Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water & Maritime

Aan:	Quintijn van Agten
Van:	Stanley Versteeg
Datum:	20 maart 2025
Kopie:	Jan Valk
Ons kenmerk:	BJ5649-WM-ME-250313-1306
Classificatie:	Projectgerelateerd
Gecontroleerd door	Perry Groenewegen

Onderwerp: **Nevengeul Coehoorn - Granulair open filter constructie**

Inleiding
RWS is voornemens in de uiterwaard ten noorden van de stuw Grave een nevengeul te graven om een bijdrage te leveren aan de KRW-doelstellingen. Na het ophalen van eisen is een ontwerp gemaakt van deze nevengeul, waarna de stroomsnelheden van het water in de geul zijn bepaald. Op basis van geotechnisch onderzoek is vervolgens bepaald dat op meerdere locaties in de nevengeul een bodembescherming moet worden toegepast om ontgronding van de geulbodem te voorkomen.

Bij het ontwerp van deze bodembescherming is gekozen voor een zo natuurlijk mogelijk karakter, met toepassing van zogenaamd “Maasgrind” of “Maaskeien” als beschermingsmateriaal. Daarom wordt een geometrisch open filter aangelegd, waarbij bij hogere stroomsnelheden in de geul kleine lokale verplaatsingen van bodemmateriaal in de filterlaag is toegestaan.

Sortering van de bodembescherming
De sortering van de filterlaag is bepaald aan de hand van de Izbash formule, zie ook onderstaande vergelijking [1] (CIRIA/CUR/CETMEF, 2007).

$$D_{50} = \beta_{iz} * \frac{U_b^2}{2g\Delta_r} \quad [1]$$

Waarin:

D_{50}	=	Karakteristieke mediane steendiameter van de filterlaag
β_{iz}	=	Izbash factor voor turbulente stroming (= 1.4 voor niet-uniforme, turbulente stroming)
U_b	=	Stroomsnelheid over de waterbodem
Δ_r	=	Relatieve dichtheid van de toegapaste steensortering (= 1.6 voor Maasgrind in zoet water)

Hiermee is de benodigde gradering van de filterlaag bepaald, zoals weergegeven in Tabel 1 hieronder.

De aangegeven graderingen zijn bepaald aan de hand van de standaard graderingscurves uit sectie 3.4.3 uit de Rock Manual (CIRIA/CUR/CETMEF, 2007). Zie ook Bijlage 1 voor een voorbeeldberekening van de D50 van een sortering van 10 tot 70 mm.

Tabel 1 Benodigde steensorteringen voor verschillende optredende stroomsnelheden in de nevengeul

Stroomsnelheid [m/s]	D50, min [m]	D50,min [mm]	Sortering [mm]
0,3	0,00402	4	1/12 of 2/10 of 3/8
0,7	0,02186	22	Bijv. 10/40 mm of 5/70 mm
0,8	0,02855	29	Bijv. 10/70 mm of 5/110 mm
1	0,04461	45	Bijv. 25/90 mm of 15/110 mm

Methode voor bepaling van de dikte van de bodembescherming
Omdat gekozen is voor een geometrisch open filterconstructie zonder toepassing van geotextiel, is de afname van de stroomsnelheid over de hoogte van de filterlaag de leidende factor voor het bepalen van de benodigde laagdikte van de bodembescherming.

De laagdikte van het geometrisch open filter is bepaald aan de hand van onderstaande formule [2] als voorgesteld door Stefan van der Sande in CUR-K680-15 (CUR, 2015).

$$D_F = d_{f50} * \alpha_d * ln\left(\frac{d_{f50}}{d_{b50}} * \frac{\Delta_f}{\Delta_b} * \frac{\Psi_f}{\Psi_{c,b}} * \frac{1-\gamma V_{g,f}}{1-\gamma V_{g,b}}\right) \qquad [2]$$

Waarin:

D_F = Minimaal benodigde laagdikte van de filterlaag
d_{f50} = Korreldiameter van het filter materiaal waarbij 50% van de deeltjes fijner is
d_{b50} = Korreldiameter van het bodemmateriaal waarbij 50% van de deeltjes fijner is
α_d = Deterministische coefficient ($\alpha_d = 0.82$)
Δ_f = Relatieve dichtheid van de toegepaste filterlaag (= 1.6 voor Maasgrind in zoet water)
Δ_b = Relatieve dichtheid van het bodemmateriaal (= 1.65, o.b.v. 2650 kg/m^3 in zoet water)
ψ_f = Shields parameter voor het filtermateriaal
$\psi_{c,b}$ = Kritieke Shields parameter voor het bodemmateriaal
γ = Transport parameter ($\gamma = 0.625$)
V_g = Variatiecoëfficiënt voor de non-uniformiteit van het filter of bodemmateriaal gebaseerd op de hypothese van Grass ($V_g = 1 - d_{15}/d_{50}$)

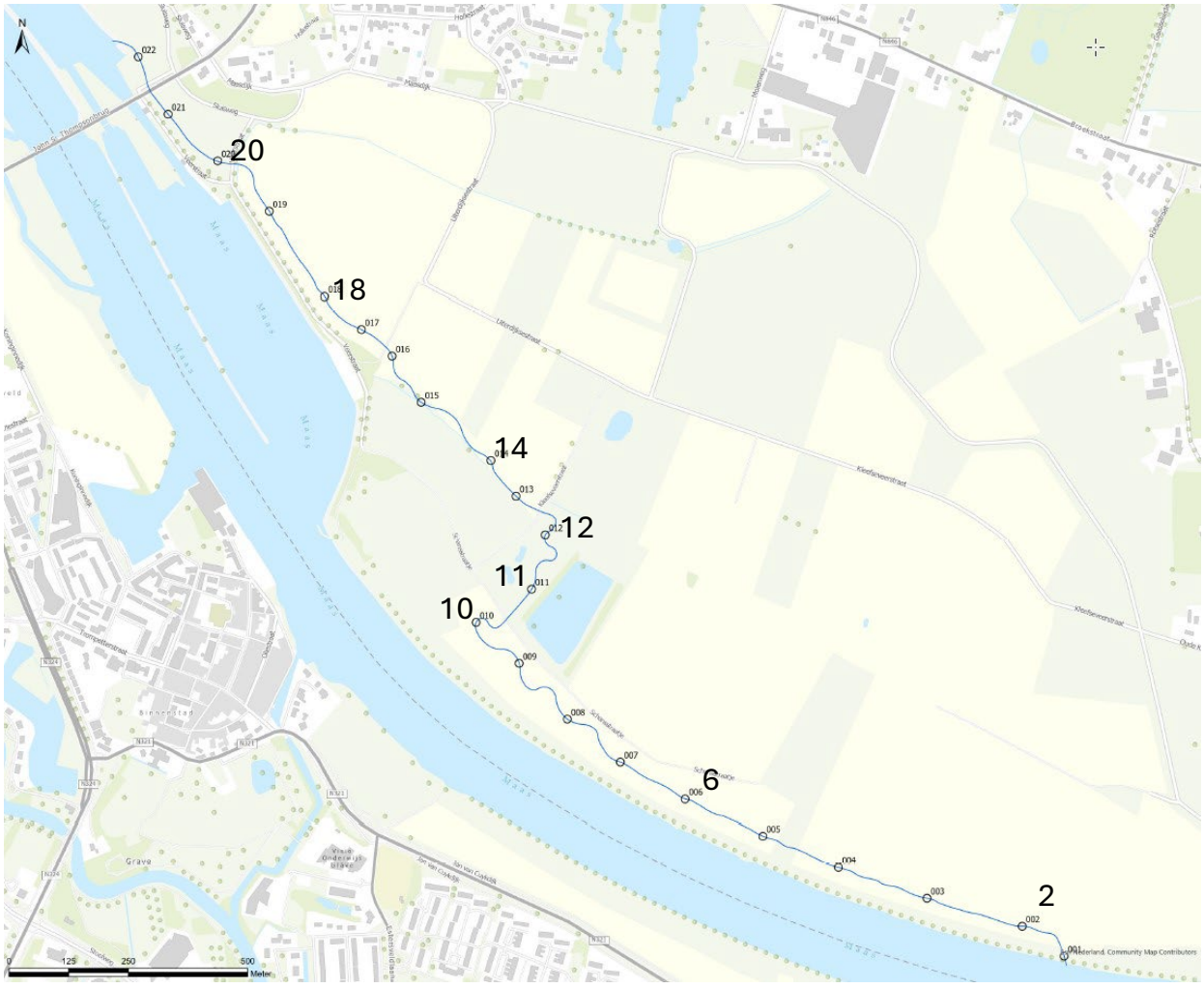
Aan de hand van bovenstaande formule [2] en de geotechnische analyse en zeefkrommen van de ondergrond op het niveau van de geulbodem, gecombineerd met de in Tabel 1 bepaalde sortering voor de filterlaag, is de benodigde laagdikte van dit filter bepaald.

Gegevens van de ondergrond
Over het tracé van de nevengeul is geotechnisch onderzoek verricht, waarbij voor meerdere boorlocaties ook zeefkrommen zijn opgesteld van de verschillende bodemlagen in het gebied. Hierdoor is een goed beeld ontstaan van de samenstelling van de bodem op het niveau van de geulbodem. De locaties van de boringen zijn weergegeven in Figuur 1.

Op meerdere locaties is erodeerbaar materiaal gevonden, in de vorm van fijn zand. Een overzicht van de te beschouwen locaties, inclusief de interpretatie van de zeefkrommen is hieronder weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 Relevante bodemgegevens in de nevengeul

Boorlocaties	Stroomsnelheid [m/s]	Diepte waterbodem [m+NAP]	D15 [m]	D50 [m]	D90 [m]
2	0,62	1,98	0,000005	8,87E-05	0,000237
6	0,62	3,49	5,01E-05	0,000159	0,000293
10	0,5	3,77	0,00016	0,000296	0,000482
11	0,6	2,53	0,000257	0,000346	0,000487
12	0,5	2,66	0,00025	0,000948	0,001736
14	0,7	3,13	0,000146	0,000214	0,000425
18	0,6	3,94	0,00029	0,0005	0,001459
20	0,7	3,62	0,000261	0,000379	0,000777



Figuur 1 Locaties van de boorpunten, zie ook tekening "Situering meetpunten waterbodemonderzoek nevengeul" van 04-12-24

Bepaling van de minimaal benodigde laagdikte van het filter
Aan de hand van bovenstaande formule [2], gecombineerd met de gegevens van de ondergrond als gepresenteerd in Tabel 2 en de benodigde steensortering zoals bepaald in Tabel 1, is de minimaal benodigde laagdikte van de filterlaag bepaald.

Hierbij is als uitgangspunt genomen dat de losse bodemdeeltjes niet mogen bewegen, hetgeen overeenkomt met een kritische Shield's parameter voor het bodemmateriaal van $\psi_{c,b} = 0{,}035$.

Zoals beschreven in formule [2] is de benodigde filterlaagdikte afhankelijk van de Shields parameter van de gradering van de filterlaag. De Shields parameters voor de verschillende in Tabel 2 gepresenteerde locaties zijn weergegeven in Tabel 3 hieronder.

Tabel 3 Relevante filterlaaggegevens en benodigde dikte in de nevengeul

Boorlocatie	Stroomsnelheid [m/s]	Diepte waterbodem [m+NAP]	Gegevens filterlaag			Benodigde filterdikte
			D50 [m]	D90 [m]	ψ_f	D_F [m]
2	0,62	1,98	0,03	0,06	0.0082	0,16
6	0,62	3,49			0.0066	0,14
10	0,5	3,77			0.0042	0,12
11	0,6	2,53			0.007	0,11
12	0,5	2,66			0.0048	0,10
14	0,7	3,13			0.0088	0,13
18	0,6	3,94			0.0059	0,11
20	0,7	3,62			0.0083	0,11

De minimaal benodigde filterlaagdikte voor een geometrisch open filter is daarmee berekend op 0,16 m.

Bij hoog water in de Maas staan de uiterwaarden rondom de nevengeul onder water. Op deze momenten (vooral rondom stijgend en dalend waterpeil) zijn de stroomsnelheden hoger dan onder dagelijkse omstandigheden. Om deze reden, alsmede mogelijke onzekerheid rondom de berekenings-resultaten, wordt geadviseerd een bodembescherming met een laagdikte van **minimaal 0,32 m** toe te passen in de nevengeul. Daarmee wordt de noodzaak van onderhoud na iedere hoog water situatie verminderd en de levensduur en duurzaamheid van de nevengeul verlengd.

Daarnaast wordt aanbevolen om, na de afronding van het werk, een goede uitpeiling van de aangelegde bodembescherming uit voeren, en vervolgens in de toekomst op vaste inspectie-intervallen de bodembescherming te peilen. Dit om enige veranderingen in bodemniveau te signaleren. Wanneer de bodembescherming bijvoorbeeld kuilen begint te vertonen zou dit kunnen duiden op verplaatsingen van het Maasgrind (wat elders voor verondiepingen zou zorgen), maar meer waarschijnlijk op het uitspoelen van zand door de bodembescherming heen, en het naar beneden zakken van het Maasgrind. In dit laatste geval kan er bij wijze van onderhoud Maasgrind worden bijgestort, waarmee lokaal de laagdikte vergroot wordt. Zodoende worden de stroomsnelheden verlaagd bij de overgang van onderkant bodembescherming naar zandbodem.

Conclusie
Om de bodem van de nevengeul langs de Maas te beschermen tegen erosie onder de invloed van verhoogde stroomsnelheden in de geul, moet een bodembescherming worden aangebracht.

Deze bodembescherming wordt uitgevoerd in een sortering van 10 – 70 mm, met een D_{50} van 30 mm, en wordt aangebracht als een granulair open filterconstructie in één laag. De bodembescherming wordt aangebracht met een laagdikte van **0,4 m of 40 centimeter**, dit om de noodzaak van onderhoud na iedere hoog water situatie te verminderen en zo de levensduur van de bodembescherming te verhogen.

Bijlage 1 – Grindsortering 10 – 70 mm

MASS DISTRIBUTION OF ROCK GRADING 10 - 70 MM

INPUT:

Nominal Lower Limit of the rock grade: $NLL := 10 \cdot mm$ $y_{NLL} := 10\%$

Nominal Upper Limit of the rock grade: $NUL := 70 \cdot mm$ $y_{NUL} := 95\%$

DERIVED PARAMETERS AND FORMULAE:

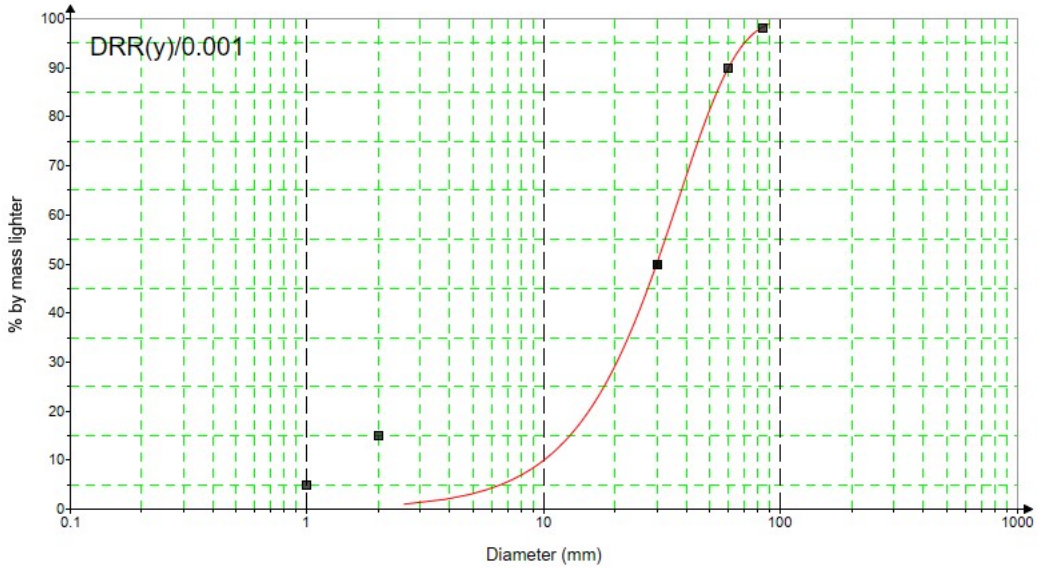
$$n_{RRM} := \frac{\log\left(\frac{\ln(1-y_{NUL})}{\ln(1-y_{NLL})}\right)}{\log\left(\left(\frac{NUL}{NLL}\right)^3\right)} = 0.573 \qquad n_{RRD} := 3 \cdot n_{RRM} = 1.72 \qquad D_{50} := NLL \cdot \left(\frac{\ln(1-y_{NLL})}{\ln\left(\frac{1}{2}\right)}\right)^{\frac{-1}{n_{RRD}}} = 29.89\ \mathbf{mm}$$

Calculate M_y, when y is given (to calculate M_{10}, M_{15}, M_{85} etc.)

$$D_{RR}(y) := D_{50} \cdot \left(\frac{\ln\left(1-\frac{y}{100}\right)}{\ln\left(\frac{1}{2}\right)}\right)^{\frac{1}{n_{RRD}}}$$

$$YY(D) := 1 - \exp\left(\ln\left(\frac{1}{2}\right) \cdot \left(\frac{D}{D_{50}}\right)^{n_{RRD}}\right) \qquad YY\left(D_{RR}(50)\right) = 0.5$$

$y := 1, 2 .. 99$



Criteria to ensure internal stability of the rock grading:

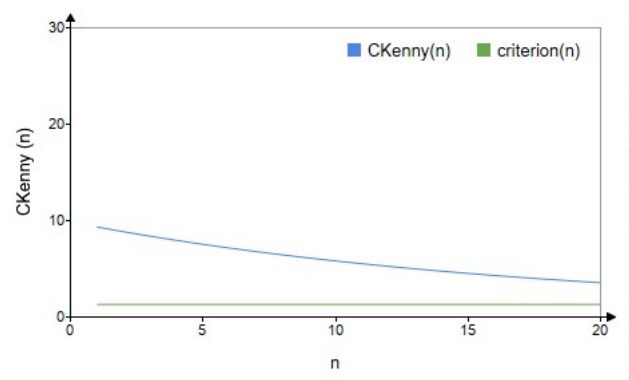
OR 1 : $F_D(n) := YY\left(D_{RR}(n)\right)$ $F_{4D}(n) := YY\left(4 \cdot D_{RR}(n)\right)$ $C_{Kenny}(n) := \frac{F_{4D}(n)}{F_D(n)} - 1$

OR 2 : $D_{10}/D_5 < 3$ **AND** $D_{20}/D_{10} < 3$ **AND** $D_{30}/D_{15} < 3$ **AND** $D_{40}/D_{20} < 3$

OR 3 : $D_{60}/D_{10} < 10$

OUTPUT:

1 : $n := 1 .. 20$ $\text{criterion}(n) := 1.3$ Criterion: $C_{Kenny} > 1.3$



2 : $\frac{D_{RR}(10)}{D_{RR}(5)} = 1.5$ $\frac{D_{RR}(20)}{D_{RR}(10)} = 1.5$ $\frac{D_{RR}(30)}{D_{RR}(15)} = 1.6$ $\frac{D_{RR}(40)}{D_{RR}(20)} = 1.6$

3 : $\frac{D_{RR}(60)}{D_{RR}(10)} = 3.516$