s*}) \times (\Delta g d^3)^{0,5}$	
Ψ_c	0,025	0,03	0,035
q_s	4,88E-09	3,54E-08	1,89E-07
q_s per dag	1,23	8,91	47,52
q_s per 2 dagen	2,46	17,82	95,04
q_s per week	8,61	62,36	332,63
q_s per 2 weken	17,22	124,72	665,26

$$\Delta = 1,65$$

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$d_{50} = 0,080 \text{ [m]}$$

Transportparameter WL		$q_{s*}=1,64 \times 10^{10} \times \Psi_c^{10,86}$	
Ψ_c	0,025	0,03	0,035
q_{s*}	6,55E-08	4,75E-07	2,53E-06

Aantal stenen		$q_s = (q_{s*}) \times (\Delta g d^3)^{0,5}$	
Ψ_c	0,025	0,03	0,035
q_s	5,97E-09	4,33E-08	2,31E-07
q_s per dag	1,01	7,29	38,89
q_s per 2 dagen	2,01	14,58	77,79
q_s per week	7,05	51,04	272,26
q_s per 2 weken	14,09	102,09	545,51

Locatie 2:	Linksboven
-------------------	-------------------

h = minimaal
 k_r = $3d_{50}$ [m]
 Ψ_c = 0,030 [-]
 α (1:3) = 18,435 [°]
 $\varnothing$ = 38 [°]
 K_{sL} 1:3 = 0,858

$K_{s//}$ = 1,000	d_{50} [m]	U_c [m/s ²]	h [m]	Ψ_c [-]	C [m ^{0,5} /s]	$C_{berekend}$ [m ^{0,5} /s]	Δ [-]	K_s [-]	k_r [m]
Frequentie : 1:50	0,115	2,50	2,00	0,030	33,18	33,18	1,65	1,000	0,344

K_{sL} 1:3 = 0,858	d_{50} [m]	U_c [m/s ²]	h [m]	Ψ_c [-]	C [m ^{0,5} /s]	$C_{berekend}$ [m ^{0,5} /s]	Δ [-]	K_s [-]	k_r [m]
Frequentie : 1:50	0,155	2,50	2,00	0,030	30,85	30,85	1,65	0,858	0,464

Locatie 2:	Linksboven
-------------------	-------------------

h = minimaal
k_r = 3d₅₀ [m]
α (1:3) = 18,435 [°]
α (1:4) = 14,036 [°]
α (1:7) = 8,130 [°]
ø = 38 [°]
K_{s//} 1:4 = 0,660
K_{s//} 1:7 = 0,809
K_{sL} 1:3 = 0,858

<i>K_{s//}</i> = 1,000	Ψ_c	U_c	h	d₅₀	C	Δ	K_s	k_r
	[-]	[m/s ²]	[m]	[m]	[m ^{0,5} /s]	[-]	[-]	[m]
Frequentie : 1:50	0,026	2,50	2,00	0,155	30,83	1,65	1,000	0,465

<i>K_{s//} 1:4</i> = 0,660	Ψ_c	U_c	h	d₅₀	C	Δ	K_s	k_r
	[-]	[m/s ²]	[m]	[m]	[m ^{0,5} /s]	[-]	[-]	[m]
Frequentie : 1:50	0,039	2,50	2,00	0,155	30,83	1,65	0,660	0,465

<i>K_{s//} 1:7</i> = 0,809	Ψ_c	U_c	h	d₅₀	C	Δ	K_s	k_r
	[-]	[m/s ²]	[m]	[m]	[m ^{0,5} /s]	[-]	[-]	[m]
Frequentie : 1:50	0,032	2,50	2,00	0,155	30,83	1,65	0,809	0,465

<i>K_{sL} 1:3</i> = 0,858	Ψ_c	U_c	h	d₅₀	C	Δ	K_s	k_r
	[-]	[m/s ²]	[m]	[m]	[m ^{0,5} /s]	[-]	[-]	[m]
Frequentie : 1:50	0,030	2,50	2,00	0,155	30,83	1,65	0,858	0,465

Locatie 2: Linksboven

$$\Delta = 1,65$$

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$d_{50} = 0,10 \text{ [m]}$$

Transportparameter WL		$q_{s*}=1,64 \times 10^{10} \times \Psi_c^{10,86}$	
Ψ_c	0,025	0,03	0,035
q_{s*}	6,55E-08	4,75E-07	2,53E-06

Aantal stenen		$q_s = (q_{s*}) \times (\Delta g d^3)^{0,5}$	
Ψ_c	0,025	0,03	0,035
q_s	8,34E-09	6,04E-08	3,22E-07
q_s per dag	0,72	5,22	27,83
q_s per 2 dagen	1,44	10,44	55,66
q_s per week	5,04	36,52	194,81
q_s per 2 weken	10,09	73,05	389,62

BIJLAGEN HOOFDSTUK 6

Bijlage 6.1.: Willekeurig ingevuld tweede gedeelte enquête

Bijlage 6.2.: Uitwerking eerste gedeelte enquête

Bijlage 6.3.: Scores per categorie voor tweede gedeelte enquête

Bijlage 6.4.: Genormeerde scores

Bijlage 6.1.: Willekeurig ingevuld tweede gedeelte enquête

Aspect: Inpasbaarheid				
	Br	G	Be	
Br		1	1	2
G	0		1	1
Be	0	0		0

Aspect: Milieuvriendelijkheid				
	Br	G	Be	
Br		1	1	2
G	0		1	1
Be	0	0		0

Aspect: Onderhoudsgevoeligheid				
	Br	G	Be	
Br		1	1	2
G	0		1	1
Be	0	0		0

Aspect: Begroeiing				
	Br	G	Be	
Br		1	1	2
G	0		1	1
Be	0	0		0

Aspect: Levensduur				
	Br	G	Be	
Br		1	1	2
G	0		1	1
Be	0	0		0

Aspect: Hergebruik				
	Br	G	Be	
Br		0	1	1
G	1		1	2
Be	0	0		0

Aspect: Uitvoeringsoverlast				
	Br	G	Be	
Br		0	1	1
G	1		1	2
Be	0	0		0

Aspect: Functionaliteit				
	Br	G	Be	
Br		1	0	1
G	0		0	0
Be	1	1		2

Aspect: Beschikbaarheid				
	Br	G	Be	
Br		0	0	0
G	1		1	2
Be	1	0		1

Aspect: Diervriendelijkheid				
	Br	G	Be	
Br		0	1	1
G	1		1	2
Be	0	0		0

0 = slechter
1 = beter

Bijlage 6.2.: Uitwerking eerste gedeelte enquête

Beleidsmakers													
		Enquête											
Aspect		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Totaal	Gemiddelde
1	Inpasbaarheid in het landschap	5	8	3	0	8	3	6	5	7	6	51	5,1
2	Milieuvriendelijkheid	9	9	3	4	7	4	4	4	5	6	55	5,5
3	Onderhoudsgevoeligheid	3	6	7	1	6	7	6	4	7	5	52	5,2
4	Begroeiing	7	2	3	4	1	4	6	3	3	4	37	3,7
5	Levensduur	1	6	8	3	5	8	3	3	5	4	46	4,6
6	Hergebruik	3	0	5	6	0	6	1	7	3	2	33	3,3
7	Uitvoeringsoverlast	2	3	1	6	2	2	3	0	1	2	22	2,2
8	Functionaliteit	6	2	9	7	9	9	9	9	9	8	77	7,7
9	Beschikbaarheid	3	3	5	8	3	2	3	6	4	5	42	4,2
10	Diervriendelijkheid	6	6	1	6	4	0	4	4	1	3	35	3,5

Enquête-nummer	Instantie
1	Ministerie Landbouw Natuurbeheer en Visserij
2	De Maaswerken
3	Aannemerij
4	De Maaswerken
5	Universiteit
6	Aannemerij
7	Universiteit
8	Rijkswaterstaat
9	Ministerie Verkeer en Waterstaat
10	Rijkswaterstaat

Gebruikers													
		Enquête											
Aspect		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Totaal	Gemiddelde
1	Inpasbaarheid in het landschap	3	4	2	5	6	5	3	4	2	2	36	3,6
2	Milieuvriendelijkheid	7	8	8	1	6	3	8	5	8	8	62	6,2
3	Onderhoudsgevoeligheid	3	1	4	4	7	4	4	3	4	7	41	4,1
4	Begroeiing	1	2	3	3	3	4	2	3	3	5	29	2,9
5	Levensduur	4	2	6	6	6	8	6	6	7	3	54	5,4
6	Hergebruik	6	3	5	7	2	7	7	5	3	2	47	4,7
7	Uitvoeringsoverlast	0	5	1	0	1	0	0	2	1	3	13	1,3
8	Functionaliteit	9	7	9	8	9	9	9	8	7	9	84	8,4
9	Beschikbaarheid	5	5	0	9	1	1	0	2	5	4	32	3,2
10	Diervriendelijkheid	7	8	7	2	4	4	6	7	5	2	52	5,2

Enquête-nummer	Instantie
1	Toerist
2	Toerist
3	Toerist
4	Bewoner
5	Bewoner
6	Bewoner
7	Bewoner
8	Toerist
9	Toerist
10	Toerist

Natuurbeheerders													
		Enquête											
Aspect		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Totaal	Gemiddelde
1	Inpasbaarheid in het landschap	9	8	3	8	3	6	7	8	7	5	64	6,4
2	Milieuvriendelijkheid	8	2	7	7	9	8	8	9	6	8	72	7,2
3	Onderhoudsgevoeligheid	0	1	1	6	4	5	0	3	5	4	29	2,9
4	Begroeiing	5	8	3	0	4	7	6	4	2	0	39	3,9
5	Levensduur	6	4	3	2	5	4	4	5	3	2	38	3,8
6	Hergebruik	4	0	6	5	6	3	6	6	5	4	45	4,5
7	Uitvoeringsoverlast	7	6	0	2	3	0	3	2	0	5	28	2,8
8	Functionaliteit	3	3	7	9	3	9	6	3	7	8	58	5,8
9	Beschikbaarheid	1	5	7	4	0	1	3	0	2	1	24	2,4
10	Diervriendelijkheid	2	8	8	2	8	2	2	5	8	8	53	5,3

Enquête-nummer	Instantie
1	Wereldnatuurfonds
2	Stichting Meander
3	Wereldnatuurfonds
4	Stichting Ark
5	Stichting Limburgslandschap
6	Ministerie Verkeer en Waterstaat
7	Wereldnatuurfonds
8	Staatsbosbeheer
9	Staatsbosbeheer
10	Wereldnatuurfonds

Bijlage 6.3.: Scores per categorie voor tweede gedeelte enquête

Beleidsmakers

		Enquête												
Aspect		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Totaal	Gemiddelde	Cijfer
1	Inpasbaarheid													
	Breuksteen	1	1	0	1	1	0	1	2	1	0	8	0,8	6
	Grind	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	17	1,7	11
	Beton	0	0	1	0	0	2	0	0	0	2	5	0,5	3
2	Milieuvriendelijkheid													
	Breuksteen	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	11	1,1	7
	Grind	2	2	2	0	2	2	2	1	2	1	16	1,6	11
	Beton	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	3	0,3	2
3	Onderhoudsgevoeligheid													
	Breuksteen	1	1	0	0	1	1	2	2	0	1	9	0,9	6
	Grind	2	1	1	1	0	0	1	1	1	0	8	0,8	6
	Beton	0	1	2	2	2	2	0	0	2	2	13	1,3	8
4	Begroeiing													
	Breuksteen	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	16	1,6	10
	Grind	2	2	1	1	1	2	1	1	2	1	14	1,4	8
	Beton	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
5	Levensduur													
	Breuksteen	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	10	1	7
	Grind	0	1	1	1	1	1	2	1	2	1	11	1,1	7
	Beton	2	0	2	1	0	2	0	0	1	1	9	0,9	6
6	Hergebruik													
	Breuksteen	2	2	1	0	1	1	2	1	0	2	12	1,2	8
	Grind	1	0	2	1	2	2	1	2	2	1	14	1,4	10
	Beton	0	1	0	2	0	0	0	0	1	0	4	0,4	2
7	Uitvoeringsoverlast													
	Breuksteen	1	2	0	1	1	1	1	1	0	1	9	0,9	7
	Grind	0	0	2	1	2	2	2	2	2	1	14	1,4	9
	Beton	2	1	1	1	0	0	0	0	1	1	7	0,7	4
8	Functionaliteit													
	Breuksteen	1	1	1	1	1	0	2	1	1	0	9	0,9	6
	Grind	0	0	0	1	0	2	1	0	0	1	5	0,5	3
	Beton	2	2	2	1	2	1	0	2	2	2	16	1,6	11
9	Beschikbaarheid													
	Breuksteen	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	3	0,3	2
	Grind	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	18	1,8	12
	Beton	1	1	0	2	1	1	1	1	0	1	9	0,9	6
10	Diervriendelijkheid													
	Breuksteen	1	1	1	0	2	1	1	1	1	1	10	1	6
	Grind	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	18	1,8	12
	Beton	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0,2	2

Gebruikers

		Enquête												
Aspect		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Totaal	Score	Cijfer
1	Inpasbaarheid													
	Breuksteen	2	1	1	0	1	1	1	2	1	0	10	1	7
	Grind	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	17	1,7	11
	Beton	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	3	0,3	2
2	Milieuvriendelijkheid													
	Breuksteen	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	11	1,1	7
	Grind	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	18	1,8	11
	Beton	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0,1	2
3	Onderhoudsgevoeligheid													
	Breuksteen	2	0	0	0	2	0	0	0	1	2	7	0,7	5
	Grind	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	8	0,8	6
	Beton	0	2	2	2	1	2	2	2	2	0	15	1,5	9
4	Begroeiing													
	Breuksteen	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	14	1,4	8
	Grind	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	16	1,6	10
	Beton	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
5	Levensduur													
	Breuksteen	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	3	0,3	3
	Grind	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	14	1,4	9
	Beton	2	2	2	0	1	2	2	1	0	1	13	1,3	8
6	Hergebruik													
	Breuksteen	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	6	0,6	4
	Grind	1	1	1	2	2	2	2	0	2	1	14	1,4	9
	Beton	2	2	1	0	0	0	1	2	0	2	10	1	7
7	Uitvoeringsoverlast													
	Breuksteen	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	6	0,6	4
	Grind	0	2	2	2	2	2	2	1	2	2	17	1,7	11
	Beton	2	0	0	1	0	1	1	1	0	1	7	0,7	5
8	Functionaliteit													
	Breuksteen	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	4	0,4	3
	Grind	1	1	0	1	2	1	1	2	1	1	11	1,1	7
	Beton	2	2	2	2	0	2	1	0	2	2	15	1,5	10
9	Beschikbaarheid													
	Breuksteen	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0,2	2
	Grind	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	18	1,8	11
	Beton	0	1	2	1	1	1	2	1	0	1	10	1	7
10	Diervriendelijkheid													
	Breuksteen	0	1	2	0	0	1	2	1	0	0	7	0,7	5
	Grind	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	18	1,8	11
	Beton	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	5	0,5	4

Natuurbeheerders

Enquête													
Aspect	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Totaal	Gemiddelde	Cijfer
Breuksteen	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	8	0,8	6
Grind	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20	2	12
Beton	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2	0,2	2
2 Milieuvriendelijkheid													
Breuksteen	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	8	0,8	6
Grind	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20	2	12
Beton	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2	0,2	2
3 Onderhoudsgevoeligheid													
Breuksteen	2	1	2	1	1	0	1	2	0	1	11	1,1	7
Grind	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	6	0,6	5
Beton	0	2	0	2	2	2	1	1	2	1	13	1,3	8
4 Begroeiing													
Breuksteen	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	13	1,3	8
Grind	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2	16	1,6	10
Beton	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0,1	2
5 Levensduur													
Breuksteen	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	3	0,3	2
Grind	1	0	1	2	1	1	1	2	2	1	12	1,2	8
Beton	2	2	2	1	2	2	1	0	1	2	15	1,5	10
6 Hergebruik													
Breuksteen	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	11	1,1	7
Grind	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	19	1,9	11
Beton	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
7 Uitvoeringsoverlast													
Breuksteen	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	5	0,5	3
Grind	1	1	0	2	2	2	1	2	0	2	13	1,3	9
Beton	2	2	2	0	0	1	2	1	2	0	12	1,2	8
8 Functionaliteit													
Breuksteen	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	7	0,7	5
Grind	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2	17	1,7	11
Beton	0	0	0	2	0	2	0	2	0	0	6	0,6	4
9 Beschikbaarheid													
Breuksteen	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0,2	2
Grind	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20	2	12
Beton	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	8	0,8	6
10 Diervriendelijkheid													
Breuksteen	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	8	0,8	6
Grind	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	19	1,9	12
Beton	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	3	0,3	2

Bijlage 6.4.: Genormeerde scores

Beleidsmakers		Breuksteen			
Aspect		Punten	Cijfer	Totaal	Genor.
1	Inpasbaarheid in het landschap	5,1	6	30,6	11%
2	Milieuvriendelijkheid	5,5	7	38,5	13%
3	Onderhoudsgevoeligheid	5,2	6	31,2	11%
4	Begroeiing	3,7	10	37	13%
5	Levensduur	4,6	7	32,2	11%
6	Hergebruik	3,3	8	26,4	9%
7	Uitvoeringsoverlast	2,2	7	15,4	5%
8	Functionaliteit	7,7	6	46,2	16%
9	Beschikbaarheid	4,2	2	8,4	3%
10	Diervriendelijkheid	3,5	6	21	7%
Totaal aantal punten				286,9	
Procentueel aandeel				32%	

Grind					
Punten	Cijfer	Totaal	Genor.		
5,1	11	56,1	15%		
5,5	11	60,5	16%		
5,2	6	31,2	8%		
3,7	8	29,6	8%		
4,6	7	32,2	9%		
3,3	10	33	9%		
2,2	9	19,8	5%		
7,7	3	23,1	6%		
4,2	12	50,4	13%		
3,5	12	42	11%		
				377,9	
				42%	

Beton					
Punten	Cijfer	Totaal	Genor.		
5,1	3	15,3	7%		
5,5	2	11	5%		
5,2	8	41,6	18%		
3,7	2	7,4	3%		
4,6	6	27,6	12%		
3,3	2	6,6	3%		
2,2	4	8,8	4%		
7,7	11	84,7	36%		
4,2	6	25,2	11%		
3,5	2	7	3%		
				235,2	
				26%	

Gebruikers		Breuksteen			
Aspect		Punten	Cijfer	Totaal	Genor.
1	Inpasbaarheid in het landschap	3,6	7	25,2	12%
2	Milieuvriendelijkheid	6,2	7	43,4	21%
3	Onderhoudsgevoeligheid	4,1	5	20,5	10%
4	Begroeiing	2,9	8	23,2	11%
5	Levensduur	5,4	3	16,2	8%
6	Hergebruik	4,7	4	18,8	9%
7	Uitvoeringsoverlast	1,3	4	5,2	2%
8	Functionaliteit	8,4	3	25,2	12%
9	Beschikbaarheid	3,2	2	6,4	3%
10	Diervriendelijkheid	5,2	5	26	12%
Totaal aantal punten				210,1	
Procentueel aandeel				23%	

Grind					
Punten	Cijfer	Totaal	Genor.		
3,6	11	39,6	9%		
6,2	11	68,2	16%		
4,1	6	24,6	6%		
2,9	10	29	7%		
5,4	9	48,6	12%		
4,7	9	42,3	10%		
1,3	11	14,3	3%		
8,4	7	58,8	14%		
3,2	11	35,2	8%		
5,2	11	57,2	14%		
				417,8	
				47%	

Beton					
Punten	Cijfer	Totaal	Genor.		
3,6	2	7,2	3%		
6,2	2	12,4	5%		
4,1	9	36,9	14%		
2,9	2	5,8	2%		
5,4	8	43,2	16%		
4,7	7	32,9	12%		
1,3	5	6,5	2%		
8,4	10	84	31%		
3,2	7	22,4	8%		
5,2	4	20,8	8%		
				272,1	
				30%	

Natuurbeheerders		Breuksteen			
Aspect		Punten	Cijfer	Totaal	Genor.
1	Inpasbaarheid in het landschap	6,4	6	38,4	16%
2	Milieuvriendelijkheid	7,2	6	43,2	18%
3	Onderhoudsgevoeligheid	2,9	7	20,3	8%
4	Begroeiing	3,9	8	31,2	13%
5	Levensduur	3,8	2	7,6	3%
6	Hergebruik	4,5	7	31,5	13%
7	Uitvoeringsoverlast	2,8	3	8,4	3%
8	Functionaliteit	5,8	5	29	12%
9	Beschikbaarheid	2,4	2	4,8	2%
10	Diervriendelijkheid	5,3	6	31,8	13%
Totaal aantal punten				246,2	
Procentueel aandeel				27%	

Grind					
Punten	Cijfer	Totaal	Genor.		
6,4	12	76,8	16%		
7,2	12	86,4	18%		
2,9	5	14,5	3%		
3,9	10	39	8%		
3,8	8	30,4	6%		
4,5	11	49,5	10%		
2,8	9	25,2	5%		
5,8	11	63,8	13%		
2,4	12	28,8	6%		
5,3	12	63,6	13%		
				478	
				53%	

Beton					
Punten	Cijfer	Totaal	Genor.		
6,4	2	12,8	7%		
7,2	2	14,4	8%		
2,9	8	23,2	13%		
3,9	2	7,8	4%		
3,8	10	38	22%		
4,5	2	9	5%		
2,8	8	22,4	13%		
5,8	4	23,2	13%		
2,4	6	14,4	8%		
5,3	2	10,6	6%		
				175,8	
				20%	