



RWS INFORMATIE -

Vier quick wins grond en klei

Optimalisaties voor dijkversterkingen

Datum	17 april 2018
Status	definitief

Colofon

Uitgegeven door	Hoogwaterbeschermingsprogramma
Informatie	Henk Senhorst
Telefoon	06-51275950
Fax	
Uitgevoerd door	HWBP-2
Opmaak	
Datum	17 april 2018
Status	definitief
Versienummer	

Inhoud

Inleiding 7

1 Quick win 1: Aanpassing classificatiegrenzen klei 8

- 1.1 Achtergrond 8
- 1.2 Inhoudelijk 8
- 1.3 Opmerkingen bij de aanbeveling 10

2 Quick win 2: Bandbreedte toestaan in beoordeling kleimonsters 11

- 2.1 Achtergrond 11
- 2.2 Inhoudelijk 11

3 Quick win 3: Realistische waarden doorlatendheid kleilagen 13

- 3.1 Achtergrond 13
- 3.2 Inhoudelijk 13

4 Quick win 4: Verbetering van de werkwijze bij verdichten van kleilagen en de controle daarop 15

- 4.1 Achtergrond 15
- 4.2 Inhoudelijk 15
- 4.3 Methode Proefvakken 16
 - 4.3.1 aanleg referentievak 17
 - 4.3.2 werken met een proefvak 17
 - 4.3.3 controle op watergehalte en bereikte verdichting tijdens uitvoering 18
- 4.4 Methode 'bestaande praktijk' 19
- 4.5 Methoden voor bepalen van de verdichtingsgraad 19
 - 4.5.1 bepaling verdichtingsgraad op basis van percentage macroporiën 19
 - 4.5.2 bepaling verdichtingsgraad met Proctorproef 19

Bijlage A Aanbevelingen nieuwe kennis klei voor dijken 21

Inleiding

De aanbevelingen in dit document zijn opgesteld op basis van een Deltares-rapport over nieuwe kennis over klei voor dijken: *van Meurs, G. (2017). Update inzichten in gebruik van klei voor ontwerp en uitvoering van dijkversterking. Delft: Deltares rapport 1220633-000-GEO-0012-gbh*. Dit rapport geeft een overzicht van gevalideerde kennis die sinds het Technisch Rapport Klei voor dijken (1998) beschikbaar is gekomen, en die nog niet (volledig) gebruikt wordt bij het ontwerp en uitvoering van dijkversterkingen.

Op basis van dit rapport is door het programmabureau HWBP-2 een lijst van 14 aanbevelingen opgesteld om tot optimalisaties in het werken met klei en grond te komen, zie bijlage A. Vier van deze aanbevelingen worden als quick wins beschouwd die op korte termijn toegepast moeten kunnen worden. Deze worden hieronder verder uitgewerkt. De overige aanbevelingen zijn overgedragen aan de Projectoverstijgende verkenning Ontwerpen met Gebiedseigen Grond van het HWBP en zullen in dat kader verder uitgewerkt worden.

Door een schrijversgroep zijn de vier quick wins omgewerkt tot teksten die in de aanbesteding van dijkversterkingsprojecten direct gebruikt kunnen worden. Deze teksten zijn in dit document opgenomen. Deze groep bestond uit:

Stefan van den Berg	Rijkswaterstaat
Wim Sterk	Rijkswaterstaat
Yvo Provoost	Rijkswaterstaat
Henk Senhorst	HWBP-2 (vz)
Ivo van den Berg	Waterschap Rivierenland
Shaun O'Hagan	Fugro
Chris Dykstra	Boskalis

Hoe de teksten uit dit document in aanbestedingsdocumenten verwerkt worden zal afhangen van de aanbestedingsvorm: RAW of UAV-GC. Het is daarbij zoeken naar de juiste mix tussen voorschrijven vanuit de opdrachtgever en ruimte geven aan de opdrachtnemer, en tussen regelen op generiek of projectspecifiek niveau. Op basis van dit document zal er een handleiding voor contractmanagers geschreven moeten gaan worden voor HWBP-projecten. Het door de HWBP-contractmanagers-community beheerde D&C model zal verwijzingen naar (delen van) de teksten van dit document kunnen gaan bevatten.

Het is daarnaast sterk aan te raden om de aanbevelingen in dit document over te nemen in een toekomstige update van het TR Klei voor dijken en de RAW 2015.

De in dit document beschreven optimalisaties dragen bij aan het streven om het vervoer van klei en grond voor dijkversterkingen te verminderen, en de uitvoering van projecten te verduurzamen.

1 Quick win 1: Aanpassing classificatiegrenzen klei

1.1 **Achtergrond**

In de dijkenbouw is het van belang om de erosiebestendigheid van klei goed in te kunnen schatten. Er zijn twee methoden hiervoor in omloop. In het Technisch Rapport Klei voor dijken (1996) wordt een indeling van klei gegeven die voortbouwt op de classificatie van Cassagrande. Deze methode is overgenomen in RAW 2015.

In de Schematiseringshandleiding Gras, die onderdeel is van het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium, wordt de classificatiegrens voor erosiebestendige klei iets verruimd, en wordt tevens een nieuwe naamgeving gehanteerd voor de drie typen klei.

De aanbeveling bestaat eruit dat de verruiming uit de Schematiseringshandleiding Gras wordt overgenomen, terwijl om praktische redenen de benaming vanuit RAW 2015 ongewijzigd wordt gelaten.

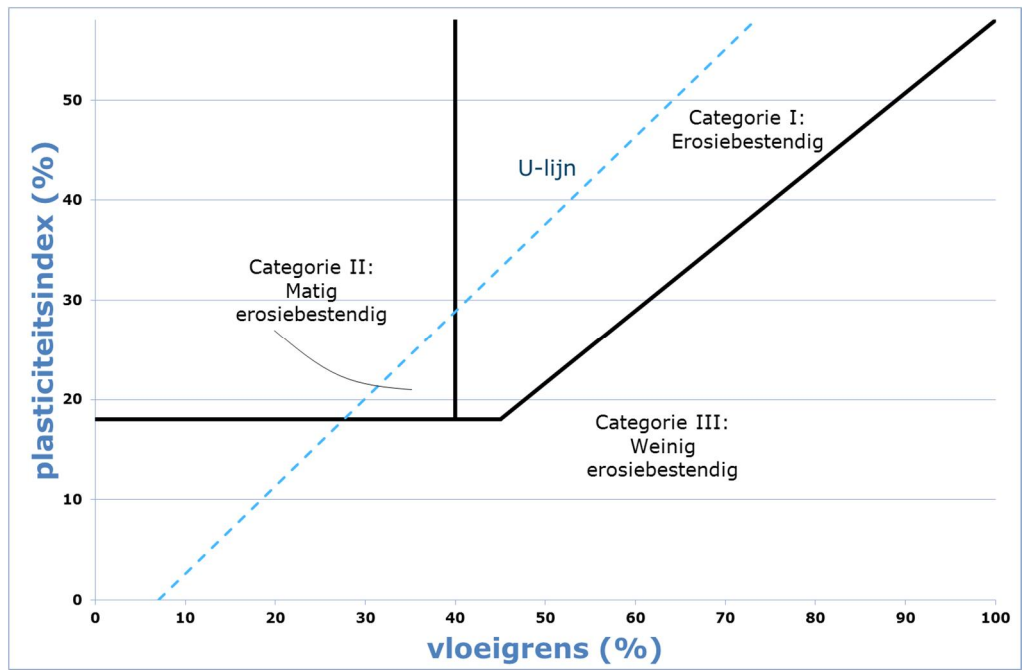
Met deze aanpassingen wordt het classificatiegebied uitgebreid, hetgeen in de praktijk betekent dat meer partijen grond als erosiebestendig beoordeeld kunnen worden, en een hoogwaardige toepassing als dijkbekleding kunnen krijgen. Toepassing van deze aanbeveling past in het streven naar een zo duurzaam mogelijke uitvoering van dijkversterkingen.

1.2 **Inhoudelijk**

In de karakterisering van klei worden drie categorieën onderscheiden (zie figuur 1.1):

- I. erosiebestendig
- II. matig erosiebestendig
- III. weinig erosiebestendig

De classificatiegrens tussen categorie II en I wordt in vergelijking met RAW 2015 verschoven van vloeigrens = 45% naar vloeigrens = 40%, waardoor het gebied van erosiebestendige klei categorie I groter wordt.



Figuur 1.1: Aangepast classificatieschema voor de erosiebestendigheid van klei.

Voor klei toegepast in dijken geldt verder dat:

- Het is afkomstig van een op natuurlijke wijze afgezet materiaal, of het betreft gerijpte klei of specie;
- Het zandgehalte ($> 63 \mu\text{m}$) is maximaal 40%;
- Er is maximaal **5%** organisch materiaal aanwezig volgens de waterstofperoxidebehandeling methode (Proef 36 RAW 2015);
- Er is minder dan 25% gewichtsverlies bij de HCl-behandeling (Proef 37 RAW Bepalingen 2015);
- Er zijn geen bijmengingen van puin, grind en dergelijke en het heeft weinig heldere (rode, bruine en gele, soms blauwe) verkleuringen.
- Het zoutgehalte van het bodemvocht bedraagt maximaal 4 g/l.

1.3 Opmerkingen bij de aanbeveling

1. Voor niet-natuurlijk materiaal (zoals bijvoorbeeld gewassen klei) zijn nadere proeven nodig om dit materiaal in te kunnen delen in een van de categorieën.
2. Onder voorwaarden kunnen hogere organische stofgehalten toegestaan worden. Zo is er in project Reevedijken gewerkt met klei met een organisch stofgehalte tot 6%. Hiervoor is aanvullend onderzoek gedaan waarover ENW positief heeft geadviseerd (*ENW advies 15-16*). Ook acht ENW dat organische stofgehalten tot 7, misschien 8% mogelijk kunnen zijn. Deltares stelt dat gehalten tot 7% mogelijk zijn (*Kruse, G. (2015). Klei eigenschappen in verband met het project Ruimte voor de Rivier IJsseldelta. Delft: Deltares, Brief, 32 pp.*). Indien voor een specifieke situatie gewerkt gaat worden met klei met een hoger organisch stofgehalte, dan zal aanvullend onderzoek nodig zijn, en kunnen er nadere voorwaarden aan de toepassing gesteld worden.
3. Bij Projectbureau Zeeweringen is reeds ervaring opgedaan met klei met bodemvocht gehalten tot 8 g/l zout. *Kruse, G. (2013). Toepassen klei met hoger zoutgehalte in dijklichamen. Delft: Deltares, Brief naar Projectbureau Zeeweringen, 5 pp* geeft aanwijzingen hoe hiermee tot een veilige en beheerbare dijk gekomen kan worden.
4. In het classificatiediagram is ook de zogenaamde U-lijn weergegeven ($PI = 0,9 * (\text{vloeigrens}-8\%)$). Dit is de lijn waarboven in de praktijk geen waarden worden gevonden voor natuurlijke gronden. Deze lijn kan als check worden gebruikt op de juistheid van meetwaarden.

2 Quick win 2: Bandbreedte toestaan in beoordeling kleimonsters

2.1 Achtergrond

Bij de keuring van partijen klei kan in beperkte mate toegestaan worden dat de bepalingwaarden van een beperkt aantal monsters buiten de classificatiegrenzen voor erosiebestendige klei vallen. Reden hiervoor is de statistische spreiding die voortkomt uit

1. de beperkte nauwkeurigheid van de bepaling van de waarde van vloeigrens en uitrolgrens;
2. de normaal te achten variatie van geotechnische parameters.

Gebleken is dat in de praktijk een spreiding van $\pm 4\%$ op de bepaling van uitrolgrens en vloeigrens van kleimonsters gebruikelijk is.

Klei die gebruikt wordt voor een uitvoeringsproject is in de regel uitvoerig getest in depot of op de ontgravingslocatie. Hiervoor wordt een groot aantal monsters genomen, op basis waarvan vastgesteld wordt dat de klei voldoet voor de toepassing. De klei wordt vervolgens in kleinere hoeveelheden (per schip of per as) naar het werk vervoerd. Afhankelijk van wat er geregeld is tussen opdrachtgever en opdrachtnemer kan het voorkomen dat er op het werk aanvullend een beperkt aantal controlemonsters genomen wordt, waarmee vastgesteld wordt dat de juiste klei aangevoerd is. In de praktijk wil het nog wel eens voorkomen dat er waarden van controlemonsters gevonden worden die buiten de classificatiegrenzen liggen. Dit hoeft geen reden tot zorg te zijn, want kan veroorzaakt worden door normale statistische variaties.

Deze aanbeveling beschrijft onder welke voorwaarden afwijkende waarden van controlemonsters geaccepteerd kunnen worden.

Met deze aanbeveling kan voorkomen worden dat partijen klei ten onrechte worden afgekeurd. Dit kan een boel 'gedoe' schelen in de uitvoering van projecten en voorkomt onnodig afgraven en transport van grond.

2.2 Inhoudelijk

Door de statistische variatie in de bepaling van kleimonsters kan het gebeuren dat de meetwaarden van de controlemonsters buiten het gewenste classificatiegebied vallen, ondanks het feit dat de gehele partij voldoet (op basis van de gemiddelde waarde).

Zo'n overschrijding kan dan toch geaccepteerd worden

- indien de meetwaarde binnen een beperkte bandbreedte om de classificatiegrens heen valt (zie figuur 2.1):

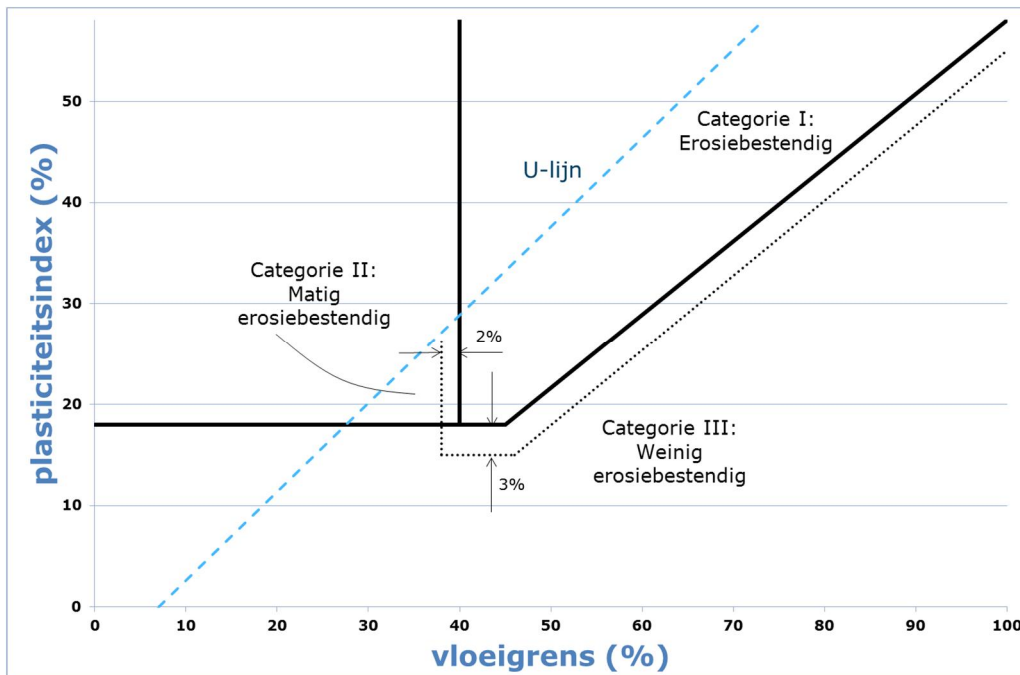
$$\Delta \text{vloeigrens} \leq 2 \%$$

$$\Delta \text{plasticiteitsindex} \leq 3 \%$$

- en de monsters die buiten de classificatiegrenzen vallen niet ruimtelijk of in de tijd gecorreleerd zijn.
- en de gemiddelde waarde van de controlemonsters wel binnen het classificatiegebied valt.

De genoemde waarde van 2, respectievelijk 3% ontstaan uit de genoemde statistische spreiding van $\pm 4\%$ door de afhankelijkheid tussen plasticiteitsindex en vloeigrens.

Het optreden van meetwaarden die buiten de bandbreedte vallen kan altijd een reden zijn om aanvullende controlemonsters te nemen en/of nader onderzoek te doen naar de gehele partij met dezelfde herkomst.



Figuur 2.1: Het aangepaste classificatieschema met daarin aangegeven de bandbreedte die aangehouden kan worden bij de beoordeling van controlemonsters.

3 Quick win 3: Realistische waarden doorlatendheid kleilagen

3.1 Achtergrond

In het ontwerp van waterkeringen wordt in de huidige praktijk vaak nog gewerkt met te conservatieve schattingen voor de doorlatendheid van kleilagen. Op basis van de meest recente inzichten uit infiltratiesnelheidsmetingen kan op een veilige manier tot scherpere ontwerpen gekomen worden.

Een voorbeeld hiervan is de 'wig' die in het buitentalud toegepast wordt om de stabiliteit bij vallend buitenwater te garanderen. Met de nieuwe, hogere waarden voor de doorlatendheid kan deze wig weggelaten worden, hetgeen tot aanzienlijke kostenbesparingen kan leiden.

In deze aanbeveling wordt aangegeven welke waarden voor de doorlatendheid gebruikt kunnen worden in de verschillende onderdelen van een dijkontwerp. De tekst is gebaseerd op *Kruse, G. (2017). Delft: Deltares Memo d.d. 5 okt. 2017.*

3.2 Inhoudelijk

Voor het ontwerpen van kleibekledingen lijkt het aan te bevelen om rekenwaarden voor de doorlatendheid te gebruiken. Voor kleibekledingen zijn ten aanzien van rekenwaarden enerzijds buitentalud en anderzijds binnentalud en kruin te onderscheiden wat betreft het vaststellen van voldoende behoudende schattingen voor de specifieke doorlatendheid.

Voor het buitentalud is stabiliteit bij vallend water maatgevend en ligt het vaststellen van een lagere waarde dan de beste schatting voor de hand. Voor de kruin en het binnentalud is verhoging van de poriewaterdruk in de dijk door infiltratie van overslag en overloop maatgevend en is een hogere doorlatendheid dan de beste schatting meer voor de hand liggend.

In Tabel 3.1 worden waarden voor een beste schatting en voor een lage en hoge waarde voor de specifieke doorlatendheid gegeven die voorgesteld worden voor gebruik in berekeningen. Er zijn slechts beperkt meetgegevens beschikbaar waarmee voldoende betrouwbare statistieken bepaald kunnen worden. De waarden in Tabel 3.1 zijn benaderingen voor de 5de en 95ste percentielwaarden en de mediane waarde zoals die uit de beschikbare infiltratiesnelheidsmetingen worden afgeleid voor de verschillende lagen in de bodemstructuur. De beschikbare infiltratie metingen gaan tot een diepte tot ongeveer 0.8 m –mv. De schatting voor de diepte 0,8 – 1,2 m –mv is gebaseerd op enige infiltratiesnelheidsmetingen op uitgegraven diepere lagen en de op die diepte aangetroffen bodemstructuur.

Opgemerkt wordt dat de voorgestelde waarden in Tabel 3.1 van toepassing worden geacht voor kleibekleding met een bodemstructuur zoals die zich ontwikkelt in de onverzadigde zone (meer dan 0,5 m boven de grondwaterspiegel) en zonder zand- en andere stoorlagen.

	Diepte		Doorlatendheid
	top	basis	k_s
	[m –mv]	[m –mv]	[m/s]
beste schatting	0,0	0,3	1,0E-04
	0,3	0,8	2,0E-05
	0,8	1,2	1,0E-05
lage doorlatendheid	0,0	0,3	3,0E-05
	0,3	0,8	2,0E-06
	0,8	1,2	2,0E-06
hoge doorlatendheid	0,0	0,3	3,0E-04
	0,3	0,8	8,0E-05
	0,8	1,2	2,0E-05

Tabel 3.1 : Voorgestelde waarden voor de specifieke doorlatendheid van kleibekledingen van dijken met grasbekleding voor de te onderscheiden lagen met algemeen voorkomende typen bodemstructuur. De waarden zijn gegeven als respectievelijk:

- "beste schatting"
- "lage doorlatendheid" met een benadering voor de 5de percentiel waarde, voor omstandigheden waarbij de mate van beperking van uittreden van water uit de dijk bepalend is,
- "hoge doorlatendheid" met een benadering voor de 95ste percentiel waarde, voor omstandigheden waarbij de hoogte van infiltratie van water in de dijk maatgevend is.

4 Quick win 4: Verbetering van de werkwijze bij verdichten van kleilagen en de controle daarop

4.1 **Achtergrond**

De bedoeling van deze aanbeveling is om maximaal ruimte te geven aan de innovativiteit van de opdrachtnemer, en tegelijkertijd te borgen dat het resultaat qua verdichting altijd voldoet en daarmee bijdraagt aan een veilige dijk. Een ander doel is om de werkbaarheid te vergroten in de uitvoeringspraktijk in het veld: hoe kan op een zo eenvoudig mogelijke manier gecontroleerd worden dat de juiste verdichting gerealiseerd is?

In de Nederlandse praktijk van dijkenbouw wordt uitgegaan van de verdichtende werking van de tracks van bulldozers. De kleigrond wordt in slagen van soms 0,2 m dikte, vaak 0,4 m dikte, verdicht met enige passages van een bulldozer met tracks met een breedte van 0,4 – 0,6 m en een gewicht van meest 10 - 15 ton. De dieptewerking van deze verdichting is beperkt tot ongeveer 0,2 m bij voldoende overgangen als de klei niet te droog of te nat is.

In de praktijk wordt vaak een controle op de verdichting conform RAW 2015 gebruikt. Deze is gebaseerd op toepassing van de Proctorproef, waarbij de dichtheid tenminste 97% van de Proctordichtheid bij het aanwezig watergehalte dient te zijn.

De schrijversgroep beveelt aan ruimte te bieden aan andere methoden voor de verdichting van kleilagen en de controle daarop. De effectiviteit van andere verdichtingsmethoden kan vastgesteld worden met behulp van een proefvak. In de controle van de verdichting staat het vaststellen van de droge dichtheid centraal, maar zijn ook alternatieve methoden mogelijk.

Het is aan te raden om de hieronder beschreven werkwijzen te testen in een aantal pilotprojecten. Op basis van de opgedane ervaringen kan dan verdere aanscherping van de tekst volgen, waarna opname in een herziening van RAW zou passen.

Toepassing van deze aanbeveling leidt tot een dijkversterking die kan voldoen aan de veiligheidseisen, terwijl de opdrachtnemer meer ruimte krijgt om nieuwe werkwijzen toe te passen.

4.2 **Inhoudelijk**

Deze aanbeveling maakt onderscheid in 2 werkwijzen:

- Methode 'Proefvakken'
- Methode 'Bestaande praktijk'

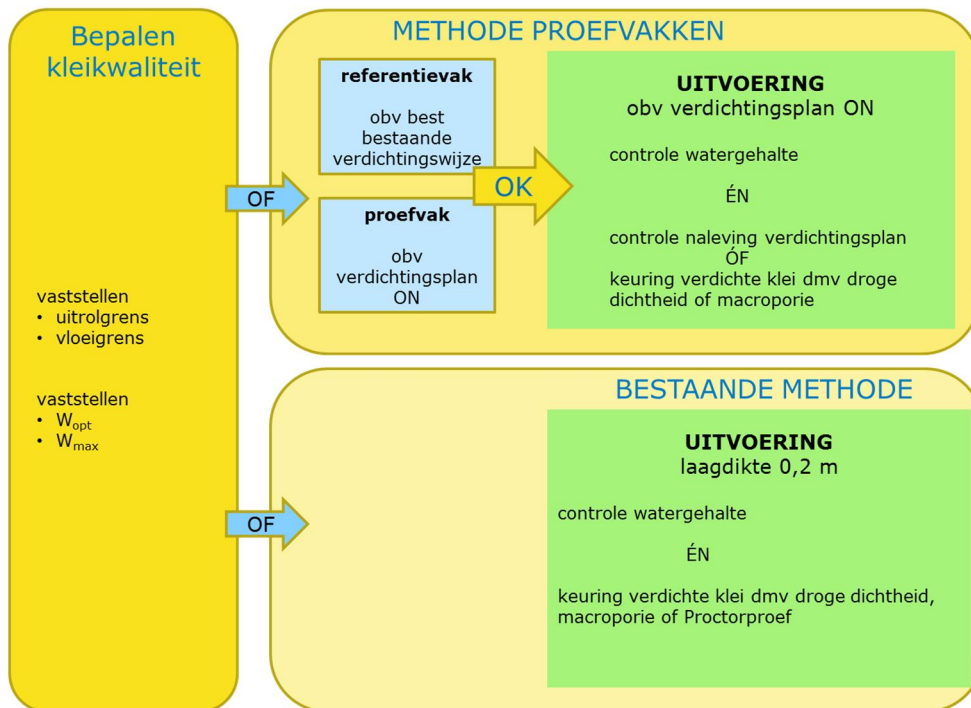
De methode Proefvakken geeft ruimte aan de opdrachtnemer om in een verdichtingsplan met een voorstel te komen voor een geschikte wijze van verdichting, en maakt het mogelijk om de uitvoeringscontrole te baseren op de naleving van het verdichtingsplan in plaats van het uitvoeren van keuringen van aangebrachte klei.

De methode Bestaande praktijk vergt geen nadere activiteiten van de opdrachtnemer en is vooral bedoeld om ook kleine projecten efficiënt uit te kunnen voeren.

Beide methoden kennen dezelfde voorstap waarin de kwaliteit van de klei bepaald wordt.

Bepalen kwaliteit van de klei

- de klei moet van tevoren gekeurd zijn en moet aantoonbaar voldoen aan de algemene eisen (RAW 2015: 22.06.06) en de relevante eisen voor erosiebestendigheid (zie Quick win 1), plus eventuele contracteisen.
- uitrolgrens en vloeigrens worden bepaald. Hiermee wordt de maximaal toelaatbare waarden van het watergehalte W_{max} vastgesteld overeenkomend met $I_c = 0,6$ dan wel $I_c = 0,75$ afhankelijk van de toepassing in de waterkering (zie hieronder).
- door middel van een meerpunts Proctorproef wordt het optimum watergehalte W_{opt} bepaald.



4.3 Methode Proefvakken

De methode Proefvakken is erop gebaseerd dat de opdrachtnemer met een voorstel komt voor de werkwijze van verdichten en dat hij aantoont dat deze voldoet door middel van een proefvak.

De procedure van verdichting moet zijn vastgelegd in een verdichtingsplan. Hierin moet in elk geval staan:

- Welke machines worden gebruikt bij het aanbrengen van de klei en hoe dit gebeurt.
- Welke machines worden gebruikt bij het verdichten van de klei en hoe dit gebeurt.
- Welke laagdikte wordt aangebracht.
- Hoeveel verdichtingsgangen worden toegepast.

Om betrouwbaar de maximaal bereikbare verdichting te bepalen wordt eerst een referentievak aangelegd. Dit is een klein stukje werk dat volgens de best bekende wijze is verdicht, en waarvan de verdichting zeker voldoet.

Daarna wordt een proefvak aangelegd volgens de door de opdrachtnemer in het verdichtingsplan beschreven methode. De in het proefvak behaalde verdichting wordt vergeleken met de verdichting in het referentievak. Laat het proefvak voldoende verdichting zien, dan kan de rest van het werk worden uitgevoerd conform de voorgestelde methode van de opdrachtnemer. Hierbij gelden voorwaarden die hieronder verder beschreven zijn.

Steeds wanneer omstandigheden wijzigen (zoals een ander verdichtingsplan en een andere partij klei) zal er een nieuw referentievak en proefvak moeten worden gemaakt.

Voor het vaststellen van de verdichting wordt hieronder een methode gebruikt op basis van de droge dichtheid. Er zijn ook andere methoden mogelijk, deze worden paragraaf 4.5 beschreven.

4.3.1 *aanleg referentievak*

Om een referentie te kunnen vaststellen voor een goede mate van verdichting, wordt een klein referentievak aangelegd. Dit gaat als volgt:

- bepaling van het watergehalte W van de klei. Deze moet voldoen aan $W_{opt} \leq W \leq W_{max}$, met $W_{max} = W_{Ic=0,6}$ voor het dijk kern en $W_{max} = W_{Ic=0,75}$ voor dijk bekleding
- klei wordt in twee lagen van 0,2 m dikte aangelegd. Verdichting van elke afzonderlijke laag vindt plaats met D6 apparatuur (of gelijkwaardig) waarbij minimaal drie gangen gemaakt worden.
- het referentievak is 4 keer zo lang als de apparatuur waarmee verdicht is. Dit is exclusief aanloop- en uitrijgedeelte.
- het referentievak mag deel uitmaken van het werk, maar dit hoeft niet. De ondergrond in het referentievak is ten minste representatief voor het uit te voeren werk.
- op een diepte tussen 10 cm en 20 cm worden binnen het referentievak 10 monsters met standaard volumestekking genomen. Van deze monsters wordt de droge dichtheid γ bepaald. De gemiddelde waarde hiervan is $\gamma_{referentie}$.

Per partij en/of kwaliteit klei (dwz: eenduidige herkomst uit depot of vergraving) wordt een referentievak aangelegd.

Aangetoond moet kunnen worden dat de klei in het referentievak representatief is voor de klei die op het werk gebruikt gaat worden.

4.3.2 *werken met een proefvak*

Aangetoond moet kunnen worden dat de klei in het proefvak representatief is voor de klei die op het werk gebruikt gaat worden.

- het proefvak mag deel uitmaken van het werk.

- leg een proefvak aan van circa 1000 m² met de beoogde klei en volg daarbij het verdichtingsplan.
- de klei mag verdicht worden als $W_{opt} \leq W \leq W_{Ic=0,6}$ voor de dijk kern en $W_{opt} \leq W \leq W_{Ic=0,75}$ voor dijk bekleding
- breng de klei aan conform verdichtingsplan.
- neem volumesteekringmonsters (proef 6 Standaard RAW, ring conform fig P. 6.2) per iedere 100 m². Doe dit per dieptelaag van 20 cm in de onderste 10 cm van die laag.
- bepaal de droge dichtheid γ van ieder monster.
- bepaal voor iedere dieptelaag van 20 cm de gemiddelde droge dichtheid $\gamma_{laag,proef}$
- de kwaliteit van de verdichting is goed als voor iedere laag $\gamma_{laag,proef}$ niet meer dan 2,0 % lager is dan $\gamma_{referentie}$, de dichtheid die bereikt is in het referentievak.

Voldoet de kwaliteit van verdichting niet, dan zal opdrachtnemer met een nieuw verdichtingsplan moeten komen dat op een nieuw proefvak wordt uitgetest.

4.3.2.1. snelle methode bepaling droge dichtheid

Volgens het RAW-voorschrift wordt de droge dichtheid van een kleimonster bepaald aan de hand van het volume van een steekringmonster en het gewicht na een langzame (15 uur) droging bij 110 °C. Omdat verdichtingscontrole tijdens de uitvoering gebaat is bij een snelle terugkoppeling van de resultaten, kan naar het oordeel van de schrijversgroep, ook een snellere droging bij hogere temperaturen toegepast worden.

Zo blijkt in een door Fugro uitgevoerde proef met 20 monsters dat droging bij 200 °C al na een droogtijd van 45 minuten resulteert in een watergehalte die gemiddeld 99,7% bedraagt van het watergehalte na 15 uur drogen bij 110 °C (met een spreiding van minder dan 6% voor de individuele monsters en een correlatiecoëfficiënt van 98,8 %).

De toepassing van een versnelde drogingsmethode lijkt dus goed mogelijk. Wel zal voor elke methode eerst een praktijkonderzoek uitgevoerd moeten worden. Hierin wordt vastgesteld welke droogtijd tot een goede vergelijking met de langzame methode leidt waarbij de afwijking tussen de gemiddelde waarden voor de twee methoden voldoende klein is, en de correlatiecoëfficiënt voldoende groot is.

4.3.3 *controle tijdens uitvoering van het werk: watergehalte en bereikte verdichting*

Minimale eis in het uitvoeren van het werk is dat gecontroleerd wordt op het juiste watergehalte voorafgaand aan de verdichting, met een frequentie van 1 monster per 100 m².

Voor de controle op de bereikte verdichting geeft de opdrachtnemer aan of hij kiest voor een controle op de naleving van het verdichtingsplan, of voor een controle middels keuringen van de verdichte klei.

4.3.3.1. controle naleving verdichtingsplan

De methode van werken met proefvakken is erop gebaseerd dat na goede uitvoering van het proefvak, het werk zelf met minder controle inspanning gemaakt kan worden. Immers, de kwaliteit is aangetoond met het proefvak. Daarom hoeft de opdrachtnemer enkel aan te geven hoe verificatie van de uitvoeringswijze horende bij het beschreven verdichtingsplan plaats vindt. De opdrachtnemer dient hier een voorstel voor in.

4.3.3.2. keuringsmethode

Verdichtingscontrole middels keuringen kan op dezelfde wijze plaatsvinden als bij het proefvak. De keuring bestaat uit het bepalen van de droge dichtheid in een frequentie van 1 monster per 1000 m², per dieptelaag van 20 cm met behulp van een volumesteekringmonster in de onderste 10 cm. De waarde van iedere individuele monsterwaarde γ mag niet meer dan 3% afwijken van $\gamma_{\text{referentie}}$.

Voor de keuring kan ook gekozen worden uit de methoden 'droge dichtheid' en 'macroporiën' (zie paragraaf 4.5).

4.4 Methode 'bestaande praktijk'

De methode met proefvakken kan inefficiënt zijn voor kleine partijen klei. Daarom kan het nog steeds wenselijk zijn de methode vanuit de 'bestaande praktijk' ook toe te staan.

Zoals eerder aangegeven wordt in de huidige praktijk klei vaak aangebracht in lagen van 0,4 m dikte. De verdichting wordt gecontroleerd conform RAW 2015 door middel van de volumesteekringmethode in combinatie met de Proctorproef bij aanwezig watergehalte. Het watergehalte moet tussen W_{opt} en W_{max} liggen en de verdichtingsgraad moet minimaal 97% bedragen. Bij deze methode horen wel enkele aanbevelingen:

- De klei wordt in lagen van maximaal 0,2 m dikte aangebracht.
- Bepaling van de verdichtingsgraad is mogelijk conform een van de methoden 'droge dichtheid', 'macroporiën' of 'Proctorproef' (zie paragraaf 4.5).

4.5 Methoden voor bepalen van de verdichtingsgraad in de uitvoering

Naast de bepalingmethode op basis van de droge dichtheid kan in de uitvoeringsfase ook gekozen worden voor twee alternatieve methoden om de mate van verdichting te bepalen.

4.5.1 *bepaling verdichtingsgraad op basis van percentage macroporiën*

De toets op verdichting in bovenstaande werkwijze kan vervangen worden door een toets op (en een eis aan) het percentage macroporiën. Hiervoor kan onderstaande methode gebruikt worden.

De methode is gebaseerd op het verschil in (droge) dichtheid tussen individuele kluiten en de gemiddelde dichtheid van een aangebrachte laag. Door de aanwezigheid van macroporiën tussen de kluiten in een aangebrachte laag zal de dichtheid gemiddeld van de laag lager zijn dan die van de individuele kluiten. De dichtheid gemiddeld over de laag mag niet meer dan 5% lager zijn dan de dichtheid van de kluiten.

- neem een volumesteekringmonster volgens de standaardmethode met een omvang/diameter van ten minste 10 cm. Bepaal van dit monster de droge dichtheid. Dit is γ_{laag} .
- neem tien kleine monsters met een volumesteekring met een omvang van 1 cm. Bepaal voor ieder monster de droge dichtheid. Neem de twee hoogste waarden en bepaal daar het gemiddelde van. Dit is γ_{kluit} . De klei is goed verdicht als $(\gamma_{\text{laag}} - \gamma_{\text{kluit}}) / \gamma_{\text{laag}} \leq 0,05$.

4.5.2 *bepaling verdichtingsgraad met Proctorproef*

In RAW 2015 wordt een controle op de verdichtingsgraad beschreven gebaseerd op de Proctorproef. Per partij klei wordt dan een meerpunts-Proctorproef uitgevoerd

waarmee de maximale Proctordichtheid wordt bepaald. Als keuringsmethode in de uitvoering worden vervolgens eenpunts-Proctorproeven uitgevoerd. De verdichting is dan voldoende als tenminste 97% van de Proctordichtheid bij het aanwezig watergehalte gerealiseerd wordt.

In de praktijk blijkt toepassing van deze methode niet altijd tot een juiste verdichting van kleilagen te leiden. Waargenomen is dat de Proctor-curve niet altijd een eenduidig maximum heeft, en dat waarden boven de 100% voorkomen bij kleilagen die aantoonbaar niet goed verdicht waren (*van Meurs, G. (2017). Update inzichten in gebruik van klei voor ontwerp en uitvoering van dijkversterking. Delft: Deltares rapport 1220633-000-GEO-0012-gbh*). Het optimum watergehalte is de ondergrens van het toegestane watergehalte bij verdichting. Het is daarom essentieel om het optimum watergehalte vast te stellen. Indien geen duidelijk optimum watergehalte blijkt uit de Proctorproef, dan dient de proef te worden afgekeurd en opnieuw uitgevoerd te worden .

Mits goed ingebed, lijkt het werken met een Proctorproef tot een goede controle op de verdichting te leiden, namelijk als:

- de meerpunts-Proctorproef een eenduidig maximum laat zien met voldoende meetpunten tussen W_{opt} en W_{max} .
- indien in de verdichtingscontrole tijdens uitvoering waarden boven 100% worden vastgesteld dient onderzocht te worden of de procedure juist is gevolgd. Waarschijnlijk is sprake geweest van watergehaltes boven W_{max} .

Bijlage A Aanbevelingen nieuwe kennis klei voor dijken

Onderstaande tabel geeft een overzicht van alle aanbevelingen uit *van Meurs, G. (2017). Update inzichten in gebruik van klei voor ontwerp en uitvoering van dijkversterking. Delft: Deltares rapport 1220633-000-GEO-0012-gbh.*

De vier quick wins uit deze notitie zijn met arcering aangegeven in de tabel. Aanbeveling 10 en 11 zijn samengenomen tot quick win 4.

	Aanbeveling	Waarom	Moet leiden tot product	Leverd voordeel op	Aandachtspunten hierbij
1	Hanteer nieuw classificatieschema erosiebestendigheid klei bij dijkverbeteringsprojecten	Praktijk wijst uit dat ook klei met vloeigrens tussen 40 en 45% aan erosiebestendigheid voldoet	Aanbeveling/aanwijzing op te nemen in contractdocumenten	Verbeterde toetsing; Bredere benutting van beschikbare erosiebestendige klei; Lagere kosten aanleg	Neem ook gehalte zout en OS mee. Onderlinge inconsistentie WBI-regels alleen aandacht geven als dit hinderend blijkt.
2	Ontwikkel een werkwijze voor toestaan overschrijdingen bij beoordeling kleikwaliteit	Bepaalde nauwkeurigheid labanalyses kan leiden tot onterechte afkeur van partijen klei	Uitvoeringsvoorschriften c.q. advies keuringswijze klei vwb erosieklasse	Bredere benutting van beschikbare partijen erosiebestendige klei; lagere kosten aanleg	Explicitering van werkwijze die past bij inzichten over variabiliteit kleisamenstelling en nauwkeurigheid bepalingmethode kleiparameters.
3	Bij beoordeling partijen grond rekening houden met ruimtelijke variatie van kleikwaliteit in natuurlijke voorkomens	Verkeerde monsternamen en monstersamenstelling door mengmonsters geeft onbruikbare resultaten c.q. verkeerde inschatting bruikbaarheid partij grond	Werkwijze gericht op het nemen van monsters in overeenstemming met lokale afbakening van kleikwaliteiten, duidelijkheid aantal te beproeven monsters	Bredere inzetbaarheid verschillende aanwezige kleikwaliteiten en betere kleikeuring	Gaandeweg deskundigheid opbouwen binnen sector; Koppeling met aanbeveling 4-1
4	Ringonderzoek opzetten voor laboratoria voor bepalen klei-eigenschappen	Praktijk laat te grote verschillen zien tussen resultaten van labanalyses	Enmalige (?) of permanent(?) systeem van kwaliteitsborging	Betere benutting beschikbare kleikwaliteiten; lagere kosten aanleg	Betrek ook monsternamen en -behandeling hierbij
5	Nadere analyse maken van kennis gedrag kleilagen onder golfaanval en erosie binnentalud gericht op toepassing bij ontwerp	Nieuwe toetsregel gebruikt kennis over standtijd versus taludhelling en kleikwaliteit, maar ontwerp praktisch nog niet	Scherpere ontwerpen doordat (rest)sterkte kleilaag wordt gebruikt.	Lagere kosten aanleg	Verspreiding bestaande inzichten; Omzetten inzichten naar praktische werkwijzer
6	Beschrijven stochastiek van schade maakt scherper toetsen en stochastisch ontwerpen mogelijk	Huidige deterministische aanpak is noodzakelijkerwijs conservatief; informatie over schadeontwikkeling is deels reeds beschikbaar	Verbeterde WBI-regels; Scherpere ontwerpen mbt golfbelasting	Verbeterde toetsing; Lagere kosten aanleg	

	Aanbeveling	Waarom	Moet leiden tot product	Leverd voordeel op	Aandachtspunten hierbij
7	Beschouw bodemstructuur kleilagen om tot realistische waarden voor doorlatendheid kleilagen te komen bij ontwerp talud	Doorlatendheid kleilagen wordt te laag ingeschat bij toetsen en ontwerpen	Stabiliteitsanalyses taluds verbeteren met juiste waarden doorlatendheid van de buitenste 1,2 -1,5 m klei; Weglaten van de 'wig' buitentalud is mogelijk	Verbeterde toetsing; Lagere kosten aanleg	Gebruik studie Afsluitdijk
8	Expliciete afweging mogelijk maken tussen kosten van aanleg en kosten van onderhoud van kleilagen	Het nemen van kosten voor beheer kan grotere besparingen bij aanleg opleveren	Bijvoorbeeld: Weglaten steenbekleding bij rivierdijken (steenbekleding niet nodig voor veiligheid)	Lagere levenscycluskosten	Aannemers doen voorstellen in aanbesteding; opdrachtgevers regelen LC-kosten in subsidiebeschikking
9	Opstellen van werkwijze voor inventariseren van in natuurlijke voorkomens beschikbare grond/klei	Juiste afbakening van partijen grond 'in het veld' bevordert optimaal gebruik	Generiek te gebruiken werkwijzer? Vastleggen in contract, per project?	Bredere inzetbaarheid verschillende aanwezige kleikwaliteiten	
10	Formuleren eisen behandeling van klei tijdens aanlegwerkzaamheden	Scheurvorming door te nat aangebrachte klei levert risico's op voor samenhang, sterkte en doorlatendheid. Ook te droog aangebrachte klei geeft problemen	Advies verwerking klei in uitvoeringsfase	Betere kwaliteit waterkeringen; Minder faalkosten tijdens uitvoering	Formuleer obv par 4.2 een werkwijze waarin een maximaal <u>vochtigheidsgehalte</u> niet te boven gegaan wordt, tegen acceptabele uitvoeringskosten. Formuleer een werkwijze voor <u>verdichting</u> van klei, en de verificatie daarvan. <u>Verificatie</u> van de verdichting dient nog uitgewerkt te worden.
11	Formuleren eisen voor verdichten van klei incl. verificatie	Huidige praktijk verdichten levert niet altijd gewenste kwaliteit kern en bekleding op. Proctorproef voldoet niet voor bepalen verdichting klei	Nieuwe uitvoeringsvoorschriften	Betere kwaliteit waterkeringen; Minder faalkosten tijdens uitvoering	Formuleer een werkwijze zonder Proctorproef met aandacht voor maximaal laagdikte, verdichtingswijze, aantal gangen en verificatiemethode

	Aanbeveling	Waarom	Moet leiden tot product	Levert voordeel op	Aandachtspunten hierbij
12	Krammatten niet meer als tijdelijke beschermingsmaatregel toepassen	Beperkte schade aan kale kleibekleding in eerste winter is goedkoper te herstellen dan dat krammatten als preventiemaatregel kosten	Generieke aanvullende contractbepalingen	Lagere kosten	Wat te doen met schade direct na oplevering?
13	Gebruik mogelijkheden voor ontwerpen met gebiedseigen grond	Ook 'te zoute' klei of klei met een 'te hoog' organisch stofgehalte kan zinvol gebruikt worden voor dijken	Ontwerptabel functie-toepassing-eisen Ruimere ontwerppraktijk	Bredere inzetbaarheid gebiedseigen grond; minder gesleep met grond; minder (milieu)belasting	N.B ENW-advies 15-16 vraagt DGRW TR Klei voor dijken aan te passen tav hoger organisch stofgehalte 6%
14	Verbeter weergave (rest)sterkte kleilaag onder golfaanval door update analyse schadeontwikkeling taluds bij dikke kleilagen	Niet alle inzichten zijn meegenomen in WBI 2017	Bij toetsing en ontwerp goed in rekening brengen van de (rest)sterkte van dikke kleilagen; gevalideerde tabel taludhelling-kleisoort-standtijd; aangepaste WBI-regel voor ontgronden door golven, overloop en overslag;	Verbeterde toetsing; Lagere kosten aanleg	