



Schetsontwerp oplossingsrichtingen grondwaterproblematiek

Datum	20 september 2018	Contactpersoon	Xander Tekelenburg
Kenmerk	N002-1265755XWT-V01-NL	Telefoonnummer	+31 6 53 79 42 20
Onderwerp	SO oplossingsrichtingen grondwaterproblematiek 'Verruiming Twentekanaal Fase 2'		

1 Inleiding

Beheersing van de grondwaterstand in de omgeving van het te verruimen Twentekanaal is een cruciaal aandachtspunt bij het realisatieproject "Verruiming Twentekanaal Fase 2". In deze notitie worden de kansrijke maatregelen voor dit project op schetsontwerp (SO) niveau uitgewerkt. Deze uitwerking is nog in concept. Met behulp van deze notitie worden de kansrijke maatregelen voorgelegd aan marktpartijen en behandeld in een VE sessie op 9 oktober 2018.

1.1 Aanleiding

De Twentekanaal vormen een belangrijke regionale en economische ader voor Twente. De wens is om de Twentekanaal te verruimen, zodat de havens en bedrijven in Twente beter bereikbaar worden voor grote schepen. Daarnaast is geconstateerd dat langs de zijtak van het Twentekanaal sinds 2010 sprake is van extra grondwateroverlast door kanaalkwel. De kweloverlast wordt mede veroorzaakt door het in 2010 uitgevoerde baggeronderhoud in het zijkanaal.

De aanbesteding van de verruiming Twentekanaal fase 2 is eind 2017 ingetrokken. De aanleiding hiervoor was onzekerheid over de mate van grondwaterbeheersing na baggerwerkzaamheden in 2010. De omgeving rekent op het spoedig uitvoeren van het project.

Rijkswaterstaat wenst het volgende te realiseren: De oplevering van de Twentekanaal als klasse Va vaarweg, krap profiel. De werkzaamheden bestaan naast het verdiepen ook uit het vervangen of versterken van damwanden, het vergroten van zwaaikommen, het verlengen van kades, het aanbrengen van natuurvriendelijke oevers en het ecologisch inrichten van vervallen zwaaikommen.

De verruiming heeft betrekking op:

- Het voorpand tussen de IJssel en sluis Eefde (km 0,110 tot km 2,860)
- Het hoofdkanaal tussen sluis Delden en sluis Hengelo (km 36,383 tot km 45,120)
- Het hoofdkanaal tussen sluis Hengelo en de havens van Enschede (km 45,275 tot km 48,295)
- Het zijkanaal vanaf het splitsingspunt tot en met Almelo (km 0,456 tot km 15,725)

1.2 Doelstellingen aanpak grondwaterproblematiek

- Het herstellen van de bodemweerstand in het zijkanaal als gevolg van het baggeronderhoud in 2010 op zodanige wijze dat een vergelijkbare grondwatersituatie zal ontstaan als in de periode vóór het baggeronderhoud in 2010 aanwezig was. Richtlijn die daarvoor kan worden gehanteerd is een kanaalbodemweerstand van grofweg 60 tot 120 infiltratieweerstand dagen voor het gehele zijkanaal¹ (Arcadis 2018);
- De opgave voor de overige delen van het projectgebied is geen blijvende grondwaterstandsverandering ten opzichte van de huidige situatie;
- De hinder als gevolg van grondwaterstandsfluctuaties tijdens de uitvoering moet zoveel mogelijk beperkt worden.

¹ Onderzoeken (Arcadis 2018 en Tauw 2014) tonen aan dat als gevolg van de baggerwerkzaamheden 30 tot 60 dagen aan bodemweerstand is verwijderd.

2 Kansrijke maatregelen

In deze nota worden vier kansrijke maatregelen beschouwd. Voor deze maatregelen is een schetsontwerp gemaakt. Daarnaast worden 'specials' beschouwd. Dit zijn locaties die een grotere invloed ondervinden van erosie door scheepvaart. Het gaat hier om bijvoorbeeld bruggen en zwaaikommen.

De volgende oplossingsrichtingen zijn uit de VE sessie² naar voren gekomen als kansrijk en worden in deze notitie verder uitgewerkt:

1. Toepassen van een kleilig materiaal op de bodem
 - a) Natuurlijk klei
 - b) Kleilig materiaal met 'kunstmatige' oorsprong (zoals Noordse Leem of Rona®Leem)

Onderdeel van de VE sessie is de vraag of 1a en 1b onder één noemer geschaard mogen worden of dat de werking en verwerking zodanig verschilt dat we het als verschillende maatregelen moeten beschouwen

2. Toepassen van een bentonietmengsel op de bodem (zoals Rona®Bodemdicht)
3. Bodem afdichten met bentonietmatten
4. Fijne fractie (slib) aanbrengen of behouden op de bodem
 - a) Externe slib aanbrengen
 - b) Overvloeien
 - c) Egaliseren

2.1 Ontwerpmatrix

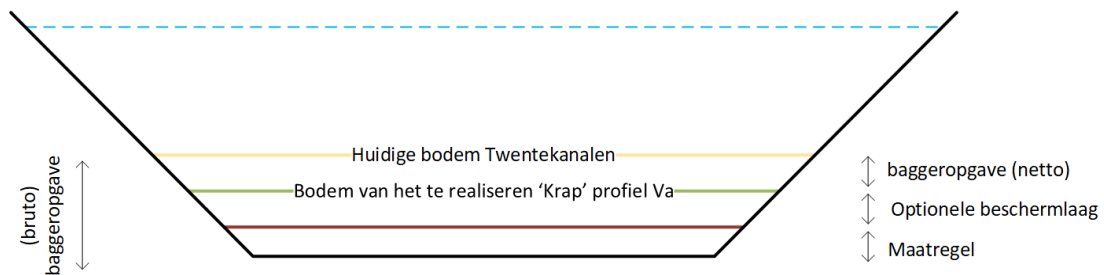
In de onderstaande ontwerpmatrix zijn verschillende aspecten per kansrijke maatregel weergegeven. De opvolgende hoofdstukken beschrijven elk een maatregel in meer detail en geven een schets van de oplossing. In paragraaf 2.2 worden maatregelen behandeld die de waterafdichtende laag dienen te beschermen tegen erosie.

In figuur 1 is het algemene principeontwerp weergegeven. Deze bestaat uit de volgende onderdelen:

- Huidige bodem Twentekanaal: dit betreft de huidige waterbodem van het Twentekanaal (er heeft dus nog geen baggerwerk plaats gevonden).

² RWS en Tauw hebben op 2 juli een Value Engineering sessie georganiseerd met kennisdragers van bodem afdichtende technieken

- Toekomstige bodem Twentekanalen: dit is de netto baggeropgave benodigd om het krappe vaarwegprofiel te realiseren inclusief onderhoudsmarge. Onafhankelijk van de gekozen ontwerplossing dient dit als baggerwerk gerealiseerd te worden.
- Eventuele erosie remmende bescherm laag³: dit is een de laag die aangebracht wordt bovenop de ontwerplossing, ter bescherming of vastleggen van de ontwerplossing. Zie paragraaf 2.2.
- Maatregel: één van de vier kansrijke varianten die in dit rapport worden beschreven.



Figuur 1: principe van de ontwerplossingen

³ Slijtlaag wordt niet toegepast bij de variant(en) waar slib wordt toegepast,.

Tabel 1 Ontwerpmatrix kansrijke maatregelen

Ontwerpoplossing	Laagdikte	Erosiebestendigheid	Beperking Kwel	Aandachtspunten uitvoerbaarheid
Kleilig materiaal (natuurlijke en kunstmatige oorsprong)	0.5 m leem/klei,	Natuurlijk klei is een cohesief materiaal met weerstand tegen erosie tot 0,8 – 1,2 m/s. In theorie niet of ten dele bestendig tegen schroefstraalbelasting en retourstromen van passerende en manoeuvrerende schepen. Kunstmatig klei is minder cohesief, gevoeliger voor erosie en kan beschouwd worden als Cat 3 klei.	Ja, aanzienlijke zekerheid mits sluitend aangebracht	Onbekend of kleilig materiaal effectief grootschalig toegepast kan worden onder water en dit voldoende verdicht kan worden. Deltares adviseert verdichting omdat dit het materiaal aanzienlijk meer sterkte / werking geeft ⁴ . De verwerking van natuurlijk en kunstmatige klei is afwijkend.
Zand-bentoniet mengsel	0.1 m zand-bentonietmengsel	Bentoniet mengsel heeft meer weerstand tegen erosie dan klei of leem maar er is twijfel of dit afdoende is om schroefstraalbelasting te weerstaan.	Ja, op kleinere schaal is reeds aangetoond dat bentoniet kwel sterk kan beperken	Product nog niet op de schaal van het TK toegepast
Beslibbing ⁵	0.3 m slib bij (sub)oplossing externe slib	Niet direct, wel als fijnste fractie in bodemlaag is 'geïnfiltreerd'	Minder zeker als gevolg van erosiegevoeligheid	Juiste fijne fracties zijn noodzakelijk om werkzaam te zijn
Bentonietmatten	0.1 m max voor bentoniet + 0.6 meter zand of 0,5 meter stortsteen	Bentonietmatten zijn redelijk erosiebestendig. Bentonietmatten zijn wel gevoelig voor beschadigingen door ankers of spudpalen. Daarom is de beschermende laag standaard onderdeel van deze oplossing	Zeker, aansluitingen en lekkage is wel een aandachtspunt	Ja, veel ervaring met bentonietmatten

⁴ Specificaties voor het toepassen van Noordse Leem in Weg- en Waterbouwwerken in Nederland - Inventarisatie, Deltares 2018

⁵ De beslibbingsvariant (beschreven in H5) bestaat uit drie sub oplossingen. Voor de (sub)variant externe slib dient rekeningen gehouden te worden met de aanvoer van 0.3 m slib. De overige oplossingen behoeven geen aanvoer van slib. Geen van de drie de subvarianten hebben een slijtlaag.

2.2 Erosie remmende beschermlaag

Tabel 1 toont dat de kansrijke alternatieven in meer of mindere mate gevoelig zijn voor de optredende schroefstraalbelasting van passerende schepen. Passerende schepen veroorzaken aan de bodem stroomsnelheden tot circa 2,0 m/s. Wanneer een schip uit stilstand vertrekt, zijn deze snelheden hoger tot circa 3,0 m/s. Om aantasting van de waterremmende maatregel te voorkomen bestaat de mogelijkheid deze te beschermen. Onderdeel van deze studie is in beeld te brengen of deze bescherming noodzakelijk is. Er zijn twee opties in beeld:

1. Toepassen van een slijtlaag van zand / zandig bodemmateriaal. De werking van de slijtlaag is meerledig.
 - a. De slijtlaag fungeert als een laag waarin erosie en sedimentatie van bodemmateriaal kan plaatsvinden zonder dat dit de waterremmendheid aantast. Doordat het kanaal geen stroming kent, blijft de netto hoeveelheid gelijk. Er ontstaat als gevolg van scheepspassages een nieuw bodemprofiel. Lodingen uit de periode 2010-2017 laten zien dat erosie op de rechte trajecten beperkt blijft tot enkele decimeters (zie ook de beschouwing in bijlage 1). Een slijtlaag van 0,50 m lijkt daarmee afdoende;
 - b. De slijtlaag fungeert als een waarschuwingssysteem. Met periodieke lodingen kan de aantasting van de slijtlaag in beeld worden gebracht. Wanneer erosie voortschrijdt, is er nog voldoende tijd en marge om maatregelen te treffen alvorens ook de waterremmende functie wordt aangetast;
 - c. De slijtlaag fungeert als gewicht om de waterremmende laag te verdichten en vast te houden.
2. Toepassen van een laag stortsteen. Deze laag is zodanig gedimensioneerd dat ze ongevoelig is voor belastingen van passerende schepen. Erosie treedt niet op. Aandachtspunt is eventuele verdringing van lager of het ponsen ervan. Dit vergt een gecontroleerde aanleg en inzet van een filter. Ook met stortsteen wordt een maatregel op de plaats gehouden en verdicht.

Beide beschermende maatregelen vergen een aanvullende verdieping van het kanaal. Naar verwachting is het extra vrijkomende bodemmateriaal geschikt om als slijtlaag toe te passen. Dit dient nog geverifieerd te worden.

Onderdeel van de VE sessie van 9 oktober is ervaringen te delen of het noodzakelijk is de maatregelen daadwerkelijk aanvullend te beschermen en op welke wijze.

3 Kleilig materiaal

3.1 Beschrijving

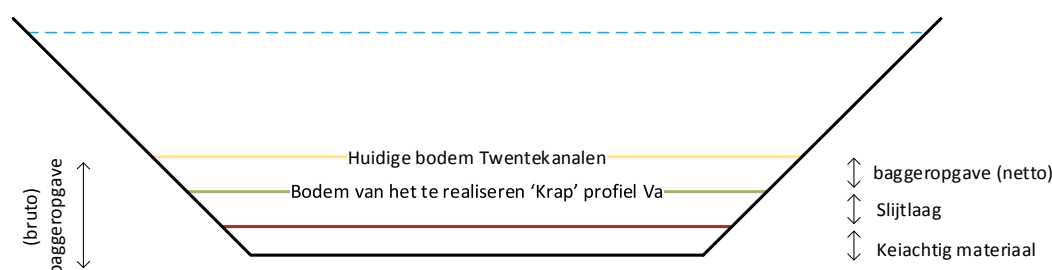
Voor het toepassen van kleilig materiaal op de bodem wordt onderscheid gemaakt in:

- a) Natuurlijk klei/leem
- b) Kunstmatige klei/leem (zoals Noordse Leem of Rona®Leem)

Natuurlijke klei wordt direct in de natuur gewonnen zonder dat daar nog een bewerkingsproces aan vooraf gaat. Kunstmatige leem is een restproduct (fijnste fracties uit groeven en uit het brekerproces) eventueel aangevuld met bestandsdelen om het tot een verwerkbaar klei/leemachtig materiaal te maken. Op de markt is dit materiaal onder andere bekend als het product Noordse klei of leem. Rona®Leem is een specifiek product van één bepaalde leverancier, het principe van het product is echter hetzelfde.

Voor het toepassen van een kunstmatige gefabriceerde leem wordt in de uitwerking aangenomen dat deze, om een bepaalde weerstand op de bodem te generen, qua hoeveelheden vergelijkbaar is met natuurlijk kleilig materiaal. De uitvoerbaarheid van deze varianten kan daarin mogelijk nog verschillen en wordt nader onderzocht (zie ook paragraaf 3.1.2).

Het principe (**Error! Reference source not found.**) bestaat uit het aanbrengen van laag (ordegrootte 30 tot 50 cm; zie paragraaf 3.1.1)⁶ kleiachtig materiaal op de bodem van het kanaal waarmee het kanaalbodem dicht wordt gemaakt.



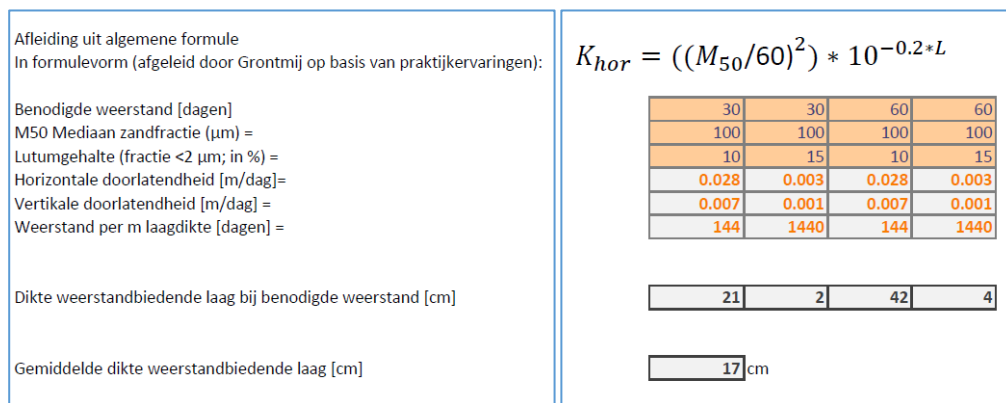
Figuur 2: principe van de ontwerplossing aanbrengen kleiachtig materiaal

3.1.1 Dikte kleilaag

De dikte van de benodigde kleilaag hangt samen met de samenstelling van het materiaal. Voor de bepaling van de benodigde dikte in combinatie met de samenstelling van een de weerstandbiedende laag is in het verleden door Grontmij op basis van praktijkervaringen een

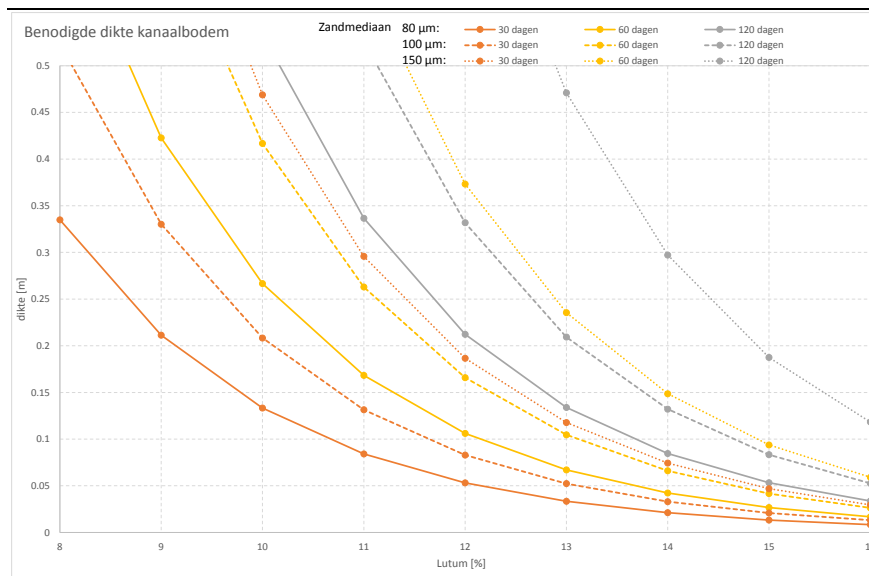
⁶ Voorstel van leverancier tijdens Pitch Noordse Leem Afdichting Twentekanaal, januari 2018. Indien een volledig dichte bodem gecreëerd dient te worden (ipv 60 tot 120 dagen weerstand) moet er worden uitgegaan van 50 tot 100 cm toe te passen Noordse leem op de kanaalbodem. Vooralsnog wordt uitgegaan dat een 50 cm dikke laag voldoet voor het oplossen van de problematiek.

algemene formule afgeleid. Deze formule is door het Advies- en Kenniscentrum Waterbodems van Rijkswaterstaat beschreven (WAU.TKB-3-03018, Kwelproblematiek profielverruiming, uitwerking maatregelen in het kanaal uit 2003). Voor de formule is de zandmediaan (M50) en het lutumpercentage droge stof (d.s.) van het aan te brengen materiaal van belang. In het rekenvoorbeeld van figuur 3 varieert de benodigde laagdikte voor een stromingsweerstand van 30 dagen afhankelijk van het lutumgehalte tussen 2 en 21 cm (en bij weerstand 60 dagen tussen 4 en 42 cm). De benodigde laagdikte is dus zeer gevoelig voor het lutumgehalte.



Figuur 3 Berekening dikte sliblaag en rekenvoorbeeld voor 30 en 60 dagen weerstand met lutumpercentage d.s. als variabele.

In figuur 4 is de benodigde dikte van de sliblaag aangegeven voor 3 verschillende weerstanden (30 dagen, 60 dagen en 120 dagen). Op de y-as is de dikte van de weerstandbiedende laag af te lezen. In de figuur zijn 3 lijntypen (ononderbroken lijn, gestreepte lijn en stippellijn) te onderscheiden die staan voor 3 verschillende waarden voor de zandmediaan (M50 = 80 µm, 100 µm en 150 µm). Op de x-as is het lutumpercentage d.s. weergegeven.



Figuur 4 Benodigde dikte sliblaag voor stromingsweerstand tussen 30 en 120 dagen

Bij een relatief laag lutumgehalte d.s. is de benodigde laagdikte extra gevoelig voor de zandmediaan. Bij een lutumgehalte van 15 % varieert de benodigde laagdikte voor een weerstand van 60 dagen tussen 3 en 9 cm en bij een lutumgehalte van 12 % tussen 11 en 37 cm.

In verband met een betrouwbare maakbaarheid voor het toepassen van vlakdekkend kleiachtig materiaal op de bodem gaan we vooralsnog uit van een dikte van 30-50 cm. Dit geeft ook meer keuze qua beschikbaarheid van geschikt materiaal. In de verfijning van de oplossingsrichtingen is het mogelijk om deze keuze beargumenteerd bij te stellen.



Figuur 5: voorbeeld met Rona®Leem



Figuur 6: voorbeeld Noordse klei

3.1.2 Uitvoeringsmethode

De uitgangspunten zijn tot stand gekomen op basis van bestaande literatuur, expert judgement en ervaringskennis in andere projecten. De werkzaamheden bestaan uit het Baggeren + en aanvullend uitdiepen om de ontwerpopplossing te kunnen realiseren zonder het vaarwegprofiel weer te beperken. Hierbij worden de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Aanbrengen van een laag kleiig materiaal, met behulp van een knijper, wat resulteert in een weerstand van 60 tot 120 dagen op de kanaalbodem⁷
- Totale ontgravingsdiepte (bovenop het minimaal te garanderen vaarwegprofiel) bedraagt maximaal 100 cm, inclusief uitvoeringstoleranties (50 cm ontgraven voor de kwelremmende laag, + 50 cm ontgraven voor de slijtlaag)
- Een mogelijkheid is om het kleiig materiaal af te dekken met een laag van ca. 50 cm (zie hoofdstuk 2.2). Dit dient als slijtlaag en om de waterremmende laag te verdichten en vast te houden. Er wordt nog nader onderzocht en onderbouwd of deze laag wel nodig is voor deze oplossing en welke dikte minimaal benodigd is. Voor het aanbrengen van deze laag dient een sproeiponton te worden gebruikt, om zo de laag gelijkmatig te kunnen aanbrengen.
- Voor het toepassen van Noordse Leem wordt door Deltares specifiek geadviseerd om een verdichtende laag boven op de leem te leggen omdat dit het materiaal aanzienlijk meer sterkte en werking geeft⁸.
- De breedte waarin het kanaal wordt afgegraven en weer wordt opgevuld is afhankelijk van het te baggeren profiel. Hierbij wordt aangenomen dat de steunberm, met een

⁷ Gebaseerd op de studie: Oorzaken en oplossingen kweloverlast omgeving Twentekanaal, R001-1220264JLY-mdg-V03-NL, Tauw 2014

⁸ Specificaties voor het toepassen van Noordse Leem in Weg- en Waterbouwwerken in Nederland - Inventarisatie, Deltares 2018

theoretisch profiel van 1: 3.5, niet ontgraven wordt. Ook op de ontstane taluds moet een kleilaag van 30 - 50 cm worden aangebracht. Deze kleilaag wordt afgedekt met zand tot het theoretisch profiel.

- Aangenomen wordt dat vrijkomende materialen (zand en stenen) gescheiden van elkaar kunnen worden ontgraven en 100 % geschikt zijn voor hergebruik
- Twee units (schip + bak) en meerdere pontons zijn nodig voor het ontgraven en aanbrengen van het benodigd materiaal (ontgraven: kraanponton en bak; aanvullen met klei: kraanponton en bak; aanvullen en profileren: kraanponton en bak)
- Het Twentekanaal dient altijd bevaarbaar te blijven waarbij hinderklasse 1 maximaal is toegestaan. Dit houdt in dat in de uitvoeringswijze eerst de ene helft van het kanaal wordt uitgevoerd en vervolgens de andere helft
- Het aanbrengen van kleiachtig materiaal bepaalt de maatgevende productiesnelheid en planning
- De opdrachtnemer zal gedurende het werk de werkelijk aangebrachte dikte van de kleilaag moeten registreren (naast meten, ook registreren). Deze controle kan plaatsvinden lopende het werk en worden opgenomen in de procesgang

3.1.3 Aandachtspunt bij ontwerplossing

- Het beperken kwel door het aanbrengen van een kleilaag in den droge is een bewezen methode. In dit geval dient de laag onderwater te worden aangebracht te worden omdat het Twentekanaal niet (deels) droog gezet kan worden. Dit vergt een aangepaste uitvoeringsmethodiek en een andere wijze van verificatie met zich mee. Er is nog weinig tot geen ervaring met grootschalige toepassing van deze ontwerplossing in den natte. Dit betreft nog een onderdeel dat nader onderzocht moet worden en kan ook verschillen tussen natuurlijke klei/leem en kunstmatige klei/leem.
- Bij het toepassen van klei dient een goede aansluiting met de steunberm te worden gerealiseerd en er dient op te worden gelet dat het afgraven de stabiliteit van de damwanden niet in gevaar brengt.

3.2 Beschikbaarheid materiaal

Voor de beschikbaarheid van natuurlijke klei dient geconcurrereerd te worden met de vraag naar klei voor toepassing binnen het HWBP. Voor kleiachtige materialen met additieven zijn enkele leveranciers in Nederland. Vooralsnog worden geen problemen verwacht t.a.v. de beschikbaarheid van de materialen.

- Leverancier Noordse klei: Graniet Import Benelux
- Leverancier Rona@Leem: Altena Infra-Materialen

3.3 Toekomstbestendigheid van ontwerpoplossing

Met toekomstbestendigheid wordt bedoeld: de mate waarin een oplossing toekomstige ontwikkelingen mogelijk belemmerd en de mate waarin het materiaal hergebruikt kan worden.

Het toepassen van kleiig materiaal (met een kunstmatige toevoeging) is ten dele toekomstbestendig. De klei vormt geen fysieke barrière voor toekomstige uitbreiding van het kanaal en een deel van de klei is terug te winnen. Aandachtspunt is het grensvlak van klei, slijtlaag en klei en bodemmateriaal waar de samenstelling afwijkt.

Er dient nog nader te worden onderzocht of er ervaringen zijn met het herwinnen van kunstmatig kleiig materiaal en of dit vervolgens opnieuw toepasbaar is.

3.4 Ontbrekende informatie

Het toepassen van deze oplossing in den natte is niet eerder uitgevoerd op een dergelijke schaal. De uitvoeringstechnische haalbaarheid van de oplossing is dan ook een aandachtspunt.

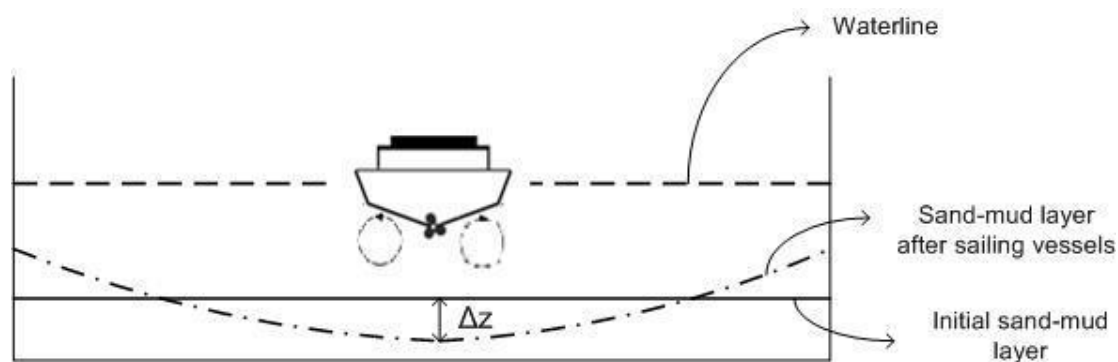
Onzeker is de mate waarin het materiaal is te verdichten onder water. Dit blijkt ook uit de bevindingen in de Haarlemmervaart. Het materiaal is hier in brokken aangebracht. Het materiaal verweekte echter niet onder water. Hierdoor werden aanzienlijke verschillen in laagdiktes aangetroffen, variërend van geen leem tot 50 cm (zie ook kader 3).

De eigenschappen van Noordse Leem zijn gevoelig voor het watergehalte bij het aanbrengen en verdichten. Voor de meeste toepassingen is het nodig dat het watergehalte lager is dan ongeveer 26 % bij het verwerken en verdichten (Specificaties voor het toepassen van Noordse Leem in Weg- en Waterbouwwerken in Nederland, Deltares, 2018).

3.5 Onderbouwing erosie bestendigheid ontwerp

Er is onvoldoende zicht op het effect van een toename van de scheepvaartbelasting op de waterbodem. Mogelijk zorgt de toename van de scheepvaartintensiteit c.q. het motorvermogen ervoor dat (het meest fijne) sediment in suspensie blijft, en niet in de bodem kan indringen⁹. Het effect wat hierbij optreedt is te schematisch weergegeven in Figuur 7.

⁹ Influence of ship-induced currents on the erosion and permeability of sand-mud mixtures in the Twentekanal, Niels Nijborg, 2016



Figuur 7: het effect van scheepvaart op het (verplaatsen van) de sliblaag op de bodem van het kanaal

Verdiept aanleggen zodat alleen door een grotere kielspeling geen erosie meer optreedt, wordt niet als haalbare oplossing gezien. Dit komt omdat er ca. 2.5 meter extra baggerwerk uitgevoerd dient te worden om stroomsnelheden tot een acceptabel niveau terug te brengen (zie figuur 18, bijlage 1).

Het is goed mogelijk dat een deel van het (meest) fijne materiaal van het slib de bodem indringt (mede door de uit flux van grondwater), waardoor op grotere diepte weerstand remmende laagjes ontstaan. Echter, het is niet bekend of deze laag zich ook kan ontwikkelen bij de aanwezigheid van (intensieve) scheepvaart.

Op basis van logisch redeneren wordt voorsnog ingeschat dat het aanbrengen van een slijtlaag van circa 50 cm zand noodzakelijk is. Daarom bestaat de voorgestelde ontwerp oplossing uit een afdichtende laag kleiig materiaal (met additieven) van ca. 30 - 50 cm dik en hier boven mogelijk een slijtlaag van circa 50 cm zand. Dit alles dient gerealiseerd te worden onder het te realiseren theoretisch vaarwegprofiel. In deze paragraaf wordt onderbouwd hoe.

3.5.1 Erosiebestendigheid kleiachtig materiaal

Afhankelijk van de uitvoeringsmethode, en de te realiseren verdichting van de kleiachtige laag (met additieven), geeft de Rock manual een waarde aan van 0.8 tot 1.5 m/s als indicatie aan voor de kritieke waarde voor erosie van cohesieve materialen. Het uitvoeren van de werkzaamheden in den natte brengt met zich mee dat verdichting (en daarmee cohesie) niet optimaal zal zijn. Een waarde aan de onderkant van de bandbreedte (0.8 m/s) is daarom ook hetgeen waarvan uit moet worden gegaan.

In kader 1 zij de experimenten beschreven die uitgevoerd zijn op het Julianakanaal. Er is hier onderzoek gedaan naar de erosie van de kleibodem i.r.t. scheepvaartbelastingen. De resultaten komen overeen met de bevindingen zoals hierboven beschreven.

Hieruit wordt geconcludeerd dat aanvullende maatregelen nodig zijn om het materiaal tegen scheepvaarterosie te beschermen.



3.5.2 Slijtlaag bovenop het kleiachtig materiaal

Als aanvullende maatregel ter bescherming van de kwelremmende laag dient een extra beschermende laag aangebracht te worden. Er is gekozen voor een slijtlaag van zand. De beschermende laag kan ook bestaan uit een (relatief) fijne sortering breuksteen. Echter, kostentechnisch heeft een (hergebruikte) zandlaag de voorkeur.

In kader 2 is de beschrijving te vinden over de toegepaste ontwerp oplossing op het Maxima kanaal. Hier is voor kwelproblematiek in het kanaal een vergelijkende oplossing gekozen als hierboven beschreven. Er is gekozen voor een slijtlaag van 30 cm zand. Echter, de omstandigheden (i.r.t. het ontwerp van het kanaal) verschillen. Desondanks, geeft dit vertrouwen dat het toepassen van een slijtlaag van 50 cm boven de kleibodem voldoet (zie ook de onderbouwing in bijlage 1).

Voor het Julianakanaal zijn 'full scale testen' uitgevoerd om de stabiliteit van de bodem te onderzoeken m.b.t. toekomstige belastingen (Measuring ship-induced currents in a canal, a full scale experiment in a Dutch canal, Deltare). In de jaren 30 is het kanaal waterdicht gemaakt met een 60 cm dikke kleilaag. Hierop is een 40 cm dikke gravellaag aangebracht om de kleilaag te beschermen t.b.v. scheepsbelastingen. [...] Uit de resultaten is af te leiden dat de maximum optredende bodemsnelheid ca. 1,5 m/s bedroeg. Daarnaast is geconcludeerd dat hierbij het granulaire bodemmateriaal niet stabiel is. De mate van erosie betrof ongeveer 1 cm per 10 passages. Aan het einde van het experiment bedroeg de totale erosie ca. 6 cm en was er nog geen afnemende trend zichtbaar

Kader 1: Memo Kweloplossingen en toegepaste bodembeschermingen bij RWS referentieprojecten

Hierbij dient in ogenschouw te worden genomen, dat vanuit het beheer en onderhoud een adequate strategie bepaald moet worden om overmatige optredende erosie tijdig te detecteren en beheermaatregelen te kunnen treffen.

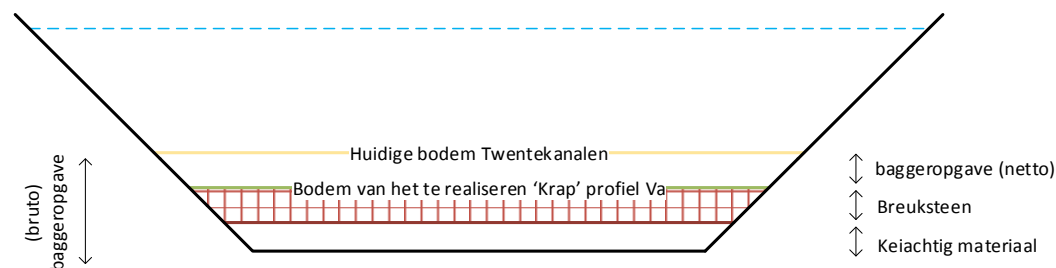
Maximakanaal: In opdracht van Rijkswaterstaat is ten oosten van Den Bosch een nieuw kanaal aangelegd (klasse IV). Door RWS is op voorhand een risico inschatting gemaakt van de infiltratie (kwel) vanuit het kanaal. Hierbij is ingeschat dat de infiltratie na verloop van tijd zou verminderen door natuurlijke dichtslibbing van de kanaalbodem. Na realisatie bleek er toch sprake van een zichtbaar hoge infiltratie naar de kwel sloten. Na diverse overleggen is er gekozen voor het alsnog aanbrengen van een kleilaag op de kanaalbodem over een lengte van ca. 1,5 km.

Er is een kleidikte van 60 cm toegepast. Hierop is een slijtlaag van zand aangebracht van 30 cm. Er is geen ontwerp rapport beschikbaar waarom voor deze 30 cm is gekozen. Dit is gebaseerd op 'engineering judgement'.

Kader 2: Memo Kweloplossingen en toegepaste bodembeschermingen bij RWS referentieprojecten

3.5.3 Alternatieve ontwerp oplossing

Een mogelijke alternatief voor de slijtlaag is een breuksteen bekleding. Hiervoor wordt aangehouden dat de slijtlaag wordt vervangen door een halve meter breuksteen (de breuksteen bodembescherming) bestaat dan uit een fijne gradering steenslag, bijvoorbeeld 20 cm steenslag 45/125 mm, en hier bovenop 30 cm breuksteen 5-40 kg ($1,5 * D_{n50}$).

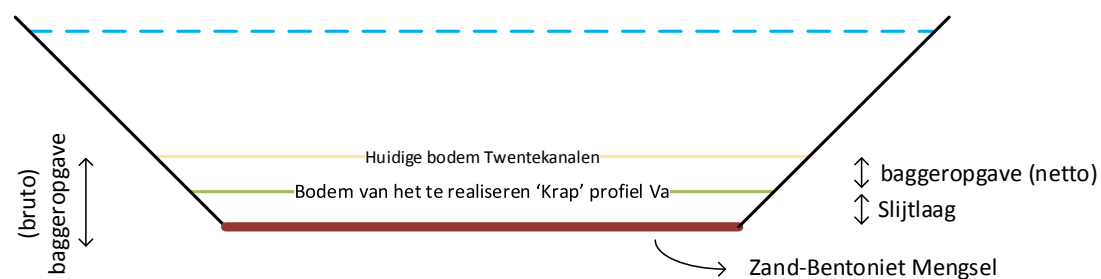


Figuur 8: alternatieve ontwerp oplossing bij het gebruik van kleiachtig materiaal

4 Zand-bentonietmengsel

4.1 Beschrijving

Het principe bestaat uit het aanbrengen van een mengsel van zand-bentoniet van ca. 5 tot 10 cm op de kanaalbodem (eventueel aangevuld met chemische bestandsdelen) om een voldoende waterremmende kanaalbodem te realiseren. In Figuur 9 is het principe schematisch weergegeven. Figuur 10 geeft een foto van de uitvoering van een project weer waarbij deze principeoplossing op kleine schaal is toegepast (ca. 10.000 m²).



Figuur 9: principe van de ontwerp oplossing zand-bentonietmengsel



Figuur 10: Het aanbrengen een zand-bentonietmengsel door Van Heteren

In Nederland is deze methode nog niet op grote schaal toegepast. De van een dergelijk materiaal en de dikte van de beschermende toplaag i.r.t. schroefstraalbelasting zijn onbekend. Belangrijke

vragen zijn wat de beschikbaarheid is in de markt of er mogelijk gelijkwaardige producten voorhanden zijn en met welke uitvoeringstoleranties rekening moet worden gehouden.

4.1.1 Uitvoeringsmethode

De uitgangspunten zijn tot stand gekomen op basis van bestaande literatuur, expert judgement en ervaringskennis in andere projecten. De werkzaamheden bestaan uit het Baggeren + en aanvullend uitdiepen om de ontwerpoplossing te kunnen realiseren zonder het vaarwegprofiel weer te beperken. Hierbij worden de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Aanbrengen van een laag zand-bentonietmengsel met minimaal een weerstand van 60 tot 120 dagen¹⁰. Gebaseerd op ervaringen van de leverancier wordt uitgegaan van ca. 10 cm zand-bentonietmengsel
- Totale ontgravingsdiepte (dus bovenop het minimaal te garanderen vaarwegprofiel) bedraagt 60 cm, exclusief uitvoeringstoleranties (10 cm ontgraven voor de kwelremmende laag, + 50 cm ontgraven voor de beschermende toplaag)
- Een mogelijkheid is om het zand-bentonietmengsel af te dekken met een laag van ca. 50 cm (zie hoofdstuk 2.2). Dit dient als slijtlaag en om de waterremmende laag te verdichten en vast te houden. Er wordt nog nader onderzocht en onderbouwd of deze laag wel nodig is voor deze oplossing en welke dikte minimaal benodigd is. Voor het aanbrengen van deze laag dient een sproeiopont te worden gebruikt, om zo de laag gelijkmatig te kunnen aanbrengen
- Twee units (kraanschip + bak) voor het baggeren en aanbrengen van de evt. slijtlaag
- De werkzaamheden voor het aanbrengen van het zand-bentonietmengsel vinden plaats vanaf een ponton met graafmachine op het water. Er wordt gewerkt met speciale (op maat gemaakte) hulpstukken
- Het mengsel wordt in (meerdere) werkgangen aangebracht totdat de laagdikte van 10 cm bereikt is. Het mengsel wordt in raaien aangebracht
- Het Twentekanaal dient altijd bevaarbaar te blijven waarbij hinderklasse 1 maximaal is toegestaan. Dit houdt in dat in de uitvoeringswijze eerst de ene helft van het kanaal wordt uitgevoerd en vervolgens de andere helft
- Het aanbrengen van het zand-bentonietmengsel bepaalt de maatgevende productiesnelheid en planning
- De aannemer zal gedurende het werk de werkelijk aangebrachte dikte van het zand-bentonietmengsel moeten registreren (naast meten, ook registreren). Deze controle kan plaatsvinden lopende het werk en worden opgenomen in de procesgang

¹⁰ Gebaseerd op de studie: Oorzaken en oplossingen kweloverlast omgeving Twentekanaal, R001-1220264JLY-mdg-V03-NL, Tauw 2014

4.2 Beschikbaarheid materiaal

Er is een beperkt aantal leveranciers bekend. Een van de leveranciers levert het materiaal RONA®Bodemdicht (zie kader 3). Er zijn leveranciers van vergelijkbare materialen, bijvoorbeeld AquaBlok Ltd (<https://www.aquablok.com>), echter deze zijn (voor zover bekend) niet actief op de Nederlandse markt.

4.3 Toekomstbestendigheid van ontwerpoplossing

Met toekomstbestendigheid wordt bedoeld te mate waarin een oplossing toekomstige ontwikkelingen mogelijk belemmerd en de mate waarin het materiaal hergebruikt kan worden.

De dunne waterondoorlatende laag vormt geen fysieke barrière voor toekomstige uitbreiding van het kanaal. Naar verwachting heeft de aan te brengen laag echter onvoldoende dikte om praktisch teruggewonnen te worden. Het is de vraag of de bentoniet teruggewonnen kan worden uit het mengsel en of dit economisch rendabel is.

4.4 Ontbrekende informatie

Een onderwerp voor nader onderzoek betreft de invloed van de mate van cohesie tussen het gevormde bentonietmengsel door het op de optredende erosiediepte door schroefstraalbelasting van scheepvaart. Bij het realiseren van een grotere cohesie tussen het mengsel zijn (2 tot 5x) hogere stroomsnelheden nodig voor transport van bodemmateriaal via het water en zal de kanaalbodem minder gevoelig zijn voor scheepvaarterosie.

Rona®Bodemdicht is een zand en bentonietmengsel. Het is op kleine schaal (pilot op 10.000 m²) toegepast in een project van de provincie Overijssel bij opwaardering van kanaal Almelo-De Haandrik. Bij de realisatie van een nieuwe wachtplaats was grondwateroverlast ontstaan.

Dat is in eerste instantie getracht te beheersen door lokaal bij de damwanden een kleilaag van circa een halve meter toe te passen. Dit bleek onvoldoende effect te hebben (de klei kon onderwater niet goed verdicht worden en aansluiting met de damwanden bleek lastig).

Uiteindelijk is in samenwerking met aannemer Van Heteren medio juni 2013 besloten een zand-bentonietmengsel toe te passen. Daarvoor zijn in eerste instantie proeven op het terrein uitgevoerd. De uitkomst van deze proeven is gebruikt om uit te gaan dat een laagdikte van 5 tot 10 cm moest worden aangebracht om een voldoende waterremmende bodem te realiseren. Het bentonietmengsel is vervolgens over de gehele kanaalbreedte (ca. 300 m) aangebracht en dus niet alleen lokaal bij de damwanden en de eerder aangebrachte klei. Daarmee is het bentonietmengsel zowel op klei als op zand aangebracht. Anderhalve week na toepassing van het materiaal hebben bewoners aangegeven dat de grondwateroverlast was afgenomen, enkele maanden later bleek dit opgelost.

Kader 3: Beschrijving Rona®Bodemdicht (ervaringen opgedaan door Van Heteren: 23-01-2018)

Daarbij is dit nog niet op grote schaal toepast in Nederland. Een belangrijk punt is ook de verificatie en validatie bij het toepassen van het materiaal. Aangezien de aan te brengen hoeveelheden bijna niet zijn te onderscheiden van maak en meet toleranties. Een verschil van 5 tot 10 cm is op een (multibeam)peiling bijna niet terug te zien.

4.5 Onderbouwing erosie bestendigheid ontwerp

4.5.1 Erosiebestendigheid Zand-bentoniet mengsel

Het dichtmaken van de bodem gebeurt met een zand-bentonietmengsel. Er wordt uitgegaan (op basis van kleinschalige praktijkervaring) dat een 10 cm dikke laag voldoet.

Afhankelijk van de uitvoeringsmethode, is de verwachting dat er relatief een goede cohesieve bescherm laag ontstaat (beter dan klei)

De Rock manual geeft een waarde aan van 0.8 tot 1.5 m/s als indicatie aan voor de kritieke waarde voor erosie van cohesieve materialen. Het uitvoeren van de werkzaamheden in den natte brengt met zich mee dat verdichting (en daarmee cohesie) niet optimaal zal zijn. Een waarde aan de onderkant van de bandbreedte (0.8 m/s) is daarom ook hetgeen waarvan uit moet worden gegaan.

Bij het toepassen van een halve meter beschermende slijtlaag is de te verwachten bodemsnelheid bij de bovenkant van de kleilaag (dus de onderkant van de beschermende toplaag) ca. 1.55 m/s door scheepvaartbelastingen van een maatgevend schip bij maximale belading (zie figuur 18, bijlage1). Deze waarde ligt aan de bovenkant van de kritieke waarde voor het optreden van erosie bij cohesieve materialen. Het is daarom van belang om aantoonbaar te kunnen maken dat het aangebrachte mengsel (relatief) goed bestand is tegen erosie.

4.5.2 Slijtlaag bovenop het zand-bentoniet

Als aanvullende maatregel ter bescherming van de kwelremmende laag dient mogelijk een extra beschermende laag te worden aangebracht¹¹. Er wordt voorlopig vanuit gegaan van een slijtlaag van 50 cm zand (waarbij het gebaggerde zand wordt hergebruikt vanuit het baggerwerk). De slijtlaag kan ook bestaan uit een (relatief) fijne sortering breuksteen. Echter, kostentechnisch heeft een (hergebruikte) zandlaag de voorkeur.

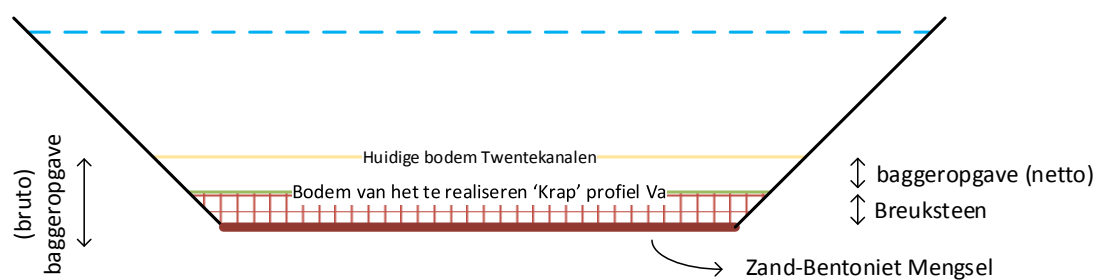
De ontwikkeling van de slijtlaag dient intensief gemonitord te worden, en waar nodig dienen beheersmaatregelen te worden getroffen. Hiervoor dient een separaat monitoringsplan te worden opgesteld.

¹¹ De leverancier van AquaBlok meld op hun website bij de mogelijke toepassingen, dat het gebruik van hun mengsel het mogelijk is een toplaag op het product aan te brengen: "Cover media (e.g. sand, soil, or stone) atop the AquaBlok adds ballast and can contribute to overall stability"

4.5.3 Alternatieve ontwerpoplossing

Een mogelijke alternatief voor de slijtlaag is een breuksteen bekleding. Hiervoor wordt aangehouden dat de slijtlaag wordt vervangen door een halve meter breuksteen. (de breuksteen bodembescherming bestaat dan uit een fijne gradering steenslag, bijvoorbeeld 20 cm steenslag 45/125 mm, en hier bovenop 30 cm breuksteen 5-40 kg ($1,5 * D_{n50}$)).

Aandachtspunt tijdens de uitvoering is dat bij het aanbrengen van een breukstenen bekleding op een zeer dunnen laag de bodem 'lek geprikt' kan worden. De uitvoeringsmethode dient op het voorkomen hiervan afgestemd te worden.



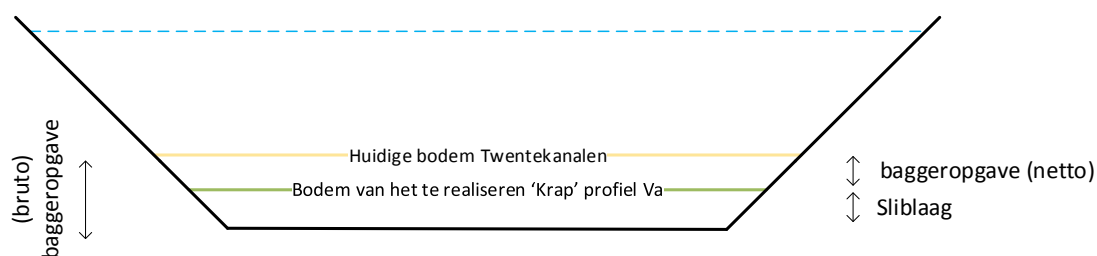
Figuur 11: alternatieve ontwerpoplossing voor het toepassen van een zand bentoniet mengsel

5 Beslibbing

5.1 Omschrijving oplossing

Het principe bestaat uit het aanbrengen van een sliblaag op de kanaalbodem met voldoende waterremmend vermogen. Er zijn hier verschillende mogelijkheden, waarbij een optie is om (indien mogelijk) bodemmateriaal uit het kanaal te hergebruiken:

- Egaliseren: middels egaliseren van de kanaalbodem (waar mogelijk) wordt het huidige slib in de kanaal behouden;
- Overvloeien: Er wordt tijdens het baggeren gebruik gemaakt van overvloeien waarmee de kleine fijne fractie wordt behouden en de grotere fracties van het slib worden weggebaggerd¹²;
- Externe slib: er wordt van buiten het werk (speciaal geselecteerd) slib aangevoerd. Naar verwachting dient ca. 30 cm slib te worden aangebracht op de bodem.



Figuur 12: principe van de ontwerp oplossing beslibbing

5.1.1 Dikte sliblaag 'Externe slib'

De dikte van de sliblaag hangt samen met de samenstelling van het materiaal, dit is beschreven in paragraaf 3.1.1..

5.1.2 Uitvoeringsmethode

De uitgangspunten zijn tot stand gekomen op basis van bestaande literatuur, expert judgement en ervaringskennis in andere projecten. De werkzaamheden bestaan uit het Baggeren + en aanvullend uitdiepen om de ontwerp oplossing te kunnen realiseren zonder het vaarwegprofiel weer te beperken. Hierbij worden de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Na het baggeren moet er een sliblaag van minimaal 20 cm worden aangebracht. Vanwege de maakbaarheid wordt rekening gehouden met de aankoop en het aanbrengen van 10cm extra slib om de minimale laag van 20cm te garanderen, dus circa 30 cm
- Indien er gebruik wordt gemaakt van de methode overvloeien, wordt alleen de allerkleinste fractie behouden. De sliblaag die hierbij ontstaat/overblijft is enkele centimeters dik. Voor het

¹² Nader wordt onderzocht of het ook vanuit het bevoegd gezag (ILT) wordt toegestaan

ontwerp wordt rekening gehouden met 10 cm extra baggerwerk, om zo voldoende buffer te creëren voor de sliblaag.

- Er zal een baggertechniek/werkwijze worden gehanteerd waarbij de hersedimentatie (beslibbing) van lutumrijk materiaal optimaal is. De beslibbing van de bodem dient hierbij sturend te zijn, m.a.w. er zal een baggertechniek/werkwijze worden toegepast waarbij fijn materiaal in de waterkolom wordt gebracht (of achtergelaten) en tot bezinking kan komen.
- De toepassing van hydraulische technieken wordt het meest waarschijnlijk geacht, echter de aannemer kan ook met andere (inventieve) technieken / methoden inschrijven indien hiermee het gewenste resultaat (voldoende weerstand biedende laag) kan worden bereikt
- Twee units (schip + bak) nodig voor het ontgraven en aanbrengen van benodigd materiaal (ontgraven: kraanponton en bak; aanvullen met slib: kraanponton en bak; aanvullen en profileren: kraanponton en bak)
- Het Twentekanaal dient altijd bevaarbaar te blijven waarbij hinderklasse 1 maximaal is toegestaan. Dit houdt in dat in de uitvoeringswijze eerst de ene helft van het kanaal wordt uitgevoerd en vervolgens de andere helft
- Het aanbrengen (en de mogelijke leverantie van) het slib bepaalt de maatgevende productiesnelheid en planning
- Indien overvloeien als oplossing wordt toegepast, bepaalt de snelheid van overvloeien de productiesnelheid en planning. Overvloeien vindt plaats over de gehele netto baggeropgave. Aangenomen wordt dat 10 cm extra gebaggerd moet worden om een 'buffer' te creëren voor de weerstand biedende sliblaag
- De aannemer zal gedurende het werk de werkelijk aangebrachte dikte van de sliblaag moeten registreren (naast meten, ook registreren). Deze controle kan plaatsvinden lopende het werk en worden opgenomen in de procesgang

5.1.3 Praktijkervaring

De effectiviteit van een beslibbingstechniek is in de praktijk reeds gebleken bij toepassing van beslibbing. Er is onder andere in het Julianakanaal slib toegepast om de bodemweerstand te bevorderen. Ook in het Twentekanaal zijn meerdere praktijkervaringen bekend zoals: Kwelbeperkende oplossingen Twenthekanalen, RWS, 1998.

In 3 gevallen zijn op een gedeelte van het Zijkanaal beslibbingen van de kanaalbodem en de taluds als kwelmaatregelen uitgevoerd. Deze zijn beschreven in Nota WBA-R-90057 d.d. 14 december 1990 met als titel: Twenthekanalen Zijkanaal; Historisch overzicht opbouw kanaalbodem en relevante informatie. Hieronder volgt een korte samenvatting van elk geval.

In 1946 hebben belanghebbende aangelanden melding gemaakt van grote overlast door kwelwater tussen km 4.000 en km 13.400. Er was sprake van verdrassing gedurende het gehele jaar, ook gedurende de zomerperiode. Uit nader onderzoek is vervolgens toestemming gevraagd



om een sliblaag aan te brengen. Aanvankelijk is een proef uitgevoerd met klei afkomstig uit een kleiuit van een steenfabriek uit Borne. Deze klei bleek in het water niet oplosbaar te zijn. Bij verder onderzoek bleek dat klei afkomstig uit de gemeente Tubbergen en uit de bodem van het Zijkanaal nabij km 12.600 wel bruikbaar (dat wil zeggen klei welke geen grove zanddeeltjes bevat en welke na een paar dagen in water gedompeld te zijn verandert in dikke brij). Uit een proefvak bleek de beslibbing het gewenste resultaat op te leveren en eind 1947 is beslibbing aangebracht op de bodem en de taluds van het kanaalgedeelte gelegen tussen km 5.400 en 13.400. Volgens opgave is totaal 5778 m³ klei verwerkt met een dikte tussen 4 mm en 10 mm.

In 1952 staat in het bestek voor de doortrekking van het Zijkanaal naar Almelo is terug te vinden dat de dikte van het sliblaagje 1,25 cm moet bedragen. Blijkt na het oordeel van de directie dat na het aansluiten van de doortrekking kwel is opgetreden dan zal het sliblaagje worden uitgebreid tot 2 cm

Tussen eind 2015 en begin 2016 zijn kwelremmende maatregelen getroffen in het zijkanaal van Twente, bestaande uit beslibbing van het gebaggerde traject. Het effect van deze beslibbing op de grondwaterstanden is gekwantificeerd en daaruit is geconcludeerd dat het beslibben onvoldoende effect heeft gehad op het verlagen van de grondwaterstand (en de overlast) in de omgeving. Er waren verschillende aanwijsbare redenen, waardoor het beslibben niet heeft gewerkt. Vooral snog geven de conclusies geen aanleiding om de werking van de oplossingsrichting in twijfel te trekken.

5.2 Beschikbaarheid van materiaal

Indien er wordt gebruikt van de methode overvloeien of 'profilieren', wordt al het (werkbare) materiaal behouden in het systeem. Er hoeft geen materiaal in het systeem te worden hergebruikt en er is dan dus voldoende materiaal beschikbaar.

Voor het aanvoeren van extern slib is beschikbaarheid van het materiaal in de juiste samenstelling een aandachtspunt (zie paragraaf 5.1.1)

5.3 Toekomstbestendigheid van ontwerplossing

De ontwerplossing is erop gericht om de huidige samenstelling van de bodem zoveel mogelijk in stand te laten. Voor toekomstige aanpassingen aan het systeem heeft deze voorgestelde ontwerplossing geen negatieve invloed.

5.4 Ontbrekende informatie

Specifiek voor de oplossing overvloeien is een vraagstuk hoe de totale vertroebeling in het kanaal geminimaliseerd kan worden tijdens de uitvoering. Voor het gebruik van overvloeien dient toestemming te worden verkregen van ILT. Als er een werkmethode gebruikt wordt waarbij alleen zeer lokaal ter plaatse van de werkzaamheden tijdelijk vertroebeling van de waterkolom optreedt, is de kans groter dat het een geaccepteerde methode wordt.

5.5 Onderbouwing erosiebestendigheid ontwerp

Er is onvoldoende zicht op het effect van een toename van de scheepvaartbelasting op de waterbodem. Mogelijk zorgt de toename van de scheepvaartintensiteit c.q. het motorvermogen ervoor dat (het meest fijne) sediment in suspensie blijft, en niet in de bodem kan indringen¹³. Het effect wat hierbij optreedt is te is schematisch weergegeven in Figuur 7.

Verdiept aanleggen zodat alleen door een grotere kielspeling geen erosie meer optreedt, wordt niet als haalbare oplossing gezien. Dit komt omdat er ca. 2.5 meter extra baggerwerk uitgevoerd dient te worden om stroomsnelheden tot een acceptabel niveau terug te brengen (zie figuur 18, bijlage 1).

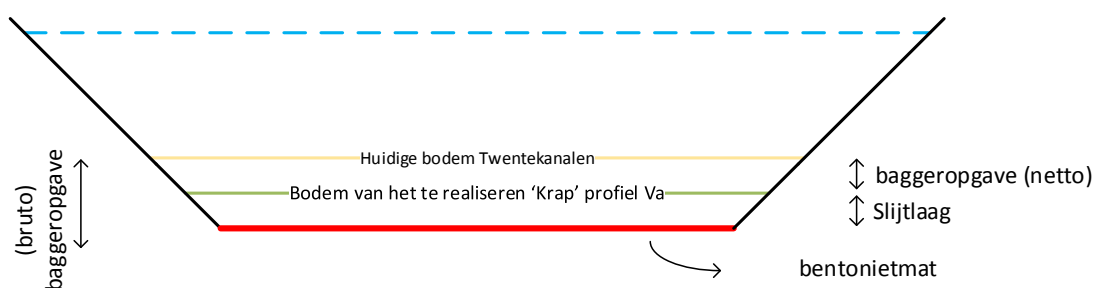
Het is goed mogelijk dat een deel van het (meest) fijne materiaal van het slib de bodem indringt (mede door de uit flux van grondwater), waardoor op grotere diepte weerstand remmende laagjes ontstaan. Echter, het is niet bekend of deze laag zich ook kan ontwikkelen bij de aanwezigheid van (intensieve) scheepvaart.

¹³ Influence of ship-induced currents on the erosion and permeability of sand-mud mixtures in the Twentekanalen, Niels Nijborg, 2016

6 Bentonietmatten

6.1 Omschrijving oplossing

Een bentonietmat bestaat uit twee lagen geotextiel met daartussen bentoniet. Onder water zwelt bentoniet tot twaalf keer het oorspronkelijke volume, maar die ruimte krijgt het in de hoogte niet. De mat kan niet dikker worden dan 15 millimeter, zodat het materiaal een uitweg zoekt naar de zijkanten. Zo wordt gegarandeerd dat de mat voldoende verdicht en niet gaat lekken. De bentonietmatten zijn wel gevoelig voor bijvoorbeeld krabbende ankers omdat deze mogelijk de gehele mat meentrekken. Een beschermde laag om de bentonietmat op de juiste plek te houden is daarom vereist.



Figuur 13: principe van de ontwerp-oplossing aanbrengen bentonietmat



Figuur 14: een voorbeeld van aanbrengen van bentonietmatten

6.1.1 Uitvoeringsmethode

De uitgangspunten zijn tot stand gekomen op basis van bestaande literatuur, expert judgement en ervaringskennis in andere projecten. De werkzaamheden bestaan uit het Baggeren + en aanvullend uitdiepen om de ontwerpoplossing te kunnen realiseren zonder het vaarwegprofiel weer te beperken. Hierbij worden de volgende uitgangspunten aangehouden:

- De werkzaamheden bestaan uit het baggeren om het gewenste vaarwegprofiel te realiseren, plus het aanvullend baggeren om de ontwerpoplossing te kunnen realiseren.
- Totale ontgravingsdiepte (dus bovenop het minimaal te garanderen vaarwegprofiel) bedraagt 70 cm, exclusief uitvoeringstoleranties (10 cm ontgraven voor de kwelremmende laag, + 60 cm ontgraven voor de beschermende toplaag)
- De matten die wordt aangebracht dienen de bodem volledig af te dekken
- Er dient uit te worden gegaan van drie units (twee schepen + bak). Eén schip voor het toepassen/uitrollen van de bentonietmatten, één schip voor het realiseren van de afdekkende beschermingslaag, een bak voor de opslag van het materiaal t.b.v. de beschermingslaag
- Er is speciaal materieel ontwikkeld door de markt om efficiënt bentonietmatten te kunnen leggen. Voort het toepassen van bentonietmatten is dit het niet strikt noodzakelijk om dit materieel te gebruiken
- Het Twentekanaal dient altijd bevaarbaar te blijven waarbij hinderklasse 1 maximaal is toegestaan. Dit houdt in dat in de uitvoeringswijze eerst de ene helft van het kanaal wordt uitgevoerd en vervolgens de andere helft
- Het aanbrengen van de matten bepaalt de maatgevende productiesnelheid en planning
- De mat dient wordt met een materiaal waarmee het geheel beschermd wordt tegen ankers en/of spudpalen.
- Vrijkomende materialen (zand en stenen) kunnen gescheiden van elkaar worden ontgraven en zijn 100 % geschikt voor hergebruik

6.1.2 Aandachtspunt bij ontwerpoplossing

Aandachtspunten bij bentonietmatten zijn de aansluitingen. De matten zijn erg instabiel tijdens de uitvoeringswerkzaamheden. Dit bleek o.a. een uitdaging tijdens het Julianakanaalproject. Op de uitpeiling is niet te zien hoe/waar de mat precies is aangelegd en of het kanaal daarmee volledig waterdicht is.

6.2 Toekomstbestendigheid van ontwerpoplossing

Met toekomstbestendigheid wordt bedoeld te mate waarin een oplossing toekomstige ontwikkelingen mogelijk belemmerd en de mate waarin het materiaal hergebruikt kan worden.

De bentonietmatten vormen een fysieke barrière voor toekomstige uitbreiding van het kanaal. Een mogelijke oplossing is om het geheel al verdiept aan te leggen, en rekening te houden met toekomstige uitbreiding. De beschermende laag van zand of stortsteen is wel herbruikbaar.

6.3 Ontbrekende informatie

Er bestaat nog geen consensus over de beschermende toplaag. Opties zijn het aanbrengen van een stortsteen of een zandlaag. Vooralsnog wordt er uitgegaan van 60 cm zand als beschermde laag (10 cm extra dan bij de andere varianten, om extra weerstand te kunnen bieden tegen spudpalen en ankers).

6.4 Onderbouwing erosiebestendigheid ontwerp

Tijdens de 1^e VE-sessie was de consensus dat 0.6 m zandlaag bovenop de matten voldoet ter bescherming tegen (bijvoorbeeld) krabbende ankers¹⁴. De beschikbare gegevens m.b.t. erosie geven aan dat mogelijk de 0.6 meter zand niet voldoende bescherming biedt tegen erosie door schroefstaalbelasting. Op Julianakanaal is circa 50 cm stortsteen gebruikt ter bescherming van de bentonietmatten. Vooralsnog worden beide opties nog als mogelijkheid meegenomen (zie paragraaf 6.4.1) .

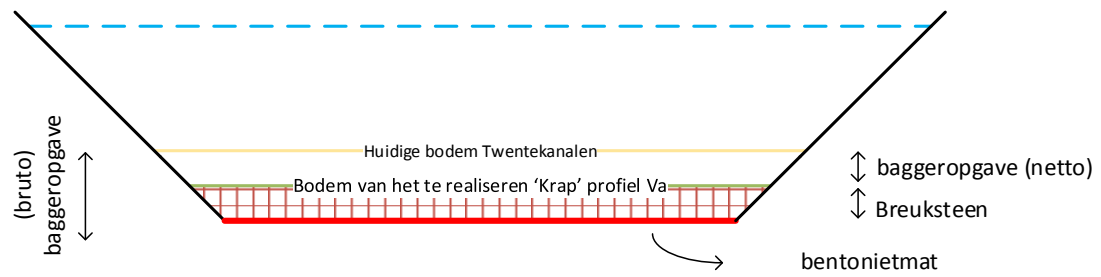
In maart 2017 wordt middels een memo aangegeven dat er ter reductie van kwel bentonietmatten (Bentofix NSP-4900) zullen worden toegepast: *“Het grote voordeel van het toepassen van bentonietmatten is de erosiebestendigheid van de matten en de relatief eenvoudige methode van aanbrengen”*. Hoe groot die erosiebestendigheid is wordt niet nader beschouwd, wel wordt de bentonietmat *‘verdiept aangebracht, onder het op te leveren niveau en afgedekt met ca. ½ m zand’*.

Kader 4: Memo Kweloplossingen en toegepaste bodembeschermingen bij RWS referentieprojecten

6.4.1 Alternatieve ontwerp oplossing

Een mogelijke alternatief voor de beschermende laag is een breuksteen bekleding. Hiervoor wordt aangehouden dat de beschermende wordt vervangen door een halve meter breuksteen. Ce breuksteen bodembescherming bestaat dan uit een fijne gradering steenslag, bijvoorbeeld 20 cm steenslag 45/125 mm, en hier bovenop 30 cm breuksteen 5-40 kg ($1,5 * D_{n50}$). Het principe van deze alternatieve ontwerp oplossing is in Figuur 15 weergegeven.

¹⁴ Op de tekeningen/sheets die zijn gemaakt tijdens de VE sessie, dd 02-07-2018 is dit geschreven, er is geen onderbouwing in literatuur hiervoor te vinden



Figuur 15: alternatieve ontwerpoplossing bij het gebruik van een bentonietmat

7 Ontwerp Specials

Bij bruggen en/of zwaaikommen (waar kwelproblematiek zich voor doet) zijn de beschreven ontwerp oplossingen niet geschikt. Dit komt omdat deze locaties grotere invloed ondervinden van erosie door scheepvaart, dan de overige locaties.

7.1 Bruggen

Verhoogde schroefstaalbelasting op de bodem is bij o.a. bruggen te verwachten. Dit effect is ook geïdentificeerd door het analyse van verschilpeilingen. Bij bruggen met een versmalling van het regulier dwarsprofiel is een verhoogde erosie te zien.

Lengte bodembescherming:

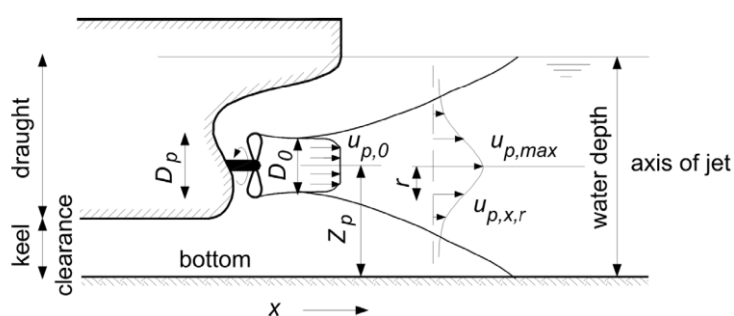
Voor de bodembescherming wordt een 100 m lengte stortsteen aangehouden. Dit is een aanname welke voldoet dan aan richtlijn handboek ontwerp schutsluizen. Handboek schutsluizen geeft aan lengte bestorting minimaal 8 x lengte van de waterdiepte. Een bodembescherming aan beide kanten 8x de lengte van de waterdiepte aan brug geeft dit dus ongeveer een totale lengte van 100 m.

Breedte bodembescherming:

Over de gehele kanaalbreedte dient de bodembescherming aangelegd te worden. Een aandachtspunt is de (zand)dichte aansluiting met de oever (damwand).

Dikte bodembescherming:

Schroefstaalbelasting op de bodem is afhankelijk van de vaardiepte tussen de 2 a 3 m/s. Onder de 2 m/s voldoet een 10-60 kg conform formule Izbash. De Rock Manual geeft als richtlijn dat de vaarsnelheid schip op de berekende bodemsnelheid in vermindering mag worden gebracht. Uitgangspunt is dat de snelheid aan de bodem netto onder de 2 m/s is.



Figuur 16: schroefstaalbelasting op de bodem van het Twentekanaal

Onder de stortstenen bodembescherming dient een geotextiel te zijn aangebracht om uitspoeling van zand onder de bodembescherming te voorkomen. De CUR174 [4] wordt aangehouden voor het bepalen van de eisen aan het te gebruiken geotextiel. Dit zijn eisen aan:

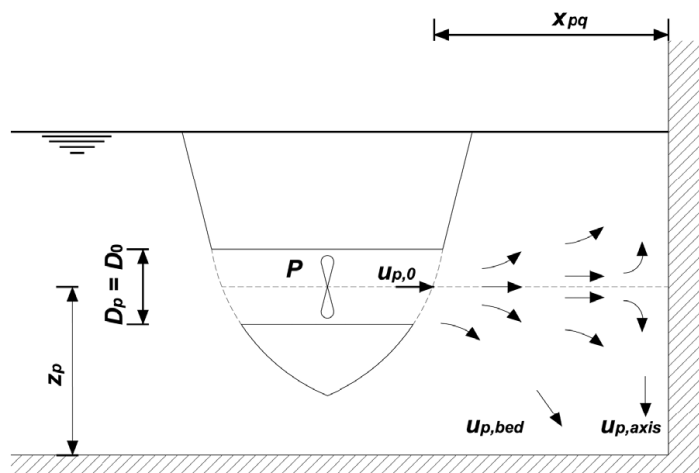


- de zanddichtheid; voorkomen dat zand zich door het geotextiel heen verplaatst.
- de doorlatendheid; ter voorkoming van ongewenste waterdrukken.
- de sterkte; om te voorkomen dat het geotextiel scheurt tijdens aanleg.

7.2 Zwaaiikom

Dikte bodembescherming:

Turbulentie in de zwaaiikom kan zeer hoog zijn. Wat resulteert in hoge belastingen. Het effect wat optreedt is in Figuur 17 schematisch weergegeven. De hoge belastingen resulteren in een zware benodigde bodembescherming. Als uitgangspunt wordt aangehouden dat de bodembescherming dient te bestaan uit stortsteen 40-200 kg met een dikte van $2 * D_{n50}$ (0.72 cm in totaal). Daarnaast wordt ervan uitgegaan dat geheel met (colloïdaal) beton te worden ingegoten.



Figuur 17: schroefstaalbelasting bij kademuren (cq langs de damwanden in een zwaaiikom)

Breedte bodembescherming:

Breedte van de aan te brengen bodembescherming dient ca. 15 m breed te zijn (richtlijnen schrijven 1.5 x breedte van schip). Aandacht dient te worden gegeven aan de stabiliteit van de teenconstructie. Hier dient een falling apron principe te worden toegepast.

Mogelijk dient de overige bodem in de zwaaiikom volledig te worden bedekt met een kleinere gradatie breuksteen en/of steenslag. De scheepvaartbelasting en daarmee de te verwachten erosie zal hoger liggen in de gehele zwaaiikom dan op het overige gedeelte van het kanaal.

Bijlage 1 Onderbouwing erosie gevoeligheid Twentekanaal

In deze bijlage wordt aan de hand van lodingen analyses tussen 2010 en 2013 en tussen 2013 en 2018 conclusies getrokken over de invloed van schepen op de erosie in het Twentekanaal.

In onderstaande tabel wordt per kanaaltraject (op reguliere trajecten waar schepen niet hoeven te manoeuvreren) de gemiddelde maximale verdieping en ophoping als gevolg van de scheepvaart op een rij gezet. Deze gemiddelde verdieping wordt visueel en op basis van steekproeven afgeleid per traject. Tevens wordt in de tabel vermeldt of het traject in 2010 is gebaggerd of niet.

Tabel 2 Analyse optreden van erosie tussen 2010 en 2018

Traject	Gebaggerd in 2010?	2013 – 2010 Verdieping	2013 – 2010 Ophoping	2018 – 2013 Verdieping	2018 – 2013 Ophoping	Opmerkingen
Zijtak 1	Ja	0-10 cm	5-15 cm	5-15cm	10- 20 cm	
Zijtak 2	Nee	0-5 cm	5-15 cm	0-10 cm	5-15 cm	
Zijtak 3	Ja	0-5 cm	0-5 cm	0-5 cm	5-40 cm	Beslibbing in 2016
Zijtak 4	Nee	5-15 cm	5-15 cm	5-15 cm	5-20 cm	
D-H 1	Ja	5-20 cm	10-20 cm	5-20 cm	10-20 cm	Excl. invloed Sluis
D-H 2	Nee	0-10 cm	0-10 cm	0-10 cm	0-10 cm	
D-H 3	Nee	0-10 cm	0-15 cm	0-10 cm	0-15 cm	
D-H 4	Ja	0-5 cm	5-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	Voornamelijk bij A35
D-H 5	Nee	10-30 cm	10-30 cm	10-30 cm	10-30 cm	Havens waar veel wordt gemanoeuvreerd
H-E 1	Nee	0-10 cm	0-10 cm	0-15 cm	0-15 cm	Excl. Invloed zwaairom
H-E 2	Nee	0-5 cm	0-5 cm	5-15 cm	5-15 cm	
H-E 3	Nee	0-5 cm	0-5 cm	5-15 cm	5-15 cm	



Conclusie

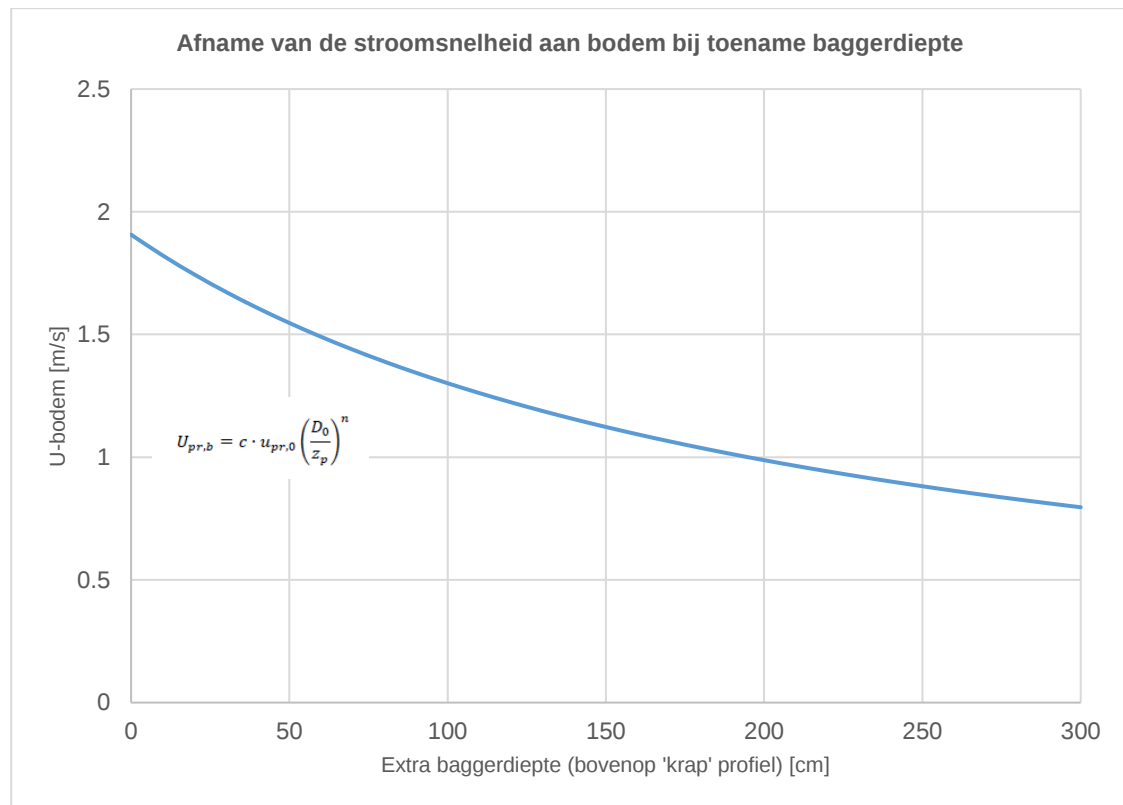
Op basis van de lodingen analyses wordt geconcludeerd dat op reguliere trajecten (waar schepen niet hoeven te manoeuvreren) de invloed van de huidige scheepvaart op de kanaalbodemerosie beperkt is. Het is echter onzeker wat de invloed van erosie is van grotere schepen. Uitgaande van bovenstaande bevinden wordt verwacht dat, als de invloed van schepen op erosie zelfs wordt verdubbeld, op de meeste trajecten de erosie niet meer dan 40 cm zal zijn. Een belangrijke aanbeveling is dat deze conclusies met behulp van monitoring de komende jaren steeds nauwlettend in de gaten gehouden moeten worden zodat gepaste beheersmaatregelen genomen kunnen worden wanneer op bepaalde trajecten teveel erosie optreedt.

Ontwerpparameters

In onderstaande tabel zijn de uitgangspunten weergegeven, welke gebruikt om de afname van de stroomsnelheid te berekenen bij toename van de baggerdiepte.

Tabel 3 uitgangspunten berekening invloed van schepen op stroomsnelheden op de bodem

	Huidige situatie klasse IV schip		Toekomstige situatie klasse Va 'krap'	
	Geladen	Ongeladen	Geladen	Ongeladen
Vaarsnelheid [m/s]	2.1	2.8	2.1	2.9
stroomsnelheid achter propeller [m/s]	7.2	7.2	7.2	7.2
stroomsnelheid aan de bodem bij stilliggen van schip [m/s]	2.2	1.8	2.9	2.0
stroomsnelheid aan de bodem bij varen [m/s]	1.2	0.4	1.9	0.5



Figuur 18: Afname van stroomsnelheid aan bodem bij toename baggerdiepte