

RAPPORT

Grondgestuurd ontwerpen; "Best Practices" Internationaal

POV Dijkversterking met gebiedseigen grond, fase 2

Klant: POV DGG

Referentie: BH5745TPRP2101051042

Status: S0/P01.01

Datum: 9-2-2021

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB NIJMEGEN
Netherlands
Transport & Planning
Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**
+31 24 323 93 46 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Grondgestuurd ontwerpen;
"Best Practices" Internationaal

Ondertitel:

Referentie: BH5745TPRP2101051042

Status: P01.01/S0

Datum: 9-2-2021

Projectnaam: Inventarisatie "best practises"

Projectnummer: BH5745

Auteur(s): Albert Wiggers, Daniël Peters

Opgesteld door: Albert Wiggers, Daniël Peters

Gecontroleerd door: Joost van der Schrier

Datum:

Goedgekeurd door: Monique Sanders

Datum:

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V. en dient voor publicatie of anderszins openbaar maken te worden geanonimiseerd.

Inhoud

Samenvatting	4
1 INTRODUCTIE	5
1.1 Grondgestuurd ontwerpen	5
1.2 Doel en beschrijving inventarisatie	6
1.3 Aanpak en bronnen	6
2 Ontwerpcultuur	8
2.1 Verenigd Koninkrijk	8
2.1.1 Algemene ontwerpcultuur	8
2.1.2 Kennis, richtlijnen en ontwerpverantwoordelijkheden:	8
2.2 Frankrijk	9
2.2.1 Algemene ontwerpcultuur	9
2.2.2 Kennis, richtlijnen en ontwerpverantwoordelijkheden:	9
2.3 België	10
2.3.1 Algemene ontwerpcultuur	10
2.3.2 Kennis, richtlijnen en ontwerpverantwoordelijkheden:	10
2.4 Duitsland	11
2.4.1 Algemene ontwerpcultuur	11
2.4.2 Kennis, richtlijnen en ontwerpverantwoordelijkheden:	11
2.5 Zweden	12
2.6 Internationale projecten	12
2.7 Europees project USAR	12
2.8 Verschillen in aanpak van dijkversterking met gebiedseigen grond	13
3 Techniek	16
3.1 Technische uitwerking van grondgestuurd ontwerpen	16
3.2 Vooronderzoek	17
3.3 Principe ontwerp	17
3.3.1 Verschillende typen dijken	17
3.3.2 Homogene dijken	18
3.3.3 Gezoneerde dijken	19
3.3.4 Composietdijken	22
3.3.5 Dijkversterkingen: vierkant, naar binnen of naar buiten?	23
3.4 Geometrisch ontwerp	23
3.5 Materiaal- en uitvoeringsspecificaties	24
3.6 Dichtheids-/verdichtingseisen	25
3.6.1 Winnen	25
3.6.2 Rijpen	25

3.6.3	Verdichten	26
3.6.4	Verdichtingsspecificaties	27
3.7	Beheer, onderhoud en lange termijn gedrag	31
4	Conclusies en advies vervolg POV DGG	32
4.1	Conclusies	32
4.2	Advies voor vervolgonderzoek binnen het resterende programma van de POV DGG	33
	Referenties	34

Bijlagen

A1	Interview Patrick Mengé (B)
A2	Interview Remy Tourment (F)
A3	Interview Philip Smith (UK)
A4	Interview Andreas Bieberstein (D)

SAMENVATTING

PM

CONCEPT

1 INTRODUCTIE

1.1 Grondgestuurd ontwerpen

Wanneer er buiten de Nederlandse landsgrenzen gekeken wordt valt snel op dat de ontwerpcultuur van land tot land sterk kan verschillen als het gaat om het gebruik van lokaal beschikbare grond voor het ontwerpen en bouwen van dijken. Waar in de Nederlandse ontwerpcultuur het zoeken naar geschikt bouw materiaal vaak pas aan het eind van het ontwerpproces om de hoek komt kijken, is er in veel andere landen simpelweg de luxe of gewoonte niet aanwezig om op zoek te gaan naar het ideale of “standaard” materiaal. In dat geval wordt gestart met het inventariseren van lokaal beschikbaar materiaal en de eigenschappen daarvan, op basis waarvan het ontwerp volgt. Het lokaal aanwezige materiaal is hier dus leidend in het ontwerp. Een duidelijk voorbeeld van *Grondgestuurd ontwerpen*.

In de Nederlandse aanpak staan richtlijnen centraal in het ontwerp en wordt grond pas in een laat stadium gezocht op basis van gestelde materiaalspecificaties. Je zou dit *Richtlijn-gestuurd ontwerpen* kunnen noemen.

De methodiek of systematiek van grondgestuurd ontwerpen komt vaak voort uit noodzaak of beperkingen in beschikbaar materiaal, maar biedt mogelijk ook kansen in Nederland om op een andere, meer duurzame manier naar dijkontwerp en materialisering te kijken.

Om de mogelijkheden hierin voor de Nederlandse dijkversterkingen te verkennen is daarom gekeken naar verschillende Europese landen om ons heen met ieder een eigen ontwerpcultuur: het Verenigd Koninkrijk, België, Frankrijk en Duitsland.

Grondgestuurd ontwerpen:



Richtlijn-gestuurd ontwerpen:



Figuur 1-1: Grondgestuurd ontwerpen versus richtlijn-gestuurd ontwerpen

1.2 Doel en beschrijving inventarisatie

Royal HaskoningDHV heeft van de POV DGG de opdracht gekregen tot het inventariseren van internationale ervaringen bij het ontwerpen en toepassen van lokaal winbare materialen. De focus lag daarbij op 'best practices' en 'grondgestuurd ontwerpen'. De inventarisatie heeft bestaan uit de volgende stappen:

1. Inventarisatie van ervaringen met grondgestuurd ontwerpen in het buitenland, waarbij de inventarisatie zich voornamelijk maar niet uitsluitend richt op dijkenbouw.
2. Inventariseren van informatie, voorbeelden en valkuilen relevant voor grondgestuurd ontwerpen.
3. Conditie in kaart brengen waaronder grondgestuurd ontwerpen werkt.
4. Aanleveren van concrete adviezen aan de POV DGG voor de volgende fase.

1.3 Aanpak en bronnen

Inventarisatie "best practices" in het buitenland via interviews en literatuur

Het eerste onderdeel van deze inventarisatie is gebaseerd op interviews van verschillende gerespecteerde experts uit de internationale dijkenwereld. Om een divers beeld te krijgen is gekozen een viertal kandidaten uit verschillende landen en disciplines te interviewen, vanuit zowel de meer wetenschappelijke, de ontwerpende als de uitvoerende hoek. Daarnaast zijn de geïnterviewde personen betrokken bij het ontwerp van dammen en dijken over hun eigen landsgrenzen, waardoor eigen ervaring geplaatst kan worden in internationaal verband. De verslagen van de interviews zijn opgenomen in de appendices bij dit rapport.

Een korte introductie van de geïnterviewden staat hieronder gegeven.

- **Dr. Patrick Mengé**, (België), Principal geotechnical engineer. Werkzaam bij DEME - Zwijndrecht, België. Betrokken in talrijke bagger- en grond projecten. Co-auteur van de Hydraulic Fill Manual.
- **Rémy Tourment**, (Frankrijk), Ingénieur Chercheur, expert on Hydraulic Structures (dams and levees), Chairman of Technical Committee on Levees of ICOLD, Vice-President of CFBR (Comité Français des Barrages et Réservoirs). Werkzaam bij Research Unit CEMAGREF (Aix-en-Provence, Frankrijk). Auteur International Levee Handbook.
- **Dr. Philip Smith**, (Verenigd Koninkrijk) Technical Director geotechnical advisory group HaskoningDHV UK Ltd. (Peterborough, UK). Auteur International Levee Handbook en betrokken in diverse internationale werkgroepen op het gebied van dijkontwerp.
- **Dr.-Ing. Andreas Bieberstein**, (Duitsland), werkzaam aan Karlsruhe Institute of Technology (KIT). Daarnaast werkzaam als onafhankelijk adviseur voor verschillende Duitse deelstaten op het gebied van (principe) dijkontwerp, met name in de deelstaat Baden-Württemberg en Nordrhein-Westfalen. Andreas Bieberstein is co-auteur van de nationale Duitse ontwerprijds en normering.

Ter voorbereiding op de afgenomen interviews en ter aanvulling op de conclusies en aanbevelingen zijn, mede op aanraden van de geïnterviewden, de volgende bronnen geraadpleegd:

1. The International Levee Handbook (CIRIA C731, 2013)
2. Hydraulic fill manual (CUR 244, 2012)
3. Specification for Highway Works (HA, 2016)
4. ICE Manual of Geotechnical Engineering (ICE, 2012)
5. Franse ontwerprichtlijn voor kleine dammen (CFGB, 2002)
6. Duitse ontwerprichtlijnen (DIN 19712:2013-01, 2013) en (DWA-M 507-1E, 2011)
7. Richtlijn van US Army Corps of Engineers (USACE, 2000)

Inventarisatie “best practices” via Webinars

Gedurende twee webinars met Nederlandse experts en één webinar met internationale experts zijn de bevindingen uit de interviews gepresenteerd en zijn nieuwe inzichten opgehaald bij de deelnemers. Deze inzichten zijn meegenomen in de gepresenteerde bevindingen onder de daarvoor relevante hoofdstukken.

Opstellen rode draad en adviezen voor gebruik gebiedseigen grond

Op basis van bovengenoemde inventarisaties is een rode draad opgesteld met concrete adviezen aan de POV DGG en de sector om grondgestuurd ontwerpen mogelijk te maken binnen de aankomende dijkversterkingen, daar waar dit mogelijk meerwaarde heeft.

CONCEPT

2 ONTWERPCULTUUR

De huidige fase van de POV DGG richt zich op het inventariseren van de technische “best practices” op het gebied van dijkontwerp met lokaal aanwezige grond, om zo op relatief korte termijn verbeteringslagen te kunnen maken op het gebied van duurzaam dijkontwerp. Wanneer naar het buitenland gekeken wordt kunnen deze technische “best practices” echter niet los gezien worden van de heersende ontwerpcultuur. Door de ontwerpcultuur en ontwerpgeschiedenis van een land of regio in kaart te brengen, is het eenvoudiger de huidige technische aanpak te begrijpen, te doorgronden en eventueel te integreren in het Nederlandse systeem.

In dit hoofdstuk wordt eerst de situatie en ontwerpcultuur per land toegelicht, waarna paragraaf **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** de belangrijkste verschillen samenvat tussen de verschillende landen en de Nederlandse situatie.

2.1 Verenigd Koninkrijk

2.1.1 Algemene ontwerpcultuur

Het VK kent een vrij unieke situatie waarin de verantwoordelijkheid voor waterveiligheid bij de *Environmental Agency* ligt, het overheidsorgaan dat ook zorg draagt voor het milieu. Een belangrijk beoordelingscriterium voor dijkontwerpen is dan ook de impact op het milieu. Deze eis kwam in het beginsel bij het EA vandaan, maar is nu zo geïntegreerd in de ontwerpcultuur dat deze eis ook is overgenomen door de lokale autoriteiten, die hedendaags de beoordeling uitvoeren.

Deze beoordelingseis levert traditioneel gezien een extra stimulans op om uit te gaan van gebiedseigen grond.

Naast dit beoordelingscriterium levert de geologische situatie in het VK grote verschillen tussen regio's op in beschikbare materialen. Van oudsher resulteert dit al in zeer verschillende type dijken in verschillende gebieden. Dit wordt ook benoemd in de *International Levee Handbook* [Ref. 1] par 3.2., waar dieper wordt ingegaan op de verschillen in dijkopbouw, geometrie en componenten die voortvloeien uit het gebruik van lokaal materiaal. Zo worden rond stroomgebieden van de grote rivieren vaak dijken van klei gebouwd, maar zie je in Schotland dijken van granulair materiaal met een ondoorlatende kern.

Doordat beschikbare soorten materialen vaak beperkt zijn in een gebied is de ontwerper gedwongen in een vroeg stadium al te kijken naar de materialisering van het dijkontwerp. Dit hangt ook samen met het hierboven genoemde beoordelingscriterium, en resulteert in een grondgestuurde aanpak voor dijkontwerpen. In het VK worden ontwerpers hierin mede gefaciliteerd door grondaanbieders, waar verder op wordt ingegaan in de volgende paragraaf.

2.1.2 Kennis, richtlijnen en ontwerpverantwoordelijkheden:

Binnen het Verenigd Koninkrijk zijn er geen strikte normen of richtlijnen voor het ontwerp van dijken waar een ontwerper zich aan dient te houden. Door het ontbreken van een op dijken gericht overheidsonderzoeksinstituut hangt de kwaliteit van een dijkontwerp sterk af van de expertise van de ontwerper. Kennisdeling vindt met name plaats binnen onafhankelijke organisaties als de *Institution of Civil Engineers* (ICE) en de *Construction Industry Research and Innovation Association* (CIRIA). Algemene principes uit diverse handboeken en ontwerpguides, zoals de ICE en CIRIA publicaties, worden veelal ook toegepast bij dijkontwerp. De expertise afhankelijkheid is hierdoor enigszins afgenomen. De *Environmental Agency* (EA), verantwoordelijk voor de waterveiligheid, werkt momenteel ook aan een serie van richtlijnen met *best practices*. Dit worden geen voorschriften.

De *Specification for Highway Works* (HA, 2016) is een veelgebruikt document als basis voor materiaalspecificaties. Grondaanbieders classificeren hun materialen op basis hiervan, waardoor ontwerpers eenvoudig en snel in staat zijn de lokaal beschikbare materialen te inventariseren, in par. 3.2 wordt nader ingegaan op deze aanpak.

Naast dit classificatiesysteem kent het VK enkele krachtige databanken zoals die van de *British Geological Society* (BGS) en die van de *ICE*, waarin uitvoerige beschrijvingen van lokale grondsoorten en hun specifieke gedrag te vinden zijn.

De combinatie van krachtige databanken en het grondclassificatiesysteem vormt in het VK een krachtige basis voor grondgestuurd ontwerpen.

In paragraaf 3.6 wordt dieper ingegaan op het Britse classificatiesysteem in relatie tot verdichtingseisen.

2.2 Frankrijk

2.2.1 Algemene ontwerpcultuur

Van oudsher ligt in Frankrijk de verantwoordelijkheid voor waterveiligheid bij lokale partijen. Dit konden private landeigenaren, bedrijven of overheden zijn. Tot 1994 waren er voor dijken geen normeringen en waren ze ook geen onderdeel van de French committee of large dams (CFBR). Dit veranderde in 1994 door verschillende overstromingen in korte tijd. Sinds 2015 ligt de verantwoordelijkheid voor waterveiligheid altijd bij lokale autoriteiten, onder de *GEMAPI competence*. Deze organisaties beslaan meestal verschillende gemeentes.

In de Franse ontwerpcultuur is een belangrijk onderdeel van het schetsontwerp het bepalen van lokaal beschikbare en bruikbare materialen. In een vroeg stadium vinden al de eerste onderzoeken plaats doormiddel van indicatieve proeven op het aanwezige materiaal. Dit onderzoek dient een eerste inschatting te geven van de kwaliteit en kwantiteit, en wordt uitgebreid in de daaropvolgende ontwerpfasen. Het wordt in Frankrijk zeer belangrijk geacht in dit stadium een goed beeld te hebben van je beschikbare materialen voor het technisch ontwerp om later discussies met de aannemer te vermijden.

Evenals in het Verenigd Koninkrijk zijn er grote verschillen per regio in de beschikbaarheid van materialen. Rond de grote rivieren zoals de Rhône is veel silt en klei beschikbaar in de rivierbedding, maar er zijn ook regio's waar minder geschikte materialen aanwezig zijn. Hier worden vaak constructies en technieken als damwanden of geotextielen toegepast in combinatie met lokaal aanwezig materiaal.

2.2.2 Kennis, richtlijnen en ontwerpverantwoordelijkheden:

Dijken worden ontworpen door ontwerp bureaus in opdracht van de lokale autoriteiten. Deze ontwerpen dienen vervolgens gecontroleerd en goedgekeurd te worden door regionale onderzoeksinstituten zoals het CEMAGREF. Na deze goedkeuring wordt het ontwerp nog door een nationaal gespecialiseerde instellingen op hoofdlijnen beoordeeld. INRAE is een voorbeeld van een dergelijke instelling, welke in opdracht werkt van het ministerie verantwoordelijk voor milieu en omgeving. Door het systeem van accreditatie van bevoegde ontwerp bureaus is het zeer ongebruikelijk en wellicht zelfs onmogelijk, dat ontwerper en uitvoerder gedurende het ontwerpproces samenwerken, bijvoorbeeld in een bouwteam of alliantie.

Er zijn in Frankrijk geen specifieke ontwerprichtlijnen voor dijken. Wel is er een leidraden stelsel voor dammen en bestaat er daarbinnen een ontwerprichtlijn voor kleine dammen, dammen minder dan 25m hoog, (CFGB, 2002) waarin ook een hoofdstuk over dijken is opgenomen. Ontwerpers zijn niet verplicht deze publicaties te hanteren, maar wanneer ze hiervan afwijken is de kans groot dat ze aansprakelijk worden gesteld bij schade. Recent is ook het International Levee Handbook (CIRIA C731, 2013) vertaald in het Frans. De verwachting is dat de toepassing van dit handboek daarom zal toenemen de komende jaren.

Naast deze publicaties werkt het CFBR momenteel aan ontwerpguides waarin de verschillende faalmechanismen uiteengezet worden, en werkt het CFBR aan een gids voor technische ontwerp oplossingen op het gebied van dijkversterkingen. Het idee van beide documenten is dat deze worden uitgebreid over tijd met nieuwe technieken, inzichten en ontwikkelingen. De documenten zijn te vinden op onderstaande website:

<https://barrages-cfbr.eu/Recommandations.html>

Er zijn echter verschillende ontwikkelingen gaande die het dijkontwerp meer centraliseren. Zowel op het gebied van normen en richtlijnen als op het gebied van organisatie van verantwoordelijkheden.

2.3 België

2.3.1 Algemene ontwerpcultuur

Omdat er binnen het interview met Patrick Mengé voornamelijk aandacht is besteed aan de aannemerij en toegepaste technieken is er minder inhoudelijk ingegaan op de ontwerpcultuur van België.

Over het algemeen lijkt de Belgische ontwerpcultuur minder strikt en ingekaderd dan die van Nederland, al wordt er veel naar de Nederlandse normen en richtlijnen gekeken. Ook vanuit de overheid wordt er momenteel gewerkt aan een uitgebreider systeem van normen en richtlijnen geïnspireerd op de Nederlandse aanpak.

Gebruik van afwijkende materialen binnen dijkversterkingen wordt in België maar ook internationaal gestimuleerd door verschillende internationale projectinitiatieven waarbinnen Europese subsidies beschikbaar zijn. Een voorbeeld hiervan is het Europees project USAR (Using Sediment As a Resource), waarbinnen het toepassen van slib in dijkversterkingsprojecten centraal staat. Het is een project opgezet vanuit De Vlaamse Waterweg NV, in samenwerking met vier andere organisaties uit Frankrijk, Nederland en het VK. Vanuit dit project worden vier jaar lang technieken ontwikkeld om het hergebruik van slib mogelijk te maken en te stimuleren.

In België langs de Schelde vindt men meer het Nederlandse type dijken, van wisselend kernmateriaal met kleibekleding.

2.3.2 Kennis, richtlijnen en ontwerpverantwoordelijkheden:

België kent momenteel (nog) geen normen en richtlijnen betreffende dijkenbouw. Er bestaat wel een geotechnische dienst vanuit de overheid, maar er zijn geen instituten of onderzoeksbureaus als Deltares. De ervaring van Patrick Mengé is dat de verantwoordelijke overheidsorganisatie standaard ontwerptekeningen oplevert voor een dijkontwerp aan de ontwerp bureaus, zonder rekening te houden met

de ondergrond. Dit legt, samen met het ontbreken van strikte normen en richtlijnen, meer verantwoordelijkheid bij de ontwerper, die de functionele eisen van de dijk goed moet begrijpen.

Zoals eerder genoemd is de Belgische overheid wel bezig uitgebreidere normen op te stellen, waarbij veel naar de Nederlandse “receptenboekjes” wordt gekeken. Deze normen hebben met name het doel discussies tussen de verschillende betrokken partijen te beperken.

2.4 Duitsland

2.4.1 Algemene ontwerpcultuur

Momenteel staan er in Duitsland veel dijkversterkingen op de planning, verdeeld over verschillende deelstaten. Uitgangspunt bij deze dijkversterkingen is een vingerend principe ontwerp dat per deelstaat wordt opgesteld. Dit ontwerp wordt opgesteld in opdracht van het ministerie van milieu en omgeving door experts als Andreas Bieberstein. Het ontwerp dient in lijn te zijn met de Duitse normeringen en richtlijnen, en bepaalt in grote lijnen hoe een dijk in die deelstaat dient te zijn opgebouwd en te worden versterkt, zie ook par. 2.4.2 en het voorbeeld van de *Driezonen Deichquerschnitt* in par. **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**

Ontwerpkeuzes staan hierin al grotendeels vast. Op basis van en in lijn met deze principe-ontwerpen wordt de dijk vervolgens in meer detail ontworpen door het ontwerpbureau en gerealiseerd door de aannemer.

Duitsland kent vrij strikte richtlijnen en normeringen waaraan bovengenoemde principe-ontwerpen dienen te voldoen. Hierdoor wordt weinig ruimte geboden voor gebruik van lokaal afwijkend materiaal, ondanks dat Duitsland evenals Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk grote verschillen in ondergrond en dus beschikbare materialen kent tussen de verschillende regio's. Er is in het algemeen dan ook geen sprake van grondgestuurd ontwerpen in Duitsland, en materialen worden geregeld geïmporteerd uit andere deelstaten.

Uitzonderingen op de algemene aanpak zijn dijkversterkingen in de Noordelijke deelstaten waarbij baggerspecie wordt toegepast uit de havengebieden. Hierbij heeft het proces van rijping en tijdelijke opslag een grote impact op de omgeving vanwege ruimtebeslag. De tijd van rijping is bij hergebruik van baggerspecie een belangrijk aspect dat moet worden meegenomen. Zie hiervoor ook paragraaf 3.6.

Er zijn voorbeelden bekend waar de aannemer de voorkeur gaf aan het importeren van eigen materiaal van verder weg boven het gebruik van lokaal aanwezig materiaal dat in eigendom was van de dijkbeheerder of een lokale overheid. Dit vanwege financiële belangen. Dergelijke praktijken kunnen ontstaan wanneer getoetst wordt aan van tevoren vastgestelde harde specificaties waarbij geen nuancering mogelijk is vanuit functionele eisen van de waterkering.

2.4.2 Kennis, richtlijnen en ontwerpverantwoordelijkheden:

In Duitsland hanteert men strikte normen en richtlijnen op het gebied van dijkontwerp. Deze zijn vastgelegd in *Flood protection works on rivers* (2013) & *Advisory Guideline DWA-M 507-1E* (2011), en gelden op nationaal niveau. Per deelstaat kunnen aanvullende of afwijkende normeringen en richtlijnen gelden, al is dit niet het geval in de Zuidelijke en Westelijke deelstaten waar Andries Bieberstein actief is. Het richtlijnen handboek uit 2011 is uitgebracht ter vereenvoudiging van een oud normen- en richtlijnenstelsel dat voorheen diende te worden gehanteerd.

De richtlijnen en normeringen schrijven een standaarddijkopbouw voor, waarin dijkonderdelen worden vastgezet en functionele eisen worden vertaald in en versimpeld tot materiaalspecificaties en diktes.

Materiaalspecificaties en eisen worden gesteld op parameters als volumieke gewichten en permeabiliteit en zijn grotendeels gebaseerd op Eurocode 7.

Het is niet eenvoudig af te wijken van de normeringen, en dus is er weinig vrijheid in het gebruiken van afwijkend materiaal wanneer het voorgeschreven materiaal niet lokaal aanwezig is.

Het duurzaamheidsaspect in de normen en richtlijnen is nog in ontwikkeling, maar is momenteel geen expliciet onderdeel van de ontwerpafwegingen in deze publicaties.

Duitsland kent veel grote dammen en op dit gebied is er in het verleden dan ook veel kennis opgebouwd. Er worden de laatste jaren echter geen dammen meer gebouwd vanwege ruimtegebrek en de grote impact op de omgeving. De kennis is nog wel beschikbaar, maar wordt niet ingezet voor dijken gezien een dijkontwerp veel simpeler wordt geacht.

2.5 Zweden

Vanuit de webinar met internationale deelnemers is er ook inzicht gekomen in de ontwerpcultuur van Zweden. In Zweden werden tot voor kort nog geen grootschalige dijken gebouwd. Door de stijgende zeespiegel die samenhangt met de klimaatproblematiek komt hier momenteel echter verandering in, en worden er voor het eerst grootschalige dijken gepland, ontworpen en gebouwd langs kustgebieden rondom de grotere steden.

Doordat er nog weinig kennis aanwezig is op het gebied van dijkontwerp wordt er veel gekeken naar de ontwerppraktijken in het buitenland. Voor de dijken die momenteel al gebouwd zijn is er gebruik gemaakt van lokaal aanwezig materiaal.

2.6 Internationale projecten

Hoe in internationale projecten wordt omgegaan met grondgestuurd ontwerpen is vaak afhankelijk van de ontwerpcultuur en richtlijnen van het land waaruit de ontwerper afkomstig is en van de bekendheid van de ontwerper met andere passende ontwerprichtlijnen en van de regelgeving van het land waarin het project zich bevindt. Het komt heel regelmatig voor dat er op het vlak van waterkeringen geen nationale richtlijnen zijn en dat dit ook buiten het toepassingsgebied van de nationale bouwcode valt. In dat geval wordt een aanpak gekozen waarmee het ontwerp team vertrouwd is wanneer dit niet conflicteert met vigerende nationale richtlijnen. In veel landen in het Midden-Oosten vind je bijvoorbeeld een op Britse leest geschoeide aanpak. Een mooi voorbeeld van grondgestuurd ontwerpen is het ontwerp van de dijken rond de zoutpannen ten zuiden van de Dode Zee. In par. 3.3 is een nadere beschrijving gegeven van grondgestuurd ontwerpen binnen dit specifieke project. In internationale projecten waarbij grondverzet een belangrijke rol speelt, zoals bij dijkenprojecten, dienen wingebieden al in het ontwerp stadium gedetailleerd in kaart te zijn gebracht.

2.7 Europees project USAR

Overkoepelend is binnen Europa met verschillende instanties het samenwerkingsproject USAR opgezet. Binnen dit project, *Using Sediment As a Resource*, worden gedurende vier jaar technieken ontwikkeld om het hergebruik van slib mogelijk te maken voor met name dijkversterkingen. Het is een project opgezet vanuit De Vlaamse Waterweg NV, in samenwerking met vier andere organisaties uit Frankrijk, Nederland en het VK. Vanuit dit project worden vier jaar lang technieken ontwikkeld om het hergebruik van slib mogelijk te maken en te stimuleren. Zie ook paragraaf 3.6.2. Bij dit project is vanuit Nederland het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard betrokken.

2.8 Verschillen in aanpak van dijkversterking met gebiedseigen grond

De Nederlandse aanpak die, net als de Duitse, sterk leunt op de richtlijnen staat soms het gebruik van gebiedseigen grond in de weg. Het feit dat Nederland een sterk ontwikkeld en complex systeem van normen, leidraden en handreikingen heeft is verklaarbaar door de grote overstromingsrisico's en de preventieve strategie die gekozen is om met deze overstromingsrisico's om te gaan. Dit wordt verder versterkt door de traditioneel sterke centrale rol van Rijkswaterstaat, de rol van de kennisinstituten en het goed georganiseerde beheersapparaat van de waterschappen.

Wanneer er buiten de Nederlandse landsgrenzen gekeken wordt valt snel op dat er in een groot deel van Europa een andere ontwerpcultuur heerst. Waar in de Nederlandse ontwerpcultuur het zoeken naar geschikt bouw materiaal vaak pas aan het eind van het ontwerpproces om de hoek komt kijken, is in het Verenigd Koninkrijk en in Frankrijk grondgestuurd ontwerpen gebruikelijk. Door uit te gaan van beschikbaar materiaal wordt de ontwerper gedwongen dichter bij de functionele eisen van een ontwerp te blijven zoals gespecificeerd in de International Levee Handbook [Ref. 1] par 9.13. Figuur 2-1 geeft voor verschillende Europese landen weer hoe wordt omgaan met gebiedseigen materiaal in het dijkontwerp.

Omdat van oudsher de zorg voor waterveiligheid in verschillende landen bij andere, vaak lokale, instanties ligt, is het ontwerpproces minder gestroomlijnd en vastgelegd in normen en richtlijnen. Hierdoor ligt er doorgaans zowel meer vrijheid als verantwoordelijkheid bij de ontwerper, waardoor het hebben van fundamentele kennis van functionele eisen en grondgedrag bij de ontwerper nog essentiëler is om tot een kwalitatief hoogstaand dijkontwerp te komen. Het hebben en kunnen toepassen van deze kennis door de ontwerper is nog meer van belang in landen als Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk doordat er een duidelijke scheiding is tussen ontwerper en uitvoerder. De ontwerper ontwerpt en schrijft (realistische) eind-product specificaties voor (zie ook paragraaf 3.6), en de uitvoerder voert uit en heeft bijna geen ontwerpverantwoordelijkheid.

Er wordt opgemerkt dat er zowel in het VK, België als Frankrijk ontwikkelingen gaande zijn op gebied van standaardiseren van dijkontwerpen door middel van normen en leidraden, en er vaak meer wordt opgeschoven richting het Nederlandse model. Niet alleen om een bepaald kwaliteitsniveau te waarborgen, maar ook om discussies tussen verschillende betrokken partijen te kunnen beperken. Naar deze ontwikkelingen wordt door de geïnterviewden echter met enige argwaan gekeken.

In het Verenigd Koninkrijk en Frankrijk vindt in een vroeg stadium van het ontwerptraject onderzoek plaats naar beschikbaar materiaal en de eigenschappen hiervan. Een belangrijke reden hiervoor is dat er binnen deze landen grote verschillen zijn in bodemopbouw en dus ook in beschikbaarheid van materiaal. Ook is er in deze landen van oudsher een meer reactieve strategie als het gaat om overstromingsrisico's in vergelijking tot Nederland waardoor dijkontwerprichtlijnen wat minder ver ontwikkeld of minder dwingend zijn als het gaat om materiaaleisen. Als gevolg hiervan verschilt de ontwerppraktijk van dijken soms sterk per regio. Dit wordt ook benoemd in de International Levee Handbook (CIRIA C731, 2013) par 3.2., waar dieper wordt ingegaan op de verschillen in dijkopbouw, geometrie en componenten die voortvloeien uit het gebruik van lokaal materiaal.



Figuur 2-1 – Verschillende Europese ontwerpculturen met betrekking tot de toepassing van gebiedseigen grond

Tabel 2-1 toont een overzicht van kenmerkende verschillen in aanpak tussen Grondgestuurd ontwerpen en de ontwerpen waarbij de richtlijnen sturend zijn bij de totstandkoming van het ontwerp.

Tabel 2-1: Kenmerkende verschillen in grondgestuurd en richtlijn-gestuurd ontwerpen

Grondgestuurd ontwerpen	Richtlijn-gestuurd ontwerpen
Lokale materialen bepalend voor het principe ontwerp.	In ontwerp is lokaal beschikbaar materiaal niet sturend.
Principe ontwerp gaat uit van samenspel materialiseren en geometrisch ontwerp. Uitwisselbaarheid moet mogelijk zijn.	Het principe ontwerp volgt uit ontwerp binnen kaders van richtlijnen en uit wensen en eisen van beheerder.
Vooronderzoek beschikbaar materiaal aan begin van ontwerptraject.	Onderzoek naar beschikbaarheid materiaal bij uitvoerende partij aan einde van ontwerptraject. Bij uiteindelijke partijkeuze speelt locatie winplaats vaak geen (dominante) rol.
Vroegtijdig inzicht in materiaaleigenschappen en in uitvoeringsaspecten zoals tijd en ruimte die benodigd is voor de bouw.	Materiaaleisen vaak gestandaardiseerd. Materialiseren van de dijk ontstaat gelijdelijk tijdens het ontwerpproces en wordt vaak pas aan het eind heel concreet.
Lerend ontwerpen: materiaalkennis, uitvoeringskennis en kennis lange termijn gedrag en beheer. Monitoren tijdens hele levenscyclus (ontwerp – uitvoering – beheer).	<i>Comply or explain:</i> Afwijkingen mogelijk met onderbouwing.
Ontwerpteam in optima forma: ontwerper, uitvoerder en beheerder vormen samen ontwerpteam (bouwteam of alliantievorm). In veel ontwerpculturen is deze samenwerkingsvorm erg ongebruikelijk of zelfs onmogelijk. In dat geval dient ontwerper over ruime kennis van dijkontwerp en uitvoering te beschikken.	Ontwerpteam hangt af van fase waarin ontwerp zich bevindt. Aan begin nadruk op kennis richtlijnen en aan eind nadruk op uitvoeringskennis en vakmanschap.
Veel verantwoordelijkheid bij ontwerper(s).	Veel technisch inhoudelijke verantwoordelijkheid bij overheden en instituten die technische leidraden vaststellen.

3 TECHNIEK

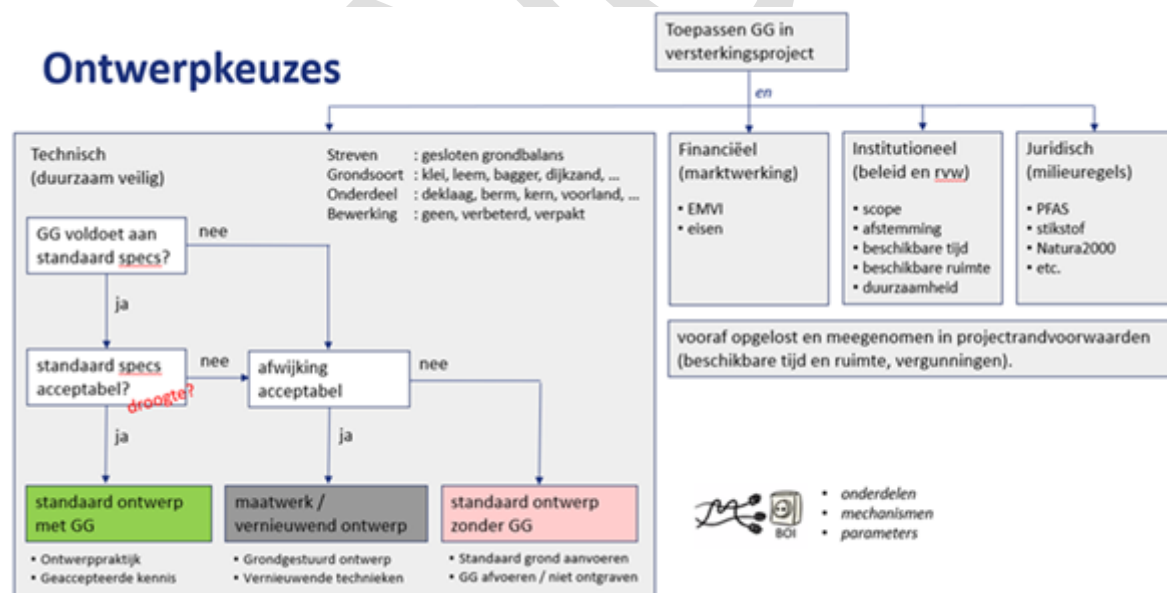
3.1 Technische uitwerking van grondgestuurd ontwerpen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op voorbeelden van grondgestuurd ontwerpen. Figuur 3-1, een bewerking van het beslisschema uit het syntheserapport van fase 1 van de POV DGG, maakt inzichtelijk hoe er vanuit Nederlands perspectief naar het gebruik van gebiedseigen grond kan worden gekeken. Bij het gebruik van gebiedseigen grond zijn verschillende situaties te onderscheiden:

1. Gebiedseigen grond voldoet aan standaard eisen, dus men kan volstaan met een richtlijnontwerp.
2. Gebiedseigen grond heeft geringe afwijkingen die kunnen worden gecompenseerd in dimensies van het onderdeel waar deze grond wordt toegepast of een grondbewerking
3. Gebiedseigen grondeigenschappen leiden tot andere opbouw en/of functietoekenning aan onderdelen. Dit kan zijn uit noodzaak (omdat GG niet voldoet aan standaard eisen) of uit opportuniteit (omdat GG beter is dan de standaard eisen).

De situaties 1 en 2 sluiten goed aan op de huidige ontwerppraktijk in Nederland en Duitsland. Er wordt gezocht naar de nuances bij de harde specificaties uit de richtlijnen. Daarbij is het van belang om terug te kunnen gaan naar de functionele eisen achter de materiaalspecificaties.

Situatie 3 zien we meer wanneer het gebruik van gebiedseigen materiaal vanaf het begin van het project centraal staat. Voorbeelden hiervan zijn het Europese project USAR, de Britse praktijk en vele internationale projecten waarbij gebruik van lokaal beschikbaar materiaal het uitgangspunt is.



Figuur 3-1: Beslisschema omgaan met gebiedseigen grond vanuit Nederlands perspectief

In dit hoofdstuk worden voorbeelden gegeven van buitenlandse ervaringen met grondgestuurd ontwerpen. Bij verschillende facetten uit het ontwerpproces is stil gestaan bij grondgestuurd ontwerpen:

- Vooronderzoek (par. 3.2)
- Vaststellen van principe ontwerp en geometrisch ontwerp (par. 3.3 en par. 3.4)
- Vaststellen van materiaal- en uitvoeringsspecificaties (par. 3.5 en par. 3.6)
- Lange termijn gedrag, monitoring, beheer en onderhoud (par. 3.7)

3.2 Vooronderzoek

Zoals Nederlandse bouwers en ontwerpers vertrouwd zijn met de Standaard RAW Bepalingen als het gaat om eisen aan bouwmaterialen in de GWW-sector zo gelden in het Verenigd Koninkrijk de Standards for Highway Works die zijn gepubliceerd door de Highway Agency (HA). De zogenaamde *Series NG 600: Earthworks* van de Specification for Highway Works (HA, 2016) is een veel gebruikte specificatie voor grondwerken die in de praktijk een veel bredere toepassing heeft dan infrastructurele werken waarvoor het document is opgesteld. De publicatie bevat een lijst met ca. 40 soorten materialen voor grondconstructies met de bijbehorende eigenschappen inclusief verdichtingseigenschappen en -methoden per materiaal en een omschrijving van de standaard toepassingen van deze materialen. Britse grondaanbieders classificeren hun materialen op basis hiervan. Met name de directe koppeling tussen materialen en de uitvoeringsmethode geeft snel inzicht in de gebruiksmogelijkheden van een groot aantal materialen. Daarbij wordt zowel aangegeven wat realistische eindproduct specificaties zijn alsook een vrij gedetailleerde indicatie van verdichtingsmethoden en -inspanning, zie ook paragrafen 3.6.4 en **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**

In de Franse richtlijn voor ontwerp en uitvoering van kleine dammen (CFGB, 2002) is in alle fasen, van haalbaarheidsstudies tot aan het tenderontwerp, aandacht voor onderzoek naar winplaatsen. In een detailontwerpfase stelt de ontwerper hoeveelheden en kwaliteit van het lokaal beschikbare materiaal vast, dus voordat er een aannemer in beeld is. Dit wijkt af van de Nederlandse en Duitse praktijk waar vaak pas in de realisatiefase uitgebreid naar winplaatsen wordt gekeken.

3.3 Principe ontwerp

3.3.1 Verschillende typen dijken

De toepassingsmogelijkheden van gebiedseigen grond in de dijk hangen direct samen met hoe de dijk is opgebouwd uit functionele onderdelen. De vrijheid die de ontwerper heeft bij het opstellen van het principe-ontwerp verschilt sterk van land tot land en van beheerder tot beheerder.

Het International Levee Handbook (CIRIA C731, 2013) geeft een overzicht van allerlei verschillende typen dijken met verschillende functionele onderdelen. In grote lijnen wordt onderscheid gemaakt in:

- Homogeneous levees: weinig functionele onderdelen. Het kernmateriaal combineert vele functies. Dijken met homogene kern maar met een taludbekleding of teendrainage worden ook wel homogene dijken of pseudozoned levees genoemd.
- Zoned levees: meerdere functionele onderdelen met ieder specifieke functies.

- Composite levees: samenstelling grond en constructie. Constructie verzorgt deel van waterkerende functies.

Eenzelfde soort indeling wordt ook gehanteerd in Frankrijk (CFGB, 2002) en Duitsland (DWA-M 507-1E, 2011).

Table 3.16 Components and functions

Structural components of levees	Existence within levee	Functions of components				
		External protection	Stability	Impermeability	Drainage	Filtration
Foundation soil	Always present		■			
Earthfill	Always present		■			
Impermeable core	Sometimes present			■		
Impermeable mask	Sometimes present	■	■	■		■
Crest	Always present	■			■	
Waterside revetment	Sometimes present	■	■	■		■
Landside revetment	Sometimes present	■	■		■	■
Waterside berm	Sometimes present	■	■	■		■
Landside berm	Sometimes present		■		■	■
Filter layers	Sometimes present				■	■
Drainage system	Sometimes present				■	
Relief wells	Sometimes present		■			
Cut-offs and seepage barriers	Sometimes present			■		
Walls	Sometimes present	■	■	■		■

Key	
■	Always play a role regarding the function
■	Sometimes play a role regarding the function
	Not applicable

Figuur 3-2: Components and functions, bron: (CIRIA C731, 2013)

3.3.2 Homogene dijken

Dijken met een homogene dijk kern komen vaak voor in gebieden waar veel klei beschikbaar is, zoals langs rivieren. In kustgebieden, waar meer zand beschikbaar is, worden vaker zanddijken aangetroffen. Deze zanddijken worden afgedekt met een cohesieve bekledingslaag. Veel van de Nederlandse dijken kunnen worden beschouwd als homogene dijk al worden de Nederlandse dijken altijd afgedekt met een aparte erosiebestendige bekleding. In het buitenland (Engeland en Duitsland) is het toepassen van een kleibekleding op een homogene kleidijk minder gebruikelijk.

In de interviews is stil gestaan bij ontwerp overwegingen rond de keuze voor kernmateriaal. De volgende zaken zijn daarbij genoemd:

- Klei als kernmateriaal kan als hoogwaardiger all-in materiaal worden beschouwd. Beter bestand tegen uitwendige erosie vooral bij overtopping en een nog niet volgroeide graszode (schadegevallen in VK).
- Kleidijken hebben grotere weerstand tegen interne erosie. Proeven met doorstromen van gaten in zand en klei in Schotland gaven enorme verschillen.
- Zanddijken hebben kleikern nodig. Zo ontwerpen dat kleikern voldoende is ingepakt in granulair materiaal (dammen met 3 m waakhogte in Fr) en kleikern met granulair materiaal aan weerszijde (Schotland). Nadeel harde bescherming bij aanzienlijke golfbelasting buiten proportioneel (New Orleans, Australië)
- Ongunstige bijkomstigheid bij kleidijken is de gevoeligheid voor scheurvorming, vooral in bovenste 30 tot 50 cm. Gevolg infiltratie van water en zwel. Bij overtopping breken kluiten klei af. Tijd van overtopping bepalend. In VK is duur van overtopping event relatief kort en kan ook in zomer optreden.
- 40 tot 50% van dijkdoorbraken in het VK wordt veroorzaakt door overtopping. Overtopping zoekt altijd zwakste punt (lokale zetting, slechte grasmat of verstoring) Vooral als dijken niet goed verdicht zijn leidt overtopping vrijwel altijd tot falen van de dijk (*'agricultural embankments'* in Scotland of net aangelegde dijken zonder goedontwikkelde grasmat)

Over het algemeen is de overtuiging van de geïnterviewden dat kleidijken een aanzienlijk groter incasseringsvermogen bezitten dan zanddijken. Het zou logisch zijn wanneer het voordeel van de hogere erosiebestendigheid van de kleikern ook zou worden meegenomen in het ontwerp of bij de keuze van kernmateriaal. Dit voordeel wordt bij een ontwerp volgens de Nederlandse richtlijnen niet meegenomen waardoor de voordelen van een kleidijk op dit punt vaak ondergewaardeerd blijven. Wanneer er in een gebied zowel gebiedseigen klei als zand voorkomt is het belangrijk dat de ontwerper zich van dergelijke verborgen robuustheid bewust is en dat ook laat meewegen bij de keuze tussen een zand- of een kleikern.

3.3.3 Gezoneerde dijken

In gevallen waar in wingebieden onvoldoende materiaal voor een homogene kern wordt aangetroffen is een gezoneerde dijk een goed alternatief. De kern van dit type dijken bestaat uit een combinatie van doorlatende en minder doorlatende materialen. De figuur 3-3 geven schetsmatig plaatjes. Afhankelijk van de lokale situatie wordt wel gekozen voor een kleikern of een dikke buitenbekleding. Dat laatste methode is het meest gebruikelijk in de dijkenbouw en zal in de meeste gevallen ook het meest economisch zijn. Toch zijn er ook landen en regio's waar juist wordt gekozen voor het principe van een kleikern. Voorbeelden hiervan zijn bij de interviews ter sprake geweest en worden hieronder kort toegelicht.

Verschillende buitenlandse ontwerprichtlijnen zoals (DIN 19712:2013-01, 2013) en (USACE, 2000) geven daarbij aan dat bij gezoneerde dijken het slecht doorlatende materiaal (zoals klei) aan de buitenzijde van de dijk moet worden toegepast en doorlatende materialen aan de binnenzijde. Ook in Nederland is dit een gebruikelijk principe. In de jaren '90 zijn vele oude kleidijken langs de Waal volgens dit principe versterkt waardoor een gezoneerde dijk is ontstaan. De binnenbermen werden dan opgebouwd uit het zandiger materiaal wat lokaal werd gewonnen en de buitenbekleding of nieuwe kern bij een buitenwaartse verlegging werd in klei opgebouwd.

Een overzicht van vele varianties in gezoneerde dijken met meer detail in functionele onderdelen is weergegeven in (CIRIA C731, 2013).

“Zoned levees are typically constructed when one type of material is scarce or there is an abundance of another type of material that needs to be used. In cases where the site material used as earthfill is too permeable (gravel, sand etc) the cost of transporting material imposes the reduction of those volumes.” (CIRIA C731, 2013)

Hieronder volgen een aantal aandachtspunten die van belang zijn wanneer een gezoneerde dijk wordt overwogen:

- Bij toepassen van gezoneerde dijken moet ontwerper goed nadenken over uitbreidbaarheid, zoals ophoging in toekomst.
- Herleidbaarheid. De zones in dit type dijken hebben vaak verschillende afmetingen. In de toekomst is het van belang om te weten hoe de dijk op een bepaalde locatie precies is opgebouwd.
- Bodemprocessen en scheurvorming kan een groot effect hebben op doorlatendheid en sterkte van (het bovenste deel van) de bekledingslaag.
- Bij zoneovergangen tussen materialen met een zeer verschillende korrelverdelingsopbouw moeten filterlagen of geotextiel worden aangebracht om uitspoeling van fijnere delen naar de grovere zone te voorkomen. Dergelijke filters compliceren de uitvoering.
- Verdichting: het aanbrengen van een gezoneerde dijk maakt dikwijls de uitvoering wat complexer en kan ook de wijze van verdichten hinderen. Met name wanneer grond in smalle zones moet worden aangebracht, zoals de filter lagen.
- Zones met materialen van verschillende doorlatendheid beïnvloeden de waterhuishouding in het dijklichaam. Wanneer dit wordt gedaan vanuit het principe van “toenemende doorlatendheid van buiten naar binnen” komt dit de waterveiligheid ten goede. Dit werkt bijzonder goed wanneer wordt gewerkt met goed gesorteerde materialen. Wanneer wordt gewerkt met heterogeen materiaal dan ontstaat het risico van schijn grondwaterstanden en een lastig te beheersen waterregime in de dijk.

Plaatje toevoegen

Figuur 3-3: Schets van homogene en gezoneerde dijk

Gezoneerde dijken bieden bij uitstek mogelijkheden voor het toepassen van gebiedseigen grond. Hieronder een aantal voorbeelden.

Schotland

Uit het interview met Philip Smith bleek dat dit met name het geval is in Schotland waar over het algemeen een tekort is aan klei en waar grind en zand in ruime mate in het projectgebied aanwezig is. Het werken met een dijk met een ondoorlatende kleikern is dan gebruikelijk.

Dammen in Frankrijk

In het zuiden van Frankrijk wordt voor aarden dammen vaak gebruik gemaakt van een gezoneerde opbouw vanwege het tekort aan slecht doorlatende kleien. In dat geval wordt vaak een kern van klei toegepast en wordt de rest van de dam opgebouwd uit doorlatend en granulair materiaal.

Voorbeeld internationaal project

Aan de Zuidzijde van de Dode Zee bevindt zich zowel aan de Israëliëische zijde als aan de Jordaanse zijde een uitgebreid dijkensysteem rond kunstmatige zoutwaterbekkens waaruit mineralen worden gewonnen. Aan de Jordaanse kant zijn de dijken oorspronkelijk door een combinatie van Britse en Amerikaanse ingenieursbureaus ontworpen. Bij aanvang van het werk is een uitgebreide onderzoekscampagne, van geologisch tot geotechnisch, opgezet. Al in het beginstadium zijn wingebieden ingericht. Het lokaal beschikbare materiaal is bepalend geweest voor het principeontwerp van de dijken. Daar waar overvloedig siltige klei beschikbaar was, is gekozen voor een dijk met kleikern met zanddrains aan de benedenstroomse zijde en in gebieden waar weinig klei maar juist meer granulair materiaal was is gekozen voor een dijk opgebouwd uit granulair materiaal met een kleikern. Alle materialen van drainage materiaal, filters tot aanvulmateriaal en bekleding zijn afkomstig uit verschillende groeven in het gebied.

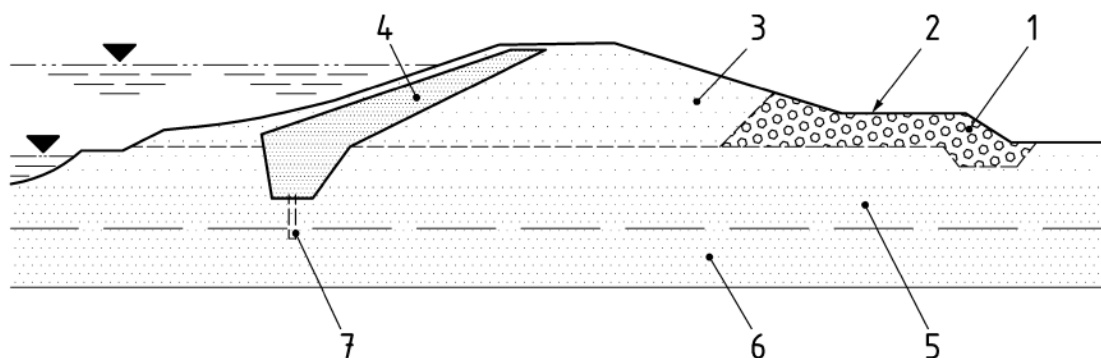
Plaatje toevoegen

Figuur 3-4: Grondgestuurd ontwerpen in het Dode Zeegebied: a) dijk hoofdzakelijk bestaande uit lokaal aanwezige siltige klei; b) dijk hoofdzakelijk bestaande uit granulair materiaal

Duitsland

In Duitsland is de gezoneerde dijk beschreven in de landelijk richtlijn (DIN 19712:2013-01, 2013) en dit principe-ontwerp is veel door deelstaten overgenomen. Fig. 3-3 geeft een voorbeeld van een mogelijke standaard voor een zgn. klasse .. dijk (zwaarste categorie) van deelstaat ... Er is daar gekozen voor een gezoneerde dijk.

Toepasbaar op bouw van nieuwe dijken.



Legende

- 1 Dränkörper
- 2 Deichverteidigungsweg
- 3 Durchlässiger Stützkörper
- 4 Dichtungsschicht
- 5 Gering durchlässiger Untergrund, hochliegend
- 6 Gering durchlässiger Untergrund, tiefliegend
- 7 Wandartige Dichtung im Untergrund

Figuur 3-5: Voorbeeld van Zonierten Deichquerschnitt met drie zones conform (DIN 19712:2013-01, 2013)

Voorbeeld dijkversterking met gebruik bestaande dijk (Nederland)

In Nederland verschilt het per waterschap in welke mate het principe-ontwerp al aan het begin van een project vaststaat. In een verkenningsfase is vaak vrij veel vrijheid maar het komt ook voor dat waterschappen bepaalde principes beleidsmatig vastzetten. In Nederland gaat het bij dijkversterkingen vaak om versterkingen waarbij de bestaande dijk voor een groot deel intact wordt gehouden. In dat geval dient de keuze van de materialen ook te worden afgestemd met de bestaande dijk. Zo is het onlogisch om een zanddijk naar binnen te versterken in klei in verband met de interne waterhuishouding in de dijk. Een ander aspect dat ook een rol kan spelen bij gebruik van gebiedseigen grond in Nederland is de kruinhoogte en het toelaatbaar overslagdebiet. Er is een tendens om grotere overslagdebieten toe te staan. Dit stelt hogere eisen aan de stabiliteit en erosiebestendigheid van het binnenbeloop van de dijk en dus ook aan de materialisering.

3.3.4 Composietdijken

Dijken met een constructief element, zoals een langsconstructie, geotextiel etc, worden door alle ondervraagden genoemd. Daarbij is het gebruik van harde langsconstructies een standaard toepassing in gevallen waar ruimte voor een grondlichaam ontbreekt, zoals bij dijken in een bebouwd gebied. Bij toepassing van dergelijke constructies is de hoeveelheid grond vaak beperkt. Voor het onderzoek naar gebiedseigen grond toepassing is dit type dijk daarom wat minder relevant.

3.3.5 Dijkversterkingen: vierkant, naar binnen of naar buiten?

De toepassingsmogelijkheden van gebiedseigen grond variëren per functioneel onderdeel: Een binnenwaartse berm laat een bredere range aan grondsoorten toe dan een buitenbekleding. Om deze reden is het voor de toepassingsmogelijkheden van lokale grond ook van belang of bestaande dijken buitenwaarts, binnenwaarts of recht omhoog (vierkant) worden versterkt. Deze keuze wordt vaak al in een vroeg stadium gemaakt en daarbij speelt het al dan niet toepassen van gebiedseigen grond in de praktijk een zeer beperkte rol omdat andere randvoorwaarden en belangen vaak zwaarder wegen maar ook omdat er geen inzicht is in beschikbaarheid van lokaal winbare grond. Wanneer in een vroegtijdig stadium meer bekend is over hoeveelheden van lokaal beschikbare grond zou dit aspect ook al eerder bij afwegingen mee kunnen worden genomen. In dat geval wordt de benadering van grondgestuurd ontwerp toegepast.

Uit de interviews kwam het beeld naar voren dat veel landen, zoals Frankrijk en Duitsland, op een vergelijkbare manier als in Nederland worstelen met de afweging tussen beperkte beschikbare ruimte binnendijks (landeigendommen) en beperkingen voor versterkingen richting rivier (rivierkundige effecten)¹. In hoeverre de beschikbaarheid in lokale grondsoorten een rol speelt bij het binnen- of buitenwaarts versterken is niet duidelijk geworden. Waarschijnlijk is de rol van gebiedseigen grond bij deze afweging zelden dominant.

3.4 Geometrisch ontwerp

Wanneer de opbouw van de dijk is vastgesteld en functionele onderdelen zijn gedefinieerd kan begonnen worden met het bepalen van de dimensies. Dit gebeurt vaak door middel van ontwerpberekeningen. In sommige ontwerp-culturen, zoals de Duitse, zijn een groot aantal dimensies al met het principe ontwerp vastgelegd, zoals dikte van bekleding, taludhellingen en hoogtes van berm en kruin. In andere landen waaronder Nederland bepaalt de ontwerper deze dimensies aan de hand van ontwerprichtlijnen en algemene technische kennis en kunde.

Een interessante vraag is in hoeverre er uitrustmogelijkheden zijn tussen “functionele onderdelen met mindere kwaliteit en forsere dimensies” en “betere kwaliteit en krappere dimensies”. Uit de interviews en uit het bestuderen van de ontwerprichtlijnen blijkt dat er geen rekenkundige mogelijkheden zijn voor het uitwisselen van kwaliteit en geometrie, met uitzondering van:

- volumegewicht van aanvulmateriaal in berm: berm materiaal heeft vaak een vrij eenzijdige set aan functionele eisen. Vooral voldoende gewicht en voldoende doorlatend. Als het om gewicht gaat is de uitwisseling met geometrie simpel, maak de berm wat dikker. Doorlatendheid is oplosbaar door functie scheiding: drainagelaag op de zate van de berm. Dit is ook in het buitenland erg gangbaar.
- taludhelling en eisen van buitenbekleding: flauwe helling biedt ook mogelijkheden voor schralere klei. Ook in het buitenland is deze uitwisseling gebruikelijk al zijn er geen hele concrete ontwerpregels voor. Het komt dan vooral neer op algemene grondmechanische kennis.

Wel wordt in richtlijnen erg verschillend omgegaan met de sterkte van het kernmateriaal van dijken. Daarbij is een sterke koppeling met de uitvoeringswijze (verdichting).

¹ Wel wordt in Duitsland nog steeds op grote schaal buitenwaarts versterkt waarbij de bestaande dijk zelfs geheel wordt verwijderd en buitenwaarts geheel nieuw weer wordt opgebouwd al dan niet met hergebruik van bestaand dijkmateriaal.

3.5 Materiaal- en uitvoeringsspecificaties

In grote lijnen zijn de geotechnische materiaalspecificaties voor dijkmateriaal in de verschillende ontwerprichtlijnen vergelijkbaar: visuele inspectie, classificatie testen (korrelverdelingen, Atterbergse grenzen en organische stof), proctorproeven, watergehalte en in-situ dichtheid meting. Naast geotechnische specificaties zijn er milieutechnische specificaties die sterk variëren per land en waarna in het kader van deze inventarisatie geen verder speurwerk naar is verricht. In sommige richtlijnen, zoals de Franse, wordt de functionele eis aan waterdoorlatendheid van een slecht-waterdoorlatende kern of laag in een gezoneerde dam gekoppeld aan de korrelverdeling. In het Verenigd Koninkrijk worden ook eisen gesteld aan de verkneede sterkte van grond en de air voids ratio bij verdichten.

De geïnterviewden gaven aan dat er een sterke link bestaat tussen de verdichtingsgraad en consistentie van het aan te brengen dijkmateriaal en de functionele eisen zoals waterdoorlatendheid, erosiebestendigheid, samendrukbaarheid en sterkte.

“An important part of the thought process on picking the material goes out to compaction of the earthworks material. The link between the nature of the fill material, the level of compaction targeted and the engineering characteristics of the compacted fill is critical.”
Philip Smith

Eisen aan de verdichting verschillen per functioneel onderdeel. In de Amerikaanse richtlijn (USACE, 2000) wordt expliciet onderscheid gemaakt in verschillende klassen van verdichting, zie paragraaf 3.6.3.

Vanwege het grote belang van goede verdichting wordt in verschillende richtlijnen het belang van watergehaltebepaling in wingebieden of in gronddepots benadrukt. Deze relatief eenvoudige proef geeft een goede indicatie van de verdichtbaarheid. Alle richtlijnen, inclusief de Nederlandse RAW, gebruiken het Optimum Moisture Content (OMC) als referentie voor de eisen die gesteld worden aan het watergehalte bij aanbrengen. Enkele richtlijnen geven indicatieve waarden voor het OMC per grondsoort of indicaties van een bandbreedte waartussen het watergehalte moet liggen bij aanbrengen. In Nederland is de bandbreedte gekoppeld aan het OMC (ondergrens) en de consistentie index (bovengrens). Waarbij de laatste varieert per functioneel onderdeel.

Omdat het van essentieel belang is dat de aan te brengen grond met het juiste watergehalte wordt aangebracht is hieronder verder in detail ingegaan op de verschillende fasen van grondverwerking tussen winning en plaatsen en verdichten.

Niet voor alle functionele onderdelen is een goede verdichting essentieel. Het is zelfs mogelijk dat dunne bermen op samendrukbare ondergrond bij zeer sterk verdichting brosgedag en scheurvorming gaan vertonen (ervaring bij internationaal project).

3.6 Dichtheids-/verdichtingseisen

Het proces van grondverzet bestaat meestal uit: ontgraven, in depot plaatsen en laten rijpen, laagsgewijs aanbrengen en verdichten in de ophoging. Gedurende deze processen verandert de staat waarin de grond zich bevindt.

“Belangrijkste vraag bij minderwaardig materiaal is, hoe krijg je het verdicht? Wanneer je materiaal voldoende verdicht krijgt, heb je doorgaans een zeer geschikt materiaal voor dijkversterkingen. Zo is slib eigenlijk het slechtste spul dat je kan bedenken, maar wordt het prima bouw materiaal wanneer het goed verdicht is. De verdichtbaarheid is zeer sterk gelinkt aan het watergehalte. Beide onderstaande gehanteerde methode zijn hier dan ook op gericht.”
Patrick Menger

3.6.1 Winnen

Het gaat hier om het ontgraven en roeren van de grond. Wanneer de kleigrond in de winlocatie relatief dichtgepakt is dan zal het percentage poriën en lucht in de klei zelf maar ook zeker tussen brokken cohesieve grond bij het winnen toenemen en als gevolg daarvan zal het volume aan grond toenemen: uitlevering.

Bij winnen en verwerken is het van belang dat de grond over het juiste watergehalte beschikt. Niet te droog en niet te nat. Bij te natte grond is kunstmatig rijpen een essentiële schakel in het verwerkingsproces.

3.6.2 Rijpen

Onder invloed van geochemische en microbiële processen zullen de eigenschappen van klei vaak verbeteren. Dit is mede een gevolg van ‘verdrogen versus vernatten’ en ‘bevrozen versus dooien’. Door deze processen nemen erosiebestendigheid en de sterkte van het materiaal toe in de tijd (Deltares, 2020). Rijpen is dus niet uitsluitend een consolidatieproces.

Dat rijping een aanzienlijk effect heeft op geotechnische eigenschappen wordt door vele Nederlandse en buitenlandse geotechnici onderkend. Uit grondonderzoek blijkt dat de kleikern van bestaande kleidijken een relatief hoge dichtheid en sterkte bezit. De (ongedraineerde) schuifsterkte van een kleikern is hoger dan op basis van spanningsgeschiedenis mag worden verwacht. Ongedraineerde triaxiaalproeven laten vaak een dilatante gedrag zien wanneer het monster onder relatief hoge spanning wordt geconsolideerd om normaal geconsolideerd gedrag te benaderen.

Het rijpen van klei is vaak een essentiële schakel in het uitvoeringsproces wanneer de klei in de winplaats een te hoog watergehalte bezit. Wanneer de klei te nat naar de bouwplaats wordt gebracht is het niet mogelijk om het op de juiste wijze te verdichten. Let wel: verdichting zorgt niet voor het uitpersen van water maar vooral voor het omvormen van kluiten tot een homogene massa met een beperkte hoeveelheid lucht insluiting.

“Where compacted levees are planned, it is necessary to obtain borrow material with water content low enough to allow placement and adequate compaction. The cost of drying borrow material to suitable water contents can be very high, in many cases exceeding the cost of longer haul distances to obtain material that can be placed without drying. Borrow soils

undergo seasonal water content variations; hence water content data should be based on samples obtained from borrow areas in that season of the year when levee construction is planned. Possible variation of water contents during the construction season should also be considered.”
(USACE, 2000)

Bij het omvormen van slib of baggerspecie tot ophoogmateriaal wordt de techniek van het laguneren toegepast. Bij het laguneren wordt het slib ontwaterd door zwaartekracht en verdamping onder natuurlijk verloop. Het watergehalte wordt gereduceerd door het materiaal ‘op ruggen’ te zetten en deze ruggen regelmatig om te keren. Andere mogelijkheden van (mechanisch) ontwateren zijn “pers” fabrieken of op kleinere schaal mobiele filterpersen. Hierbij worden “koeken” gefabriceerd door het slib in een geotextiele zak onder hoge druk te ontwateren. Een voorbeeld van toepassing daarvan is het AMORAS project in de haven van Antwerpen.

Uit het interview met Patrick Menger en ook tijdens de Webinar met internationale experts kwamen vele voorbeelden ter sprake van bewerken van baggerspecie tot een geschikt aanvulmateriaal in dijken. In Vlaanderen zijn verschillende voorbeelden die laten zien wat het effect is van rijpen. Ook in de Bremen en Hamburg wordt baggerspecie verwerkt tot kernmateriaal in dijken.

Uit de interviews en webinars bleek dat de beschikbare tijd en ruimte voor het rijpen van klei of baggerspecie één van de belangrijkste thema’s is die de haalbaarheid van het toepassen van dit type gebiedseigen grond bepalen. Praktijkkennis over rijping is dus al in een vroeg stadium van een ontwerp of haalbaarheidstudie nodig. De geotechnische karakterisering van het materiaal en ook de wijze van winning of de manier van baggeren heeft invloed op het rijpingsproces. Het gaat hier om een ambacht waar kennis en vakmanschap vooral aanwezig is bij de uitvoerders en bij de ingenieursafdelingen van de grotere aannemers uit deze sector.

3.6.3 Verdichten

Verdichten is het proces van het verwijderen van holle onverzadigde ruimten tussen de kluiten klei en de lucht in de klei zelf. Bij verdichten neemt de verzadigingsgraad in cohesief ophoogmateriaal af. Bij verdichtbaarheid is het van cruciaal belang dat de grond op het juiste watergehalte wordt gebracht voorafgaand aan het verdichten.

Het is in sommige gevallen acceptabel om een lagere verdichting te accepteren. In (USACE, 2000) wordt een categorie-indeling gehanteerd voor onderdelen van een gezoneerde dijk. Voor de kern en bekleding worden hoge eisen gesteld (verdichtingscategorie I of II) en voor de bermen een lager eisen (categorie II of III), zie figuur 3-6

Table 7-1
Classification According to Construction Method of Levees Composed of Impervious and Semipervious Materials

Category	Construction Method	Use
I. Compacted	Specification of: <ol style="list-style-type: none"> Water content range with respect to standard effort optimum water content Loose lift thickness (152.4 mm to 228.6 mm (6-9 in.)) Compaction equipment (sheepsfoot or rubber-tired rollers) Number of passes to attain a given percent compaction based on standard maximum density Minimum required density 	Provides embankment section occupying minimum space. Provides strong embankments of low compressibility needed adjacent to concrete structures or forming parts of highway systems. Requires strong foundation of low compressibility and availability of borrow materials with natural water contents reasonably close to specified ranges. Used where field inspection is not constant throughout the project.
II. Semicompacted	Compaction of fill materials at their natural water content (i.e., no water content control). Borrow materials known to be too wet would require some drying before placement. Placed in thicker lifts than Category I (about 304.8 mm (12 in.)) and compacted either by controlled movement of hauling and spreading equipment or by fewer passes of sheepsfoot or rubber-tired rollers. Compaction evaluated relative to 15-blow compaction test.	The most common type of levee construction used in reaches where: <ol style="list-style-type: none"> There are no severe space limitations and steep-sloped Category I embankments are not required. Relatively weak foundations could not support steep-sloped Category I embankments. Underseepage conditions are such as to require wider embankment base than is provided by Category I construction. Water content of borrow materials or amount of rainfall during construction season is such as not to justify Category I compaction.
III. Uncompacted	<ol style="list-style-type: none"> Fill cast or dumped in place in thick layers with little or no spreading or compaction. Hydraulic fill by dredge, often from channel excavation. 	Levees infrequently constructed today using method except for temporary emergency. Both methods are used for construction of stability berms, pit fills and seepage berms.

Figuur 3-6: Onderscheid in verdichtingscategorieën voor dijken. Bron: (USACE, 2000).

Voor een goede verdichting is een vrij stevige ondergrond nodig. Bij situaties waar de ondergrond niet stijf genoeg is voor goede verdichting zal de werkwijze moeten worden aangepast, zoals bijvoorbeeld een methode van voorverdichten op een plek waar de ondergrond steviger is.

3.6.4 Verdichtingsspecificaties

Het proces van verdichten en benodigde verdichtingsmaterieel is sterk afhankelijk van de aan te brengen grondsoort. In het Verenigd Koninkrijk is een uitgebreide Method Specification beschikbaar waarin per grondsoort is aangegeven met welke verdichtingsmachine, bij welke laagdikte en met welke verdichtingsintensiteit moet worden gewerkt.

De ontwerper heeft daarbij de keuze om verdichtingseisen voor te schrijven in de vorm van zogenaamde Method Specifications (zoals aantal passages van een verdichtingsmachine en het soort verdichtingsmaterieel) of End-product Specifications waarin de mate van verdichting na plaatsen wordt gecontroleerd.

Method specification

Deze vorm is eenvoudig uitvoerbaar en controleerbaar maar heeft het risico dat de werkelijke verdichting niet wordt gemeten. Figuur 3-7 geeft een illustratie van method specifications uit (HA, 2016) die in het Verenigd Koninkrijk veel worden toegepast voor infrastructuur maar ook voor dijken.

TABLE 6/4: (02/16) Method Compaction for Earthworks Materials: Plant and Methods (Method 1 to Method 6)
(This Table is to be read in conjunction with sub-Clause 612.10)

Type of Compaction Plant	Ref No.	Category	Method 1		Method 2		Method 3		Method 4		Method 5		Method 6		
			D	N#	D	N#	D	N#	D	N	D	N	N for D = 110 mm	N for D = 150 mm	N for D = 250 mm
Smoothed wheeled roller (or vibratory roller operating without vibration)	1	Mass per metre width of roll: over 2100 kg up to 2700 kg	125	8	125	10	125	10*	175	4	unsuitable	unsuitable	unsuitable	unsuitable	unsuitable
	2	over 2700 kg up to 5400 kg	125	6	125	8	125	8*	200	4	unsuitable	16	unsuitable	unsuitable	unsuitable
	3	over 5400 kg	150	4	150	8	unsuitable		300	4	unsuitable	8	16	unsuitable	unsuitable
Grid roller	1	Mass per metre width of roll: over 2700 kg up to 5400 kg	150	10	unsuitable		150	10	250	4	unsuitable	unsuitable	unsuitable	unsuitable	unsuitable
	2	over 5400 kg up to 8000 kg	150	8	125	12	unsuitable		325	4	unsuitable	20	unsuitable	unsuitable	unsuitable
	3	over 8000 kg	150	4	150	12	unsuitable		400	4	unsuitable	12	20	unsuitable	unsuitable
Deadweight tamping roller	1	Mass per metre width of roll: over 4000 kg up to 6000 kg	225	4	150	12	250	4	350	4	unsuitable	12	20	unsuitable	unsuitable
	2	over 6000 kg	300	5	200	12	300	3	400	4	unsuitable	8	12	20	unsuitable
Pneumatic-tyred roller	1	Mass per wheel: over 1000 kg up to 1500 kg	125	6	unsuitable		150	10*	240	4	unsuitable	unsuitable	unsuitable	unsuitable	unsuitable
	2	over 1500 kg up to 2000 kg	150	5	unsuitable		unsuitable		300	4	unsuitable	unsuitable	unsuitable	unsuitable	unsuitable
	3	over 2000 kg up to 2500 kg	175	4	125	12	unsuitable		350	4	unsuitable	unsuitable	unsuitable	unsuitable	unsuitable
	4	over 2500 kg up to 4000 kg	225	4	125	10	unsuitable		400	4	unsuitable	unsuitable	unsuitable	unsuitable	unsuitable
	5	over 4000 kg up to 6000 kg	300	4	125	10	unsuitable		unsuitable		unsuitable	12	unsuitable	unsuitable	unsuitable
	6	over 6000 kg up to 8000 kg	350	4	150	8	unsuitable		unsuitable		unsuitable	12	unsuitable	unsuitable	unsuitable
	7	over 8000 kg up to 12000 kg	400	4	150	8	unsuitable		unsuitable		unsuitable	10	16	unsuitable	unsuitable
	8	over 12000 kg	450	4	175	6	unsuitable		unsuitable		unsuitable	8	12	unsuitable	unsuitable
Vibratory tamping roller		Mass per metre width of a vibrating roll:													
	1	over 700 kg up to 1300 kg	100	12	100	12	150	12	100	10	unsuitable	unsuitable	unsuitable	unsuitable	unsuitable
	2	over 1300 kg up to 1800 kg	125	12	125	12	175	12*	175	8	unsuitable	12	unsuitable	unsuitable	unsuitable
	3	over 1800 kg up to 2300 kg	150	12	150	12	200	12*	unsuitable		unsuitable	8	12	unsuitable	unsuitable
	4	over 2300 kg up to 2900 kg	150	9	150	9	250	12*	unsuitable	400	5	6	10	unsuitable	unsuitable
	5	over 2900 kg up to 3600 kg	200	9	200	9	275	12*	unsuitable	500	6	6	10	unsuitable	unsuitable
	6	over 3600 kg up to 4300 kg	225	9	225	9	300	12*	unsuitable	600	6	4	8	unsuitable	unsuitable
	7	over 4300 kg up to 5000 kg	250	9	250	9	300	9*	unsuitable	700	6	3	7	12	unsuitable
8	over 5000 kg	275	9	275	9	300	7*	unsuitable	800	6	3	6	10	unsuitable	

Figuur 3-7: Voorbeeld van method specification: Pagina uit de Series 600 van de Specifications for Highway Works (HA, 2016). D is laagdikte en N# het aantal passages van de verdichtingsmachine.

In andere landen zoals België, Frankrijk en Nederland worden dergelijke “methode specificaties” niet aan een aannemer opgelegd maar wordt volstaan met een specificatie van het te bepalen verdichtingsresultaat en de wijze van controleren. Kennis en kunde zit bij aannemer. Bij het controleren van de stabiliteit tijdens de uitvoering zal een aannemer dan ook voor een belangrijk deel op eigen inzichten afgaan als het gaat om de sterkte en draagkracht van het ophoogmateriaal.

End-product specification

Bij deze specificaties wordt op parameters zoals watergehalte, dichtheid en relatieve dichtheid (bij cohesieloos materiaal) en air voids ratio getoetst. Deze manier vergt een grotere inspanning tijdens het werk. Een doorlopende testcampagne zal worden uitgevoerd voorafgaand en tijdens de uitvoering. Dit wordt vaak voor een groot deel in een veldlab op het werk uitgevoerd. De ontwerper die dergelijke specificaties opstelt dient over ruime praktische kennis van de testen te beschikken en dient van tevoren in te kunnen schatten of de gestelde eisen kunnen worden behaald bij de betreffende grondsoort. Wanneer de eisen niet gehaald kunnen worden kan dit in een contractuele context tot vertraging en claims leiden ondanks dat de bovenliggende functionele eisen wel gehaald kunnen worden. Daarom is het belangrijk in deze gevallen altijd te kunnen en mogen schakelen naar de achterliggende functionele ontwerpisen.

TABLE 6/1: (02/16) Acceptable Earthworks Materials: Classification and Compaction Requirements (See footnotes) (continued)

Class	General Material Description	Typical Use	Permitted Constituents (All Subject to Requirements of Clause 601 and contract specific Appendix 6/1)	Material Properties Required for Acceptability (In Addition to Requirements on Use of Fill Materials in Clause 601 and Testing in Clause 631)				Compaction Requirements in Clause 612	Class		
				Property (See Exceptions in Previous Column)	Defined and Tested in Accordance with:	Acceptable Limits Within:					
						Lower	Upper				
GENERAL	2 A - Wet cohesive material	General Fill	Any material, or combination of materials, other than chalk.	(i) grading	BS 1377: Part 2	Tab 6/2	Tab 6/2	Tab 6/4 Method 1 except for materials with liquid limit greater than 50, determined by BS 1377: Part 2, only deadweight tamping or vibratory tamping rollers or grid rollers shall be used.	2	A	-
				(ii) plastic limit (PL)	BS 1377: Part 2	-	-				
				(iii) mc	BS 1377: Part 2 See Note 4	PL -4%	App 6/1				
				(iv) MCV	Clause 632	App 6/1	App 6/1				
				(v) Undrained shear strength of remoulded material	Clause 633	App 6/1	App 6/1				
COHESIVE	2 B - Dry cohesive material	General Fill	Any material, or combination of materials, other than chalk	(i) grading	BS 1377: Part 2	Tab 6/2	Tab 6/2	Tab 6/4 Method 2	2	B	-
				(ii) plastic limit (PL)	BS 1377: Part 2	-	-				
				(iii) mc	BS 1377: Part 2 See Note 4	App 6/1	PL -4%				
				(iv) MCV	Clause 632	App 6/1	App 6/1				
				(v) undrained shear strength of remoulded material	Clause 633	App 6/1	App 6/1				
FILLS	2 C - Stony cohesive material	General Fill	Any material, or combination of materials, other than chalk	(i) grading	BS 1377: part 2	Tab 6/2	Tab 6/2	Tab 6/4 Method 2	2	C	-
				(ii) plastic limit (PL)	BS 1377: part 2	-	-				
				(iii) mc	BS 1377: Part 2 See Note 4	App 6/1	App 6/1				
				(iv) MCV	Clause 632	App 6/1	-				
				(v) Undrained shear strength of remoulded material	Clause 633	App 6/1	-				

Figuur 3-8: Voorbeeld van End product specification: Pagina uit de Series 600 van de Specifications for Highway Works (HA, 2016)

Verdichtingsproeven en proefterpen

Het bouwen van proefterpen op kritieke en representatieve locaties langs het tracé van de dijk is een goede gewoonte die past bij grotere projecten en bij het werken in bouwteams of allianties waarbij aannemers al in een vroeg ontwerpstadium zijn aangehaakt.

In het buitenland in afgelegen gebieden met onbekend terrein is dit een gebruikelijke aanpak. Zo zijn in men vanaf het begin bij het opzetten van het zoutpannensysteem in de Dode Zee in de jaren '50 begonnen met het bouwen van de proefterpen en het meten van het grondgedrag in en onder deze terpen. Essentiële bouw- en ontwerpparameters zijn bepaald zoals: de te bereiken dichtheid, ontwikkeling van ongedraineerde schuifsterkte onder en naast de terpen, doorlatendheden en consolidatieparameters. De Britse grondgestuurde aanpak was voor dit project dus bij uitstek geschikt en misschien wel de enige methodiek om hier te kunnen ontwerpen.

Andere maatregelen om verdichtbaarheid te bevorderen

Er zijn alternatieve methoden om het watergehalte van de grond te beïnvloeden zoals het toevoegen van additieven zoals kalk waardoor vrij water wordt gebonden of het gebruik van persfabrieken zoals bij het project Amoras in Antwerpen.

Bij het gebruik van additieven zal de ontwerper moeten nagaan hoe het materiaalgedrag wordt beïnvloed. Onderzocht moet worden is of er geen risico's kunnen ontstaan door bros gedrag, zoals scheurvorming en dientengevolge interne erosie (contact erosie) en externe erosie van delen van het dijklichaam. Dit geldt met name bij bouwen op slappe ondergrond (interview Rémy Tourment).



Figuur 3-9: Toevoegen van kalk toegepast bij dijk Vlassenbroekse polder (Terra et Aqua 138, 2015)

Bij grootschalige landaanwinningen worden ook andere nog meer ingrijpende maatregelen toegepast. De Hydraulic Fill Manual (CUR 244, 2012) geeft een overzicht met voorbeelden van dergelijke technieken. Niet al deze technieken zijn direct toepasbaar op dijken van wege schaalgrootte (dwarsprofiel) en effect op waterhuishouding in de dijk.

3.7 Beheer, onderhoud en lange termijn gedrag

In voorgaande paragrafen is veel aandacht geweest voor het controleren van materiaal-eisen en verdichting tijdens de uitvoering. Hier is kennis van de uitvoerders van groot belang. Na het opleveren van het werk blijft het dijklichaam zich ontwikkelen. Enkele voorbeelden:

- Over het algemeen wordt de kleikern van een dijk in de loop van de tijd steeds sterker als gevolg van diverse processen onder de noemer van aging. Echter bepaalde zones kunnen door bodemprocessen juist gestructureerd raken waardoor bijvoorbeeld de doorlatendheid toeneemt. Ook is het mogelijk dat bepaalde zones in een dijk die bij aanleg goed verdicht waren maar juist in de loop der jaren losser gepakt raken door zettingsverschillen of door het uitdijen van de zate als gevolg van forse zettingen.
- Graverijen en vegetatie (bomen) kunnen de kwaliteit van de erosiebestendige bekleding aantasten. In het VK en Frankrijk werden voorbeelden genoemd van achteruitgang van de grasmat bij matig dijkmanagement.
- Effecten van langdurige droogte. Volgens Philip Smith is droogte een terechte zorg. Veel droogte gerelateerde problemen hangen af van het kleigehalte en de verdichtingsgraad. Deze zaken bepalen de gevoeligheid voor krimp en zwel. Als klei erg compact is heeft het de neiging om te zwellen, als het niet goed verdicht is dan heeft het de neiging om in elkaar te vallen ("collapse"). In het VK worden ook eisen gesteld aan maximale *air void-ratio* waarmee risico van collapse kan worden beheerst. Ook de (CIRIA C731, 2013) beschrijft hoe in het buitenland wordt omgegaan met verdroging en scheuren (par. 9.12.2 van IHL).
- Zwelgevoelige materialen zijn ook gevoelig voor volumeverandering en scheurvorming als materiaal afwisselend nat en droog is. Vette kleien zijn zwelgevoelig en schalere kleien zijn minder bestand tegen overtopping erosie. Hiervan moet de ontwerper zich bewust zijn bij specificeren van materialen en samenhang met ontwerp. Onderzoek in VK uitgevoerd.

Bij toepassen van onbekende materialen of materialen die niet aan standaard specificaties voldoen is het des te meer van belang om ook na uitvoering langdurig te blijven monitoren. Dit is dus een vaste component van grondgestuurd ontwerpen.

4 CONCLUSIES EN ADVIES VERVOLG POV DGG

4.1 Conclusies

De inventarisatie van de buitenlandse praktijk in relatie tot het toepassen van lokaal winbare materialen heeft de volgende inzichten opgeleverd:

- De ontwerpculturen op het gebied van dijken in de landen om ons heen variëren sterk. In enkele landen, zoals het Verenigd Koninkrijk en Frankrijk, maar vooral ook in internationale projecten verder weg, is grondgestuurd ontwerpen zeer gebruikelijk. In Nederland en Duitsland wordt vaak pas in een later stadium naar het lokaal aanwezige materiaal gekeken en staat het ontwerpen volgens ontwerprichtlijnen meer centraal. Onze “richtlijn-gestuurde” aanpak kan het gebruik van lokaal aanwezige grond in de weg staan, omdat in het begin gemaakte principiële ontwerpkeuzen geen rekening hielden met lokale materialen. Daarmee is vaak onbewust de keuzemogelijkheid voor het toepassen van lokale materialen beperkt. Grondgestuurd ontwerpen werkt bij uitstek in een vroeg stadium van het ontwerp wanneer het principe-ontwerp kan worden afgestemd op de aanwezige grond. Hiervan zijn vele voorbeelden te vinden in het VK en vooral ook in internationale projecten buiten Europa.
- In de meeste van de onderzochte richtlijnen wordt gesteld dat homogene dijken, dijken met een homogene kern, de voorkeur hebben boven gezoneerde dijken. Toch wordt in vrijwel alle richtlijnen juist uitgebreid ingegaan op de gezoneerde dijken omdat daar de toepassingsmogelijkheden van gebiedseigen grond groter zijn. In veel Duitse deelstaten is een gezoneerde dijk vaak zelfs het principe-ontwerp voor de hoogste categorie primaire dijken.
- De verdichtbaarheid is een bepalende factor binnen het onderzoek naar lokale materialen. Veel functionele eisen zoals doorlatendheid, sterkte en erosiebestendigheid zijn direct gekoppeld aan verdichting. Deze eisen kunnen binnen een dijkdoorsnede variëren afhankelijk van de zone of het onderdeel waarin de grond wordt toegepast. In buitenlandse richtlijnen is dit ook duidelijk terug te vinden.
- Rijping is een zeer essentieel facet bij de verwerking van grond tot een goed bouw materiaal. Bij de toepasbaarheid van baggerspecie in dijkbouw is rijping en de daarvoor benodigde tijd en ruimte zelfs bepalend voor de haalbaarheid van toepassing van dit type gebiedseigen grond. Praktijkkennis over rijping is dus al in een vroeg stadium van een ontwerp nodig. De geotechnische karakterisering van het materiaal en ook de wijze van winning of de manier van baggeren heeft invloed op het rijpingsproces. Het gaat hier om een ambacht waar kennis en vakmanschap vooral aanwezig is bij de uitvoerders en bij de ingenieursafdelingen van de grotere aannemers uit deze sector.
- Na het opleveren van het werk blijft het dijklichaam zich ontwikkelen en veranderen eigenschappen. Afhankelijk van de zone en het materiaal zullen veranderingen positief dan wel negatief zijn. Bodemprocessen, zetting en langdurige droogte spelen hierbij een rol. Het is daarom van belang om het gedrag van een dijk te blijven monitoren. Bij toepassen van onbekende materialen of bekende materialen die niet aan standaard specificaties voldoen is het des te meer van belang om ook na uitvoering langdurig te blijven monitoren. Dit is dus een vaste component van grondgestuurd ontwerpen.

4.2 Advies voor vervolgonderzoek binnen het resterende programma van de POV DGG

De inventarisatie van buitenlandse kennis is een goed initiatief van de POV DGG. Deze inventarisatie heeft naast interessante observaties op het vlak van grondgestuurd ontwerpen ook een aantal aanbevelingen voor de vervolgfase van de POV opgeleverd:

- Voor het stimuleren van grondgestuurd ontwerpen met gebiedseigen grond is het van belang om ontwerpers, beheerders en bestuurders bewust te maken van het feit dat grondgestuurd ontwerpen inhoudt dat vooronderzoek naar aanwezige materialen meer naar voren moet worden getrokken in het ontwerpproces. De POV DGG zou kunnen onderzoeken hoe deze strategie past in de huidige werkwijze en ontwerpfasering. Suggesties hiervoor zijn al gedaan in de webinars, zoals het verplichten om materiaalconsequenties al meenemen in de verkenningsfase. De POV zou hierin ook het BOI kunnen betrekken.
- Ontwerpvrijheid en deskundigheid zijn belangrijk voor het succesvol toepassen van gebiedseigen grond. Kijk uit voor een “kookboek cultuur”.
- Meer aandacht bij ontwerper voor link tussen verdichting, I_c , watergehalte en functionele eisen/ontwerpparameters. Verdichtingseisen zijn in de Nederlandse praktijk dikwijls een sluitstuk bij het opstellen van een bestek terwijl dit in het buitenland een veel dominantere rol speelt in het vroege ontwerpproces.
- Het transporteren en verwerken van grond vanaf de winlocatie tot aan het aanbrengen en verdichten in de dijk is een proces dat bestaat uit meerdere stappen waarin rijping een belangrijke rol kan spelen. Voor rijping is voldoende tijd en ruimte nodig. Projectrandvoorwaarden ten aanzien van tijd en ruimte kunnen bepalend zijn voor de haalbaarheid van het gebruik van gebiedseigen grond. Betrek daarom mensen met praktische kennis en vakmanschap vroegtijdig in het ontwerpproces. De POV zou een rol kunnen spelen in het bijeenbrengen van praktische en theoretische kennis bij het ontwerp en uitvoering van dijken.
- Stimuleer kennisontwikkeling rond grondgestuurd ontwerpen bij HWBP-projecten. De POV zou kunnen onderzoeken hoe deze kennisontwikkeling en daarna kennisuitwisseling door het HWBP kan worden gestimuleerd. De POV zou een rol kunnen spelen bij het adviseren over welke grondkennis/data vanuit grote programma's beschikbaar zou moeten worden gesteld.

Referenties

- CFGB. (2002). *Small dams - Guidelines for design, construction and monitoring*. Comité Francais des Grands Barrages. Cemagref Editions and ENGREF.
- CIRIA C731. (2013). *The International Levee Handbook*. London: CIRIA.
- CUR 244. (2012). *Hydraulic Fill Manual for dredging and reclamation works*. Leiden: CRC Press/Balkema.
- Deltares. (2020). *Technische Kansen en Mogelijkheden; Dijkversterking met gebiedseigen Grond*. Delft.
- DIN 19712:2013-01. (2013). *Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern. Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN*. Berlin: Deutsches Institut für Normung.
- DWA-M 507-1E. (2011). *Deiche an Fließgewässern - Teil 1: Planung, Bau und Betrieb*. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
- HA. (2016). *Manual of Contract documents for Highway Works - Volume 1: Specification for Highway Works (SHW), incl amendments 2016*. Highways Agency. London: The Stationery Office.
- ICE. (2012). *ICE manual of geotechnical engineering*. Institute of Civil Engineers. London: ICE Publishing.
- RHDHV. (2020). *Analyse succesfactoren en gebiedspotentieel dijkversterking met gebiedseigen grond*. Nijmegen.
- Terra et Aqua 138. (2015). *The use of engineered sediments for dyke construction in the flood control area of Vlassenbroek*.
- USACE. (2000). *Engineering and design - design and construction of levees*. US Army Corps of Engineers, Washington DC.
- USAR. (2019). *Application of contaminated sediments in embankments: First results from a pilot study in Flanders, Belgium*.

Appendices

CONCEPT

A1 Interview Patrick Mengé (B)

Afgenomen op 12 oktober 2020

1. Introductie geïnterviewde

Patrick Mengé werkt momenteel bij DEME als hoofd van de 14-koppige geotechnische afdeling voor baggerwerken. Voorafgaand aan zijn loopbaan bij DEME was hij o.a. werkzaam als doctor aan de universiteit, en heeft hij verschillende dijkenprojecten gedraaid binnen de Vlaamse overheid (MOW – Afdeling Geotechniek).

Na zijn loopbaan bij de overheid en universiteit is hij uitgekomen bij de aannemerij, waar hij o.a. aan zeer grote bagger- en landaanwinningsprojecten heeft gewerkt. Een voorbeeld hiervan is TUAS Terminal Phase 1 in Singapore, waar meer dan 20 meter moest worden opgevuld met gebaggerde slib. TUAS is volgens Patrick Mengé een van de vele voorbeelden die laten zien dat het gebruik van minderwaardige grond momenteel een wereldwijd thema is binnen de bouw. Dit o.a. met het oog op duurzaamheid, en het niet altijd beschikbaar hebben van de standaard materialen.

2. Projecten

2.1 Dijkversterking in stroomgebied Schelde

2.1.1 Projectomschrijving

Eén van de projecten waar DEME bij betrokken is en “Gebiedseigen grond” centraal staat is een project in een getijrivier in het stroomgebied van de Schelde. Hier wordt de rivier momenteel uitgebaggerd en verbreed. Parallel hieraan wordt de vrijgekomen baggerspecie gebruikt om de dijken rondom een overstromingsgebied op te hogen. Het betreft een traject van een aantal kilometers, waar over het grootste gedeelte weinig bebouwing langs de dijk aanwezig is.

Het toepassen van slib in dijkversterkingsproject wordt onder meer mogelijk gemaakt door het Europees project USAR. Using Sediment As a Resource, is een project opgezet vanuit De Vlaamse Waterweg NV, in samenwerking met vier andere organisaties uit Frankrijk, Nederland en het VK. Vanuit dit project worden vier jaar lang technieken ontwikkeld om het hergebruik van slib mogelijk te maken en te stimuleren.

Om binnen het project de baggerspecie geschikt te maken als dijksmateriaal, worden twee technieken toegepast. Het ‘laguneren’ of uitdrogen (rijpen) van het slib en bijmenging van kalk/cement. Hierbij wordt het slib eerst gelaguneerd om het watergehalte te reduceren, en wordt bij uitvoering gemeten of en hoeveel cement er dient te worden toegevoegd om de gewenste waarde geotechnische karakteristieken te bekomen na inrijden met beperkte verdichting en uitharden.

2.1.2 Organisatorisch

Het project is onderdeel van het Europese onderzoeksproject USAR waarbij nadrukkelijk gestuurd wordt op het toepassen van het baggerslib in de dijkversterking. Omdat dit ook zo is aanbesteed, is er meer ruimte in de uitvoering voor (aanvullend) onderzoek en wijzigingen in de planning. Dit zal zeer lastig zijn bij een project dat niet op een dergelijke manier is opgezet en aanbesteed.

Ondanks dat het project gericht is op hergebruik van slib, waren het aangeleverde referentieontwerp en de hieruit voortvloeiende eisen voor het bestek ontwerp hier niet op afgestemd. Dit geeft normaliter in veel

projecten al weinig ruimte om af te wijken van het gebruikelijke materiaal. Binnen dit project zorgde het ook voor de nodige discussies, maar was er genoeg ruimte en wilskracht om alsnog van gestelde eisen af te kunnen wijken.

2.1.3 Materiaal & methodiek

Belangrijkste vraag bij minderwaardig materiaal is, hoe krijg je het verdicht? Wanneer je materiaal voldoende verdicht krijgt, heb je doorgaans een zeer geschikt materiaal voor dijkversterkingen. Zo is slib eigenlijk het slechtste spul dat je kan bedenken, maar wordt het prima bouw materiaal wanneer het goed verdicht is. De verdichtbaarheid is zeer sterk gelinkt aan het watergehalte. Beide onderstaande gehanteerde methode zijn hier dan ook op gericht.

We mogen natuurlijk niet vergeten het 'minderwaardig materiaal' goed geotechnisch te karakteriseren. Zo hebben we zelden met zuiver granulometrische fractie klei te maken, maar veeleer met mengsels van zand, silt en klei die een fijnkorrelige grond vormen met lage doorlatendheid, maar toch goede sterkte-eigenschappen wanneer goed verdicht.

Het slib dat voorkomt in het gebied en project is te karakteriseren als zand- en kleihoudend silt.

Laguneren:

Het slib laguneren, ofwel het ontwateren door zwaartekracht en verdamping onder natuurlijk verloop en versterkt door het 'op ruggen' zetten van het materiaal en regelmatig 'omkeren' van die ruggen, zorgt voor een eerste reductie in watergehalte. Andere mogelijkheden van (mechanisch) ontwateren zijn "pers" fabrieken of op kleinere schaal mobiele filterpersen. Hierbij worden "koeken" gefabriceerd door het slib in een geotextiele zak onder hoge druk te ontwateren. Een voorbeeld van toepassing daarvan is het AMORAS project in de haven van Antwerpen.

De mate van ontwatering die kan worden bereikt met laguneren hangt sterk af van het slib en de beschikbare tijd en ruimte. Binnen het project in het stroomgebied van de Schelde wordt slib mechanisch gebaggerd. Dit zorgt voor een lager watergehalte in de gebaggerde specie, waardoor het slib door middel van laguneren sneller tot een bruikbaar product kan worden omgezet.

Bijmenging cement:

Het bijmengen van kalk en cement heeft twee functionele doeleinden:

Primair: Watergehalte reduceren, en hiermee verwerkbaarheid en verdichtbaarheid vergroten. Dit is van toepassing wanneer door lagunering alleen niet het gewenste resultaat tijdig wordt bereikt.

Secundair: Materiaal versterken (schuifweerstand). Dit is nodig omdat door het te hoge watergehalte bij verwerking de klassieke compactie-eisen die in Vlaanderen worden getest aan de hand van de plaatproef, niet kunnen worden bereikt. Om het gewenste watergehalte in het slib te bepalen, is bepaald bij welke verdichtingsgraad het materiaal voldoende sterkte heeft. Deze sterkte is afgeleid uit de ontwerpeisen voor de benodigde materiaalsterkte voor stabiliteit. Ter bepaling van het benodigde watergehalte en daarmee verdichtingsgraad zijn triaxiaalproeven uitgevoerd bij verschillende verdichtingsgraden.

Er wordt zowel kalk als cement toegevoegd. Dit helpt om de discussie te ondervangen dat kalk mogelijk uitloopt op de lange termijn. Kalk wordt toegevoegd om het watergehalte direct te verminderen, en cement om de sterkte te garanderen op de langere termijn.

2.1.4 Ontwerp

De materialisering van het dijkontwerp bestaat bijna uitsluitend uit slib. Het materiaal heeft zowel voldoende sterkte als een geschikte permeabiliteit om het gehele dijklichaam te vormen.

Het enige onderdeel waarvan nog niet vaststaat of het met slib aangebracht kan worden is de deklaag. Dit omdat niet duidelijk is of gemengd slib ingezaaid kan worden. Hiervoor lopen momenteel proeven binnen het project Vlassenbroek. Wanneer dit niet mogelijk is wordt er verder gekeken naar beschikbaar slib met een lager watergehalte en hoger kleigehalte om te voldoen aan de Nederlandse eisen voor erosiebestendigheid van klei. Daarnaast is de vraag of er überhaupt een aparte erosiebeschermingslaag nodig is, of dat het dijkmateriaal zelf (zonder stabilisatie) voldoende erosie beschermend is na volledige ontwikkeling van de gras-begroeiing voor deze rivier (omstandigheden).

Door het toepassen van gecementeerd materiaal is het ruimtebeslag op delen van het traject zelfs minder in vergelijking met conventionele dijkontwerpen. Door een hogere cohesie kunnen taluds steiler worden opgezet (1:3) dan gebruikelijk is in België (1:5).

2.1.5 Uitvoering

Het gemengde slib heeft bij aanbrenging de consistentie van een soort pasta die wordt uitgesmeerd. Na aanbrengen kan er pas na 1 a 2 dagen op gereden worden door bulldozers. Dit maakt het planningstechnisch gecompliceerder.

2.1.6 Planning

Idealiter wordt de toepassing van kalk beperkt en wordt het slib met name ontwaterd middels laguneren. Laguneren vergt echter dermate veel ruimte en tijd in de uitvoeringsplanning dat dit in veel projecten maar op beperkte wijze kan worden toegepast.

Om tot een optimaal en zo goedkoop mogelijk dijkontwerp te komen, werden al tijdens inschrijving proeven uitgevoerd door DEME. Dit waren eenvoudigere snelle proeven om een eerste indicatie van het materiaal te geven. Hiervoor heeft DEME zijn eigen laboratorium. Binnen het project was er vervolgens tijd en financiële ruimte voorzien om uitgebreider onderzoek te doen naar de eigenschappen van het slib.

Uitdagingen en nadelen

Het bijmengen van kalk en cement maakt het een vrij duur bouw materiaal. De bijmenging beslaat tussen 2% en 10% van het materiaalgewicht.

Klant moet overtuigd worden van de kwaliteit van het materiaal na uitharding.

Uitvoering blijft mensenwerk. Zeker bij dergelijke nieuwe, meer complexere materialen en technieken is kwaliteitsborging tijdens uitvoering zeer belangrijk.

2.2 Project Vlassenbroek

Een vergelijkbaar project binnen de scope van USAR is project Overstromingsgebied Vlassenbroek, waarbij ook gebaggerde specie wordt gebruikt een dijk te verhogen. Binnen dit project lopen ook proeven om gecementeerd slib in te zaaien. Hiermee wordt gepoogd ook de deklaag met gecementeerd slib te kunnen aanbrengen. DEME is niet direct betrokken bij dit project. Een publicatie hierover uit Terra et Aqua is te vinden in de bijlage.

Oorspronkelijk was binnen dit project beoogd geotubes toe te passen, gevuld met slib. Dit werd binnen de uitvraag vanuit de overheid door Deltares aangeraden. Echter zagen zowel DEME als Jan van Nul hier geen heil in vanwege voorziene vervormingen en vervormingsverschillen van de hydraulisch te vullen geotubes, en is in beide aanbiedingen hier niet op ingegaan.

2.3 Project Amoras

Binnen het project Amoras wordt er slib uit de haven van Antwerpen bewerkt middels bezinking en persing tot “koeken”, waarmee een 50 meter hoge berg wordt aangelegd. Momenteel wordt dit vooral gedaan om grote hoeveelheden slib op een beperkt oppervlak op te kunnen slaan, maar er lopen verschillende parallelle onderzoeksporen waarbinnen onderzocht wordt hoe en waarvoor dit product ook een functionele toepassing kan krijgen.

2.4 TUAS TERMINAL PHASE 1

Binnen TUAS in Singapore had DEME, ondanks het (verplicht) samenwerken met een lokale consultant, een ontwerpende rol. De kennis m.b.t. grondverbetering kwam hierbij uit DEME zelf, omdat kennis hierover voornamelijk bij de aannemerij zit, meer dan bij de consultants.

3. Type ontwerpeisen, internationaal

Patrick Mengé is puur functionele eisen nog bijna nooit tegengekomen in projecten. Het project dat hier nog het dichtstbij in de buurt komt is de Maasvlakte II, waarbij een eisenboom werd opgesteld die was afgeleid van functionele eisen. Vaak is het zo dat een klant zegt functionele eisen te stellen, maar dat dit niet zo is. Er worden dan toch bepaalde eisen aan materialen gesteld (conusweerstand, compactiegraad), of de ontwerper durft uiteindelijk niet af te wijken van de standaard materialen.

Daarnaast is het puur en alleen uitgaan van functionele eisen zeker niet ideaal. De ervaring van PM is dat je zo terecht komt in eindeloze discussies tussen de klant, ontwerper, onderzoeksbureau en uitvoerder. De uitdaging is om een bepaald abstractieniveau te vinden waarop functionele eisen gesteld kunnen worden, zodat de aannemer voldoende vrijheid heeft, maar de beheerder er ook mee verder kan. Ook ontkom je vaak niet aan ontwerpeisen, simpelweg door restricties vanuit het ruimtebeslag. Patrick Mengé meent dat een benadering op functionele eisen waarschijnlijk alleen werkt in bepaalde samenwerkingscontracten (bijv. een alliantie), waarbij beide partijen voordelen hebben van de oplossingen en optimalisaties die worden uitgewerkt. Wanneer niet onder een dergelijk samenwerkingscontract wordt gewerkt zal het financiële voordeel of nadeel van de ene of andere partij een open technische discussie altijd in de weg staan.

In België bestaan geen regels en richtlijnen betreffende dijkenbouw. Er bestaat wel een geotechnische dienst vanuit de overheid, maar er zijn geen instituten of onderzoeksbureaus als Deltares. Ervaring van Patrick Mengé uit zijn werkzaamheden, is dat het verantwoordelijk bestuur standaardtekeningen oplevert voor een dijkontwerp zonder enige rekening te houden met de ondergrond. Dit legt meer verantwoordelijkheid bij de ontwerper, waarbij deze de functionele eisen goed moet begrijpen. Echter is de Belgische overheid momenteel wel bezig uitgebreidere normen op te stellen, waarbij veel naar de Nederlandse “receptenboekjes” wordt gekeken. Dit om discussies te beperken.

Er zijn meer projecten, met name in het Midden-Oosten, waar juist hele strenge onmogelijke materiaaleisen worden gesteld. Dit zijn vaak eisen die uit Europese standaarden komen, maar die compleet afwijken van het materiaal dat lokaal aanwezig is. Zoals verdichtingseisen van kalkzanden waaraan moeilijk kan worden voldaan terwijl het materiaal een uitstekende dichtheid bezit en bestand is tegen ontwerpbelastingen.

4. Materiaalkennis, Aannemerij en Ontwerpbureaus

Binnen projecten is er vaak niet vanzelfsprekend financiële ruimte om uitvoerig onderzoek te doen naar de (lokale) materialen. Hiervoor heeft DEME intern wel een grote studiedienst, om de kennis zelf te

ontwikkelen en in de hand te kunnen houden. Intern moet er echter vaak wel geknokt worden om hier financiële ruimte voor te krijgen, dit is vaak makkelijker bij grote projecten gezien onderzoek in die projecten maar een klein deel van het kostenplaatje vormt. Binnen kleine projecten is hier weinig ruimte voor, en is het project in het stroomgebied van de Schelde een uitzondering op de regel vanwege subsidie vanuit USAR.

Voor ontwerp bureaus is het lastig om al een goede inschatting van bruikbaarheid en eigenschappen van de lokale grond te maken. Dit vanwege de vaak beperkte praktijkervaring, die nodig is om tot praktische (alternatieve) oplossingen te komen. De aannemer staat met z'n voeten in de modder, en daar worden vaak de oplossingen gevonden. Er is daarom zeer veel interactie tussen veld, lab en kantoor binnen DEME. Patrick Mengé is groot voorstander van ECI-contracten, waarbij er in een vroeg stadium al interactie is tussen klant, ontwerp bureaus en aannemer. Studiebureaus op zichzelf zijn geneigd een bewezen robuuste methode te gebruiken, maar aannemers moeten het kunnen uitvoeren en er geldt mee kunnen verdienen en zijn hierdoor gedwongen zaken vanuit een andere hoek te bekijken. Haalbaarheid en uitvoerbaarheid wordt hierbij vaak al in een vroeg stadium zoveel mogelijk bewezen met proeven.

5. Overige onderwerpen

5.1 Critical State Soil Mechanics

Binnen de academische wereld worden materiaaleigenschappen vaak benaderd middels critical state soil mechanics, of CSSM. Door Patrick Mengé wordt Professor W. Van Impe genoemd, wie deze benadering gebruikte in zijn lessen, omdat het een zeer geschikte methode is om materiaalgedrag te begrijpen en verschillende eigenschappen te kunnen verklaren.

Echter wordt in België CSSM traditioneel niet gebruikt binnen het dijkontwerp en de uitvoering. Dit omdat het uitgaat van hogere rekken, waardoor verdichting van materialen teniet wordt gedaan. Dit is niet in lijn met wat er in de praktijk zich afspeelt. De implementatie van het Critical state model in de nieuwe methode van het dijkontwerpen leidt daarom tot de nodige discussies.

Het uitgaan van een niet-gedraineerd gedrag bij grote vervormingen is een worst-case benadering die met aangepaste veiligheidsbenadering moet samen gaan. In Vlaanderen wordt deze ontwerp methode niet gevolgd en wordt op basis van engineering judgment ontwerp parameters gekozen die toepasbaar zijn rekening houdend met het spannings-vervormingsgedrag van de voorkomende grondsoorten; dit alles binnen het kader van de Eurocodes.

5.2 Overslag

In de ervaring van PM is overslag/overstromen bij gronddijken het meest kritische bezwijkfenomeen. Twee voorbeelden van een bezwaken dijk, beide door overslag. Vanuit Nederland is juist de tendens overslag meer toe te staan vanwege de hoge erosiebestendigheid van gras. Los van de theoretische overgang, is hoe kritischer en scherper je bent met de dijkhoogte, hoe gevoeliger je bent voor kleine verzakkingen in de dijk. Als het ergens begint te stromen ben je te laat, daarom zou het advies van Patrick Mengé altijd zijn de dijk iets hoger aan te leggen. Daarnaast moet de benodigde pompcapaciteit wel gegarandeerd blijven, en mogen gemalen dus niet uitvallen.

5.3 Cutter-soil-mixing

Een relatief nieuwe ontwikkeling tegen piping is het gebruik van de Cutter-soil-mixing methode. Voorheen werd deze methode al gebruikt voor stabilisatie van het binnentalud, maar er lopen verschillende projecten waarbij middels deze methode zowel cement als bentoniet in de plaatselijke grond worden gemixt.

Hierdoor ontstaat een pipingscherm met de lokaal aanwezige grond als hoofdbestandsdeel. De sleuf is hierbij ca. 60 tot 120 cm breed. De methode staat verder beschreven in het CUR-handboek soilmixwanden.

CONCEPT

A2 Interview Rémy Tourment (F)

Interviewed on the 21st of October 2020

1. Introduction

Rémy Tourment is an engineer specialized in safety of all kind of hydraulic structures, from dams to levees, but his main expertise is the risk analyses & assessment of levee systems. He has been working for a French public research institute (INRAE) for over 30 years. This is a public research institution with both scientists and engineers, working together on more applied research projects. Furthermore, Remy Tourment is one of the authors of the International Levee Handbook and has been involved in several working groups in the area of levee design, assessment and risk analysis. He is also the chair of the Technical Committee on Levees of ICOLD.

2. General Organisation of levee management in France

Earlier on, levees were not incorporated in the French regulations nor in the topics of the French committee of large dams (CFBR). This changed around 1994 when the attention to levees increased due to several incidents in a short period.

French regulations introduced in 2007 a required risk assessment on dams & levees from their managers (usually local authorities for levees). It was imposed by law and the format came from the industrial point of view.

First this application of risk assessment was adapted and applied to dams, after which Remy Tourment worked on the application of risk assessment on levee systems and wrote a book about this (published in 2019). The objective of the risk assessment is to go top-down from a higher-level view to more local levels, identifying the weak points of the system.

Before 2015, a very broad range of parties were responsible for levees (e.g. a person, private companies, governmental organisation, local authorities, landowners, or a combination of these). This changed in 2015 with the introduction of a new law, giving pre-existing local authorities (group of communes, with multiple roles) a responsible role regarding flood protection (GEMAPI competence). Like the waterboards in the Netherlands, local authorities can raise specific taxes to finance flood protection.

In France, the government does not want to promote building new levees, which mostly is a matter of risk. The government tries to reduce/decrease vulnerability of assets in flooding risk areas, but on the other hand local authorities in these areas try to grow and build as much as possible. It is a political reason not to increase the risk and a difficult compromise.

In France, dike designs are made by engineering companies on behalf of the levee-owners, often local authorities. These designs are controlled and must be approved by regional state institutions. The institutions do a first check on regulation framework and any technical flaws, and then send it to a national specialized association. This association performs a high-level review and checks a few specific calculations more in-depth on the technical level. INRAE is part of this association as well, which is commissioned by the ministry in charge of environment.

3. Design practices

3.1 Knowledge and guidelines

There are no laws or prescriptions defined on precise technical requirements for dikes and materials, only on a high functional level. There are some technical papers and books from the CFBR and other organisations like INRAE that give guidance of good practice. Engineers are not obliged to follow these practices, but if they deviate from these practices, they will likely lose a court case if the levee fails. Currently there is work being done by the CFBR in this area, where a guideline is written that presents several failure mechanisms. This guideline is still work in progress, and not all failure mechanisms are yet included.

Additionally, Remy Tourment is currently working with the French dam committee on a document presenting a list of technical solutions that can be used for repair or reinforcement in levees, the organisation of the solutions is based on their specific functions. This document will be available in 2021. The idea is that this list will later be enlarged over time. This list will be used to share practical experiences with other parties like the government, construction companies etc.

An overview of all these guidelines and other documents on dams and levees can be found under this link. The International Levee Handbook has recently been translated in French and will be used more and more. It provides a good framework with technical and scientific details on levee design.

3.2 Design practices

In French there are two different words for design, with a distinction in

- 1) Setting up and running a calculation.
- 2) Drawing the structure.

When engineering levees, the engineer goes out from local material for the design. It is not always possible to use local material if there is only rock, but they avoid importing material as much as possible. Geotextiles or sheet piles are sometimes also used to enable the construction of a levee with local material.

The framework for engineers in French; The first design step is called the “avant project”, where e.g. the general size and function of the levee are defined. In the second design step everything is worked out in detail and handed over to the contractor. Looking for and defining the material is done in both the 1st and 2nd step, first by doing low quantity tests and in the 2nd step you make a more precise estimation of the quality and quantity of the available material. This is very important to prevent discussions with the contractor if the soil is not there.

Typical levees in French, are constructed in several phases and layers, just as in the Netherlands. Historically, levees were often not built to protect cities but to protect farmland, which makes a huge difference in allowing a risk of flooding. This situation has however been changed, and several projects are set up to decrease flood risks.

An example of such a project is “Give room to the river”, similar as “ruimte voor de rivier” in the Netherlands. A partially successful example of this strategy is the river Rhone, where it was tried to give more room for the river by straightening the levees in a project that took around 10 years. The problem was that at the outside curves of the river the most erosion took place. Here the river did not get any more room, as houses at this spot were not allowed to be removed.

In French it is not usual, and maybe even impossible, to have a designer-contractor combination in projects. Because engineering companies must be certificated or “approved” and constructors cannot be “approved”. The two steps are usually separate, even if in some form of tendering it is possible for contractors to work on design, but in this case, they must be approved as designer.

4. Technical requirements and material properties

4.1 Density

Engineers specify requirements on material density, which are related to all the other parameters. Density is compaction related. There is no standard, but usually a proctor optimum is defined with some allowance +/- 5%.

4.2 Drought

In the Netherlands there are concerns regarding cracks in cohesive fill due to drought. In the southern part of France, it is not really a problem, as they are used to it. There is some form of protection included in the design, like a cover of ground on eminent elements of the dike or dam and grass to protect the clay for droughts. This top layer can also be designed as a “sacrificial cover” that is not direct part of the main water retaining elements of the levee. In large dams for instance, the clay core is not extended to the top, as the top 3 meters are only for the freeboard.

4.3 Multiple functionalities

Some levees have multiple functionalities and can be part of the railway system or road or canal as well. To maintain the railways, occasionally new rocks are placed underneath the railway, which lowers the part of the levee that is meant to retain water. This increases the risk of flooding.

4.4 Materials

Most of the levees do not completely comprise clay. They usually have a clay core or a clay layer on the water side. In France the impermeable layer is mostly silt, clayey silt or sandy silt. This can have a very low permeability when properly compacted (up to 10^{-6} m/s).

The use of lime treated soils could be risky in areas prone to (residual) settlement. Due to the higher rigidity of the treated material, differential settlement might cause cracking. Furthermore, contact erosion between this kind of soils and adjacent regular soil is not analysed sufficiently.

Reusing old levee materials can be very risky if you remove a levee segment. You have to be able to close your dike in time in case of an unexpected higher water level.

In the past, by-products of steel plants have been used for emergency repairs in levees (Slags). This material is very strong, and it can be applied with steep slopes, but is however not impervious. Further research on this material for levee construction was proposed, but this was not funded by the government. INRAE is regularly asked to test and approve new innovative products for e.g. levee design, such as a geotextile-anchor (demonstrated by Remy Tourment). Often, a threshold for using such innovative products is that these are designed according to certain (inter)national standards, that do not necessarily comply to standards in other countries.

A3 Interview Philip Smith (UK)

Interviewed on the 14th of October 2020

1. Introduction

Philip Smith is a technical director within geotechnics and has been working within the companies that make up RHDHV for 25 years (having previously worked for Imperial College, London, Fugro and Mott MacDonald. He completed his PhD on the behaviour of natural soft clays with particular regard to the construction of embankments in 1992.

In line with his PhD, his main specialism is earthen embankments and constructions on soft soil. Other projects in which he has been involved include reclamation projects on soft ground and construction of sea walls on soft estuarine deposits. Philip Smith has worked in the UK and internationally as a designer, on construction sites and has often work as an expert in legal or insurance cases. Furthermore, he was one of the lead authors of the International Levee Handbook.

1. Engineering and the use of local materials in the UK

2.1 General practices

In the UK, there are no universally accepted standards for materials used in flood embankments or levees. It is usually the responsibility of the designer to select and specify appropriate materials; many designers chose to make use of standard materials defined in the Specification for Highways Works (SHW) of to adapt the specification of such materials. Given that much of the flood embankment related work in the UK is carried out for the Environment Agency, there is normally a strong pressure to minimize environmental impacts of work by using locally available materials. This mirrors the historical construction of flood embankments where dikes were built from locally available material (often taken from “soke” ditches close to the alignment of the embankments.

Another aspect that promotes the use of local material is the fact that ideal materials are not always in good supply throughout the UK, for example, in parts of Scotland or Wales, little clay might be locally available. In this case, designers are forced to find other ways to provide impermeable, stable and resilient embankments.

When presenting an embankment design plan, it is important to demonstrate that the design is appropriately stable, durable and resilient; it should also minimize environmental impact whilst achieving these objectives. As part of the design process, the designer should consider the needs for construction materials and identify what materials might be locally available (e.g. from local quarries). Based on the materials that can be sourced, the designer has to modify the design to meet the design objectives of stability, impermeability, etc. Of course, this is a process that always involves the balancing of various factors such as cost, performance, constructability, environmental impact, etc.

2.2 Design principles

There are a lot of benefits for using local materials, but it is important for the designers to understand how material properties will affect to properly engineer the embankment. Poorer quality materials might be cheaper or easier to procure but their use might result in, for example, change in dimensions (e.g. shallower slopes or a long berm to increase the seepage pathway) or a need for the inclusion of a structural element

(e.g. a cut-off wall). This places more responsibility on the designer, who has to know the design principles and can find practical solutions to overcome difficulties related to using poorer quality materials. If the designers do not fully understand these compromises then poor designs might result.

The general approach is to first look at the location and understand the performance requirements of the flood embankment / flood structure to be built. Ground conditions often dominate the design as flood embankments are commonly constructed on alluvial or estuarine plains; these factors often control construction types and dimensions and determine the measures required to build a stable embankment (e.g. soil improvements, construction pauses for consolidation, etc.). If local materials simply cannot meet all of the functional requirements of a dike, improvement works like a cut-off wall will be introduced in order to meet the design objectives.

An important part of the thought process on picking the material goes out to compaction of the earthworks material. The link between the nature of the fill material, the level of compaction targeted and the engineering characteristics of the compacted fill is critical.

The designer has the choice between a method specification for compaction (i.e., a defined number of passes of a specified piece of construction plant) or an end-product specification (in which target material characteristics of strength, permeability, etc. are related to compaction measurements such as moisture content, relative compaction, and air-voids ratio). The former is relatively easy to administer of site but runs the risk that actual performance will not be well controlled. The latter approach (end-product specification) requires much more testing to demonstrate that design requirements have been met, both before the earthworks commence and during the earthworks construction. This requires a lot of practical knowledge on the part of the designer (who needs to devise reasonable material requirements that can both meet the design requirements but can also be achieved in the field). The end-product method is very dependent on the results of the field tests and this can cause delays during construction. There have also been cases where inexperienced designers have required performance characteristics that cannot be achieved using the specified materials.

Designers are often limited in their design options by imposed boundary conditions (i.e. in space or time) that are set during the planning phase. In this planning stage other parties can produce quick schematic designs which fix boundaries for the next design stages. If this process is not carried out well (e.g. by inexperienced designers) then it may not be possible to develop a design during the detailed design process.

2.3 Guidelines, documents and knowledge resources

Several standard publications are used widely, but due to the wide range of materials present throughout the UK there are no strict guidelines for the construction of embankments.

The Specification for Highway Works (SHW) published by Highways England is commonly used a basis for material specifications. It contains a list of around 30 to 40 types of materials that are commonly used for earthworks together with a description of their general use and properties. Quarries and other material suppliers will usually classify their materials according to this standard. This makes it possible to quickly identify local sources of materials.

The Environment Agency in the UK does not have the detailed engineering research capacity that organisations such as Deltares has. Design practice in the UK therefore relies heavily on the capability of the design engineers; designers remain liable for their designs in as much as they are carried out with due skill care and diligence. This situation has been helped by the publication of design guides by organisations such as CIRIA (Construction Industry Research and Innovation Association) and the EA is planning to develop a series of its own guides in the future.

The “cook-books” used in the Netherlands for dike design might work well for the Netherlands as conditions and the range of materials is limited. It can however form a big risk for Dutch engineering companies like RHDHV when they engineer dikes abroad, where no standard conditions or materials exist. Here you will need to set the Dutch standards aside and understand the basic principles of a dike completely to come up of a proper dike design.

2.4 Embankments and nature

The fact that in the UK the EA is both responsible for flood defence as well as for environmental protection results in situations in which the responsibilities of the EA can create conflicting objectives. For example, historically, shrubs and trees have grown on some flood defence embankments. These can compromise the safety of the embankment in an overtopping event. However, in some cases, it has proven to be difficult to remediate this situation when protected species have come to inhabit the vegetation. It is noted that the International Levee Handbook provides an example of how flood defence characteristics can be maintained alongside the need to preserve the wildlife habitats.

2. Technical requirements and material properties

3.1 Overtopping

There is a tendency in the Netherlands to allow more overtopping. Mostly to please the landowners that live near the dike by minimizing the height of the dike.

The dikes in the UK are often made largely out of clayey soils. This introduces the problem of desiccation cracking (which can affect the top 30 to 50 cm of the embankment and may in some cases influence the top metre. Desiccation cracks will allow water to quickly infiltrate the surface of the fill and cause swelling. This can subsequently result in a reduction of resilience to overtopping flow through reduced resistance to scour or the loss of blocks of clay during overtopping events. However, it is noted that in comparison with the NL, hydraulic peaks and overtopping events in the UK are generally of shorter duration (about a day with the exception of only one or two of the larger rivers).

Historical evidence indicates that overtopping flow is the trigger for around 40 to 50 % of the dike failures in the UK (water will always find the weakest spot in the dike). If the grass cover is poor, then overtopping can rapidly lead to erosion of the crest and the landward face of the dike leading to a breach.

The importance of grass has been highlighted by a recent dike failure in the UK. A dike had been repaired over the summer period and the grass cover should have had time to re-establish itself by the autumn flood season. However, very heavy rain in June led to overtopping before the grass had re-established itself and this led to erosion and breach.

3.2 Piping / internal erosion

Using more sandy materials for levee construction than clay makes an embankment much more vulnerable to internal and external erosion and to piping. Tests carried out in the US compared the erosion resistance of embankments constructed out of clayey sand and plastic clay. A hole was made through both embankments and allowing water to flow through the hole to form a pipe. The clayey sand embankment completely breached within about 30 minutes but the clay embankment suffered little significant damage over a period of many days. This highlights how it is important to understand the characteristics of the materials used for embankment construction.

In some parts of the UK, predominantly granular material must be used for levee construction as little clay is available. For example, for one project in Scotland, solutions used included the use of cut-off-walls and

the use of bentonite blankets to create impermeable barriers. In this situation, it is important to consider how these barriers will perform, for example the potential uplift of the bentonite blankets during a flood need to be considered.

Dikes with a clay core are usually designed in such a way that there is sufficient mass on the embankment shoulders to protect the core against erosion. This can be difficult to design as hydraulic calculations may result in very large thicknesses of rock armour which will be very expensive and may look out-of-place. There is an example in New Orleans where it would have been necessary to place large volumes of rock armour on a set-back defence. In the end it was decided to make use of grass surfacing as an alternative.

3.3 Drought / Climate Change

As a result of climate change, drought related desiccation is becoming a new problem affecting dikes in the Netherlands. There is currently a low knowledge base on this in the NL and the material standards are currently based on the historical Dutch climate.

For dikes, many drought-related problems relate to the clay content of the compacted fill (desiccation and volume change) and the organic content (drying causes loss of mass as well as shrinkage).

If clay is heavily compacted, it could tend to swell over time or crack if subject to drying (and particularly cycles of drying and wetting over many years). Alternatively, if it is not compacted heavily, it may have issues with collapse settlement (particularly if the air voids ratio is too high). In the UK, the SHW allows compaction processes for construction to identify maximum air voids ratios to control volume changes.

The susceptibility for volume change can be limited by using sandier material, but this makes the material more prone to (overtopping) erosion. This is typical of the balances and compromises that need to be made when using local materials for embankment construction. Only so much you can do with natural material, and you will have to make compromises.

4. Summary

- UK: No compulsory standards or rules in dike construction but design guides and good engineering practice link Eurocodes and British Standards to the design of flood defence embankments. This gives designers the freedom to use innovative solutions, but puts the responsibility of the design completely on the design engineer.
- The Environment Agency is responsible for the flood defences along the main rivers. This organisation is also responsible for environmental protection and so it is always important to consider the environmental impacts associated with dike design. To limit environmental impact, there is a strong pressure to use locally available materials.
- An important aspect of a dike design is to identify readily available materials and to understand the engineering characteristics of those materials after compaction and over the passage of time. Issues surrounding the available materials are often amongst the most critical aspects of a dike design.
- Materials produced by commercial quarries are usually classified according to the Specification for Highway Works classification system for fill materials.

- The Environment Agency has to select design solutions that offer the best value. The designers can therefore be under pressure to achieve an adequate level of safety within the budget allowed for construction.
- Engineers responsible for detailed design can be limited by challenging boundary conditions inherited from the planning phase of a project.

CONCEPT

A4 Interview Andreas Bieberstein (D)

Interviewed on the 22nd of January 2021

CONCEPT

CONCEPT