CIRCULARITEIT IN REGIONALE DIJKVERBETERING

Een analyse op alternatief materiaalgebruik om milieu-impact en materiaalgebruik te beperken bij regionale dijkverbeteringsprojecten van het Hoogheemraadschap van Rijnland.



Afstudeerrapport

Auteur: V.F.A. Hommel

Datum: 10-06-2021

CIRCULARITEIT IN REGIONALE DIJKVERBETERING

Een analyse op alternatief materiaalgebruik om milieu-impact en materiaalgebruik te beperken bij regionale dijkverbeteringsprojecten van het Hoogheemraadschap van Rijnland.

Afstudeerrapport

Student: Kevin Hommel

Studentnummer:

Opleiding: Civiele Techniek

Specialisatie: Waterbeheer en veiligheid

Onderwijsinstelling: De Haagse Hogeschool

Schoolbegeleiders: B. Nauta en W. Mantje

Bedrijf: Hoogheemraadschap van Rijnland

Bedrijfsbegeleiders: P. Verheij en G. Van Wijk

Datum: 10 juni 2021

Voorwoord

Beste lezer,

Bedankt voor uw interesse in het afstudeeronderzoek "Circulariteit in regionale dijkverbetering"; geschreven door Kevin Hommel, student Civiele Techniek aan de Haagse Hogeschool.

In deze afstudeerscriptie zult u een analyse op alternatief materiaalgebruik om milieu-impact en materiaalgebruik te beperken bij regionale dijkverbeteringsprojecten bij het Hoogheemraadschap van Rijnland treffen. Gezien de doelstelling om Nederland compleet circulair te laten zijn in 2050 is dit onderzoek zeer actueel.

Dit onderzoek is uitgevoerd bij het Hoogheemraadschap van Rijnland onder begeleiding van Pieter Verheij en Gustaaf van Wijk in de periode van februari tot juni 2021. Daarbij heb ik begeleiding gehad van vakdocenten mevr. B. Nauta en dhr. W. Mantje van de Haagse Hogeschool.

Graag wil ik iedereen bedanken die mij heeft geholpen om dit onderzoek tot een goed einde te brengen. In het bijzonder wil ik Onno van Logchem, Anja van Baaren, Fons Dekkers, Anne-Sophie van Oosterom, Gianni van Leeuwen, Piet Schering, Arjan Kooij en natuurlijk mijn begeleiders bedanken.

In deze afstudeerperiode heb ik helaas het grootste deel van mijn onderzoek thuis moeten uitvoeren. De ondersteuning hierbij was ruim voldoende en de uitnodigingen voor de werkbezoeken waren zeker een welkomen afwisseling. Ik heb ondanks de uitdagende periode veel geleerd.

Veel leesplezier toegewenst!

Kevin Hommel

Delft, 10 juni 2021

Samenvatting

Om een oplossing te vinden voor de grondstoffen problematiek en het halen van de duurzaamheidsdoelen binnen Nederland werkt de overheid samen met partners en organisaties uit alle denkbare sectoren om zuiniger en slimmer met grondstoffen om te gaan. De doelstelling is helder: Nederland moet volledig circulair zijn in 2050. Het Hoogheemraadschap van Rijnland wil stappen richting de circulariteit maken binnen de regionale dijkverbetering.

Het begrip circulariteit betekent in wezen de hernieuwbaarheid van alles dat deze planeet te bieden heeft. Materialen, schone lucht, water, energie en vruchtbare grond. Circulariteit wordt concreet gemaakt door milieukosten indicatoren (MKI) voortkomend uit een levenscyclusanalyse (LCA) en door Material Circularity Indicators (MCI).

Uit de toetsing van de regionale keringen van het Hoogheemraadschap is 200 km van de 1200 km afgekeurd op hoogte en/of stabiliteit. Dit komt voornamelijk door zettingen in veengronden en toenemend risico op het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts.

Binnen het cluster DiRK, die verantwoordelijkheid draagt voor de waterveiligheid rond de regionale keringen binnen het Hoogheemraadschap, worden al stappen gezet richting duurzaamheid. Circulariteit wordt nog beperkt meegenomen en het ontbreekt nog in de richtlijnen van Rijnland. Binnen de waterbouwsector zijn circulaire ontwerpprincipes voornamelijk gericht op preventie, waarde behoud en waarde creatie. Voor de regionale dijkverbetering zijn het gebruik van gebiedseigen grond, een Meegroeidijk, (hard)houten- en prefab betonnen damwanden, bamboe beschoeiing en dijkvernageling toepasselijke alternatieven.

Aan de hand van drie cases van verschillende situaties is aangetoond dat de circulaire alternatieven op elk traject van de regionale keringen kunnen worden toegepast. Uit de kostenberekening blijkt dat het gebruik van gebiedseigen grond op zowel de kostprijs als de milieu-impact gunstig is. Bij het gebruik van de nieuwe technieken dijkvernageling en bamboe beschoeiing zal extra moeten worden geïnvesteerd.

Om de overstap naar nieuw materiaalgebruik en innovatieve oplossingen te stimuleren is het te overwegen om de richtlijn van 20-25 kilometer aan dijkverbetering per jaar te versoepelen voor de komende jaren.

Om het gebruik van gebiedseigen grond te stimuleren is de voornaamste aanbeveling om een opslagdepot te realiseren waar vrijkomende grond en andere materialen uit de regio kan worden geborgen voor gebruik bij dijkversterkingsprojecten. Het is aan te raden om hier gemeenten en provincies bij te betrekken, zodat deze depots optimaal gevuld en gebruikt kunnen worden.

Het is ook aan te raden om proeven uit te gaan voeren met alternatieve werkmethodes als de Meegroeidijk, de nauwkeurigheid van monitoren te verhogen en een sterke focus te leggen op Werk met Werk projecten, zodat de toekomstbestendigheid van de constructie wordt verhoogd en zo veel mogelijk werkzaamheden worden voorkomen in de lange termijn.

Enkel wanneer er een overstap plaatsvindt van een lineaire naar een circulaire denkwijze binnen de gehele organisatie kan de doelstelling “Rijnland circulair in 2050” worden behaald.

Inhoudsopgave

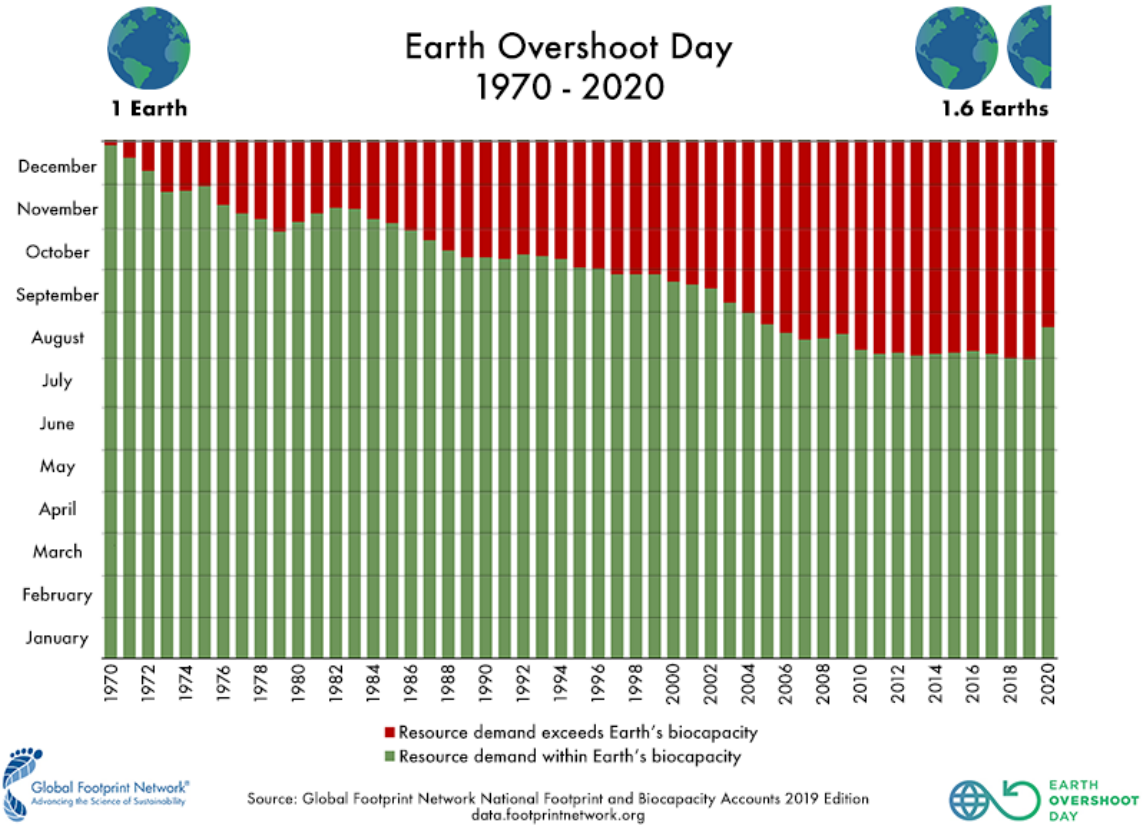
1. Inleiding 1
   1.1. Aanleiding en achtergrond 1
   1.2. Opbouw van het onderzoek 2
2. Wat is de definitie van circulariteit? 4
3. Concretisering van circulariteit 6
   3.1. LCA en MCI 6
   3.2. Kernmeetmethode 7
   3.3. Rekentools 8
4. Kenmerken van de regionale keringen 9
   4.1. Veiligheidsnormen 9
   4.2. Maatgevende faalmechanismen 9
   5.3. Belasting en materiaaleigenschappen 10
5. Nulmeting circulariteit binnen het Hoogheemraadschap van Rijnland 12
6. Wat voor materialen en handelingen worden al gebruikt, door andere organisaties in de waterbouw, om dijkverbetering op een circulaire manier aan te pakken? 14
   6.1. Preventie 14
   6.2. Waarde behoud 15
   6.3. Waarde creatie 16
   6.4. Ontwikkelingen in techniek 16
   6.5. Toepassing op de regionale keringen van Rijnland 17
7. Wat voor alternatieve, meer circulair georiënteerde, materialen zijn te gebruiken in de regionale dijkverbetering? 18
   7.1. Materiaalgebruik voor damwanden 18
      7.1.1. Milieukosten indicatoren voor damwanden berekend in DuboCalc 22
      7.1.2. Material Circularity Index voor materiaalgebruik in damwanden 24
      7.1.3. Multicriteria Analyse 27
      7.1.4. Innovatieve oplossing: Dijkvernageling als alternatief voor stalen damwand constructies 27
   7.2. Grondgebruik 29
      7.2.1. Meegroeidijk 30
      7.2.2. MKI 31
   7.3. Materiaalbesparing 31
      7.3.1. Monitoring 32

7.3.2. Geotextiel 32
8. Case study: Toepasbaarheid en kostenoverwegingen 35
8.1. Situatie Case Landelijk project: Hogedijk bij Nieuwkoop 35
8.2. Situatie Case Stedelijk gebied: Voorweg Zoetermeer 37
8.3. Situatie Case Ruimtegebrek: Boterhuispolder langs de Zijl 39
9. Circulair ontwerp van een regionale kering aan de hand van de Circulaire Peiler 42
10. Conclusies en aanbevelingen 46
Bibliografie 47
BIJLAGEN 50
Bijlage A: Werkplan 51
Bijlage B: Reflectieverslag 64
Bijlage C: MCI en LCA Berekening 66
Bijlage D: Ontwerp richtlijnen keringen 70
Bijlage E: Interviews 75
Interview met geotechnisch adviseur Onno van Logchem: 75
Interview met technisch adviseur Anne-Sophie van Oosterom tijdens projectbezoek: 75
Interview met technisch adviseur Gianni van Leeuwen tijdens projectbezoek: 76
Interview uitvoering expert Piet Schering 77
Interview Anja van Baaren en Marco Witte (circulariteit en DuboCalc binnen Rijnland) 78
Interview Arjan Kooij over gebruik van gebiedseigen grond; (HWBP, POV Gebiedseigen grond) 78
Bijlage F: LCA waardes uit EPD MOSO Xtreme Bamboe materiaal 80
Bijlage G: DuboCalc resultaten 81
Damwanden studie 81
Geotextiel Calculatie 86

1. Inleiding

1.1. Aanleiding en achtergrond

De vraag naar grondstoffen neemt wereldwijd sterk toe. De problematiek hiervan wordt duidelijk als er naar onderstaande grafiek wordt gekeken in figuur 1.



Figuur 1 Earth Overshoot Day: De maand (verticale as) waarin in elk jaar (horizontale as) de consumptie van grondstoffen door de mensheid hoger ligt dan de productie door de aarde in hetzelfde jaar.

Dit is de trend voor de Earth Overshoot Day van 1970 tot 2020. Earth Overshoot Day is de dag dat de mensheid de reproductie van grondstoffen die de aarde voor ons maakt per jaar overschrijdt. Wanneer deze waarde wordt overschreden, consumeren wij de reserves van de wereld op. In 1970 gebeurde dit aan het eind van het jaar. Inmiddels gaat deze datum richting de helft van het jaar. Om te voorkomen dat alle reserves van de aarde in de loop van de jaren verdwijnt, moet er een verandering komen in het materiaalgebruik. Grondstoffen dienen niet na één gebruik te eindigen als afval. De ideale situatie is het voorkomen van afval: permanent hergebruik van grondstoffen in een circulair model. Men spreekt dan van een circulaire economie. Een veelgebruikt principe binnen de circulariteit zijn de 10 R-en van de circulaire economie, zie figuur 2. De hoogste standaard van circulariteit ligt bij het weigeren of voorkomen van het gebruik van grondstoffen en eindigt bij recyclen en opwekken van energie, waarbij nog steeds alle grondstoffen als afval eindigen. Daartussen worden verschillende manieren van denken aangedragen om zorgzaam om te gaan met de grondstoffen die gebruikt worden.



Figuur 2 10 R-en van de circulaire economie

Om een oplossing te vinden voor de grondstoffen problematiek binnen Nederland werkt de overheid samen met partners en organisaties uit alle denkbare sectoren om zuiniger en slimmer met grondstoffen om te gaan. De doelstelling is helder: Nederland moet volledig circulair zijn in 2050. Dit wil men aanpakken door bestaande productieprocessen efficiënter gebruik te laten maken van grondstoffen, meer gebruik maken van duurzaam geproduceerde, hernieuwbare en algemeen beschikbare grondstoffen en door nieuwe productiemethodes te ontwikkelen met een circulair oogpunt. (Rijksoverheid, 2016)

Hoogheemraadschap van Rijnland is sinds 2012 gestart met de Toetsing Regionale Keringen (TReK). Deze toetsing is naar verwachting eind 2022 afgerond. (Rijnland H. v., Toetsing Regionale Keringen, 2020)

Echter kan er uit de eerste data al worden achterhaald dat 200 kilometer aan keringen, verspreid over het gehele traject van 1200 kilometer, niet meer voldoen aan de huidige veiligheidsnormen. Het Hoogheemraadschap wil naast het opknappen van de keringen ook bijdragen aan hun doelstelling: een volledig circulaire organisatie worden.

Het Hoogheemraadschap is in het overgangsproces om een volledig circulaire organisatie te worden. De vraag is wat dit kan betekenen voor de regionale dijkverbeteringen.

Om die vraag te beantwoorden is dit onderzoek opgesteld met als doelstelling een duidelijk overzicht te bieden aan het Hoogheemraadschap van Rijnland wat voor circulaire middelen er kunnen worden gebruikt om dijkverbetering aan de regionale keringen op een zo circulair mogelijke manier uit te voeren.

1.2. Opbouw van het onderzoek

De hoofdvraag luidt als volgt: Wat voor circulaire middelen kunnen er worden gebruikt om dijkverbetering aan de regionale keringen, op een zo circulair mogelijke manier, uit te voeren onder het beheer van het Hoogheemraadschap van Rijnland, terwijl veiligheidsnormen en kostenefficiëntie in acht worden genomen?

Om tot het antwoord van deze hoofdvraag te komen zijn de volgende deelvragen beantwoord in de volgende hoofdstukken:

1) Wat is circulariteit?

Hoofdstuk 2

2) Hoe kan circulariteit meetbaar gemaakt worden?

Hoofdstuk 3

3) Wat zijn de kenmerken van de keringen die niet voldoen aan de Toetsing Regionale Keringen (TReK)?

Hoofdstuk 4

4) Welke materialen en handelingen in dijkverbetering van het Hoogheemraadschap van Rijnland kunnen al als circulair beschouwd worden?

Hoofdstuk 5

5) Wat voor materialen en handelingen worden al gebruikt, door andere organisaties in de waterbouw, om dijkverbetering op een circulaire manier aan te pakken?

5a) Welke van deze materialen en handelingen zijn toepasselijk voor de regionale keringen van het Hoogheemraadschap van Rijnland?

Hoofdstuk 6

6) Wat voor alternatieve, meer circulair georiënteerde, materialen zijn te gebruiken in de dijkverbetering?

6a) Hoe scoren deze materialen op basis van milieukosten indicatoren (LCA/MKI)?
6b) Hoe scoren deze materialen op basis van de Material Circularity Index (MCI)?
6c) Wat zijn de voor- en nadelen van het gebruik van deze alternatieve materialen binnen dijkverbetering aan de regionale keringen van het Hoogheemraadschap van Rijnland (Multi Criteria Analyse)?

Hoofdstuk 7

7) Hoe kunnen circulaire materialen bij dijkverbetering toepasselijk worden gemaakt op elk stuk van het traject van regionale keringen onder beheer van het Hoogheemraadschap van Rijnland?

Hoofdstuk 8

8) Hoe financieel haalbaar is de toepassing van deze alternatieve circulaire materialen op de dijkverbetering binnen het beheer van de regionale keringen van het Hoogheemraadschap van Rijnland?

Hoofdstuk 8

9) Hoe moet het ontwerpproces van een circulaire regionale kering eruit gaan zien?

Hoofdstuk 9

In hoofdstuk 10 worden conclusies en aanbevelingen uiteengezet aan de hand van de resultaten en beantwoording van de deelvragen. In de bijlagen zijn het werkplan, reflectieverslag en aanvullende informatie te vinden.

2. Wat is de definitie van circulariteit?

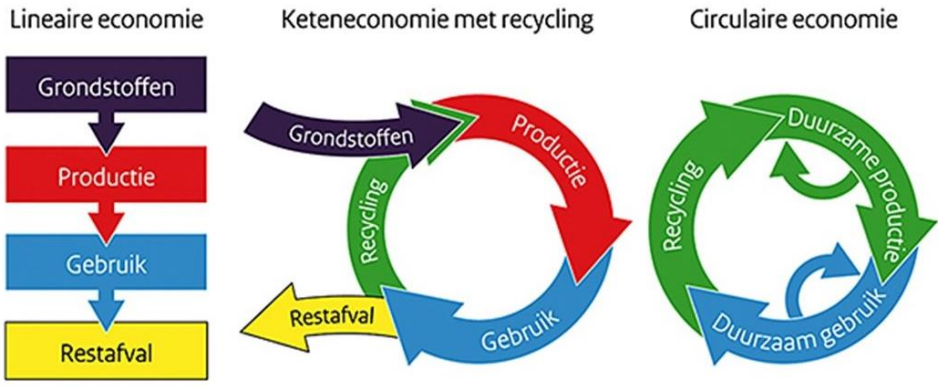
Voordat een studie kan worden gedaan op basis van het begrip circulariteit, moet dit begrip eerst goed gedefinieerd worden.

Kort gezegd betekent het begrip circulariteit hernieuwbaarheid. (Luscuere, 2018) Hoewel in eerste instantie dan wordt gedacht aan recycling van materialen die worden gebruikt om een product te maken, gaat het hier om algemene hernieuwbaarheid van alles dat deze planeet te bieden heeft. Denk hierbij aan schone lucht, water, energie en vruchtbare grond. Wanneer hulpbronnen als deze onbruikbaar worden gemaakt, door consumptie of vervuiling, kunnen deze niet meer worden opgenomen in verdere ontwikkelingen.

Circulariteit kan het beste worden beschreven als een strategie of een andere manier van denken. Deze nieuwe manier van denken is voortgekomen uit de realisatie dat de huidige consumptiemaatschappij over de lange termijn niet voort kan blijven bestaan. Vele grondstoffen staan op de rand van uitputting en de overvloed aan afval blijft zich ophopen in vuilstortplaatsen, in de oceaan of eindigt in de verbrandingsoven. Het laatste levert de wereld één van de grootste boosdoeners gedurende de klimaatcrisis: CO_2. De strategie circulariteit werkt richting doelstellingen als het tegengaan van grondstofuitputting en het beperken van klimaatverandering.

Het doel is vaak om materialen langer te kunnen gebruiken door (beter)onderhoud/repareerbaarheid, hergebruik, renovatie en herfabricage en uiteindelijk recycling. Er moet echter een stap verder worden gedacht, want uiteindelijk worden de materialen die worden gebruikt toch weer afgedankt als afval aan het einde van een gegeven hoeveelheid tijd. Het zijn relevante ontwikkelingen uiteraard, maar het leidt toch tot uitstellen van het probleem. Dit wordt ook wel de 'less bad'-benadering genoemd. Het grondbeginsel van circulariteit is juist dat er geen afval bestaat.

Het is dus belangrijk om bij een vraagstuk omtrent circulariteit algemene hernieuwbaarheid in acht te nemen en te voorkomen dat materialen eindigen als afval. Hoewel dit onderzoek zich zal focussen op het gebruik van alternatieve circulaire materialen, wordt het gebruik van deze materialen getoetst op hun invloed op de algemene hernieuwbaarheid en worden materialen bekeken die, aan het eind van hun bruikbaarheid als ondersteuning van een dijk, meerdere levens kunnen krijgen. Kortom: van lineair naar circulair (zie onderstaande afbeelding).



Figuur 3 Van Lineair naar Circulair

Uit het begrip circulariteit is de circulaire economie gevormd. De definitie van circulaire economie is beschreven door de Ellen MacArthur Foundation als een economisch model dat economische groei en progressie lostrekt van het consumeren van eindige grondstoffen ketens. Het stelt dat impact die men levert op de menselijke gezondheid en het milieu moeten worden meegerekend in de totale kosten van het project. Om deze impact mee te nemen in de kosten van een project of product, moet deze concreet worden gemaakt. Methodes voor het concretiseren van circulariteit worden toegelicht in het volgende hoofdstuk.

3. Concretisering van circulariteit

3.1. LCA en MCI

Om milieu-impact concreet te meten naast de financiële kosten zijn er verschillende manieren ontwikkeld om de mate van circulariteit voor een bouwwerk te bepalen. De meest bekende methode is een levenscyclusanalyse (LCA). Deze bestudeert in hoeverre een product echt bijdraagt aan de verduurzaming van de bouw. Deze wordt vaak uitgedrukt in MKI: milieukosten indicatoren. Daarnaast heeft de Ellen MacArthur Foundation de MCI (Material Circularity Indicator) rekenmethode ontwikkelt om het hergebruik van materialen binnen een product te beoordelen.

Deze twee rekenmodellen hebben enkele overeenkomsten, maar verschillen in hun aanpak. De LCA bepaald de impact op mens en planeet gedurende de levenscyclus van een geheel product. De MCI-benadering kijkt juist naar de impact van de grondstoffen die zijn verwerkt in een product gedurende de levenscyclus van een product. Daarbij geeft de MCI-benadering de voorkeur op het hergebruiken en recyclen van materialen in het productieproces. De gegevens die worden gebruikt om de LCA (MKI) te berekenen zijn weergegeven in onderstaande afbeelding. (Ecochain, 2020)

Environmental Category Name	Unit Name
uitputting van abiotische grondstoffen, ex. fossiele energiedragers	kg antimoon
uitputting van fossiele energiedragers	kg antimoon
klimaatverandering	kg CO2
ozonlaagaantasting	kg CFK-11
fotochemische oxidantvorming (smog)	kg ethyleen
verzuring	kg SO2
vermesting	kg PO4-
humaan-toxicologische effecten	kg 1,4-dichloorbenzeen
ecotoxicologische effecten, aquatisch (zoetwater)	kg 1,4-dichloorbenzeen
ecotoxicologische effecten, aquatisch (zoutwater)	kg 1,4-dichloorbenzeen
ecotoxicologische effecten, terrestrisch	kg 1,4-dichloorbenzeen
uitputting van biotische grondstoffen	kg antimoon
ecotoxicologische effecten, aquatisch (zoetwaterbodem)	kg 1,4-dichloorbenzeen
ecotoxicologische effecten, aquatisch (zoutwaterbodem)	kg 1,4-dichloorbenzeen
landgebruik	m2
Totaal hernieuwbare energie	MJ
Totaal niet hernieuwbare energie	MJ
Energie	MJ
Waterverbruik	m3
Niet-gevaarlijk afval	kg
Gevaarlijk afval	kg
Secundair Materiaal Gebruik	kg
Secundair hernieuwbaar energiegebruik	kg
Secundair niet hernieuwbaar energiegebruik	kg
Materialen voor hergebruik	n.v.t.
Materialen voor recycling	n.v.t.
Materialen voor energie	n.v.t.
geëxporteerde energie	n.v.t.

Figuur 4 Gegevens voor de LCA berekening

Voor de MCI-berekeningen wordt gebruik gemaakt van percentages van het gebruik van nieuwgewonnen materiaal, percentage materiaal dat wordt hergebruikt, percentage materiaal dat wordt gerecycled en percentage aan materiaal dat verloren gaat in de levensloopcyclus van het product. (Goddin, 2019)

In het rapport "Circularity Indicators, An Approach to Measuring Circularity: Methodology" wordt uitgelegd hoe de milieukosten indicatie wordt gegeven aan de hand van berekeningen.

De uitleg hoe deze rekenmethoden precies werken, is te vinden in Bijlage C. (Foundation, 2017)

Het nadeel van bovenstaande rekenmethodes is de focus van circulariteit voor één productlevensloop. Over het algemeen streeft men volgens de circulariteitstrategie voor meerdere levens die producten en grondstoffen kunnen doorlopen.

Een groot nadeel van maar één levensloop beschouwen is dat logistiek voor een groot deel buiten beschouwing wordt gelaten aangezien het transport pas plaats vindt, nadat de eerste levensloop is doorlopen. Het transport tussen de verschillende bestemmingen heeft in veel gevallen een hoge impact op het milieu.

Daarbij wordt er vaak gekozen voor materialen die een langere levensloop hebben, zodat er een hogere score kan worden genoteerd, maar dat geeft in veel gevallen een vertekend beeld. Als een product langer in omloop is, maar de productie van dit product sterk vervuilend is en schaarse grondstoffen verbruikt, geeft dit een negatieve impact.

Om dit proces tegen te gaan dient de LCA-berekening te worden uitgebreid naar een complete doorrekening van elke levenscyclus dat het materiaal zal doorbrengen: de Circulaire LCA. Deze uitgebreide berekening houdt rekening met de afbreuk van componenten, de verminderingen in herbruikbaarheid, mogelijke recycling en afvalstromen en alle transportkosten over tijd.

Deze uitgebreide berekening is ook van toepassing op het berekenen van de MCI-score, aangezien ook daar vaak maar naar één levensloop wordt gekeken. De mate van circulariteit voor een product veranderd met elke levensloop dat het doormaakt.

Gezien de complexiteit van het vraagstuk wordt er vaak een statistische benadering gemaakt voor de verdere levensloop van het product om een MCI-score vast te stellen.

3.2. Kernmeetmethode

Inmiddels is in Nederland een platform opgezet, genaamd platform CB'23, dat streeft naar Circulair Bouwen in 2023. De deelnemers van dit platform werken samen aan een kernmeetmethode, een alternatieve methode die LCA en MCI-berekeningen wil combineren en bovenstaande tekorten wil oplossen. Deze meetmethode zal in de toekomst worden gebruikt als de norm voor het berekenen van de circulariteit in de bouw voor projecten in heel Nederland. Op 2 juli 2020 is de tweede versie van de leidraad voor meten van circulariteit uitgebracht. De kernmeetmethode zit nog in de testfase en zal voor dit onderzoek niet mee worden genomen. (CB23, 2020)

3.3. Rekentools

Bedrijven en organisaties zijn met meetmethodes als hierboven beschreven aan de slag gegaan om tools te ontwikkelen die de circulariteit van hun producten kan uitdrukken in concrete scores. In Nederland zijn de meest veel belovende rekenmodellen DuboCalc en Circulaire Peiler.

DuboCalc is een rekeninstrument dat hoort bij de Aanpak Duurzaam Grond Weg en Waterbouw (GWW). Dubocalc berekent de milieueffecten van een materiaal, een bouwwerk- of bouwmethode. De gehele levenscyclus komt daarbij in beeld, vanaf de winning tot en met de sloop. Vervolgens rekent DuboCalc deze milieueffecten via de zogenaamde 'schaduwprijsmethode' om tot één getal: de MKI, milieukosten indicatoren.

De Circulaire Peiler is opgezet tijdens het project Grebbedijk. Het is een hulpmiddel dat voornamelijk dient als een circulaire aanpak van een multi-criteria analyse. Hierin worden zaken als voorkomen van onnodige werkzaamheden en het gebruik van circulaire materialen gewogen per alternatief, waarna kan worden beslist welke oplossing het probleem op de meest circulaire manier aanpakt.

Beide rekentools worden gebruikt in dit onderzoek. Voordat er kan worden gerekend met deze tools is er een overzicht nodig van de situatie waarin de regionale keringen zich bevinden en welke stappen er al worden gezet richting circulariteit binnen het Hoogheemraadschap en de waterbouwsector in het algemeen. Dit overzicht wordt gegeven in de volgende hoofdstukken.

4. Kenmerken van de regionale keringen

De regionale keringen van het Hoogheemraadschap van Rijnland worden getoetst aan de hand van de Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen, uitgebracht door de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA), en het beheerdersoordeel van Rijnland zelf. Tijdens de toetsing worden de keringen getoetst op de faalmechanismen overloop/overslag, piping/heave, macrostabiliteit binnentalud, macrostabiliteit buitentalud, microstabiliteit, stabiliteit dijkbekleding en de stabiliteit van het voorland.

4.1. Veiligheidsnormen

Voor het bepalen van de veiligheidsnormen is het bepalen van de IPO-veiligheidsklasse de grondslag. Het Hoogheemraadschap heeft ervoor gekozen om veiligheidsklasse III als ondergrens te hanteren. Alle boezem- en polderkaden zijn daarom ingedeeld in de klassen III t/m klassen V. Hoe hoger de veiligheidsklasse, hoe strenger de veiligheidsnorm. Een veiligheidsnorm van 1/1000 jaar houdt in dat de kering moet voldoen om een waterstandhoogte die eens in de duizend jaar voorkomt moet weerstaan.

Te hanteren schadefactoren per veiligheidsklasse bij beoordeling van macrostabiliteit zijn in tabel 1 gegeven. Hoe hoger de schadefactor, hoe groter het gevolg van bezwijken is.

Tabel 1 IPO-veiligheidsklasse binnen het Hoogheemraadschap van Rijnland

IPO-veiligheidsklasse	Veiligheidsnorm [1/jr]	Schadefactor [-]
III	1/100	0,90
IV	1/300	0,95
V	1/1000	1,00

De veiligheidsklasse voor het grootste deel van de regionale keringen in het beheer van Rijnland is vastgesteld in de waterverordening Rijnland. Voor verdere verwerking van de veiligheidsnormen kan naslag worden gedaan aan de Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen.

4.2. Maatgevende faalmechanismen

De regionale keringen van Rijnland zijn gebouwd op en deels gevormd uit veengrond. Deze slappe grond zorgt ervoor dat bij ontwerpberekeningen vaak rekening wordt gehouden met een zetting van 1-1,5 cm per jaar. Uit de toetsingen blijken de meest kritische factoren de macrostabiliteit en overloop/overslag te zijn als gevolg van deze zakkingen. Keringen die niet voldeden aan het faalmechanisme macrostabiliteit werden voornamelijk op de stabiliteit van het binnentalud afgekeurd. Het gros van de regionale keringen die worden afgekeurd aan de hand van de TReK, worden op deze faalmechanismen afgerekend. Het betreft hierbij vaak relatief korte strekkingen, veelal 100 meter, verspreid over een getoetste strekking van enkele kilometers. Overloop en overslag vinden meer plaats langs de meren en grotere boezems. De dijken zakken waardoor overloop en overslag plaats vindt.



Figuur 5 Voorbeeld strekkingen

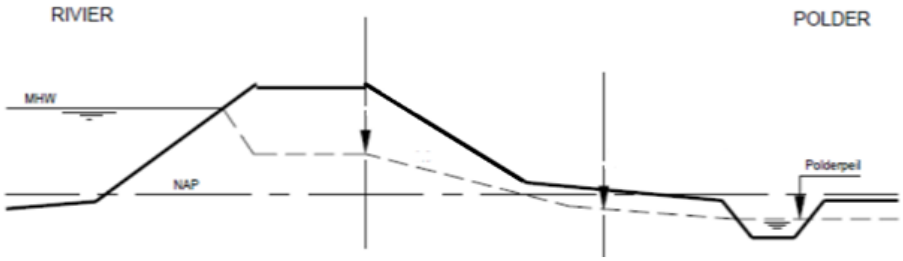
Periodiek onderhoud met kleiophoging is om de 15 á 30 jaar nodig. Het uitgangspunt voor de jaarlijkse kruindaling is: voor kleikades langs de boezem 0,5 cm; voor veenkades langs de boezem 1 cm; voor polderkades 1,5 cm. Boezemkades zijn door grotere ophogingen uit het verleden minder zettingsgevoelig dan polderkades.

De afgekeurde kades hebben prioriteit voor onderhoud. Bij onderhoud wordt de kade over een minimale breedte van 1,50 m opgehoogd tot aan 50 cm boven het hoogste streefpeil van de voorliggende boezem. De ophoging van de kruin wordt volgens de richtlijnen uitgevoerd met klei van erosiebestendigheid categorie 1 en het talud met klei van erosiebestendigheid categorie 2. (Rijnland H. v., Rijnlandse SOR Systematiek, 2017)

Vanwege beperkte diepte van het watersysteem binnen het beheer van Rijnland en de diepe ligging van het pleistocene zandpakket mag worden aangenomen dat het optreden van piping niet zal bijdragen als maatgevend faalmechanisme voor het gros van de regionale keringen. Enkel in gevallen waar gedetailleerde informatie aangeeft dat er een risico is op piping wordt dit faalmechanisme meegenomen in de bepaling van de beschermingszone. (Rijnland H. v., Legger regionale waterkeringen: Uitgangspunten, 2011)

5.3. Belasting en materiaaleigenschappen

Het gedrag van de aanwezige waterspanning heeft direct invloed op macrostabiliteit van de kade. Het modelleren van de waterspanning is daarom essentieel om de veiligheid van de waterkering te kunnen bepalen. Bij Rijnland wordt uitgegaan van een lineair verloop van de freatische lijn vanaf het toetspeil aan het buitentalud tot het streefpeil onder de kruinlijn. Daarnaast loopt de freatische lijn lineair naar de binnenteen van de kering. Vanaf de binnenteen loopt de freatische lijn lineair naar het slootpeil. Dit wordt aangehouden onder de natte situatie voor de toetsing en de dijkversterking.



Figuur 6 Schematisering van de waterspanning

Er wordt op de groene kaden rekening gehouden met een verkeersbelasting van 13 kN/m^2, indien er een weg over de kering loopt, en 5 kN/m^2 over de breedte van 2,5 m in de stabiliteitsberekening. Hiervan wordt een consolidatiepercentage van 20% in de onderliggende slappe lagen en een spreidingshoek van 45 graden uitgegaan.

Het overgrote deel van de regionale keringen in het beheer van Hoogheemraadschap van Rijnland wordt gebouwd met erosiebestendige klei, EBC1 als toplaag en EBC3 als kernmateriaal. EBC1 klei is sterker bestand tegen de eroderende werking van water en wind op de kering dan EBC3 klei. Aan EBC1 klei worden steeds strengere eisen gesteld om falen van de keringen te voorkomen. Naast deze klei wordt er gebruik gemaakt van hardhouten palen constructies als beschoeiing en indien niet anders kan, worden damwanden ingezet om de stabiliteit van de kering te waarborgen.

Bij de huidige ontwerpen van de kerende constructies worden de volgende uitgaanspunten gebruikt, tenzij hier andere specifieke eisen aan worden gesteld per situatie:

- Bij stalen damwandconstructies een ontwerplevensduur van 50 jaar. Voor damwandconstructies met de functie van vervangende waterkering moet worden uitgegaan van warmgewalste profielen en daarbij voor de hele plank voor levensduur een corrosietoeslag van 3,5 mm worden aangehouden;
- Bij houten damwand- en beschoeiingsconstructies een ontwerplevensduur van 30 jaar;

Bij kunststoffen damwand- en beschoeiingsconstructies een ontwerplevensduur van 50 jaar.

Verdere toelichting op het ontwerp van de keringen is vermeld in Bijlage D. Nu dat er een situatieschets is gemaakt rond de regionale keringen kan worden bekeken welke stappen er al worden gezet richting circulariteit binnen Rijnland.

5. Nulmeting circulariteit binnen het Hoogheemraadschap van Rijnland

Er is al een nulmeting gedaan naar de circulariteit van Rijnland als organisatie in het algemeen. Afdeling realisatie en onderhoud heeft een inventarisatie van herinzet van secundair materiaal binnen Rijnland laten uitvoeren door Witteveen en Bos. (Hendriks, 2021) In het rapport wordt vermeld dat er nog geen sprake is van een kringloop van bouwmaterialen binnen het Hoogheemraadschap van Rijnland. De aanbevelingen van Witteveen en Bos over de bouwmaterialen hebben betrekking op reductie van het gebruik van primaire grondstoffen en meer focus op hoogwaardig hergebruik van bouwmaterialen. Het Hoogheemraadschap van Rijnland heeft nog geen overkoepelend principe voor circulariteit binnen projecten. Bouwmaterialen moeten voldoen aan de gestelde eisen. Herkomst en mate van circulariteit zijn volgens de gestelde richtlijnen niet relevant.



Figuur 7 Advies voor circulair gebruik van bouwmaterialen uit de nulmeting door Witteveen en Bos (Hendriks, 2021)

Bij Cluster Dijkverbetering Regionale Keringen (DiRK) wordt in geval van hergebruik van materialen veel gekeken naar het project zelf, maar de scope voor materiaaloverzicht voor meerdere projecten is aan het groeien. Er is een sterke focus op het behoud van de groene dijken binnen Rijnland. Het gebruik van harde keringen wordt zo veel mogelijk vermeden. Er zijn stappen gezet om duurzaamheid te bevorderen door samen te werken met aannemers die een CO2 neutraal project willen aanpakken, zoals het project langs de Langeraarse Plassen.

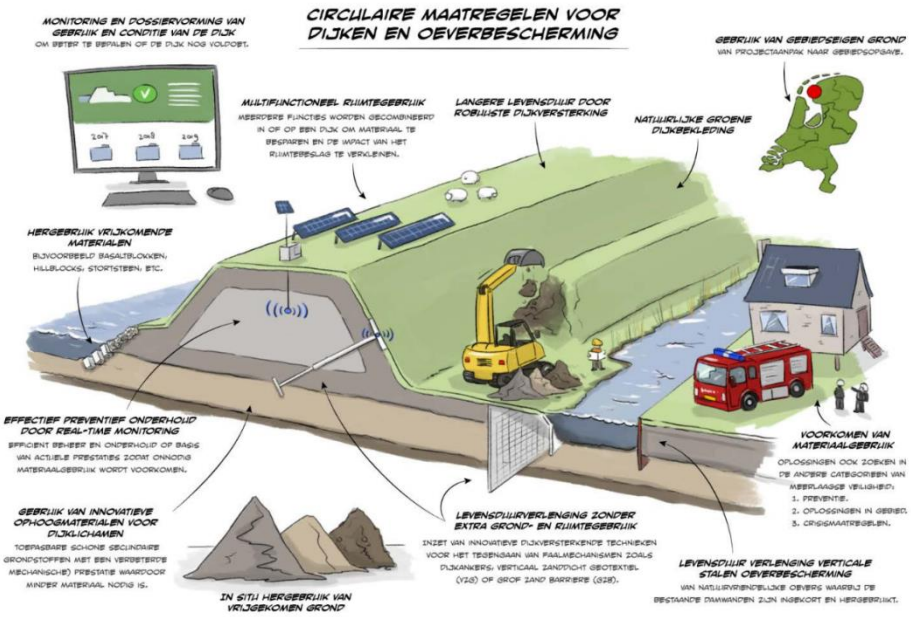
Uit interviews met medewerkers van het Hoogheemraadschap blijkt dat bewuste en gerichte sturing op hergebruik van materialen beperkt is. Voornaamste punten die onder de aandacht kwamen zijn als volgt:

- Men ziet in gesprek wel in dat materialen hergebruikt zouden kunnen worden, maar veel managers blijven een voorkeur houden bij het gebruik van primaire grondstoffen aangezien men daar meer zekerheden in vindt in de beperkte projecttijd die de eis van 20-25 kilometer per jaar oplegt.
- Er is een zorg dat kennis die is opgedaan onder ervaren collega's verloren zal gaan, wanneer deze de organisatie verlaten. Ervaringen voor gebruik van bepaalde type lokale grond is er al en is van belang voor de natuurhuishouding.

- Lokale grond wordt nu opgeslagen in seizoensgebonden opslag, maar er is vraag naar een materialen depot voor Rijnland, zodat hergebruik van materiaal gestimuleerd wordt en kan worden aangeboden aan aannemers.
- Er worden experimenten gedaan met alternatieve technieken en materialen, zoals het toepassen van de dijkvernageling aan de Gnephoek in Alphen aan den Rijn.
- Het cluster geeft aan dat het belang van samenwerking met de omwonenden, die het perceel waar de dijk op ligt in bezit hebben, hoog is. Als met circulaire technieken concessies kunnen worden gemaakt, zal de implementatie van nieuwe technieken en methoden die minder gunstig voor deze stakeholders zijn meer in balans komen te staan.

Enkele interviews met medewerkers van het Hoogheemraadschap van Rijnland zijn te vinden in Bijlage E. In het volgende hoofdstuk worden stappen richting circulariteit in de waterbouwsector uiteengezet.

6. **Wat voor materialen en handelingen worden al gebruikt, door andere organisaties in de waterbouw, om dijkverbetering op een circulaire manier aan te pakken?**



Figuur 8 Circulaire maatregelen voor dijken en oeverbescherming volgens Rijkswaterstaat en Royal Haskoning DHV (Jutte, 2020)

Het Hoogwaterbeschermingsprogramma, een samenwerkingsverband tussen Rijkswaterstaat en de waterschappen om de waterveiligheid van Nederland te waarborgen, kijkt al enige tijd naar circulaire ontwerpprincipes in de dijkverbetering. Daarnaast werkt Rijkswaterstaat ook nauw samen met Royal Haskoning DHV bij het opstellen van richtlijnen voor circulaire objecten in de GWW. In het programma zijn 1100 kilometer aan dijken en 500 sluizen opgenomen die in de komende dertig jaar versterkt zullen worden. (Jutte, 2020)

In de circulaire ontwerpprincipes wordt voornamelijk gericht op preventie, waarde behoud en waarde creatie. (Rijkswaterstaat, Circulaire dijken, 2020)

6.1. Preventie

Onder preventie wordt gesproken van een aanpassing in de verkenningsfase van het project. Er moet worden nagegaan of een dijkverbetering daadwerkelijk nodig is op elk stuk van een traject. Veelal worden grove strekkingen meegenomen in de monitoring. Door casussen kleiner te maken, kan specifiek worden onderzocht waar de zwakke schakels liggen en kan grootschalig onderhoud worden voorkomen. Daarbij dient er ook uitgezoomd te worden: lokale projecten moeten worden betrokken in de dijkverbetering, zodat een gezamenlijke oplossing kan worden gevonden voor de problematiek. In de praktijk heeft dit al winst geleverd in het project Monnickendam aan de Gouwzee.

6.2. Waarde behoud

Bij waarde behoud wordt voornamelijk hergebruik van materialen verstaan. Het hergebruik van dijkbekleding, beschoeiing en damwanden is hier een goed voorbeeld van. Bij de versterking van de Rijnkade in Arnhem verwerkt waterschap Rijn en IJssel de bestaande basaltblokken in de nieuwe kade. Nieuwe bekleding is niet nodig en de ruimtelijke kwaliteit blijft behouden.

Houten damwanden worden nu al op grote schaal hergebruikt door ze in te korten en/of omgekeerd te herplaatsen, of ze op te zagen en ze weer toe te passen op de waterlijn in combinatie met een naaldhout onderstuk.

Daarnaast is er ook veelvuldig onderzoek gedaan naar het gebruik van gebiedseigen grond. Het HWBP heeft een Project-overstijgende verkenning (POV) opgezet om onderzoek te doen naar gebruik van gebiedseigen grond bij dijkverbetering. Het gebruik van gebiedseigen grond is een oud principe; vroeger werden alle dijken opgebouwd uit de omliggende grond. Over de loop van de tijd is men zwaardere eisen gaan stellen aan de te gebruiken grond en is de dijkverbeteringsprocedure veralgemeniseerd. Veel informatie voor gebruik van andere type grondsoorten is verloren gegaan over de tijd.

Het onderzoek naar gebruik van gebiedseigen grond loopt nog. Er wordt gekeken naar hulpmiddelen zoals GCL: Geosynthetic Clay Liner. Dit zijn geokunststof doeken die moeten helpen de grond op te sluiten. Deze wordt toegepast in Limburg, na succes in Duitsland. GCL maakt het mogelijk om grond te gebruiken met lagere technische eisen, waardoor enkel nog onderzoek dient te worden gedaan naar de milieutechnische eisen. Het risico met kunststof toepassingen, zoals kunststoffen damwanden, is een kans op falen door brosheid in hoge spanningstoestanden voor geo-membranen. (Dorst, 2020)

Het benut van gebiedseigen grond wordt ook in de Eems Dollard toegepast. Hier is te veel slib aanwezig, waardoor de waterkwaliteit niet goed is en de biodiversiteit afneemt. Er is een ‘kleirijperij’ gebouwd waar slib uit de Dollard wordt gerijpt tot dijkenklei. Men spreekt van een win-win situatie. De waterkwaliteit wordt verbeterd, grond wordt hoogwaardig toegepast en veel transportbewegingen worden voorkomen.



Figuur 9 Project: De Brede Groene Dijk

Over gebruik gebiedseigen grond in project De Brede Groene Dijk aan de Dollard zegt men wel het volgende: “In de jaren 80 is de bestaande dijk van kwelderklei gemaakt met veel organische stof en zout. Dat betekende 10 jaar nazorg, doordat er veel scheurvorming

optrad. Dat verwachten we nu ook weer, maar hoeveel nazorg is dat? Dat gaan we uitgebreid meten. We gaan niet alleen kijken naar de kosten van de uitvoering, maar ook naar de maatschappelijke baten, zoals het schoonmaken van het estuarium. De aanleg wordt goedkoper, het water wordt schoner, maar er is meer nazorg nodig. Dat moet je allemaal meetellen." (HWBP, 2020)

6.3. Waarde creatie

Onder waarde creatie wordt vooral het toepassen van nieuwe technieken en multifunctioneel ruimtegebruik verstaan. Het Hillblock, dat ten opzichte van zetsteen 30% minder beton bevat, is hier een praktisch voorbeeld van. Bij groene dijken zijn ook enkele technieken ontwikkeld. JLD Dijkstabilisator en vacuümconsolidatie technieken uit het eerder afstudeeronderzoek van Bouke Leeuwenhoek (Leeuwenhoek, 2019) toont aan dat bij relatief kleine keringen deze technieken een uitkomst kunnen bieden en dat deze van toepassing kunnen zijn voor de regionale keringen van Hoogheemraadschap van Rijnland. Vacuümconsolidatie is het best toepasbaar bij kleine keringen met een flauw talud. Deze technieken worden nu al in grotere projecten op de proef uitgevoerd waarbij behoud van de huidige vormgeving van de keringen en materiaal van belang is. Het te gebruiken materieel om deze technieken toe te passen is te belastend voor de regionale keringen: ze overschrijden de maximaal toegestane materieelbelasting tijdens de uitvoering. Hier dient eerst een oplossing voor te worden gevonden. De toepassing van de JLD Dijkstabilisator is verder uitgewerkt in hoofdstuk 7.1.4: Innovatieve oplossingen.

Onder multifunctioneel ruimtegebruik wordt gesproken over plaatsing van zonnepanelen op de dijk. Een groot netwerk aan zonnepanelen op de dijken kan bijdragen aan ruimtebesparing en toevoegen aan de energietransitie in het gebied. Men ziet hier een optie om omwonenden gratis stroom te bieden van deze zonnepanelen als compensatie voor extra overlast die wordt veroorzaakt door ingrijpende maatregelen langs de dijk.

Denk bij waarde creatie ook aan real-time monitoring met sensoren in de dijk. Als sensoren kunnen worden gebruikt om de stabiliteit en het zettingsgedrag van de dijk over langere tijd te meten, hoeven minder grove schattingen te worden gedaan en zijn extra tijdrovende metingen voor deze precisie niet nodig. Met deze real-time monitoring kan nauwkeurig onderhoud worden gedaan en worden minder strekkingen onnodig aangepakt.

6.4. Ontwikkelingen in techniek

De kennis rond circulariteit groeit ook binnen de HWBP. Programma's als DuboCalc worden toegepast om vroegtijdig inzicht te krijgen in milieukostenindicatoren die mee dienen te wegen in de impact van het project. Bij de dijkversterking van de Grebbedijk ontwikkelde het projectteam een 'circulair afwegingskader' genaamd de Circulaire Peiler. Dit is een scoremodel voor het gebruik van de circulaire ontwerpprincipes in het planproces, vergelijkbaar met een multi-criteria analyse. Het afwegingskader wordt nu geschikt gemaakt voor een brede toepasbaarheid bij Rijkswaterstaat en waterschappen.

In 2016 heeft het Australische bedrijf Armour Group een test gedaan met een kunststoffen damwanden constructie bij de Delta Flume van Deltares. Ze noemen de constructie de Armour Wall. De constructie bestaat uit een combinatie van twee parallellen kunststofdamwanden met daartussen een zandpakket van grofweg 4 meter dik, een kunststof variant op een kistdam. De Armour Wall is goed uit de test gekomen en blijkt sterk

genoeg om golven van zee te kunnen weren. Volgens directeur van de Armour Group is elk type zand bruikbaar tussen de damwanden om de sterkte te waarborgen. (Sector, 2016)

Het voordeel van deze constructie is een laag ruimtegebruik, lage milieu impact vergeleken met een stalen damwandconstructie en de constructie lijkt flexibel de golfwerking af te buigen.

J. Laan en N. Tenhage hebben een afstudeerscriptie geschreven in opdracht van Arcadis om onderzoek te doen naar innovatieve dijkversterking. Hierin zijn enkele methodes besproken die zouden kunnen bijdragen aan toepassingen met gebiedseigen grond, zoals het gebruik van geosynthetisch versterkte taludhellingen. Hierbij worden de dijken laag voor laag opgebouwd met horizontale lagen van geosynthetische doeken, die buiten de glijcirkel worden verankerd. Deze techniek wordt al toegepast bij het versterken van taludhellingen van grondlichamen. Het levert een hogere macrostabiliteit, waardoor de taludhellingen steiler kunnen worden opgebouwd. Het gebruik van deze techniek betekent wel, dat de gehele bestaande dijk ontgraven dient te worden om vervolgens deze weer laag voor laag op te bouwen. Hierdoor lijkt de toepassing van deze techniek bij bestaande keringen niet wenselijk.

Verder spreken Laan en Tenhage over het gebruik van een betonnen constructie in de teen om de macrostabiliteit te verhogen. Deze constructie is echter alleen van toepassing bij kleine gefaalde strekkingen, aangezien de betonnen constructie zijn kracht uit een stabiel deel van de dijk haalt. Daarbij heeft het toepassen van deze constructie een nadelig effect op de grondwaterstroom onder de dijk, wat zal leiden tot meer kwelwater. (Tenhage, 2008)

6.5. Toepassing op de regionale keringen van Rijnland

In het kort zijn de volgende technieken in de waterbouwsector gevonden om circulariteit in dijkverbeteringsprojecten te brengen:

- Preventie: Met nauwkeurige monitoring door meer inspecties en/of door middel van sensoren kan onnodig onderhoud worden voorkomen.
- Waardebehoud: Hergebruik van materialen
- Waardecreatie: Innovatieve technieken en multifunctioneel ruimtegebruik

Veel van deze technieken zijn van toepassing op de regionale keringen van het Hoogheemraadschap, maar niet allemaal.

-Het gebruik van zonnepanelen op de dijken wordt sterk afgeraden. De toepasbaarheid van deze toevoeging langs kleinere dijken is nihil door gebrek aan ruimte en wandelpaden die over de kering lopen. Daarbij werken de zonnepanelen de kerende werking van de grasbekleding tegen. Schade aan de grasbekleding kan bij plaatsing en gebruik van de zonnepanelen niet worden voorkomen.

-De techniek van de Armour Wall is niet toepasbaar bij de regionale keringen van het Hoogheemraadschap van Rijnland. De dijken zijn opgebouwd uit klei en veen. Deze grondsoorten kunnen de krachten binnen een kistdam niet goed opvangen.

Gezien de afbakening van dit onderzoek rond materiaalgebruik ligt, zal in de volgende hoofdstukken de focus liggen op het hergebruik van materialen en innovatieve technieken die het gebruik van materialen voorkomen.

7. Wat voor alternatieve, meer circulair georiënteerde, materialen zijn te gebruiken in de regionale dijkverbetering?

Uit voorgaand onderzoek blijkt dat het gebruik van verschillende materialen in de regionale keringen van het Hoogheemraadschap van Rijnland vrij beperkt is. De dijk wordt hoofdzakelijk opgebouwd uit klei, waarbij de afdekkende lagen dienen te voldoen aan erosiebestendigheidsklasse II, voor het talud, en erosiebestendigheidsklasse I, voor de kruin. De dijkbekleding bestaat voornamelijk uit ingezaaid gras. In gevallen van ruimte tekort wordt er vaak gegrepen naar een stalen damwand oplossing en de beschoeiing aan de waterkant wordt opgezet met een combinatie van hardhout en vurenhout of er wordt gekozen voor het aanplanten van riet.

7.1. Materiaalgebruik voor damwanden

Als er wordt gekeken naar alternatief materiaalgebruik voor deze geschetste situatie ligt de grootste kans bij de stalen damwanden. Staal staat bekend als een ernstig vervuilend bouwmateriaal. Bij de productie en recycling van staal zijn zeer hoge temperaturen nodig. Deze warmte wordt voornamelijk gegenereerd door de verbranding van kolen, wat ervoor zorgt dat het productie en verwerkingsproces een zeer hoge CO2-uitstoot levert. Daarnaast is staal een hoogwaardige vorm van ijzer, wat een eindige grondstof is.

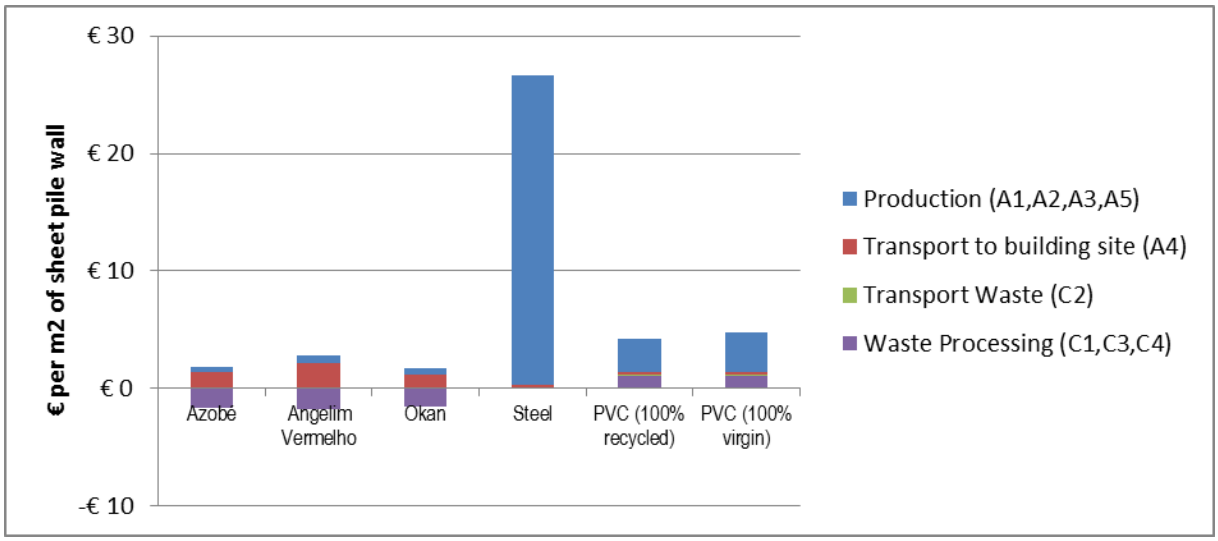
Als vervanging voor stalen damwanden wordt er vaak gekeken naar kunststof of houten damwanden. Tot nu toe worden kunststof damwanden voornamelijk gebruikt als heaveschermen om piping te voorkomen. Dit voornamelijk door de onzekerheid die men heeft met het gebruik van een nieuw materiaal dat een lagere sterkte en stijfheid bevat.

Om te onderzoeken wat de milieu-impact is van het gebruik van bouwmaterialen wordt er gegrepen naar de rekentool DuboCalc. In DuboCalc kan de milieu-impact van materialen en producten concreet worden vergeleken door middel van de Milieukosten indicator (MKI) en de CO2-footprint.

In een studie door Waterschap Rivierenland kwam de conclusie dat de kunststof damwand de CO2 uitstoot reduceert met 96 procent en de MKI met 94 procent ten opzichte van de stalen damwand per vierkante meter. (Rivierenland, 2020)

Dit resultaat volgt ook uit een onderzoek door het bureau EY in opdracht van FSC Nederland. Hierbij is de MKI berekend van het gebruik van stalen- kunststoffen-, maar ook hardhouten damwanden.

Het onderzoek concludeert dat gemeenten en waterschappen een forse milieuwinst kunnen boeken als er vaker gebruik wordt gemaakt van houten damwanden in plaats van staal of kunststof. (FSC, 2016)



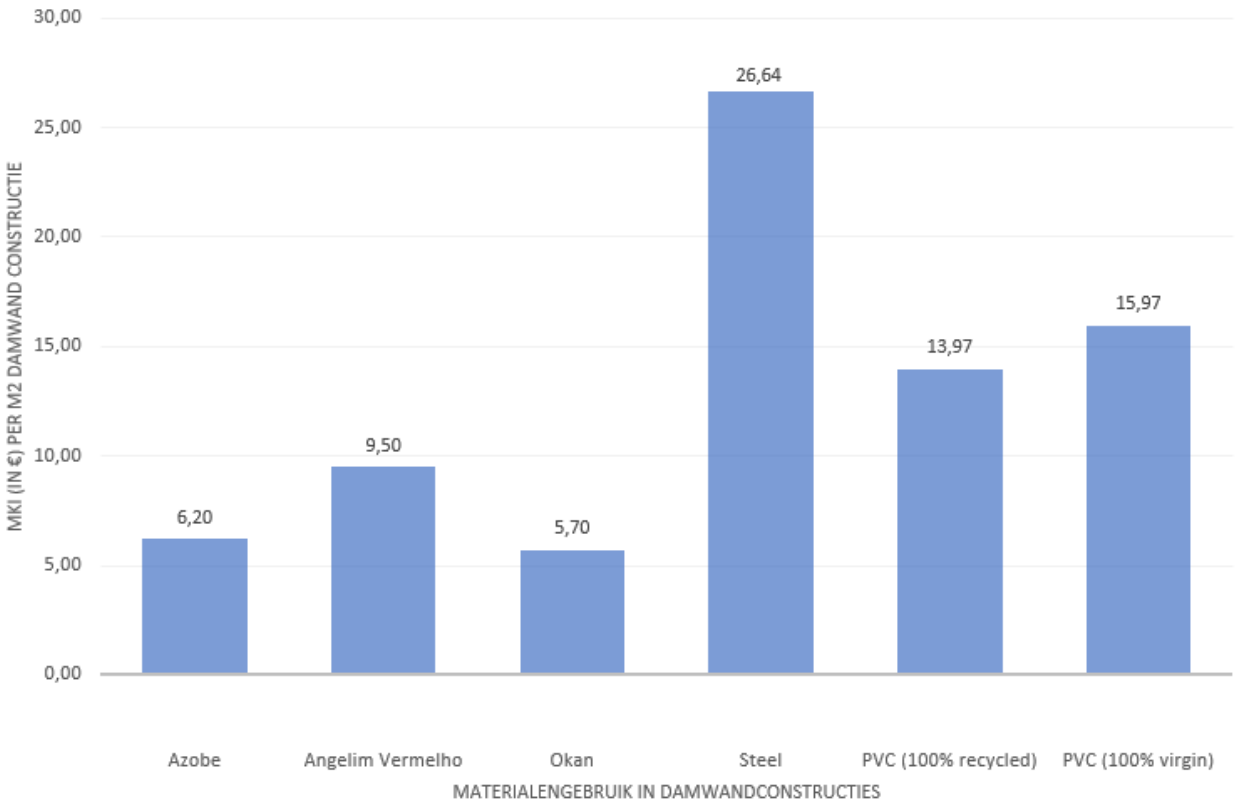
Figuur 10 LCA studie in opdracht van FSC Nederland op materiaalgebruik van damwanden

In figuur 10 zijn drie veelgebruikte soorten hardhout, Azobe, Angelim Vermelho en Okan, afgezet tegen het gebruik van staal en kunststof, als zowel nieuw product als gerecycled plastic. Hierin is een milieukosten indicatie (MKI) gegeven in euro per m^2 damwandconstructie. Deze MKI waardes komen uit een LCA studie op deze verschillende materialen in gebruik als een damwandconstructie. Een LCA voor bouwwerken en bouwproducten bestaat uit vier fases:

A. Productie- en bouwfase
B. Gebruiksfase
C. Sloop- en verwerkingsfase
D. Mogelijkheden voor hergebruik, terugwinning en recycling

Zoals te zien is in de legenda van figuur 10 zijn de mogelijkheden voor hergebruik, terugwinning en recycling niet meegenomen in het onderzoek.

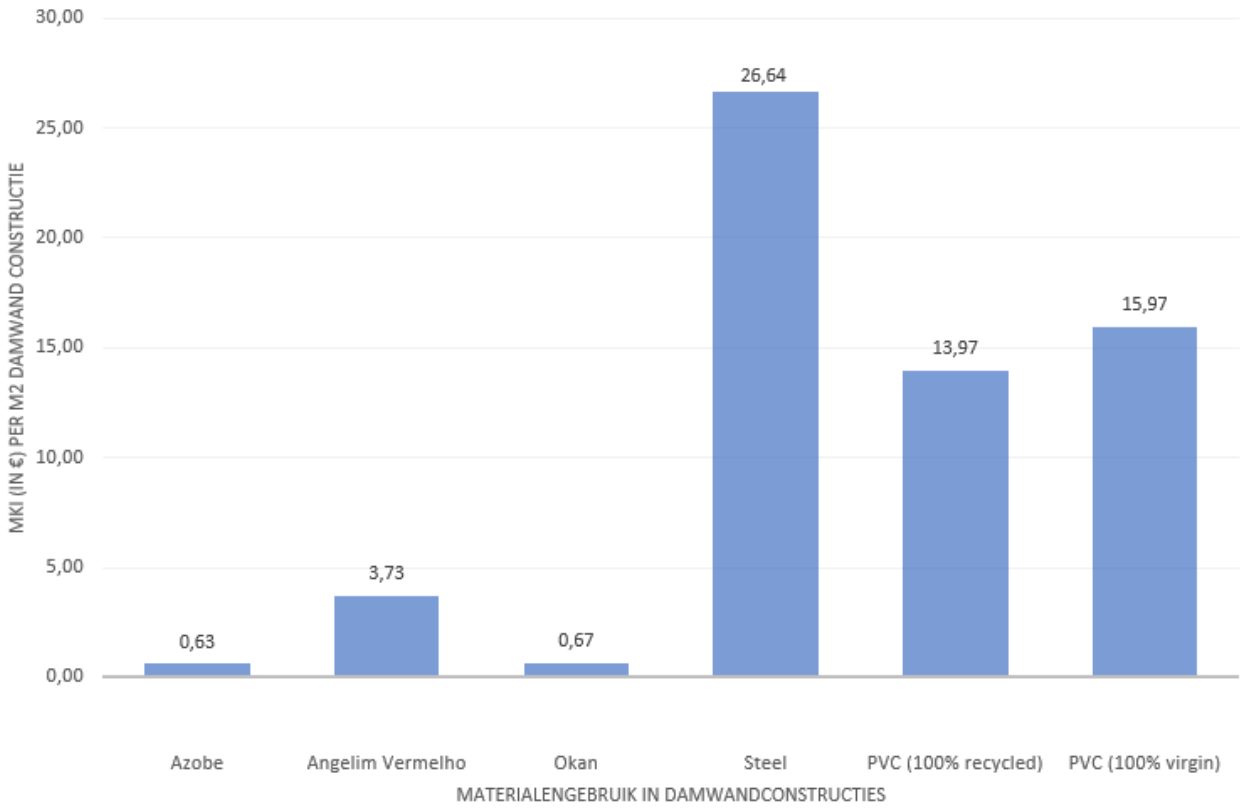
Deze grafiek gaat uit van een levensduur van 30 jaar voor alle materialen. Dit geeft een vrij vertekend beeld voor staal. In figuur 11 is de levensloop van een constructie van 100 jaar meegenomen en is de totaalsom van milieukosten weergegeven. Hierin is het voordeel van waste processing op het gebruik van houten damwanden, wat voornamelijk bestaat uit de opname van CO2 tijdens de groei van de bomen, niet meegenomen om de meest ongunstige situatie weer te geven. Hardhout heeft erg lang nodig om te groeien en overmatig gebruik van dit materiaal kan negatieve gevolgen hebben voor het milieu.



Figuur 11 LCA studie FSC Nederland op materiaalgebruik van damwanden over 100 jaar

Hierin is te zien dat staal nog steeds een significant hogere milieu-impact heeft dan de kunststof en houten varianten. Daarbij hangt er aan het gebruik van houten damwanden ook een significant lagere impact dan kunststoffen damwanden. De relatie in MKI is duidelijk: Het gebruik van houten damwanden, in de meest ongunstige situatie, geeft een factor twee lagere MKI-score dan gerecycled PVC, wat weer een factor twee lagere MKI-score heeft dan stalen damwanden.

In het geval dat de opname van CO2 door bomen gebruikt voor houten damwanden wel wordt meegenomen is het voordeel voor het gebruik van houten damwanden nog duidelijker, zie figuur 12.



Figuur 12 LCA studie FSC Nederland over 100 jaar met negatieve MKI in waste processing voor houten damwandconstructies

Houten damwanden hebben naast een significant lagere MKI score ook een praktisch voordeel: bij het gebruik van houten damwanden in veengronden, die in grote mate aanwezig is in het gebied van het Hoogheemraadschap, laat de houten constructie voldoende water door om de veenlagen niet te laten uitdrogen. Bij stalen- en kunststoffen damwanden is drainage vereist.

Enkele voorstanders voor het gebruik van hardhout zien ook een voordeel in de toekomst voor de productie van het materiaal. Er wordt verwacht dat als de vraag naar FSC hout stijgt, het verbouwen van bomen winstgevender wordt, waardoor meer bomen geplant zullen worden, wat zorgt voor een hogere CO2 opname. Men stelt dat door te kiezen voor hout als bouwmateriaal in plaats van staal er een grote stap gezet wordt naar de verbetering van ons leefklimaat. Een dergelijke marktwerking is mogelijk, maar niet gegarandeerd. Sceptici zijn bang voor een toename in ontbossing van het regenwoud, in plaats van duurzame herplanting. In de studie van FSC Nederland is uitgegaan van een positieve toename van de productie van FSC hout.

Als alternatief voor het gebruik van hardhout wordt er in de industrie steeds vaker gekeken naar bamboe. Het grote voordeel van bamboe is de hernieuwbaarheid: bamboe groeit vijf keer sneller dan hardhout. De vezels van bamboe zijn van vergelijkbare sterkte als hardhout. Onder hoge temperatuur en druk kunnen bamboe strips tot planken en balken worden samengeperst waardoor het materiaal eigenschappen krijgt als hardhout. Dit wordt het thermo-density-proces genoemd. De soortelijke massa is ca. 1150 kg/m^3 bij Bamboo X-treme, een gepatenteerd product van MOSO International. De behandeling zorgt ervoor dat

het bamboeproduct een duurzaamheidsklasse 1 krijgt. Met deze behandeling behaalt het materiaal een elasticiteitsmodulus van gemiddeld 13565 N/mm^2 en een buigsterkte van 54,4 N/mm^2. Hiermee valt het materiaal in de hardhout sterkte klasse D50, zie figuur 13, dezelfde sterkteklasse als Angelim Vermelho. Azobe, de meest gebruikte soort hardhout, valt in de sterkteklasse D70.

Sterkteklassen met materiaaleigenschappen voor gezaagd hout (NEN 6760)

Eigenschap	D30	D35	D40	D50	D60	D70	Eenheid
$f_{m;o;rep}$	30	35	40	50	60	70	N/mm^2
$E_{o;ser;rep}$	10000	10000	11000	14000	17000	20000	N/mm^2
ρ_{rep}	530	560	590	650	700	900	kg/m^3
$f_{t;o;rep}$	18	21	24	30	36	42	N/mm^2
$f_{t;90;rep}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	N/mm^2
$f_{c;o;rep}$	23	25	26	29	32	34	N/mm^2
$f_{c;90;rep}$	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5	N/mm^2
$f_{v;o;rep}$	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0	N/mm^2
$E_{o;u;rep}$	8000	8700	9400	11800	14300	16800	N/mm^2
$E_{90;ser;rep;\ loofhout}$	640	690	750	930	1130	1330	N/mm^2
$G_{ser;rep}$	600	650	700	880	1060	1250	N/mm^2

Figuur 13 Sterkteklassen hardhout volgens NEN 6760. Bamboo X-treme materiaal bevat, met een buigsterkte van 50 N/mm^2 en elasticiteitsmodulus van 14000 N/mm^2, een sterkte klasse D50.

(Hout, 2007)

Omdat op deze manier gemodificeerd bamboe een hardheid kan verkrijgen die vergelijkbaar is met die van hardhout, is bamboe te prefereren boven hardhout omdat het snel groeit, vroeg gekapt wordt en het na kap weer uit zichzelf opgroeit.

7.1.1. Milieukosten indicatoren voor damwanden berekend in DuboCalc

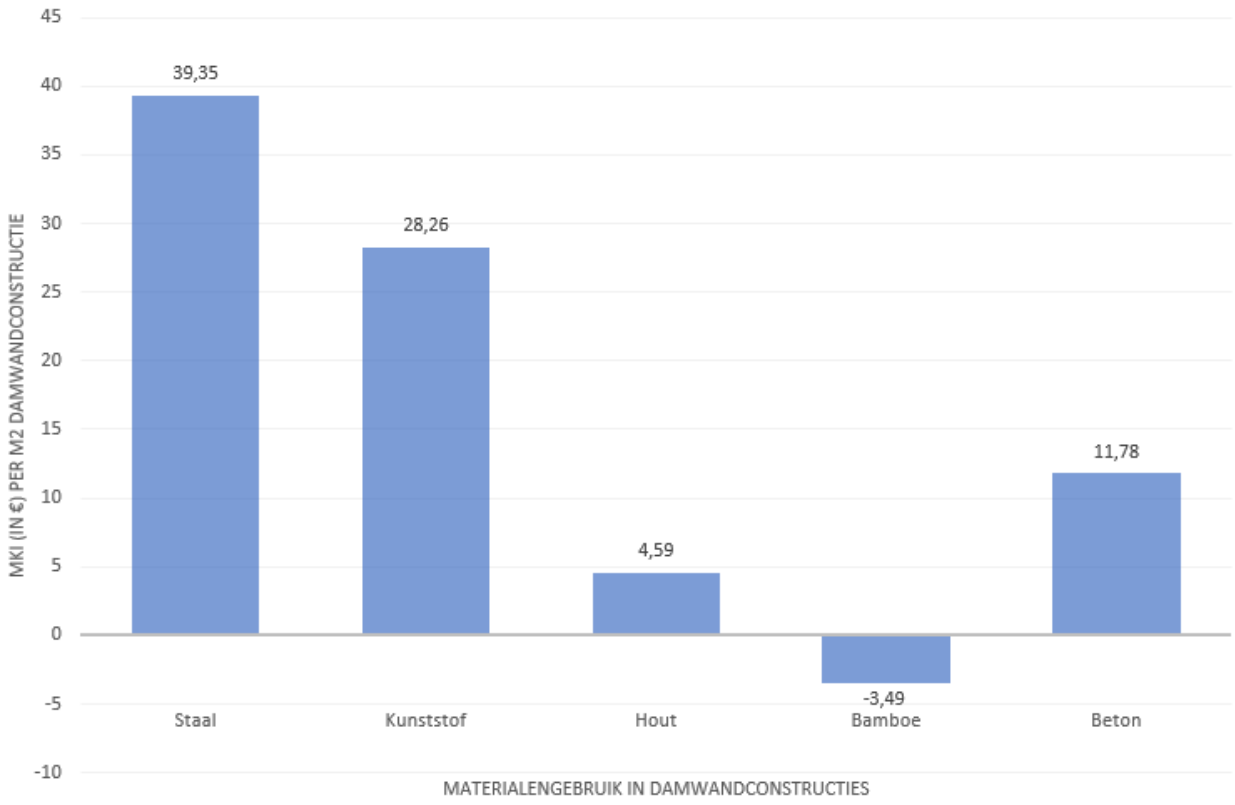
In DuboCalc is berekend wat de MKI scores van de verschillende types damwanden bedragen. De resultaten van deze berekening zijn weergegeven in figuur 14, milieukosten indicaties per materiaalsoort voor elke vierkante meter aan damwandconstructie.

Bamboe damwanden, gemaakt van MOSO Density Bamboe plaatmateriaal, behalen volgens de berekening in DuboCalc een negatieve MKI score. Deze MKI score is berekend uit de Environmental Product Declaration geleverd door MOSO International. De LCA is opgesteld door Stichting Agrodome en is gebaseerd op de productiedata die is geleverd door MOSO. De resultaten uit de LCA studie zijn te vinden in Bijlage F. De resultaten uit deze LCA is geïmporteerd in DuboCalc, versie 6.0, en aangepast tot de maatvoering van een houten damwandconstructie.

Deze MKI is enkel gebaseerd op het materiaal. Het gebruik en het plaatsen van het materiaal is in deze berekening niet meegenomen. Het is te verwachten dat bij het meenemen van deze uitvoeringsaspecten de MKI voor een bamboe constructie die van een hardhouten constructie zal naderen. Gezien dit bamboe materiaal nog niet tot beperkt wordt gebruikt in damwand constructies, dient hier verder onderzoek naar te worden gedaan.

Verder is in figuur 14 te zien dat de waardes voor stalen- en kunststoffen damwanden op andere waardes uitkomen dan de studie van FSC, figuur 10. Bij de stalen damwand zal voornamelijk de lengte van de damwand, 12 meter, bijdragen aan een hogere MKI waarde. Houten damwanden zijn doorgaans 6-8 meter in lengte. De kunststoffen damwand berekening in DuboCalc heeft enkel fase A1-A3, productie- en bouwfase, uit de LCA berekening ingevoerd. Het is mogelijk dat voor onzekerheden in de gebruiks- en verwerkingsfases is gecompenseerd.

Als er van een andere hoek wordt gekeken naar een variant waar de constructie langer dient te staan dan 30 jaar is een betonnen damwand een goed alternatief. Betonnen damwanden zijn getest op een levensduur van 100 jaar en vallen zelfs lager uit in de MKI score dan kunststoffen damwanden. (Betonfabriek, 2019) Een nadeel is wel dat net zoals houten- en veelal kunststoffen damwanden er maar een beperkte lengte mogelijk is. Het grootste formaat bedraagt 8 meter in lengte aangezien de damwanden prefab moeten worden gemaakt en bevestiging van meerdere elementen niet mogelijk is. Dit neemt niet weg dat als maar een beperkte diepgang nodig is voor de kerende constructie een betonnen damwand, met een MKI score van 11,78 euro/m^2 een zeer goed alternatief is voor een constructieve kering.



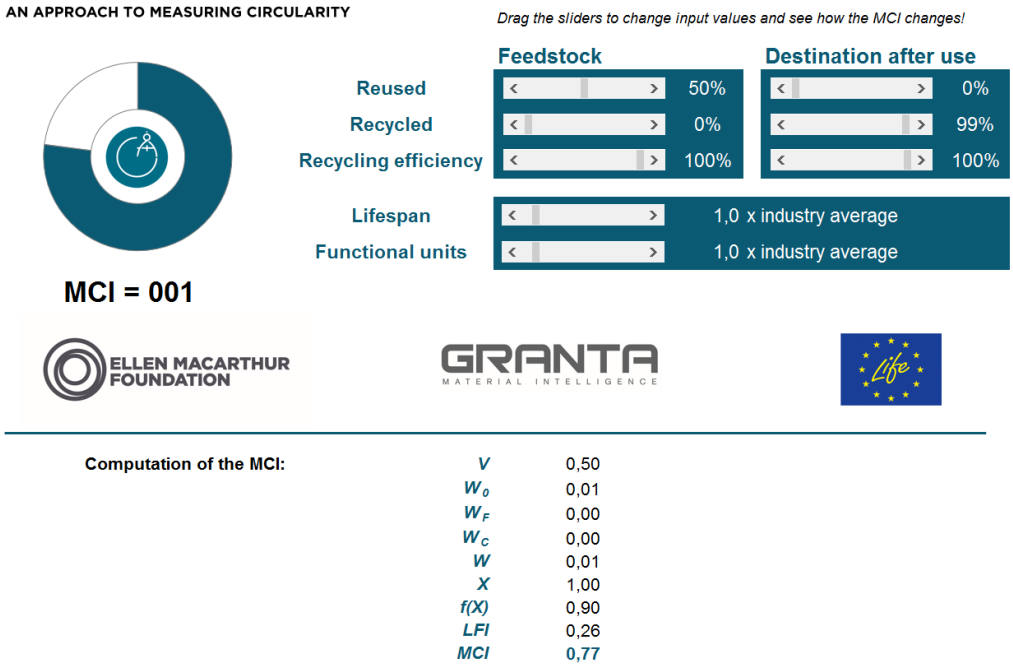
Figuur 14 MKI waardes, berekend in DuboCalc, voor verschillend materiaalgebruik in damwandconstructies

7.1.2. Material Circularity Index voor materiaalgebruik in damwanden

Als vervolgens wordt gekeken naar het materiaalhergebruik volgens de Material Circularity Index wordt een ander verhaal verteld.

De MCI geeft de mate van circulariteit van een product weer op basis van een score van 0 tot 1, waarbij een waarde van 1,00 betekend dat het product 100% gebruik maakt van materialen die binnen een bestaande kringloop van hergebruik en recycling rondgaan. Hierbij wordt een lagere score toegekend als er meer gebruik wordt gemaakt van nieuwe grondstoffen (parameter V) en als er meer afval wordt geproduceerd (parameter W). De rekenmethode is verder uitgewerkt in Bijlage C.

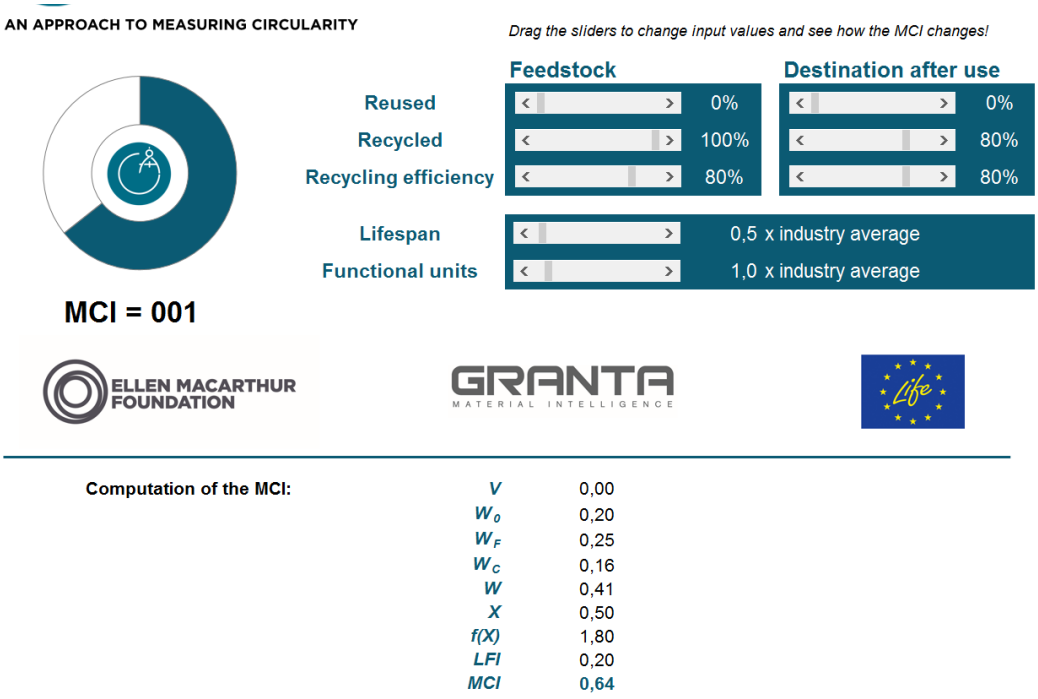
In figuur 15 is de MCI score voor stalen damwanden berekend. Over het algemeen worden stalen damwanden voor 99% gerecycled. Verder wordt door de grote vraag naar damwanden voor 50% nieuwe grondstoffen toegevoegd in dit proces, maar het staal blijft herbruikbaar. Hierdoor scoort een stalen damwand een score van 0,77 op de MCI.



Computation of the MCI:		
	V	0,50
	W_0	0,01
	W_F	0,00
	W_C	0,00
	W	0,01
	X	1,00
	f(X)	0,90
	LFI	0,26
	MCI	0,77

Figuur 15 MCI berekening stalen damwand

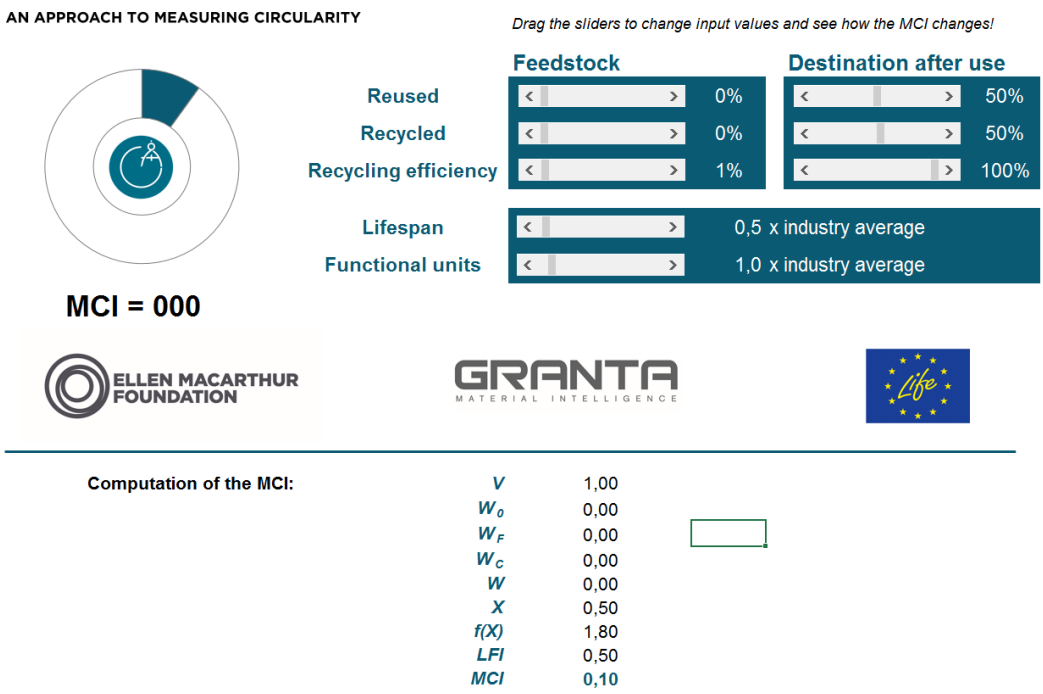
Als vervolgens wordt gekeken naar kunststof damwanden van gerecycled materiaal is er bekend dat de recycling efficiëntie van kunststof 80% bedraagt. Daarbij is de gemiddelde levensduur van een kunststof damwand twee keer zo laag als een stalen damwand. Dit levert een lagere MCI score op van 0,64.



Computation of the MCI:		
	V	0,00
	W_0	0,20
	W_F	0,25
	W_C	0,16
	W	0,41
	X	0,50
	f(X)	1,80
	LFI	0,20
	MCI	0,64

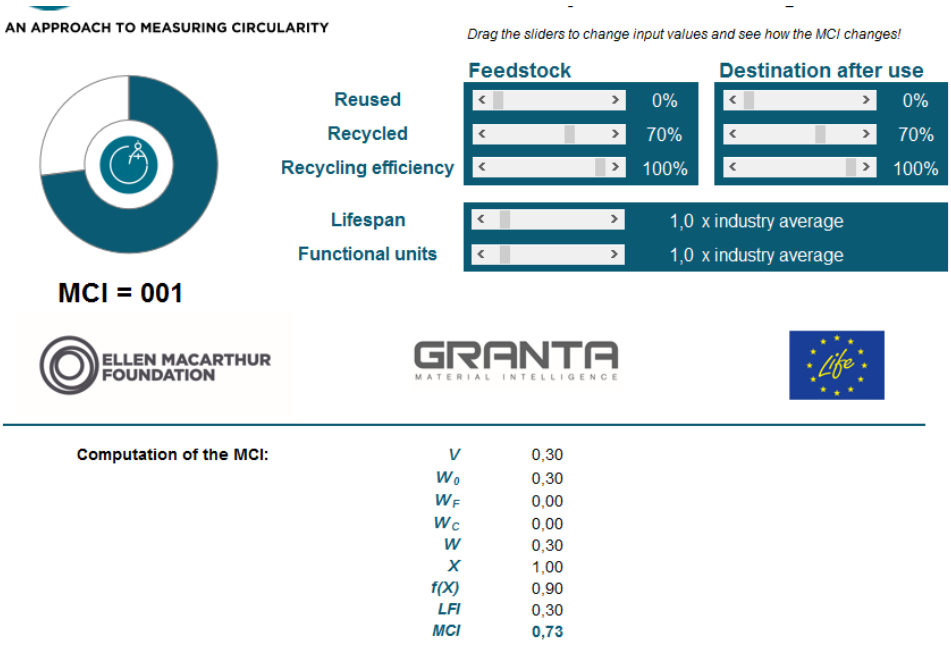
Figuur 16 MCI berekening kunststof damwand

Als vervolgens wordt gekeken naar hardhout, moet men concluderen dat alle hardhouten damwanden maximaal één keer om te keren zijn voordat de gehele houten damwand niet meer te gebruiken is als een houten damwand door verrotting van het materiaal. Hierdoor scoort het product in combinatie met een lagere levensduur zeer laag op de MCI score door het uitsluitend gebruik van nieuwe grondstoffen: 0,10.



Figuur 17 MCI berekening houten damwand

Ten slotte wordt er gekeken naar betonnen damwanden. De betonnen damwanden worden gemaakt van granulaat dat vrijkomt uit oude betonnen constructies. Daarbij is de wapening opgebouwd uit 70% secundair recyclet staal. Gezien de levensduur even lang is als staal geeft dit een MCI score die vergelijkbaar is als stalen damwanden: 0,73.



Figuur 18 MCI berekening betonnen damwand

7.1.3. Multicriteria Analyse

Er is een afweging te maken tussen de impact dat het gebruik van materialen levert op de planeet en het gebruik van materialen die nu in de kringloop zitten. Om de afweging tussen verschillend materiaalgebruik af te wegen is een multi-criteria analyse opgezet. Deze is weergegeven in Tabel 2. Deze MCA beoordeelt het materiaalgebruik voor damwandconstructies aan de hand van bijbehorende MCI en MKI scores. Daarnaast wordt beoordeeld of de grondstof waaruit het bouwmateriaal bestaat hernieuwbaar is. Deze drie criteria wegen voor dit onderzoek even zwaar mee. Bij de bamboe damwand is er door het ontbreken van de gegevens voor dit relatief nieuwe materiaal uitgegaan van dezelfde MCI score als een hardhouten damwand, gezien de gelijkenis tussen de materialen en hun eigenschappen.

Tabel 2 MCA over damwand alternatieven

Materialen	MCI (material)	Score	MKI (LCA)	Score	Hernieuwbaarheid	Score	Totaal
Stalen Damwand	0,77	3,85	39,35	0	Niet hernieuwbaar	0	3,85
Kunststof Damwand	0,64	3,2	28,26	1	Niet hernieuwbaar	0	4,2
Houten Damwand	0,1	0,5	4,59	4	Hernieuwbaar over lange tijd	2,5	7
Bamboe Damwand	0,1	0,5	-3,49	5	Hernieuwbaar over korte tijd	5	10,5
Betonnen Damwand	0,77	3,85	11,78	3,15	Niet hernieuwbaar	0	7

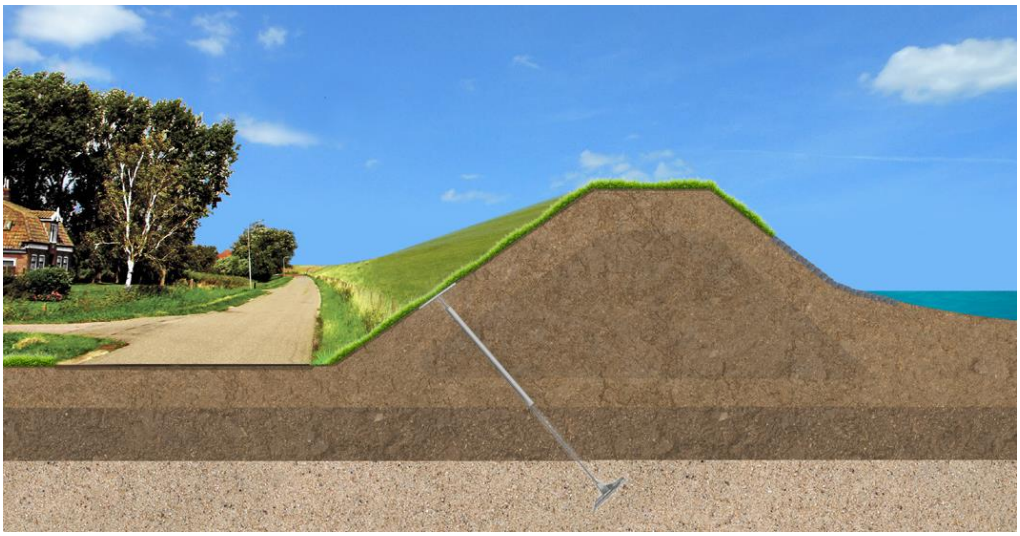
De MCA geeft een score van 0 tot 5 op de gunstigheidsfactoren. Aangezien de MCI al een score geeft tussen de 0 en 1, waarbij 1 staat voor 100% circulair, is er gekozen om deze factoren met 5 te vermenigvuldigen. Bij de MKI score is er gebruik gemaakt van een evenredige verdeling. -3,49 is het minimum; 39,35 is het maximum. De rest van de scores zijn lineair evenredig berekend op de schaal van 0 tot 5.

De materialen staal, beton en kunststof zijn eindige grondstoffen en zijn niet hernieuwbaar. De mate van hernieuwbaarheid van bamboe ligt veel hoger dan die van hardhout. Een gemiddelde hardhout boom heeft 20 jaar nodig om hoogwaardig materiaal te produceren. Een gemiddelde bamboeplant doet dit in 4 jaar. De huidige score geeft het evenwicht weer tussen de niet hernieuwbare materialen staal, beton en kunststof en het zeer hernieuwbare bamboe, met hout in het midden als een matig hernieuwbare grondstof.

Uit deze analyse valt de concluderen dat het bevorderen van gebruik van bamboe, hardhouten of betonnen damwanden essentieel is om te werken richting circulariteit binnen dijkverbetering. Damwanden gemaakt van deze materialen zijn echter maar tot beperkte diepte inzetbaar. In gevallen waar damwand constructies nodig zijn met een hogere diepgang dan 8 meter, zal een andere oplossing moeten worden gevonden om het gebruik van stalen damwanden te verminderen.

7.1.4. Innovatieve oplossing: Dijkvernageling als alternatief voor stalen damwand constructies

Dijkvernageling is een techniek die gebruik maakt van langgerekte ankers om afschuiving van de grond tegen te gaan. Een goed voorbeeld hiervan is de JLD Dijkstabilisator. Hierbij wordt op iedere strekkende meter van de kering twee dijkstabilisatoren geplaatst, afhankelijk van de kritieke glijvlakken in de dijk. De dijkstabilisator maakt gebruik van een klapanker, die wordt aangebracht buiten de invloed van de kritieke glijcirkels, om trekkracht over te brengen naar de ondergrond. Het klapanker is verbonden aan de trekstang die de dwarskracht overbrengt naar het klapanker vanuit het loaddistributie element (LDE) en de kopplaat. De kopplaat zorgt ervoor dat de krachten vanuit de ondergrond worden omgezet in een normaalkracht op de trekstang. (Leeuwenhoek, 2019)

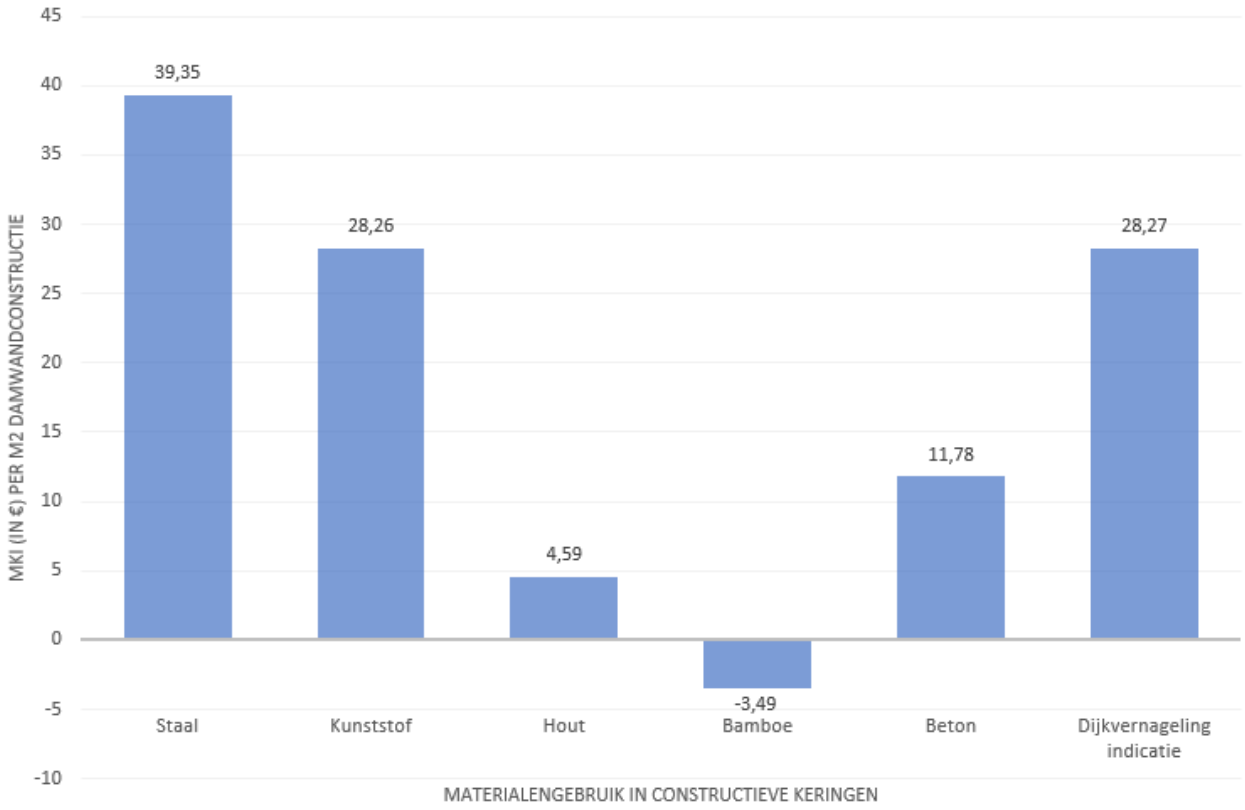


Figuur 19 JLD Dijkstabilisator, een voorbeeld van dijkvernageling (JLD,2018)

Het gebruik van dijkvernageling heeft een lager materiaalgebruik dan een conventionele stalen damwand constructie. Daarnaast bevat de JLD Dijkstabilisator sensoren, die de spanning op de trekstang meet. Hiermee wordt ook bijgedragen aan de monitoring van de kering, zodat scherper kan worden ingegrepen wanneer de stabiliteit van de kering weer onderuit gaat. (JLD, 2018)

Voor de dijkvernageling methode is nog geen MKI beschikbaar in de nationale milieudatabase. Ter indicatie van de milieu impact is er een model opgesteld op basis van een lager materiaalgebruik t.o.v. een stalen damwand en een combinatie van vergelijkbaar materiaal in DuboCalc. In de uitvoering wordt er uitgegaan van twee vernagelingen per strekkende meter.

Voor de ankerstang gaat men uit van het slechtste scenario: een stalen anker. Dit om te compenseren voor de materialen die niet direct kunnen worden berekend in DuboCalc, zoals het klapanker aan het einde van de ankerstang. Het stalen damwand profiel dat wordt gebruikt voor het staal heeft een oppervlak van 174,1 cm^2 per strekkende meter. De ankerstang van de JLD Dijkstabilisator heeft een diameter van 25 mm. Dit geeft een oppervlakte van 491 mm^2 = 4,91 cm^2 per anker. Voor twee ankers levert dit een staal oppervlak van 9,82 cm^2. Voor de berekening van de ankerstang wordt een factor van 1/9,82= 0,0564 maal de MKI waarde van de stalen damwand gebruikt. Daarbij wordt een kunststoffen plaatdeksel die overeenkomt met het formaat van de kopplaat van de dijkstabilisator gebruikt uit DuboCalc voor de indicatie berekening. Deze berekening geeft als resultaat een MKI waarde die vergelijkbaar is met een kunststoffen damwandconstructie: 28,27 euro per m^2 constructieve kering, zie figuur 20. Hieruit kan worden geconcludeerd dat een dijkvernageling een milieubewust alternatief is voor een stalen damwand constructie.



Figuur 20 MKI waardes, berekend in DuboCalc, voor verschillend materiaalgebruik in constructieve keringen

7.2. Grondgebruik

Verdere verbeteringen in materiaalgebruik kan men zoeken in de grond die wordt gebruikt in de dijkverbetering. In principe zijn er geen materialen die beter scoren op MKI of MCI dan de grond die in de directe omgeving beschikbaar is; ervan uit gaande dat deze niet vervuild is. Het is van belang dat eerst een onderzoek wordt gedaan naar mogelijke vervuilingen in de ondergrond, voordat er met de beschikbare grond wordt gewerkt. In het geval van de MCI classificatie scoort het materiaal 100% circulariteit. Het heeft een oneindige levensduur, heeft enkel negatieve effecten op het milieu door transport van het materiaal en het is in grote hoeveelheden voor handen. De grond die wordt geleverd voor de dijkverbetering kan echter van ver komen. Erosiebestendige klei krijgt steeds hogere eisen en in de directe omgeving ligt deze niet altijd voor het grijpen.

Het gebied van Hoogheemraadschap van Rijnland kent vele klei- en veengronden. Het te gebruiken klei komt uit akkerlanden die worden omgebouwd tot industriegebieden en nieuwbouw. Dit betreft voornamelijk regio's rond Utrecht, Blaricum en Waddinxveen. Om deze grond efficiënt in de regio te gebruiken is opslag nodig. Tegenwoordig wordt gebruik gemaakt van sleufsilo's die een seizoen leeg staan om een deel van deze vrijkomende grond te bergen. De vraag naar een centraal opslag depot is wel aanwezig. Dit opslag depot zou een langere tijd herbruikbaar materiaal, zoals deze kleigrond kunnen bergen.

Volgens Arjan Kooij, van de POV Gebiedseigen Grond van het HWBP, kan gebruik van gebiedseigen grond technisch eigenlijk altijd wel. Alleen sluit het in het proces vaak niet goed aan of is de technische kennis rond de eigenschappen van de regionale grond niet

direct voorhanden. Grond komt vaak niet op hetzelfde moment vrij als dat het moet worden gebruikt in de regio. Een opslag depot zou hier wederom een goede oplossing voor geven. Tevens kan dit opslag depot worden gebruikt om klei van lagere sterkte klasse te laten rijpen naar een hogere klasse, zoals gebeurt bij de Brede Groene dijk (zie figuur 9).

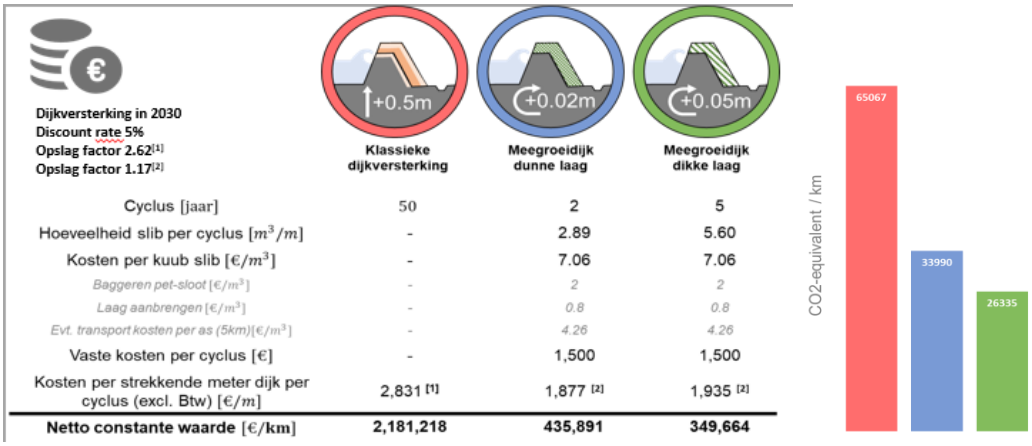
Het POV concludeert dat er een omslag te maken is in de denkwijze van het ontwerp van een kering. "In plaats van: Welk materiaal heb ik nodig voor deze dijkconstructie?, stel de vraag: Hoe kan ik een veilige dijk bouwen met deze materialen die ik heb?."

7.2.1. Meegroeidijk

Bij uitbagger werkzaamheden kan worden gekeken naar een Meegroeidijk. Hierbij wordt iedere keer dat de waterbodem wordt uitgebaggerd, het slib als een dunne laag op de dijk gegooid. Een dunne laag kan langzaam rijpen en het gras kan erdoorheen groeien. Op deze manier kan de zetting van de veengronden worden gecompenseerd en is er een geleidelijkheid in de methodiek. Daarbij kan het slib snel oplossingen bieden voor bijvoorbeeld scheuren te dichten in uitgedroogde veendijken.

Het gebruik van slib geeft uiteraard wel nadelen wanneer er een weg over de dijk loopt. Het slib kan ook stank overlast geven, wat kan leiden tot protest van omwonenden. Het voordeel is dat er geen grootschalig dijkversterkingsproject hoeft worden opgezet als deze ophogingen met slib effectief de zetting compenseren.

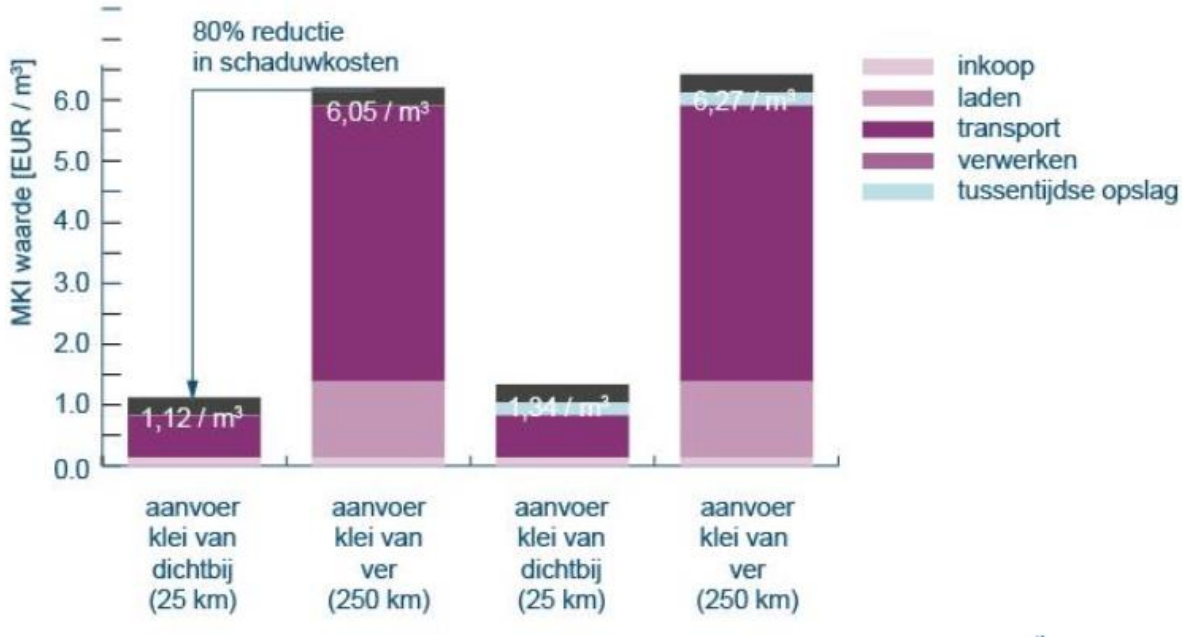
Ecoshape en Deltares zijn samen met universiteiten en waterbouwkundige partners, waaronder vertegenwoordigers van het Hoogheemraadschap van Rijnland, bezig om het concept van de Meegroeidijk uit te werken. Het plan is om in 2022 te beginnen met de eerste Meegroeidijken.



Figuur 21 Kosten klassieke dijkversterking versus twee varianten van een Meegroeidijk (Ecoshape, 2021)

7.2.2. MKI

De Project-overstijgende verkenning dijkversterking met gebiedseigen grond (POV-DGG) heeft een studie opgezet om de milieukosten impact te bepalen voor het gebruik van grond uit de directe omgeving (25 kilometer) en grond die van veraf geleverd wordt (250 kilometer). Deze resultaten zijn uiteengezet in het rapport "Resultaten Fase 1" (Weijers, 2020). Uit dit rapport is te zien dat het gebruik van gebiedseigen grond een positief effect heeft op het verminderen van broeikasgassen door de vermindering van transportbewegingen. Er is een onderscheid gemaakt tussen een situatie met en zonder tussentijdse opslag. Deze tussentijdse opslag zou fungeren om de logistiek te bevorderen. De resultaten van deze studie zijn te vinden in figuur 22.



Figuur 22 MKI berekening van gebiedseigen grond en grond van veraf (Weijers, 2020)

Het verschil in milieu-impact tussen gebiedseigen grond en grond die moet worden aangevoerd van ver is significant. Opvallend is dat de toevoeging van tussentijdse opslag geen grote toevoeging levert aan de milieu-impact. Dit resultaat geeft een sterk argument voor het openstellen van een materialen depot om het gebruik van gebiedseigen grond en andere materialen die beschikbaar komen, zoals puingranulaat uit sloopprojecten dat kan worden gebruikt voor paden en wegen, makkelijker te maken.

7.3. Materiaalbesparing

Een andere aanpak binnen de materiaalanalyse is om te kijken naar materiaalbesparingen. Hierbinnen wordt gekeken naar monitoring van de stabiliteit en het zettingsgedrag van de dijk en naar de potentie door het gebruik van geotextielen.

7.3.1. Monitoring

Bij het actief monitoren van de dijk worden sensoren en meetinstrumenten in en rondom de dijk geplaatst om de prestaties van de dijk te meten. Sensoren meten onder andere de waterspanning, de temperatuur in de dijk, de erosie, verzakking en vochtgehalte. Door het continu meten van deze grootheden kan stabiliteit en zakking van de dijk worden gemonitord en kunnen faalmechanismen vroegtijdig worden opgespoord. Door dit inzicht wordt het makkelijker besluiten te nemen op basis van feiten en minder geleid te worden door aannames.

De huidige inspecties worden over grote strekkingen gemaakt. Naast dat deze visuele inspecties tijdrovend zijn, zijn ze ook onnauwkeurig. Er treedt een onzekerheid op rond de conditie van de dijk en deze onzekerheid leidt vaak tot de rigoureuze oplossing van het aanmelden van de dijk als een dijkversterkingsproject. Grote strekkingen van keringen worden afgekeurd, terwijl in werkelijkheid mogelijk maar kleine stukken van de kering niet meer voldoen aan de eisen. Door het actief meten van de prestaties van de dijk kan er dus worden bespaard in onderhoud, wat leidt tot minder materiaalgebruik. Met actueel inzicht kan beter worden bepaald wanneer condities kritiek worden en wat de gewenste maatregelen zijn.

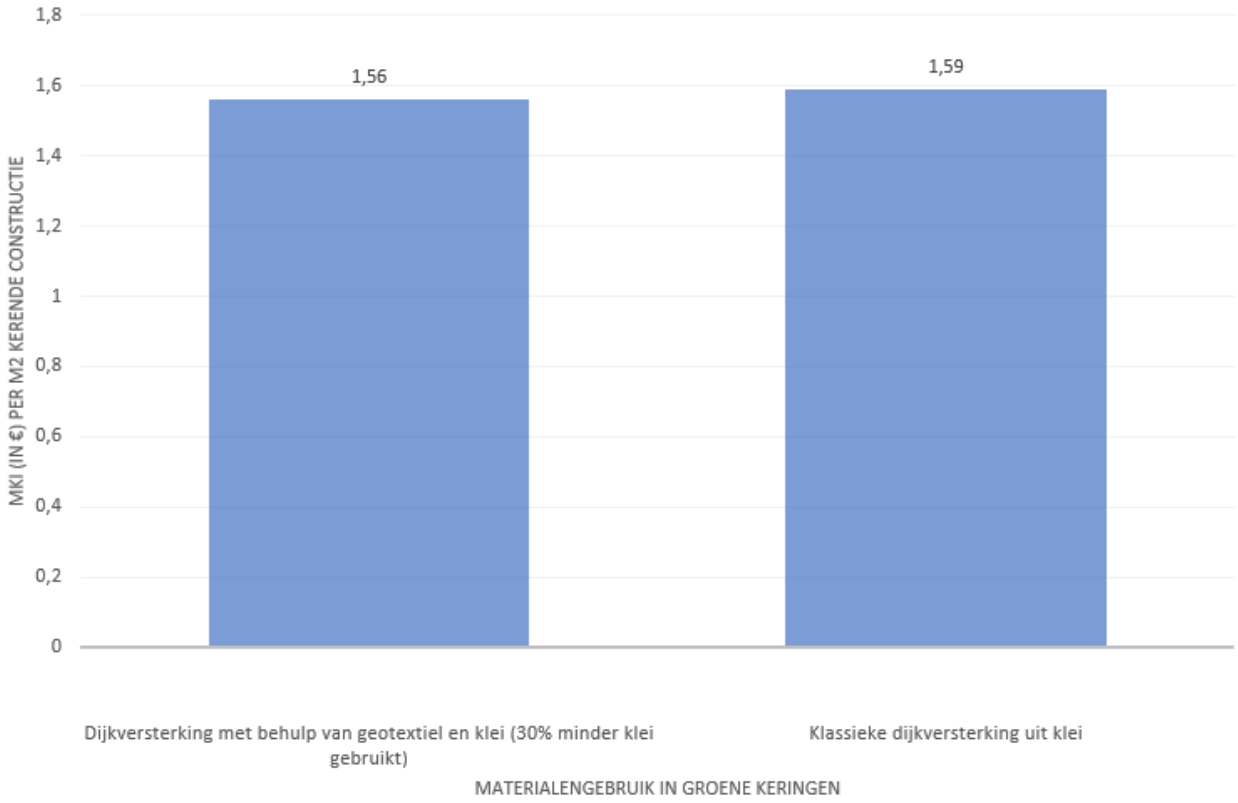
Naast het besparen van materiaalgebruik zijn er ook nog voordelen te vinden in de onderhoudskosten en de veiligheid. Door een actueel beeld te krijgen van het gedrag van de dijk en de historie bij te houden kan onderhoud worden voorkomen, wat geld besparend is, en worden kansen op toekomstig falen zelfs verkleind. Benodigd onderhoud zou kunnen worden voorspeld op basis van de monitoring, waardoor gericht kan worden gehandeld wanneer het echt nodig is of goed uit komt met nabij gelegen projecten.

Er valt wel een kritische kanttekening te plaatsen. Het gebruik van monitoring zal voor meer accurate metingen zorgen in een ideale situatie. De sensoren dienen te worden gecontroleerd of zij nog goed hun werk doen. Daarnaast krijgt de beheerder tijdens een persoonlijke inspectie nog steeds een beter beeld van de situatie. De huidige beheerdersinspecties kunnen niet volledig worden opgeheven door het gebruik van deze monitoring. Het risico op falende technieken kan grote gevolgen hebben voor de waterveiligheid over de lange termijn als er geen tussentijdse inspecties plaats vinden.

7.3.2. Geotextiel

In DuboCalc is berekend wat de impact van het gebruik van geotextiel heeft op de MKI score van het project. De vergelijking is opgezet tussen een project waarbij een klassieke ophoging is gedaan aan de dijk met enkel klei grond en een project waarbij gebruik wordt gemaakt van geotextielen om de hoeveelheid benodigde klei grond te verminderen. Hierbij wordt de hoeveelheid benodigde kleigrond bij de ophoging zonder geotextiel verhoogd, totdat de MKI van beiden projecten gelijk zijn aan elkaar. Het resultaat is de benodigde factor van materiaalbesparing die geotextiel moet opleveren, ofwel bij hoeveel grondbesparing het gebruik van geotextielen beter is voor het milieu bij dijkverbeteringsprojecten.

Uit de overweging binnen DuboCalc is gemeten dat er een minimale verlaging van benodigde grond van 30% procent moet plaatsvinden bij het gebruik van geotextiel om een break even point te krijgen tussen de klassieke ophoging en de ophoging met het gebruik van geotextiel.



Figuur 23 MKI berekening DuboCalc: Dijkversterking uit grond met en zonder toevoeging van geotextiel

Dit break even point betekent dat het gebruik van geotextielen om de grond op te sluiten pas voordelen geeft in mate van circulariteit bij een grondverzet besparing van meer dan 30%. Een dergelijke besparing in grondverzet is niet realistisch te beschouwen, naast het moeten afgraven en opnieuw opbouwen van de huidige dijk om de stabiliteit te waarborgen. Samen met de onzekerheden van de impact die afbraak van het geotextiel kan hebben op het milieu, valt het gebruik van geotextiel om de grond in te pakken af als een oplossing om meer circulariteit te waarborgen.

Conclusie

Aan de hand van voorgaande materiaalstudie is het volgende te concluderen:

-De grootste circulaire winst is te behalen bij het afschalen van gebruik van stalen damwanden. Damwanden uit hout en beton krijgen de voorkeur voor alternatief materiaalgebruik indien de kerende constructie een maximaal benodigde diepte heeft van 8 meter. Na verder onderzoek en ontwikkelingen kan bamboe een sterk alternatief zijn voor houten damwanden. Het toepassen van bamboe materiaal in beschoeiingen is op kortere termijn realistisch.

-Indien een constructieve kering dieper dan 8 meter in de grond dient te worden aangebracht, levert dijkvernageling een goed alternatief voor een stalen damwand constructie.

-Het gebruik van gebiedseigen grond levert sterke circulaire voordelen op. Het openstellen van een materialen depot kan het gebruik van gebiedseigen grond stimuleren. Wanneer bij

het ontwerpen van de kering wordt gekeken hoe een veilige dijk kan worden gebouwd met de materialen die al in het bezit zijn van het Hoogheemraadschap kunnen circulaire doelstellingen effectiever worden behaald.

De toepassing van deze drie resultaten op de dijkverbetering van de regionale keringen van Rijnland wordt verder uitgewerkt in het volgende hoofdstuk.

8. Case study: Toepasbaarheid en kostenoverwegingen

In voorgaand onderzoek is gebleken dat er verschillende manieren zijn om het materiaalgebruik binnen dijkverbeteringen circulair te maken. In dit hoofdstuk wordt aan de hand van de drie meest voorkomende situaties bij dijkverbeteringsprojecten aan de regionale keringen in het beheer van het Hoogheemraadschap van Rijnland uiteengezet hoe op alle trajecten binnen Rijnland circulair kan worden omgegaan met materiaalgebruik.

8.1. Situatie Case Landelijk project: Hogedijk bij Nieuwkoop

Polder Nieuwkoop (droogmakerij) behoort tot één van de meest oostelijk gelegen polders in het werkgebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland.

Het Hoogheemraadschap heeft een toetsing laten doen door Grontmij op alle keringen in deze polder. De Hogedijk bij Nieuwkoop viel bij deze toetsing onder kadevak OR-4.09-013. Dit is een polderkade met een IPO-klasse van III. De kering is afgekeurd op stabiliteit. Het maatgevende faalmechanisme is macrostabiliteit van het binnentalud.

Het beheerdersoordeel van Rijnland stemt hiermee in. Het binnentalud is vrij flauw, waardoor de stabiliteit binnenwaarts waarschijnlijk voldoende is. De waterkering is niet overal voldoende op hoogte. Op sommige strekkingen is het buitentalud afgekalfd en daardoor ook vrij steil, waardoor de stabiliteit van het buitentalud waarschijnlijk onvoldoende is.

Gezien het landelijk imago van deze groene dijk en geen gebrek aan ruimte kan een traditionele dijkverbetering met klei worden uitgevoerd. (Beurskens, 2010)



Figuur 24 Hogedijk bij Nieuwkoop

Alternatief materiaal gebruik:

In deze case wordt de vergelijking opgesteld tussen het gebruik van aangeleverde grond en het gebruik van gebiedseigen grond.

In project bedraagt de hoeveelheid te leveren grond als volgt:

Klei van erosiebestendigheidsklasse 3: 15.300 m^3
Klei van erosiebestendigheidsklasse 1: 851 m^3 (H.Wijt, 2020)

Volgens de studie van het POV Gebiedseigen Grond bedraagt de MKI waarde voor het gebruik van gebiedseigen grond (binnen een straal van 25 kilometer) 1,34 euro/m^3 terwijl grond die van veraf (binnen een straal van 250 kilometer) wordt geleverd een MKI levert van 6,27 euro/m^3. (zie figuur 22)

Als bij projectkosten deze milieu impact wordt meegenomen geeft dit het volgende financieel overzicht:

Bij gebruik van gebiedseigen grond in het project Hogedijk bij Nieuwkoop bedraagt de milieu impact €21.642,34. [*Kanttekening: Hierbij is enkel gerekend aan het grondverzet binnen het project. Andere handelingen en materiaalgebruik staan bij deze vergelijking buiten beschouwing.*] Indien enkel de EK1 klei wordt aangevoerd van veraf, door schaarste in de directe omgeving, bedraagt de milieu impact €25.837,77. Indien alle grond van ver aangevoerd dient te worden bedraagt de milieu impact €101.266,77.

Naast de milieu impact heeft het gebruik van gebiedseigen grond ook andere financiële voordelen, zoals lagere transportkosten. Voor het transport van grond wordt doorgaans € 0,10 à € 0,20/ton/km gerekend volgens de Bodemrichtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit. Gerekend met een soortelijk gewicht van 2000 kg/m^3 voor natte klei, bedraagt het transport van 1 kuub klei gemiddeld 0,30 €/km. (Rijkswaterstaat, Transport en overslag, Kosten wegtransport, 2021)

Uitgaande van twee situaties waarbij klei wordt geleverd van 25 en 250 kilometer afstand zullen de transportkosten met een factor 10 afnemen. De transportkosten voor een project als Hogedijk bij Nieuwkoop zullen van €1.211.325,- naar €121.132,50 gaan.

Kritische kanttekening: Een transportafstand van 250 kilometer is in veel projecten binnen het beheer van Hoogheemraadschap van Rijnland niet heel realistisch, maar afstanden van 50 tot 100 kilometer zijn zeker van toepassing. Dit geeft in een project als Hogedijk bij Nieuwkoop nog steeds een verlaging in transportkosten tussen de 100-350 duizend euro.

Een financieel nadeel is dat de grond mogelijk duurder in aanschaf is. Dit doordat betaald moet worden voor een inrichting van een langdurige opslag en er is mogelijk tijd nodig om grond te laten rijpen. Verdere kostenposten kunnen liggen in het logistiek management en trainingen om het gebruiken van gebiedseigen grond te promoten en te verbeteren.

Ondanks deze onzekerheden kan worden geconcludeerd dat het gebruik van gebiedseigen grond op de lange termijn winstgevend is op zowel milieutechnisch als financieel vlak.

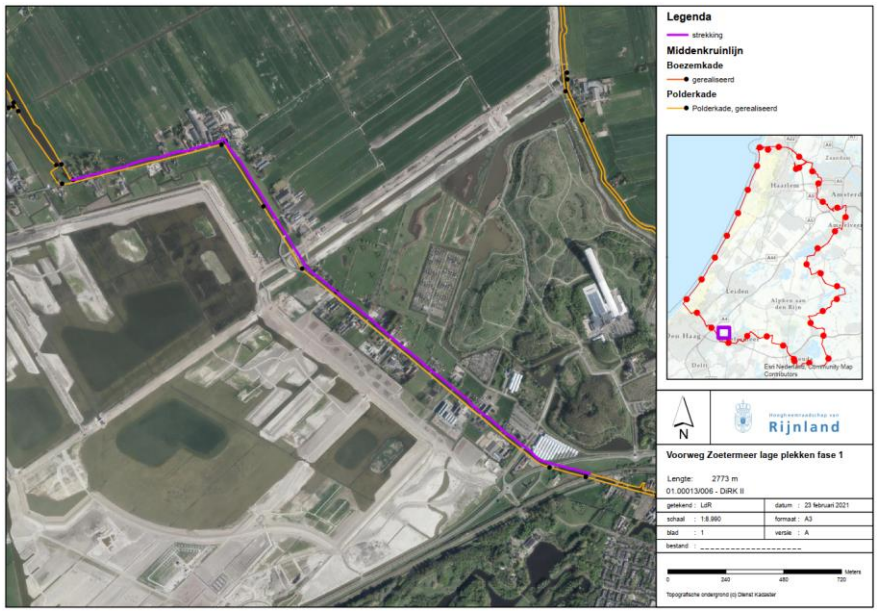
8.2. Situatie Case Stedelijk gebied: Voorweg Zoetermeer

Het project loopt vanuit het westen in de gemeente Leidschendam-Voorweg te Wilsveen parallel aan de weg Wilsveen. Deze gaat richting het oosten over in gemeente Zoetermeer parallel aan de Voorweg. Dit projectdeel is ca. 2,5 km van de in totaal ca. 5,4 km lengte. Het deel kenmerkt zich door bebouwing bestaande uit oude vrijstaande woningen met lage bruggen, afstand tussen watergang en gevel is veelal kleiner dan 10 m.

Na de Amerikaweg en spoorlijn van Zoetermeerse Stadslijn, is meer bebouwing, en richting het oosten ook monumentale panden. De hoogteopgave is vooral in bebouwde percelen (beperkt groene kades aanwezig) met bruggen, K&L, bomen en drukke fietsroute aan de Voorweg. Dit projectdeel is ca. 2,9 km.

De kruin van het project ligt aan de overzijde van het wegverkeer, op percelen van woningeigenaren en op groene kades. De kering is grotendeels afgekeurd op hoogte en op stabiliteit.

Het project kenmerkt zich door de variatie per strekking, het maken van "meters" is dan ook niet van toepassing op dit project. Bereikbaarheid van materieel tijdens de uitvoering zal belemmerd worden door bruggen, bomen, k&l, obstakels, etc. Tevens zijn restricties aan het bebouwde deel in Zoetermeer i.v.m. beschermd stadsgezicht.



Figuur 25 Voorweg Zoetermeer

De totale scope betreft de instabiliteit van het project bedraagt ca. 2500 m. Gezien de stedelijke aard van dit gebied, zal de oplossing moeten worden gezocht in de verbetering van de beschoeiing langs de bebouwing. (Boogaard, 2020)

Alternatief materiaal gebruik:

In deze case wordt de vergelijking opgesteld tussen het gebruik van hardhouten beschoeiing en het gebruik van bamboe materiaal als beschoeiing.

Voor de bovenwater beschoeiing wordt in deze case veel gebruik gemaakt van hardhout. Deze is verbonden met de onderwaterbeschoeiing van naaldhout, door middel van een vingerlas. Uit het bestek volgt dat voor de bovenwater beschoeiing er gebruik is gemaakt van ongeveer 29 m^3 hardhout. (Rijnland H. v., Bestek kadeverbetering fase 2 Voorweg te Zoetermeer, 2020)

Tabel 3 Berekening volume gebruikt hardhout in bovenwater beschoeiing Voorweg Zoetermeer

Beschoeiing type	Palen	Omvang Palen mm3	m3 palen	Beschoeiingselementen	Omvang elementen mm3	m3 elementen	Dekplank/gording m3		
A	107	14062500	1,50469	13,13	52800000	0,693264			
B	151	16875000	2,54813	18,5	70400000	1,3024			
C	309	16875000	5,21438	38,35	88000000	3,3748			
E	117	45000000	5,265	14,25	123200000	1,7556	1,083		
G	22	45000000	0,99	3	88000000	0,264	0,209		
H	114	25312500	2,88563	15	123200000	1,848			
								Totaal m3 hardhout =	28,93788

De gemiddelde kostprijs voor hardhout ligt rond de 1200 euro per m^3. Kostprijs indicaties zijn opgevraagd bij kostenexpert binnen Rijnland: Rien Karsemeijer. Deze bovenwater beschoeiing zou rond de 34.800 euro liggen.

Bamboe plaatmateriaal is nog vrij experimenteel in de GWW en wordt nog niet op grote schaal ingezet. De prijsindicatie is hierdoor wat lastiger in te schatten dan het veelgebruikte hardhout. Uit een interview met Paul Vriend van MOSO International een koploper in bouwmaterialen uit bamboe ligt de kostprijs per m^3 aan hoogwaardig bamboe bouwmateriaal, MOSO Bamboo X-Treme, rond de 2730 euro. Hierbij wel de kanttekening dat grotere bestellingen de kostprijs zullen verlagen. Gerekend met deze kostprijs zou de vervanging van de hardhouten bovenwater beschoeiing in de case Voorweg Zoetermeer met bamboeplaatmateriaal 79.170 euro bedragen.

Als er wordt gekeken naar de milieu impact, wordt er gebruik gemaakt van de eerder berekende MKI- waarde voor houten en bamboe damwanden. Deze indicatie zal de beste vergelijking geven tussen de twee materialen gezien de beperkte beschikbare informatie rond het bamboe plaatmateriaal. De MKI waarde is berekend per strekkende meter. De totale lengte van de strekkingen beschoeiing bedraagt 408,92 meter. Hiermee komt de MKI indicatie voor het hardhout op 1876,94 euro en bamboe op -1.427,13 euro respectievelijk.

Hiermee bedragen de totaalkosten voor beschoeiing uit hardhout €36.676,94. De totaalkosten voor de beschoeiing uit bamboe wordt geschat op €77.742,87.

Hoewel er dus een hogere kostprijs dient te worden betaald voor het bamboe materiaal, wordt een deel hiervan teruggewonnen op basis van de milieu-impact. De totaalkosten voor de indicatie van de bamboebeschoeiing bedragen wel het dubbele van een bestaande hardhouten beschoeiing. De onzekerheden rond bamboe komen voort uit het beperkte gebruik van dit materiaal in de waterbouwsector. De kostprijs kan dalen naar mate dat het product meer in omloop komt. Er is een flinke investering nodig om bamboe materiaal als pilot te betrekken in de regionale dijkverbeteringsprojecten, maar dit kan voordelen leveren voor het milieu en de ontwikkeling van het materiaal.

8.3. Situatie Case Ruimtegebrek: Boterhuispolder langs de Zijl

De dijk van de Boterhuispolder in de gemeente Leiderdorp en Teylingen langs de Zijl is afgekeurd op hoogte en stabiliteit volgens de huidige veiligheidsnormen.
Om de dijk te laten voldoen aan de veiligheidseisen moet de weg (de Zijldijk) opgehoogd worden. Rijnland heeft daarom de samenwerking opgezocht met de gemeente Teylingen (wegbeheerder) om tegelijk met de kadeverbetering de weg opnieuw te reconstrueren. Ook is Rijnland de samenwerking met de provincie Zuid-Holland (vaarwegbeheerder) aangegaan waardoor een deel van de kadeverbetering gecombineerd kan worden met groot onderhoud vaarwegen. Hierbij is een samenwerking gevonden tussen het benodigde grondverzet van Rijnland en de te plaatsen damwand door de provincie gezien het feit dat de teensloot niet kon worden verplaatst.

<u>Alternatief materiaal gebruik:</u>

In deze case wordt de vergelijking gemaakt tussen het gebruik van stalen damwand constructies en dijkvernageling. Het gebruik van dijkvernageling heeft een lager materiaalgebruik dan een stalen damwand constructie. (Booij, 2017)



Figuur 26 Boterhuispolder langs de Zijl

In dit project wordt een stalen damwandconstructie gebouwd met profiel AZ12-770 over een strekking van 908,60 meter. Dit bedraagt 295 dubbele planken van 8,40 meter lang en 295 dubbele planken van 13,40 meter lang. (Rijnland, 2017)

Het oppervlak van een AZ12-770 profiel bedraagt 120,1 cm^2 per strekkende meter. In totaal wordt voor deze damwandconstructie 118,94 m^3 staal gebruikt.

De gangbare kostprijs voor staal bedraagt gemiddeld 1000 euro per ton. Het soortelijk gewicht van staal bedraagt 7,8 ton/m^3. De materiaalkosten voor dit project bedragen hiermee €927.762,56. De geschatte uitvoeringskosten voor de damwand worden rond de 1 miljoen euro ingeschat.

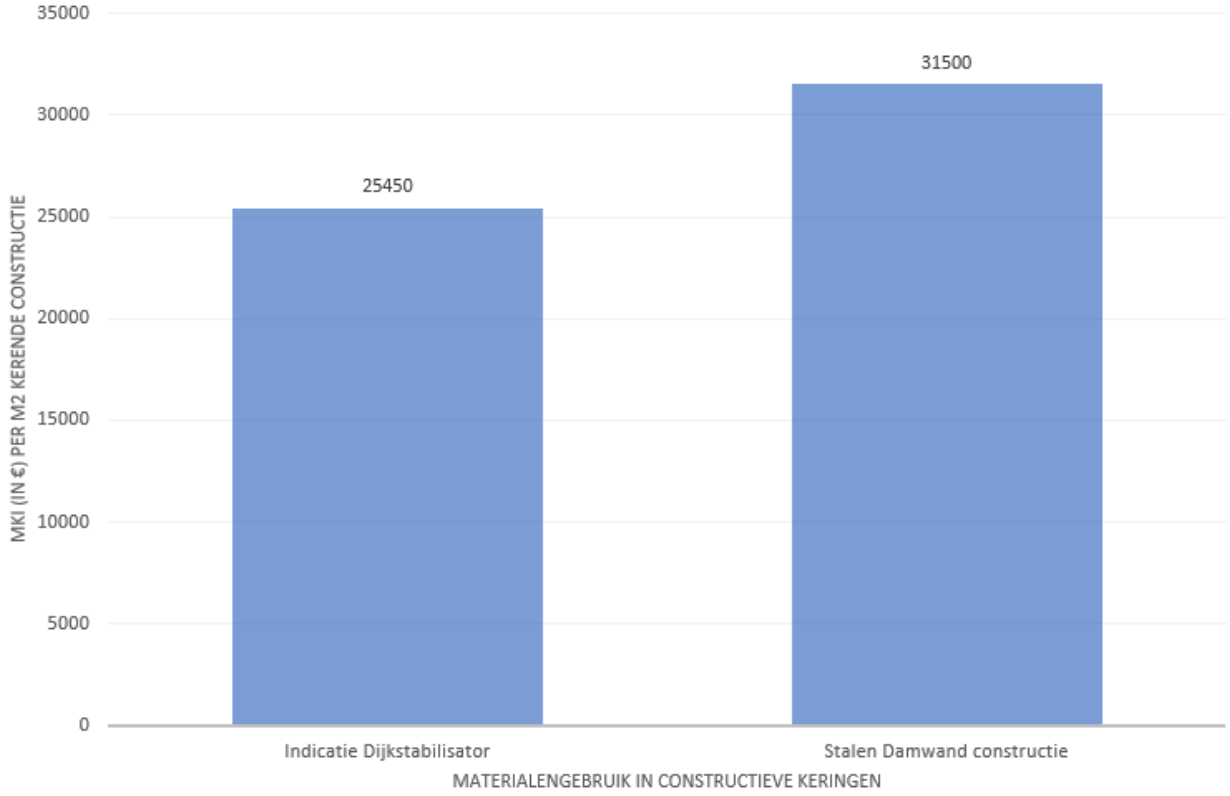
Dit moet vervolgens worden vergeleken met een dijkvernagelingsproject. Aangezien de methode dijkvernageling nog vrij nieuw is, zijn er nog geen standaard kostprijzen opgesteld. Uit een eerste pilotproject geeft het bedrijf JLD Contracting BV wel al een bandbreedte van 1,5-8,5 miljoen euro per strekkende kilometer.

Voor de strekking van 908,60 meter zal dit neerkomen op een bandbreedte van 1,36-7,72 miljoen euro. Een dijkvernageling valt hiermee, als men naar de directe kosten kijkt, een flink stuk duurder uit. Als kanttekening kan hierbij wel worden geplaatst, dat deze indicatie zeer breed is opgesteld en dat de hoge mate van onzekerheid door het beperkte aantal uitgevoerde projecten wordt gecompenseerd in de kostprijs.

Ter indicatie van de milieu impact wordt er gerekend met de MKI waarde die eerder is berekend in DuboCalc. Voor een strekkende meter stalen damwand is een MKI waarde berekend van €39,35. Voor het traject van 908,60 meter bedraagt de totale milieu impact hiermee €35.753,41.

Voor de dijkvernageling is een indicatie voor de milieu impact opgesteld op basis van een lager materiaalgebruik t.o.v. een stalen damwand en een combinatie van vergelijkbaar materiaal. In de uitvoering wordt er uitgegaan van twee vernagelingen per strekkende meter, wat een totaal geeft van 1817 vernagelingen.

Voor de ankerstang gaat men uit van een stalen anker met als oppervlakte 4,91 cm^2 per anker. Voor twee ankers levert dit een staal oppervlak van 9,82 cm^2. Voor de berekening van de ankerstang wordt een factor van 1/9,82= 0,0564 maal de MKI waarde van de stalen damwand gebruikt. Daarbij wordt een kunststoffen plaatdeksel die overeenkomt met het formaat van de kopplaat van de dijkstabilisator gebruikt uit DuboCalc voor de indicatie berekening. Voor de strekking van 908,60 meter geeft dit de volgende indicatie op de MKI:



Figuur 27 MKI berekening Dijkstabilisator versus Stalen Damwand

Deze MKI score is enkel berekend op basis van de materialen en geeft een indicatie wat de winst zou kunnen zijn voor het project.

Uit deze case studies kan worden geconcludeerd dat op elke strekking binnen de regionale keringen van Rijnland er mogelijkheden zijn om over te stappen naar circulair georiënteerd materiaalgebruik. Rond de kostprijs van nieuwe materialen en technieken zijn nog veel onzekerheden en grootschalige investeringen lijken onvermijdelijk, terwijl bij het gebruik van gebiedseigen grond op zowel milieutechnisch als financieel vlak voordelen worden behaald. Om het gebruik van nieuwe materialen en technieken te bevorderen zijn pilotprojecten nodig.

Voor het ontwerpen van een circulaire kering zijn naast aanpassingen in materiaalgebruik ook aanpassingen nodig in het ontwerpproces. Dit circulaire ontwerpproces wordt uiteengezet in het volgende hoofdstuk.

9. Circulair ontwerp van een regionale kering aan de hand van de Circulaire Peiler

In dit rapport is de nadruk gelegd op het materiaalgebruik binnen de dijkverbetering van de regionale keringen in het beheer van Rijnland. In de voorgaande hoofdstukken is een overzicht geboden welk materiaalgebruik en welke technieken kunnen bijdragen aan circulariteit binnen dijkverbeteringsprocessen. Met uitzondering van de toepassing van de JLD Dijkstabilisator zal de dijkverbetering met het circulair materiaalgebruik niet sterk veranderen in uitstraling en uitvoeringsmethoden.

De milieu-impact verlagen en het gebruik van nieuwe grondstoffen verminderen is van groot belang, maar om een project volledig circulair te verklaren zal nog breder moeten worden gekeken. Dit heeft voornamelijk te maken met de gedachtegang achter de 10 R-en van de circulaire economie, zie figuur 28. Dit onderzoek geeft oplossingen voor het verminderen van gebruik van grondstoffen, herontwerp met behulp van nieuwe innovaties zoals de JLD Dijkstabilisator en het hergebruik van materialen en recyclen. Maar in het schema van de 10 R-en is de belangrijkste stap het weigeren of voorkomen van gebruik van grondstoffen.



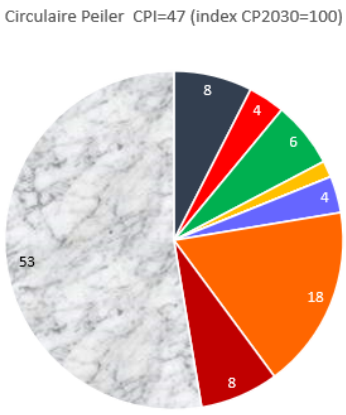
Figuur 28 10 R-en van de Circulaire Economie

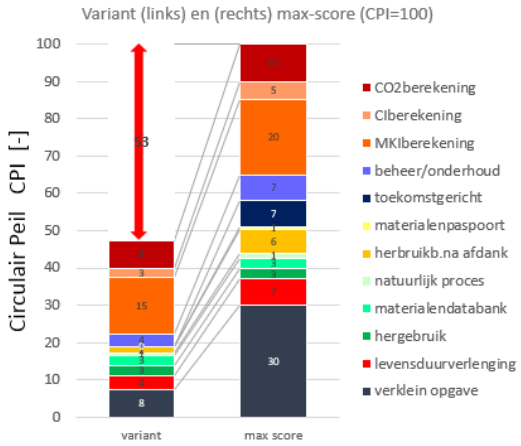
Het belang van het voorkomen van ingrijpen wordt duidelijk gemaakt in de Circulaire Peiler. Bij het project Grebbedijk door Waterschap Vallei en Veluwe is in samenwerking met Lievense de Circulaire Peiler opgezet. Deze Circulaire Peiler geeft aan de hand van de 8 circulaire ontwerpprincipes voor het MIRT-proces, Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport, een indicatie hoe circulair het ontwerpalternatief is, zie figuur 29. Deze indicatie wordt de CPI genoemd, de Circulaire Peil Index. Aan elk ontwerpprincipe kan worden aangegeven in hoeverre het ontwerpalternatief de circulaire ontwerpprincipes nastreeft en aan elk ontwerpprincipe is een weegfactor verbonden, zoals bij een MCA wordt gedaan. De mate van nastreving op elk ontwerpprincipes wordt aangegeven in stappen van 25%, waarbij 100% compleet het circulair ontwerpprincipe volgt.



Figuur 29 De 8 ontwerpprincipes van het MIRT-proces

Aan de hand van de onderzoeksresultaten uit de materiaalstudie volgt bij toepassing van deze kennis in het ontwerpproces een algemene CPI score van 47, zie figuur 30. Deze waardes zijn gegeven aan de hand van de algemene kennis die kan worden opgedaan uit deze materiaalstudie. Project specifiek kunnen hogere scores worden toegekend. In deze figuur zijn ook de weegfactoren per ontwerpprincipe te zien. Het voorkomen van handelen heeft de grootste weegfactor van 30, gevolgd door de MKI-berekening met een factor van 20.





Overzicht acties en maatregelen. Hoe invulling wordt gegeven aan de 8 ontwerpprincipes uit het MIRT		Score in PNT (max 166)	weging	CPI [-]*
1	Voorkómen: niet doen wat echt niet hoeft		30%	7,5
a	Opgaveverkleining via efficiëntere oplossingen + meekoppelkansen onderzocht (verkennend onderzoek; géén MKI berekeningen)	25	100%	
2	Verleng de levensduur van bestaande objecten of componenten		7%	3,5
a	Levensduurverlenging is systematisch onderzocht (10R); >50% van de haalbare maatregelen geïmplementeerd	50	100%	
3	Duurzaam gebruik van bestaande objecten, materialen, grondstoffen en natuurlijke processen		7%	6,3
a	Restwaarden in kaart gebracht (10-R); toepassingen zijn onderzocht; >80% van de maatregelen zijn geïmplementeerd op het maximaal realistische 10-R niveau	100	40%	
b	> 1 materialendatabank geraadpleegd; aanbodgestuurd ontwerpen gedegen bestudeerd; >80% van de maatregelen geïmplementeerd op het max. realistische 10-R nivea	100	40%	
c	Kansen voor inzet natuurlijke processen zijn onderzocht voor het project&gebied (omgeving)	50	20%	
4	Ontwerp voor meerdere levenscycli		7%	1,6
a	Herbruikbaarheid van materialen, etc. na einde levensduur is systematisch onderzocht	25	90%	
b	Er is geen materialenpaspoort opgesteld voor toegepaste materialen in het project	0	10%	
5	Ontwerp toekomstbestendig		7%	0,0
a	Uitwerking projectdoelstellingen (alleen) binnen de technische-, ruimtelijke- en beleidskaders	0	100%	
6	Ontwerp voor optimaal beheer en onderhoud		7%	3,5
a	LCC is onderdeel van het ontwerpproces. LCC van circulaire alternatieven zijn niet hoger dan "conventioneel" (= referentie)	50	100%	
7	Duurzaam materiaalgebruik (hoeveelxmilieubelasting)		25%	17,5
a	De gerealiseerde MKI van het ontwerp is <75% MKIreferentie (referentie=conventioneel).	75	80%	
b	Input en output van materiaalstromen zijn in beeld gebracht voor het project; prioritering materiaalkeuze op basis van 10-R	50	20%	
8	Ontwerp voor minimaal grondstof- en energiegebruik in de aanleg/gebruiksfase		10%	7,5
a	De CO2 impact van het ontwerp is <75% x CO2impact referentiewaarde	75	100%	
subtotaal index circulariteitspeil (CPI) (max=100)			100%	47

Figuur 30 Circulaire Peiler Index voor algemeen circulair materiaalgebruik

De Circulaire Peiler kent 30 punten toe op het verkleinen van de opgave indien de opgave wordt verminderd met ten minste 20%. Uit het project Grebbedijk is gebleken dat met nauwkeurige monitoring deze 20% vermindering realistisch te halen is in regionale dijkverbeteringsprojecten. Daarnaast kunnen grootschalige dijkverbeteringsprojecten worden voorkomen door het uitvoeren van het concept van de Meegroeidijk.

Andere verbeteringspunten zijn het opstellen van een materialenpaspoort en het toekomstbestendig maken van het ontwerp. Volledig circulair ingesteld zijn betekend ingesteld zijn op de toekomst. Als men op de hoogte is van de materialen die beschikbaar zijn in de directe omgeving en wat voor materialen in een constructie zitten is er een grotere kans op het hergebruik van deze materialen na hun eerste levensloop. Als men dan ook anticipeert op toekomstige ontwikkelingen in het gebied gedurende het ontwerpproces en het demontabel maken van constructies, kan overmatig handelen en grondstoffen verbruik worden voorkomen.

Het gebruik van de Circulaire Peiler geeft een goed beeld welke ontwerpprincipes moeten worden nagestreefd om tot een volledig circulair project te komen. Naast het gebruik van bestaande materialen en duurzaam materiaalgebruik is het voorkomen van overmatig ingrijpen en een blik op de toekomst werpen van groot belang in het ontwerpproces.

10. Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

Uit voorgaande resultaten kan worden geconcludeerd, dat er verschillende acties kunnen worden genomen binnen de regionale dijkverbeteringsprojecten in het beheer van het Hoogheemraadschap van Rijnland om op een circulaire manier om te gaan met materiaalgebruik.

Ten eerste is er een grote winst te boeken in het gebruik van gebiedseigen grond. Uit de case study is voor zowel de milieu-impact als de projectkosten een gunstig voordeel duidelijk te zien. Daarnaast is het concept van de Meegroeidijk een veel belovend initiatief om toekomstige dijkversterkingsprojecten te voorkomen.

Ten tweede is het gebruik van dijkvernageling een goed alternatief om de milieu-impact en het materiaalgebruik in bebouwde gebieden te beperken. Als het gaat om projecten waarbij kortere damwand constructies (tot 8 meter diep) voldoende zijn, resulteert het gebruik van (hard)houten of prefab betonnen damwanden de laagste impact. Voor het gebruik van bamboe als vervangend materiaal voor damwanden is verder onderzoek nodig, gezien de beperkte lengte van het materiaal. Bamboe materiaal is nu al wel veelbelovend als een hernieuwbaar alternatief voor hardhouten beschoeiing elementen.

Ten slotte is te concluderen dat voor elke strekking binnen de regionale keringen in het beheer van Hoogheemraadschap van Rijnland er kansen zijn tot circulair materiaalgebruik.

Aanbevelingen

Het is aan te raden om de mate van integraal werken met materialen en het stellen van eisen voor de herkomst van materialen vast te leggen in de richtlijnen over de gehele organisatie. Om de overstap naar nieuw materiaalgebruik en innovatieve oplossingen te stimuleren is het te overwegen om de richtlijn van 20-25 kilometer aan dijkverbetering per jaar te versoepelen voor de komende jaren.

Om het gebruik van gebiedseigen grond te stimuleren is de voornaamste aanbeveling om een opslagdepot te realiseren waar vrijkomende grond en andere materialen uit de regio kan worden geborgen voor gebruik bij dijkversterkingsprojecten. Het is aan te raden om hier gemeenten en provincies bij te betrekken, zodat deze depots optimaal gevuld en gebruikt kunnen worden.

Het gebruik van dijkvernageling technieken, houten- en betonnen damwanden en bamboe beschoeiingen zijn de meest belovende materialen in een circulair ontwerp van constructieve keringen. Investeren in het gebruik van deze materialen is daarmee sterk aanbevolen. Gezien het feit dat dijkvernageling en bamboe gebruik nog in de kinderschoenen staan, zijn pilotprojecten aan te raden om deze technieken uit te testen.

Het is ook aan te raden om proeven uit te gaan voeren met alternatieve werkmethodes als de Meegroeidijk, de nauwkeurigheid van monitoren te verhogen en een sterke focus te leggen op Werk met Werk projecten, zodat de toekomstbestendigheid van de constructie wordt verhoogd en zo veel mogelijk werkzaamheden worden voorkomen in de lange termijn.

Enkel wanneer er een overstap plaatsvindt van een lineaire naar een circulaire denkwijze binnen de gehele organisatie kan de doelstelling “Rijnland circulair in 2050” worden behaald.

Bibliografie

Betonfabriek, N. (2019). *Betonnen oeverbeschermingsproducten*. Opgehaald van https://www.nigtevecht.com/water-infra/oeverbescherming-beschoeiing/?gclid=Cj0KCQjwna2FBhDPARIsACAEc_X4fw8mZJ7JjTT-nY22M8-DDMYRy1ax3HGU9B7FrliWhSww5t5FmTwaArqeEALw_wcB

Beurskens, i. H. (2010). *Toetsrapport Polder Nieuwkoop.* Grontmij.

Boogaard, A. (2020). *Projectplan kadeverbetering Voorweg fase 2.* Hoogheemraadschap van Rijnland.

Booij, P. (2017). *Uitvoeringskrediet kadeverbetering 2e fase Aalsmeer + Boterhuispolder.*

CB23. (2020). *Leidraad: Meten van Circulariteit; Werkafspraken voor een circulaire bouw, versie 2.0, 9. Relaties met andere meetmethodes en initiatieven (blz. 93-96).* Platform CB'23 (2020).

Dorst, K. (2020). *POV Dijkversterking met gebiedseigen grond*. Opgehaald van Geoclayliner toepassingen op en bij dijken: https://us3.campaign-archive.com/?u=f24a3250096eb9f0aa6cdb586&id=1db8bbe424

Ecochain. (2020). *Levenscyclusanalsye (LCA)- Een volledig overzicht voor beginners*. Opgehaald van https://ecochain.com/nl/knowledge/levenscyclusanalyse-life-cycle-assessment-lca-complete-beginners-guide/

Ecoshape. (2021). *Samen werken naar de Meegroeidijk.*

Foundation, E. M. (2017). *Material Circularity Indicator*. Opgehaald van MCI Product-Level Calculation: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/resources/apply/material-circularity-indicator

FSC, N. (2016, April). *LCA-studie houten damwanden*. Opgehaald van https://www.deingenieur.nl/artikel/houten-damwand-beste-voor-het-milieu

Goddin, J. (2019). *Circularity Indicators, An Approach to Measuring Circularity: Methodology, 1.4. Systems Thinking (blz. 12-14). .* Ellen MacArthur Foundation and ANSYS Granta.

H.Wijt. (2020). *Bestek en voorwaarden voor kadeverbetering Hogedijk in Polder Nieuwkoop.* Hoogheemraadschap van Rijnland.

Hendriks, S. (2021). *Rijnland Circulair, Nulmeting.* Witteveen+Bos.

Hout, C. (2007). *Sterktegegevens van hout*. Opgehaald van Houtwijzer: https://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/jpgh/hout_13_houtwijzer_sterktegegevens_van_hout_www_centrumhout_nl.pdf

HWBP. (2020). *Gebiedseigen gond in achterliggende kering Brede Groene Dijk*. Opgehaald van POV Dijksversterking met gebiedseigen grond (POV-DGG): https://www.hwbp.nl/kennisbank/pov-dgg/artikelen/brede-groene-dijk

JLD. (2018). *Dijkstabilisator nu 'om het echte' beproefd (Cobouw)*. Opgehaald van https://jldinternational.com/blog/2018/10/16/dijkstabilisator-nu-om-het-echie-beproefd-cobouw/

Jutte, J. B. (2020). *Circulaire objecten.* Royal Haskoning DHV.

Leeuwenhoek, B. (2019). *Innovatieve verstevigingstechnieken voor de regionale waterkeringen van Rijnland.* Leiden: Haagse Hogeschool.

Luscuere, P. (2018). *Nederland circulair in 2050: Wat betekent dat en kan het überhaupt?* Opgehaald van Circulariteit: Op weg naar 2050? (Blz. 14-27) TU Delft Open: https://books.bk.tudelft.nl/index.php/press/catalog/book/isbn.9789463660549

Rijksoverheid. (2016). *Doelstelling rijksoverheid voor circulariteit*. Opgehaald van https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie/nederland-circulair-in-2050

Rijkswaterstaat. (2020). *Circulaire dijken.* HWBP.

Rijkswaterstaat. (2021). *Transport en overslag, Kosten wegtransport*. Opgehaald van Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit: https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/c-grondverzet/c5-transport-en-overslag/transport-en-overslag-kosten-wegtransport

Rijnland. (2017). *Bestek en voorwaarden voor Kadeverbetering Boterhuispolder.*

Rijnland, H. v. (2011). *Legger regionale waterkeringen: Uitgangspunten.*

Rijnland, H. v. (2017). *Rijnlandse SOR Systematiek.* Leiden.

Rijnland, H. v. (2020). *Bestek kadeverbetering fase 2 Voorweg te Zoetermeer.*

Rijnland, H. v. (2020). *Toetsing Regionale Keringen*. Opgehaald van https://www.rijnland.net/werk-in-uitvoering/dijken-en-kades/toetsing-regionale-keringen

Rivierenland, W. (2020, Oktober). *Kunststof Damwanden als heavescherm*. Opgehaald van Land en Water: https://www.landenwater.nl/waterbouw/kunststof-damwanden-als-heavescherm/#:~:text=De%20kunststof%20damwand%20reduceert%20de,Bovendien%20is%20dat%20veel%20goedkoper.

Sector, D. W. (2016). *Deltares puts vertical composite sea wall to the test in world's biggest wave flume*. Opgehaald van https://www.dutchwatersector.com/news/deltares-puts-vertical-composite-sea-wall-to-the-test-in-worlds-biggest-wave-flume

Tenhage, J. L. (2008). *Innovatieve dijkversterking Hoorn-Edam.* Arcadis, Hogeschool Inholland.

Weijers, H. (2020). *Resultaten Fase 1, POV DGG.*

Tabel 1 IPO-veiligheidsklasse binnen het Hoogheemraadschap van Rijnland 9
Tabel 2 MCA over damwand alternatieven..... 27
Tabel 3 Berekening volume gebruikt hardhout in bovenwater beschoeiing Voorweg Zoetermeer 38

Figuur 1 Earth Overshoot Day: De maand (verticale as) waarin in elk jaar (horizontale as) de consumptie van grondstoffen door de mensheid hoger ligt dan de productie door de aarde in hetzelfde jaar. 1

Figuur 2 10 R-en van de circulaire economie 2
Figuur 3 Van Lineair naar Circulair 4
Figuur 4 Gegevens voor de LCA berekening 6
Figuur 5 Voorbeeld strekkingen 10
Figuur 6 Schematisering van de waterspanning 10
Figuur 7 Advies voor circulair gebruik van bouwmaterialen uit de nulmeting door Witteveen en Bos (Hendriks, 2021) 12
Figuur 8 Circulaire maatregelen voor dijken en oeverbescherming volgens Rijkswaterstaat en Royal Haskoning DHV (Jutte, 2020) 14
Figuur 9 Project: De Brede Groene Dijk 15
Figuur 10 LCA studie in opdracht van FSC Nederland op materiaalgebruik van damwanden 19
Figuur 11 LCA studie FSC Nederland op materiaalgebruik van damwanden over 100 jaar 20
Figuur 12 LCA studie FSC Nederland over 100 jaar met negatieve MKI in waste processing voor houten damwandconstructies 21
Figuur 13 Sterkteklassen hardhout volgens NEN 6760. Bamboo X-treme materiaal bevat, met een buigsterkte van 50 N/mm^2 en elasticiteitsmodulus van 14000 N/mm^2, een sterkte klasse D50. 22
Figuur 14 MKI waardes, berekend in DuboCalc, voor verschillend materiaalgebruik in damwandconstructies 23
Figuur 15 MCI berekening stalen damwand 24
Figuur 16 MCI berekening kunststof damwand 25
Figuur 17 MCI berekening houten damwand 26
Figuur 18 MCI berekening betonnen damwand 26
Figuur 19 JLD Dijkstabilisator, een voorbeeld van dijkvernageling (JLD,2018) 28
Figuur 20 MKI waardes, berekend in DuboCalc, voor verschillend materiaalgebruik in constructieve keringen 29
Figuur 21 Kosten klassieke dijkversterking versus twee varianten van een Meegroeidijk (Ecoshape, 2021) 30
Figuur 22 MKI berekening van gebiedseigen grond en grond van veraf (Weijers, 2020) 31
Figuur 23 MKI berekening DuboCalc: Dijkversterking uit grond met en zonder toevoeging van geotextiel 33
Figuur 24 Hogedijk bij Nieuwkoop 35
Figuur 25 Voorweg Zoetermeer 37
Figuur 26 Boterhuispolder langs de Zijl 39
Figuur 27 MKI berekening Dijkstabilisator versus Stalen Damwand 40
Figuur 28 10 R-en van de Circulaire Economie 42
Figuur 29 De 8 ontwerpprincipes van het MIRT-proces 43
Figuur 30 Circulaire Peiler Index voor algemeen circulair materiaalgebruik 44

BIJLAGEN

Bijlage A: Werkplan

Bijlage B: Reflectieverslag

Bijlage C: MCI en LCA Berekening

Bijlage D: Ontwerprichtlijnen keringen

Bijlage E: Interviews

Bijlage F: LCA waardes uit EPD MOSO Xtreme Bamboe materiaal

Bijlage G: DuboCalc resultaten

Bijlage A: Werkplan

WERKPLAN

Circulaire Dijkverbetering

Hommel, V.F.A. (15084914)
15084914@student.hhs.nl

Voorwoord

In dit werkplan wordt uiteengezet hoe ik onderzoek ga doen naar circulaire mogelijkheden binnen dijkverbetering. Dit afstudeeronderzoek is een samenvoeging van mijn twee sterke interesses: werken aan de waterveiligheid van Nederland en een duurzame samenleving. De wereld van de civiele techniek is vrij conservatief, waardoor het circulaire gedachtegoed minder snel wordt aangepakt. Ik ga graag deze uitdaging aan!

Werkplan

Gegevens student:
V.F.A. Hommel
Balthasar van der Polweg 376
2628AZ Delft
Email: **15084914@student.hhs.nl**
kevin.hommel@rijnland.net
Telefoon: +31615241262\+31642242157
Studienummer: 15084914

Gevolgde stage: Maritieme content bouwen in Revit voor Royal Haskoning DHV
Specialisatie: Waterveiligheid en Beheer
Minoren: River Engineering, Duurzame Gebiedsontwikkeling en Businessmodellen voor de Circulaire Economie

Gegevens afstudeerbedrijf:
Hoogheemraadschap van Rijnland
Rijnlandshuis, hoofdkantoor Archimedesweg 1,
2333 CM Leiden
Telefoon: (071) 306 30

Gegevens bedrijfsbegeleiders:
Pieter Verheij
pieter.verheij@rijnland.net
+31713063538
+31625445097

Gustaaf Wijk
Technisch Manager
gustaaf.wijk@rijnland.net
+31713063784
+31627082697

Gegevens schoolbegeleiders:
Baukje Nauta
B.Nauta@hhs.nl

Wim Mantje
W.J.Mantje@hhs.nl

Aanleiding en achtergrond

De vraag naar grondstoffen neemt wereldwijd sterk toe. Daarom werkt de overheid samen met partners en organisaties uit alle denkbare sectoren om zuiniger en slimmer met grondstoffen om te gaan. De doelstelling is helder: Nederland moet volledig circulair zijn in 2050.

Dit wil men aanpakken door bestaande productieprocessen efficiënter gebruik te laten maken van grondstoffen, meer gebruik maken van duurzaam geproduceerde, hernieuwbare en algemeen beschikbare grondstoffen en door nieuwe productiemethodes te ontwikkelen met een circulair oogpunt. [1]

Hoogheemraadschap Rijnland is in het overgangsproces om een volledig circulaire organisatie te worden. In dit onderzoek wordt er ingezoomd wat dit kan betekenen voor de regionale dijkverbeteringen.

Probleemstelling

Hoogheemraadschap Rijnland is sinds 2012 gestart met de Toetsing Regionale Keringen (TReK). Deze toetsing is naar verwachting eind 2022 afgerond. [2]
Echter kan er uit de eerste data al worden achterhaald dat 200 kilometer aan keringen, verspreid over het gehele traject van 1200 kilometer, niet meer voldoen aan de huidige veiligheidsnormen.



Afbeelding 1: 1200 kilometer aan regionale keringen in beheer van Hoogheemraadschap Rijnland [3]

Het Hoogheemraadschap wil naast dat het deze keringen weer op peil gaat brengen, ook bijdragen aan hun doelstelling: een volledig circulaire organisatie worden. De kennis om

dijkverbetering op een circulaire manier aan te pakken is helaas nog niet beschikbaar binnen Rijnland.

Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om een duidelijk overzicht te bieden aan het Hoogheemraadschap van Rijnland wat voor circulaire middelen er kunnen worden gebruikt om dijkverbetering aan de regionale keringen op een zo circulair mogelijke manier uit te voeren. Hierbij dienen de veiligheidsnormen en kostenefficiëntie in acht te worden genomen.

Onderzoeksvraag

Wat voor circulaire middelen kunnen er worden gebruikt om dijkverbetering aan de regionale keringen, op een zo circulair mogelijke manier, uit te voeren onder het beheer van het Hoogheemraadschap van Rijnland, terwijl veiligheidsnormen en kostenefficiëntie in acht worden genomen?

Deelvragen

1) Wat is circulariteit?
2) Hoe kan circulariteit meetbaar gemaakt worden?
3) Wat zijn de kenmerken van de keringen die niet voldoen aan de Toetsing Regionale Keringen (TReK)?
4) Welke materialen en handeling in dijkverbetering van het Hoogheemraadschap van Rijnland kunnen al als circulair beschouwd worden?
5) Wat voor materialen en handelingen worden al gebruikt, door andere organisaties in de waterbouw, om dijkverbetering op een circulaire manier aan te pakken?
    5a) Welke van deze materialen en handelingen zijn toepasselijk voor de regionale keringen van het Hoogheemraadschap van Rijnland?
6) Wat voor alternatieve, meer circulair georiënteerde, materialen zijn te gebruiken in de dijkverbetering?
    6a) Hoe scoren deze materialen op basis van milieukosten indicatoren (MKI)?
    6b) Hoe scoren deze materialen op basis van een levenscyclusanalyse (LCA)?
    6c) Wat zijn de voor- en nadelen van het gebruik van deze alternatieve materialen binnen dijkverbetering aan de regionale keringen van het Hoogheemraadschap van Rijnland (Multi Criteria Analyse)?
7) Hoe kunnen circulaire materialen bij dijkverbetering toepasselijk worden gemaakt op elk stuk van het traject van regionale keringen onder beheer van het Hoogheemraadschap van Rijnland?
8) Hoe financieel haalbaar is de toepassing van deze alternatieve circulaire materialen op de dijkverbetering binnen het beheer van de regionale keringen van het Hoogheemraadschap van Rijnland?
9) Hoe ziet een nieuw type regionale kering, dat gebruik maakt van circulaire materialen en methodes, eruit? (Case voor ontwerp van de dijkverbetering met circulariteit als oogpunt)

De opdracht

Om antwoord te krijgen op bovenstaande vragen dient allereerst een literatuurstudie te worden gedaan. Deze literatuurstudie zal de eerste vijf deelvragen beantwoorden en een goed beeld geven, wat voor kennis er al bestaat over dit onderwerp.
Vervolgens dient er onderzoek te worden gedaan naar verschillende materialen die gebruikt kunnen worden in een circulaire dijkverbetering. Alle materiaaleigenschappen dienen te worden afgewogen op sterkte, in hoeverre het materiaal vorm te geven is, kosten en baten op het milieu en kostenefficiëntie. Kortom: hoe bruikbaar zijn deze alternatieve materialen voor dijkverbetering. Uit dit onderzoek volgt een rapport dat een advies uit brengt aan het Hoogheemraadschap betreffende de mogelijkheden voor circulaire dijkverbetering.

Ten slotte zal er, om een goed beeld te krijgen van de nieuwe situatie, een ontwerp worden gemaakt van de meest ideale vorm van een circulaire kering op basis van het adviesrapport.

Competenties

Gedurende dit afstudeeronderzoek dient de student ten minste drie technische en drie generieke competenties op eindniveau aan te tonen. Deze competenties staan garant voor het niveau van de civiel ingenieur, zodra deze afgestudeerd is van de opleiding Civiele Techniek.

Gedurende dit onderzoek zal de student de volgende competenties op eindniveau behalen:

Technische competenties:

B1 Initiëren en sturen: Gedurende dit onderzoek zal de conservatieve civiele wereld worden gecombineerd met de nieuwe manier van denken over mens, milieu en geld: circulariteit. In het adviesrapport zal de nadruk worden gelegd op het belang om de overstap te maken naar deze nieuwe manier van denken.

B2 Ontwerpen: Om een goed beeld te krijgen van de nieuwe situatie zal een ontwerp worden gemaakt van de meest ideale vorm van een circulaire kering op basis van het adviesrapport. In het adviesrapport staan de eisen aan deze kering beschreven. Op basis van deze eisen zullen alternatieven worden afgewogen tot een eindontwerp.

B3 Specificeren: Naast het benadrukken van het belang voor de overstap naar de circulaire wereld worden kosten en baten op het gebied van kostenefficiëntie en duurzaamheid geanalyseerd en uitgezet. Het adviesrapport zal weer geven hoe het Hoogheemraadschap dijkverbetering kan aanpakken op de meest ideale circulaire manier.

Generieke hbo-competenties:

G1 Onderzoeken: Deze afstudeeropdracht begint met een stevig literatuuronderzoek. Gedurende dit onderzoek zal de student kritisch alle kanten van de vraag bekijken en zal er een conclusie worden getrokken aan de hand van deze feiten. Een breed scala aan wetenschappelijke bronnen zullen worden gebruikt om tot deze conclusies te komen.

G5 Innoveren: In dit onderzoek wordt het proces van dijkverbetering geanalyseerd en wordt er getracht naar verbetering op basis van circulair gedachtegoed. Er wordt gezocht naar een optimalisatie tussen het behouden van de waterveiligheid binnen het Hoogheemraadschap, kostenefficiëntie en duurzaamheid.

G6 Leren en verder ontwikkelen: Dit complexe vraagstuk zal de student voornamelijk zelfstandig uitvoeren. Het onderwerp is nog relatief onbekend gebied en snijdt meerdere vakgebieden aan. Gedurende het onderzoek zal regelmatig worden geëvalueerd of het leerproces nog goed verloopt en of de student nog volgens de meest, voor hem, efficiënte methode te werk gaat. Daarbij leert de student ook hoe een organisatie als Hoogheemraadschap Rijnland in elkaar zit.

Productentabel

Deelvraag	Producten	Benodigde informatie	Competenties	Tijdsbesteding
Wat is circulariteit?	Heldere definitie van circulariteit, waarmee gewerkt wordt in dit onderzoek	Vakbladen, wetenschappelijke papers	B1, B3	2 dagen
Hoe kan circulariteit meetbaar gemaakt worden?	Concreet plan van hoe de mate van circulariteit zal worden gemeten in dit onderzoek	Vakbladen, wetenschappelijke papers, ervaringen circulaire professionals.	G1, B3	5 dagen
Wat zijn de kenmerken van de keringen die niet voldoen aan de TReK?	Overzicht van normen die gebruikt zijn tijdens de TReK en een typisch profiel van keringen die afgekeurd zijn	Resultaten uit de TReK	G1	5 dagen
Welke materialen en handeling in dijkverbetering van het Hoogheemraadschap van Rijnland kunnen al als circulair beschouwd worden?	Studie van mate van circulariteit in materialen en handelingen die het Hoogheemraadschap gebruikt bij dijkverbetering	Werkwijze voor dijkverbetering in verschillende situaties langs de regionale keringen	G1	7 dagen
Wat voor materialen en handelingen worden al gebruikt, door andere organisaties in de waterbouw, om dijkverbetering op een circulaire manier aan te pakken?	Studie van bestaande circulaire mogelijkheden in de waterbouw	Vakbladen, wetenschappelijke papers, ervaringen circulaire professionals.	B1, G1	5 dagen
Wat voor alternatieve, meer circulair georiënteerde, materialen zijn te gebruiken in de dijkverbetering?	Overzicht van circulaire materialen, die bruikbaar zijn voor dijkverbetering, beoordeeld op basis van MKI, LCA en afgewogen met een MCA	Vakbladen, wetenschappelijke papers in materiaalkunde.	G1, B3, G5	25 dagen
Hoe kunnen circulaire materialen bij dijkverbetering toepasselijk worden gemaakt op elk stuk van het traject van regionale keringen onder beheer van het	Definitie van de toepasbaarheid van de nieuwe methode voor dijkverbetering.	Ervaringen civiel technici, vakbladen, wetenschappelijke papers.	B3	5 dagen

Hoogheemraadschap van Rijnland?				
Hoe financieel haalbaar is de toepassing van deze alternatieve circulaire materialen op de dijkverbetering binnen het beheer van de regionale keringen van het Hoogheemraadschap van Rijnland?	Financiële haalbaarheidsstudie op de toepasselijkheid van alternatieve circulaire materialen in de dijkverbetering van regionale keringen van het Hoogheemraadschap van Rijnland	Ervaringen civiel technici, vakbladen, wetenschappelijke papers.	B3	10 dagen
Hoe ziet een nieuw type regionale kering, dat gebruik maakt van circulaire materialen en methodes, eruit?	Visuele presentatie van een kering die gebruik maakt van circulaire materialen.	Resultaten uit voorgaand onderzoek	B2	15 dagen

Projectgrens

Dit onderzoek richt zich specifiek op de regionale keringen van het Hoogheemraadschap van Rijnland. Toepassingen op andere waterkeringen worden buiten beschouwing gelaten. Gedurende dit onderzoek wordt gepraat over het verbeteren van de circulariteit rond dijkverbetering. Op dit vlak wordt enkel gekeken naar alternatieve materialen die gebruikt kunnen worden bij de dijkverbetering. Andere circulaire aspecten, zoals partners om mee samen te werken, kansen in de directe omgeving en functiedeling, worden buiten beschouwing gelaten.

Haalbaarheid

De haalbaarheid van deze studie is erg afhankelijk van de communicatie tussen de student en de beroepsprofessionals. Deze communicatie zal geheel online verlopen, wat voor belemmeringen kan zorgen. Verder is circulariteit nog een vrij nieuw begrip in de vrij conservatieve civiele wereld, wat wederom voor belemmeringen kan zorgen in de ruimdenkendheid van mensen. Het verzamelen van de benodigde gegevens kan langer duren dan gepland om deze redenen.

Het is ook onzeker of er überhaupt een alternatief materiaal geschikt is voor dijkverbetering onder de huidige veiligheidsnormen. Als dit de conclusie is van het adviesrapport, dan zal het ontwerp van een nieuwe type kering komen te vervallen en zal deze leegte worden gevuld met een analyse of een visie op een mogelijke situatie waarbij wel stappen gemaakt kunnen worden op het punt van circulariteit in dijkverbetering.

Openstaande vakken

Op het moment van schrijven is de student bezig met de afronding van zijn laatste openstaande vak, Beton 1. Deze opdracht is 5 februari 2021 ingeleverd. De student is nog afwachtend op dit cijfer. Het is te verwachten dat dit vak met een voldoende wordt afgerond in de eerste weken van het afstudeertraject.

Communicatie met begeleiders

Aangezien dit onderzoek staat en valt met communicatie, dient deze van goede kwaliteit te zijn. Begeleiders van het Hoogheemraadschap zijn vrijwel altijd bereikbaar per telefoon om vragen te beantwoorden. Verder zal elke week een overleg plaatsvinden en indien informatie eerst doorgelezen dient te worden, kan er gemaild worden. De student zal worden toegevoegd aan de TeamApp, zodat hij wat meer contacten kan leggen binnen de organisatie.

Planning

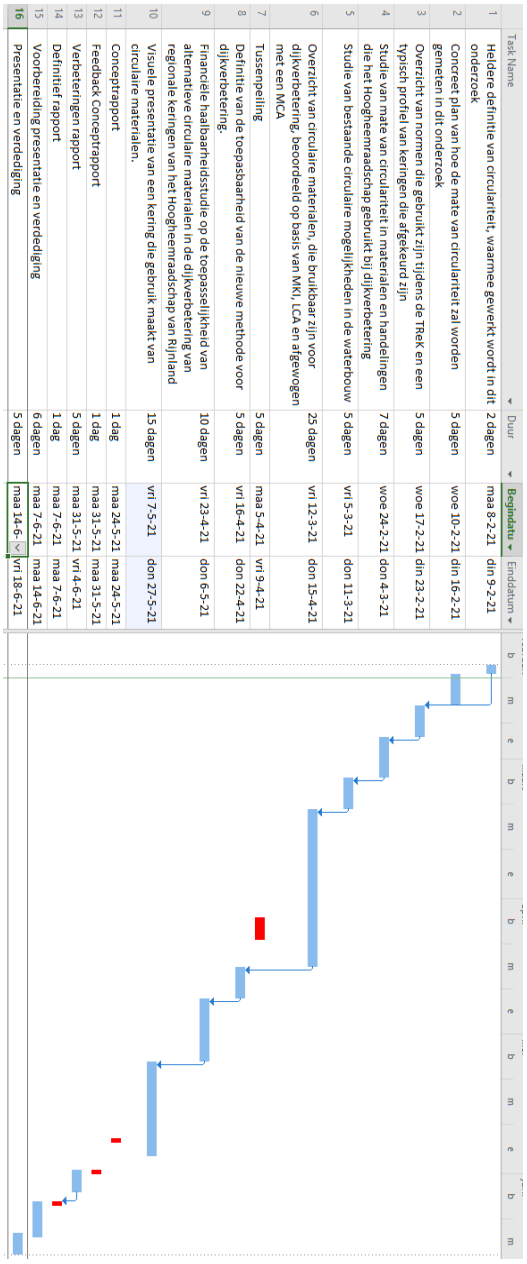
Gedurende deze afstudeeropdracht zal er iedere week een vergadering plaatsvinden met de bedrijfsbegeleider en iedere twee weken met een schoolbegeleider.

In onderstaande tabel is een overzicht van de producten uitgezet met een uiterlijke datum van oplevering.

Producten	Uiterlijke datum
Heldere definitie van circulariteit, waarmee gewerkt wordt in dit onderzoek	09-02-2021
Concreet plan van hoe de mate van circulariteit zal worden gemeten in dit onderzoek	16-02-2021
Overzicht van normen die gebruikt zijn tijdens de TReK en een typisch profiel van keringen die afgekeurd zijn	23-02-2021
Studie van mate van circulariteit in materialen en handelingen die het Hoogheemraadschap gebruikt bij dijkverbetering	04-03-2021
Studie van bestaande circulaire mogelijkheden in de waterbouw	11-03-2021
Overzicht van circulaire materialen, die bruikbaar zijn voor dijkverbetering, beoordeeld op basis van MKI, LCA en afgewogen met een MCA	15-04-2021
Tussenpeiling	5-9 april 2021
Definitie van de toepasbaarheid van de nieuwe methode voor dijkverbetering.	22-04-2021
Financiële haalbaarheidsstudie op de toepasselijkheid van alternatieve circulaire materialen in de dijkverbetering van regionale keringen van het Hoogheemraadschap van Rijnland	06-05-2021
Visuele presentatie van een kering die gebruik maakt van circulaire materialen.	27-05-2021
Conceptrapport	24-05-2021
Feedback Conceptrapport	31-05-2021
Definitief rapport	07-06-2021

Presentatie en verdediging	14-18 juni 2021

Op de volgende pagina wordt de gehele planning van dit onderzoek weergegeven in een strokenplanning.



	Task Name	Duur	Begindatu	Einddatum
1	Heldere definitie van circulariteit, waarmee gewerkt wordt in dit onderzoek	2 dagen	maa 8-2-21	din 9-2-21
2	Concreet plan van hoe de mate van circulariteit zal worden gemeten in dit onderzoek	5 dagen	woe 10-2-21	din 16-2-21
3	Overzicht van normen die gebruikt zijn tijdens de TRek en een typisch profiel van keringen die afgekeurd zijn	5 dagen	woe 17-2-21	din 23-2-21
4	Studie van mate van circulariteit in materialen en handelingen die het Hoogheemraadschap gebruikt bij dijkverbetering	7 dagen	woe 24-2-21	don 4-3-21
5	Studie van bestaande circulaire mogelijkheden in de waterbouw	5 dagen	vrij 5-3-21	don 11-3-21
6	Overzicht van circulaire materialen, die bruikbaar zijn voor dijkverbetering, beoordeeld op basis van MKI, LCA en afgewogen met een MCA	25 dagen	vrij 12-3-21	don 15-4-21
7	Tussenpeiling	5 dagen	maa 5-4-21	vrij 9-4-21
8	Definitie van de toepasbaarheid van de nieuwe methode voor dijkverbetering.	5 dagen	vrij 16-4-21	don 22-4-21
9	Financiële haalbaarheidsstudie op de toepasselijkheid van alternatieve circulaire materialen in de dijkverbetering van regionale keringen van het Hoogheemraadschap van Rijnland	10 dagen	vrij 23-4-21	don 6-5-21
10	Visuele presentatie van een kering die gebruik maakt van circulaire materialen.	15 dagen	vrij 7-5-21	don 27-5-21
11	Conceptrapport	1 dag	maa 24-5-21	maa 24-5-21
12	Feedback Conceptrapport	1 dag	maa 31-5-21	maa 31-5-21
13	Verbeteringen rapport	5 dagen	maa 31-5-21	vrij 4-6-21
14	Definitief rapport	1 dag	maa 7-6-21	maa 7-6-21
15	Voorbereiding presentatie en verdediging	6 dagen	maa 7-6-21	maa 14-6-21
16	Presentatie en verdediging	5 dagen	maa 14-6-	vrij 18-6-21

Bibliografie

[1] Doelstelling rijksoverheid voor circulariteit, Rijksoverheid, 28-01-2021
https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie/nederland-circulair-in-2050
[2] Toetsing Regionale Keringen, Hoogheemraadschap van Rijnland, 18-01-2021
https://www.rijnland.net/werk-in-uitvoering/dijken-en-kades/toetsing-regionale-keringen
[3] Rijnland Arcgis kaarten database, Hoogheemraadschap van Rijnland, 18-01-2021
https://rijnland.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=56fba61b81294e76a556a5ecb02e540

Bijlage B: Reflectieverslag

Aan het begin van dit afstudeeronderzoek heb ik zes competenties gekozen waaraan ik wilde werken. In dit reflectieverslag zal ik aantonen dat alle gekozen competenties succesvol zijn ontwikkeld tot niveau III. Dit zal worden toegelicht aan de hand van de opgeleverde producten.

Technische competenties:

B1 Initiëren en sturen: In dit afstudeerrapport ligt een sterke nadruk op het belang om de overstap te maken naar een circulaire manier van denken, met name in de inleiding. Adviezen uit dit rapport sturen Rijnland richting een circulaire organisatie worden. Ik heb gedurende mijn stage met meerdere werknemers van het Hoogheemraadschap gesproken over het belang van circulariteit en heb intussen gehint naar materiaalgebruik dat men kan meenemen in het ontwerp van de keringen.

B2 Ontwerpen: In mijn werkplan heb ik als doel gesteld om een circulaire dijk te ontwerpen. Tijdens het onderzoek kwam ik echter tot de conclusie dat de vormgeving van een circulaire dijk niet sterk afwijkt van huidige keringen. Het overstappen naar andere materialen leidt niet tot grote veranderingen in de constructie. Dit zorgt ervoor dat een ontwerp maken van een circulaire dijk geen hoge toegevoegde waarde heeft. Daarbij kwam om medische redenen de tijd in de knel waardoor geen specifieke case kon worden uitgewerkt.

Aan de hand van de Circulaire Peiler en de materialenstudie heb ik wel concrete adviezen gegeven voor dijkontwerp op een circulaire manier. Daarbij worden aanbevelingen gedaan voor toekomstig onderzoek en pilot projecten. Gegevens worden objectief en kritisch geëvalueerd. Het in kaart brengen van deze kansen kunnen onder de competentie **B6 – Monitoren, toetsen en evalueren** worden beschouwd.

B3 Specificeren: In dit eindrapport geef ik concrete specificaties van circulaire materialen. Hierbij leggen milieukosten uit DuboCalc, de Material Circularity Index, kostenefficiëntie en toepasbaarheid op de regionale keringen de grondslag. Het adviesrapport geeft weer hoe het Hoogheemraadschap dijkverbetering kan aanpakken op de meest circulaire manier en geeft adviezen om dit te bereiken.

Generieke hbo-competenties:

G1 Onderzoeken: Gedurende dit onderzoek ben ik erg kritisch geweest. Ik heb alle gegevens van zo veel mogelijk kanten bekeken en een meervoud van bronnen gebruikt. Daaruit volgt dit adviesrapport waar bij alle gegevens voordelen en nadelen worden genoemd en afgewogen. De conclusies en aanbevelingen geven een duidelijk oordeel.

G5 Innoveren: In dit onderzoek wordt het proces van dijkverbetering geanalyseerd en wordt er getracht naar verbetering op basis van circulair gedachtegoed. Er wordt gezocht naar een optimalisatie tussen het behouden van de waterveiligheid binnen het Hoogheemraadschap, kostenefficiëntie en duurzaamheid. Mijn onderzoek naar mogelijkheden voor bamboe damwanden en beschoeiing is een goed voorbeeld van een innovatie slag die is gezet.

G6 Leren en verder ontwikkelen: Ik ben erg zelfstandig te werk gegaan tijdens dit onderzoek. Eens per week de voortgang bespreken met mijn bedrijfsbegeleiders was voor mij voldoende om tot de juiste informatie te komen en om in de gaten te houden of alles

nog volgens planning verloop. Gedurende dit afstudeeronderzoek ben ik zeer veel te weten gekomen over circulariteit, hoe circulariteit principes kunnen worden toegepast in waterbouwkundige projecten en hoe een organisatie als het Hoogheemraadschap van Rijnland te werk gaat.

Dit laatste punt was vrij lastig gemaakt door het thuis moeten werken door de coronacrisis. Barrières werden overwonnen door regelmatige online vergaderingen, rondbellen en werkbezoeken, zodat toch een kijkje in de keuken kon worden genomen. Ik heb geleerd hoe een beheerder te werk gaat tijdens het toetsen van een dijk, het omgaan met stakeholders en maakte concreet mee wat de rol van de opdrachtgever is in de uitvoering.

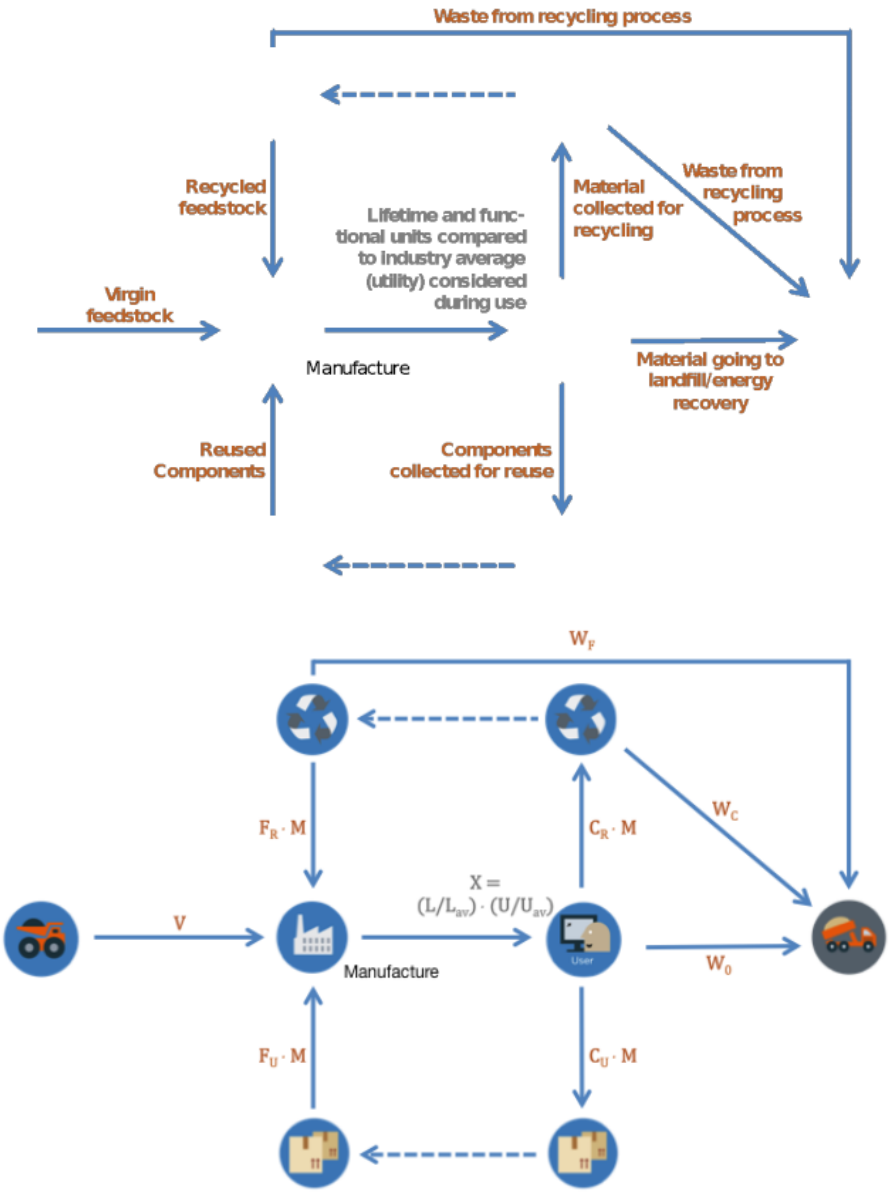
Ik heb geleerd dat hoewel ik goed zelfstandig kan werken er toch een sterke behoefte is om in een werkomgeving te werken met gedreven collega's. Deze werkomgeving miste door het gedwongen thuiswerken tijdens de corona-crisis. Mijn meest productieve werkuren waren tijdens de stand-van-zaken (StaVaZa) besprekingen. Het voelde alsof ik op kantoor was.

Daarnaast heb ik geleerd dat werkdruk belangrijk is voor mij. Toen ik last kreeg van mijn ogen en ik het rustiger aan moest doen, daalde de motivatie om door te gaan ook hard. Ik heb met een goede dosis doorzettingsvermogen deze motivatie weer op peil gekregen toen ik gewend raakte aan het nieuwe werkritme.

Ondanks de corona-crisis en medische belemmeringen zijn er flinke stappen gezet in mijn ontwikkeling, waardoor er tevreden teruggekeken kan worden op het resultaat.

Bijlage C: MCI en LCA Berekening

Om de MCI te berekenen worden drie meetbare hoeveelheden van een product gebruikt: de massa van de nieuwgewonnen grondstoffen gebruikt in de productie van het product (V), de massa van het niet-herwinbare afval dat gerelateerd is aan het product (W) en een gebruiksindicatie die de levensduur en gebruiksintensiteit meeneemt in de calculatie (X). In onderstaande figuren is een versimpelde weergave van de materiaalstromen weergegeven. In de tweede figuur zijn deze stromen vertaald in wiskundige variabelen.



Bij de berekening van de MCI-waarde gaat men uit van een nul-waarde bij een compleet lineaire levenscyclus en een waarde van 1 voor een compleet circulaire levenscyclus. De MCI-waarde zal in de meeste gevallen tussen de 0 en 1 in liggen.

Om de massa van de gebruikte nieuwgewonnen grondstoffen te berekenen wordt onderstaande formule gebruikt:

$$V = M(1 - F_R - F_U - F_S)$$

Hierin is M de totale massa van het product, F_R het percentage grondstoffen uit recycling, F_U het percentage grondstoffen uit hergebruikte grondstoffen en F_S het percentage grondstoffen afkomstig uit hernieuwbare biologische grondstoffen productie.

Vervolgens dient de massa van het niet-herwinbare afval te worden berekend met de volgende formules voor W_0, W_C en W_F:

$$W_0 = M(1 - C_R - C_U - C_C - C_E)$$

Hierbij is W_0 de massa materiaal dat zal eindigen op een vuilnisbelt, C_R het percentage van het product dat aan het eind van gebruik wordt gerecycled, C_U het percentage dat wordt hergebruikt, C_C het percentage biologisch materiaal dat wordt gecomposteerd en C_E het percentage biologisch materiaal dat wordt gebruikt voor energie terugwinning.

$$W_C = M(1 - E_C)C_R$$

Hierin is W_C de massa materiaal dat verloren gaat gedurende recycling en E_C de efficiëntie van het recycling proces.

$$W_F = M(\frac{(1 - E_F)F_R}{E_F})$$

Hier beschrijft W_F de massa materiaal dat verloren gaat door omzetting in grondstof en E_F de efficiëntie van de omzetting.

Om de uiteindelijke massa van het niet-herwinbare afval te bepalen gebruikt men de onderstaande formule:

$$W = W_0 + (\frac{W_F + W_C}{2})$$

Nu dat V en W bekend is, kan de mate van lineaire productie worden bepaald, ook wel de Linear Flow Index (LFI). Deze wordt berekend met onderstaande formule:

$$LFI = (V + W)/(2M + \frac{W_F - W_C}{2})$$

Als laatste component moet de gebruiksindicatie X worden berekend. Hiervoor wordt onderstaande formule gebruikt:

$$X = \left(\frac{L}{L_{av}}\right) * (\frac{U}{U_{av}})$$

Hierbij staat L voor de levensduur van het product en L_{av} voor de gemiddelde levensduur van vergelijkbare producten. Ditzelfde geldt voor de mate van het gebruik U tegenover het gemiddelde gebruik van een vergelijkbaar product U_{av}.

Om de MCI* waarde te berekenen wordt onderstaande formule gebruikt:

$$MCI^* = 1 - LFI * F(X)$$

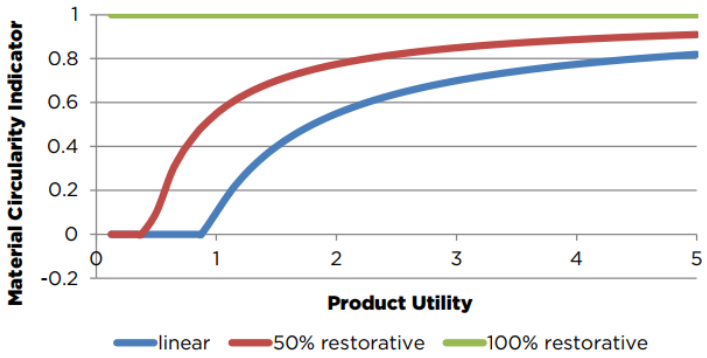
Hierbij is F(X) de functie van de invloed dat gebruiksindicatie inbrengt op de MCI. Deze is gegeven als:

$$F(X) = \left(\frac{0{,}9}{X}\right)$$

Door het feit dat X negatief kan zijn, bijvoorbeeld door een lager gebruik dan gemiddeld, wordt MCI bepaald door onderstaand bereik:

$$MCI = (0, MCI^*)$$

In bovenstaande formules is goed te zien dat de gebruiksindicatie sterk meeweegt in de MKI berekening. Dit is ook goed te zien in onderstaande grafiek:



De MCI is hiermee berekend voor een geheel product. Indien alle onderdelen en materialen informatie beschikbaar is, kan de MCI waarde worden bepaald door voor elk component (χ) de bovenstaande formules te gebruiken voor V en W en deze op te tellen. Vervolgens kan de LFI worden berekend volgens:

$$LFI = \frac{V + W}{2M + \sum_{\chi} \frac{W_{F(\chi)} - W_{C(\chi)}}{2}}.$$

De MCI berekening na deze stap blijft onveranderd.

Goddin, J. (2019). Circularity Indicators, An Approach to Measuring Circularity: Methodology, 2. Product-Level Methodology (blz. 22-31). Ellen MacArthur Foundation and ANSYS Granta.

Om het berekenen van de MCI waardes gemakkelijker te maken voor organisaties heeft de Foundation een Excel tool gemaakt om de MCI waarde aan de hand van zes inputs te berekenen.

LCA: ReCiPe

Om een levenscyclus analyse concreet te maken voor een product zijn verschillende methodes ontwikkeld. De meest gebruikte methode, is de Nederlandse methode genaamd ReCiPe. Deze methode onderzoekt de impact dat een product heeft op 18 indicatoren op de helft van de levenscyclus en laat deze leiden tot 3 eind indicatoren voor schade op de menselijke gezondheid gemeten in verlies aan levensjaren, schade aan de diversiteit van het ecosysteem gemeten in de tijd dat plant- en diersoorten verloren gaan en schade aan de beschikbaarheid van goederen en middelen uitgedrukt in geld.

Strietman, H. (2013). ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level, 1. Introduction (blz. 1-3). Ministerie van VROM.

ReCiPe is een vrij ingewikkelde methode die een grote hoeveelheid data gebruikt en produceert. De makers van de methode hebben voor de gebruiksvriendelijkheid een versimpelde uitvoering gemaakt om in de praktijk sneller producten te kunnen toetsen. Deze maakt gebruik van enkele formules en gegevens uit een Excel-database.

De formule voor de indicatoren op de helft van de levenscyclus luidt:

$$I_m = \sum_i Q_{mi} m_i$$

Hierbij is I_m de indicator op de helft van de levenscyclus, Q_{mi} de karakteristieke factor voor de helft van de levenscyclus af te lezen uit de Excel-database en m_i is de gemeten hoeveelheid van vervuiling of verbruik.

De formule voor de indicatoren op het eind van de levenscyclus luidt:

$$I_e = \sum_i Q_{ei} m_i$$

Hierbij is I_e de indicator op het eind van de levenscyclus, Q_{ei} de karakteristieke factor voor het eind van de levenscyclus af te lezen uit de Excel-database en m_i is de gemeten hoeveelheid van vervuiling of verbruik.

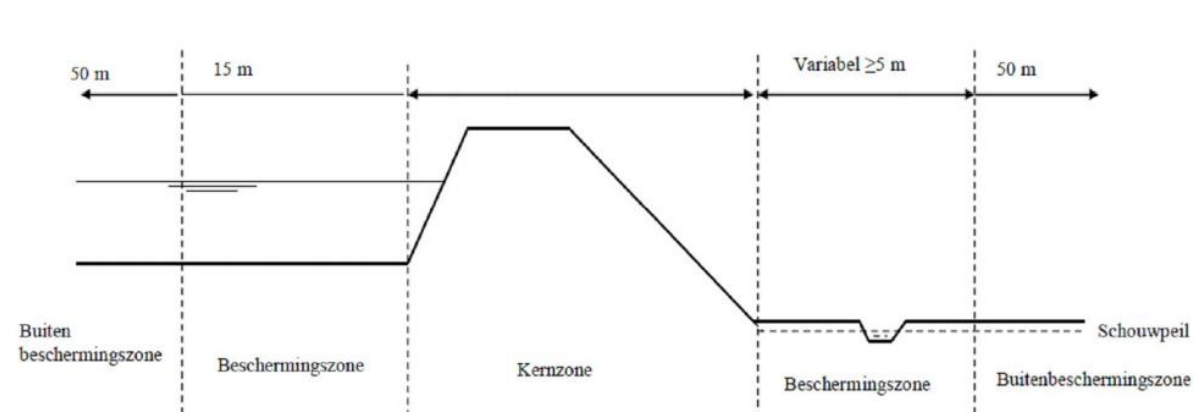
De Excel-database is te downloaden op de website van het RIVM:
https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/downloads

Strietman, H. (2013). ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level, 2.6 Characterisation in Practice: A Recipe (blz. 19-20). Ministerie van VROM.

Bijlage D: Ontwerp richtlijnen keringen

Voor het ontwerp van de regionale keringen heeft het Hoogheemraadschap het document Standaard Ontwerp Richtlijnen (SOR) opgesteld. Hierin worden object specifieke ontwerpuitgangspunten en locatiegerichte oordelen in beschreven. De SOR geeft de basis ontwerprichtlijnen waar advies- en ingenieursbureaus aan moeten voldoen in hun advies en ontwerp.

In de Rijnlandse Legger zijn de theoretisch bepaalde minimaal vereiste afmetingen van een regionale kering opgenomen en de onderhoudseisen zijn hieraan gebonden. Aan de hand van deze minimum vereisten zal verder worden gewerkt in dit onderzoek.
De legger beschrijft de kern-, beschermings- en buitenbeschermingszone, welke afmetingen zijn gebaseerd op de minimale ruimte die noodzakelijk is voor het behoud van de waterkerende functie van de kering.



De kernzone omvangt de kruin en het binnen- en buitentalud. Voor de kruin geldt een minimale breedte van 1,5m. Binnen de kernzone geldt het strengste beschermingsniveau.

De beschermingszone binnendijks is variabel in omvang met als ondergrens 5 meter. De benodigde grootte voor deze zone volgt uit berekeningen van de binnenwaartse macrostabiliteit. De beschermingszone buitendijks heeft wel een standaard eis: 15 meter in de watergang.

De buitenbeschermingszones bedragen de eerste 50 meter vanaf de beschermingszones. Deze dienen om extreme ingrepen mogelijk te maken of calamiteiten met explosiegevaar op te vangen.

Ten slotte hanteert men een profiel van vrije ruimte. Deze ruimte is fictief en wordt aangegeven door de beheerder voor onderhoudswerkzaamheden, maaivelddaling te compenseren en verwachtingen rond klimaatverandering voor de planperiode van 30-50 jaar.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de watersystemen in beheer van het Hoogheemraadschap. Daarbij is weergegeven welke streefpeilen op die watersystemen gehanteerd worden en wat de vereiste kruinhoogte is van de kaden langs die watersystemen.

Aangrenzend watersysteem	Streefpeil [m NAP]	Kruinhoogte [m NAP]
Gemiddelde Boezem van Rijnland	-0,62	-0,10*
		+0,00 (ringdijk H'meerpolder)*
Stadsboezem Gouda	-0,70	-0,20
Boezem van de Stichtse Rijnlanden	-0,47	+0,0
Noordzee- en Amsterdam Rijnkanaal boezem.	-0,40	+0,10
		+0,65 (Noordzeekanaal en zijkanaal C)
Gekanaliseerde Hollandse IJssel	+0,54	+1,0

* Voor strekkingen langs breed open water geldt een toeslag op de bestaande keurhoogte.

Rijnland. (2011). *Uitgangspunten Legger Regionale Waterkeringen Rijnland.* Leiden: Rijnland.
Rijnland. (2018). *Uitgangspunten notitie legger regionale keringen.* Leiden: Rijnland

Geotechnische eisen klei:

De consistentie-index Ic van de klei bij opbrengen en verwerken moet 0,75 of meer zijn. De klei moet afkomstig zijn van een geologisch gevormde, natuurlijk afgezette kleilaag.

EBC categorieën uit TR17:

Tabel 5.1: Overzicht van de eisen aan klei voor gebruik in dijken.

Erosiebestendigheids-categorie	Grenswaarden classificatieproeven (alle getallen zijn massapercentages t.o.v. de droge massa) w_l = vloeigrens I_p = plasticiteitsindex $I_p = 0.73*(w_l-20)$ is de zogenaamde A-lijn in het plasticiteitsdiagram (figuur 6.1)	
1. Erosiebestendige klei	w_l	> 45
	en	
	I_p	> $0.73*(w_l-20)$
	en	
	zandgehalte	< 40
2. Matig erosiebestendige klei	w_l	< 45
	en	
	I_p	> 18
	en	
	zandgehalte	< 40
3. Weinig erosiebestendige klei	w_l	< $0.73*(w_l-20)$
	en/of	
	I_p	< 18
	en/of	
	zandgehalte	> 40

De standaardeisen van Rijnland aan de eigenschappen van ophoogklei voor kades zijn dat de rekenwaarden voor het volumiek gewicht en de sterkte minimaal voldoen aan:

- volumiek gewicht: $Y_{nat/droog}$ =17,0 kN/m^3
- cohesie: c'= 1,5 kPa
- hoek van inwendige wrijving: φ' = 16,9°

De bovenstaande parameters voor het dijkmateriaal voor ophogen, zijn ingeschat op basis van tabel 2.b uit de nationale bijlage bij Eurocode 7 "Geotechnisch Ontwerp".

Algemene eisen vanuit TR17 zijn:

- de klei mag geen visueel waarneembare bestanddelen zoals steenmaterialen, wortels, planten, of chemisch te bepalen verontreinigingen in zodanige hoeveelheden bevatten, dat deze op enigerlei wijze schadelijk zijn voor de constructieve toepassing;
- het zoutgehalte per liter bodemvocht mag ten hoogste 4 gram bedragen;
- de klei moet vrij zijn van knolcyperus;
- de aannemer moet akkerdistel zo vaak bestrijden dat wordt voorkomen dat ze tot bloei komen. Wegspuiten is niet toegestaan;
- de klei moet vrij zijn van aardappelmoeheid (aaltjes), bruinrot en/of ringrot.

[1] Rijnlandse SOR Systematiek (2017), Deel 2-Objectspecifiek Regionale Waterkeringen, 4.3 Materiaaleisen klei (blz. 13)

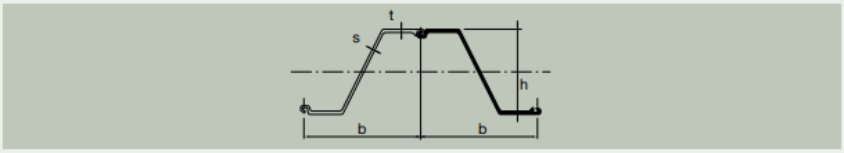
<u>Damwand constructies</u>

Er zijn maar enkele projecten van het Hoogheemraadschap van Rijnland waar een damwand constructie is gebruikt in een regionale kering. Als voorbeelden voor het gebruik van een damwand constructie is er gekeken naar de Hellegatspolder en de Zuidzijderpolder. In de Hellegatspolder werd er gebruik gemaakt van een constructie met verankerde damwanden van AZ13-700 (S240) met groutankers. Indien geen ankerconstructie zou worden gebruikt werd een AZ24-700 (S355) constructie aangeraden door de geotechnisch adviseur. In de Zuidzijderpolder werd er gebruik gemaakt van een vergelijkbare AZ26-700 constructie.

Aan de hand van deze gegevens kan in dit onderzoek gekeken worden naar alternatieve materialen die een stalen damwandconstructie van profiel AZ26-700 kan vervangen op basis van massa en elastische weerstandsmomenten.

[Arthur Balsters mailverkeer met Rutger Groen. 24 oktober 2019]

[2] Teeuw, J.A. (2020), Geotechnisch advies voor Versterking traject M9 Hellegatspolder, 5. Advies (blz. 12-14), Teeuw Grondmechanica v.o.f.



Profieltype	Breedte	Hoogte	Dikte		Staaldoor-snede	Massa		Traagheids-moment	Elastisch weer-standsmoment	Statisch moment	Plastisch weerstands-moment	Klasse*				
	b	h	t	s		kg/m	kg/m²					S 240	S 270	S 320	S 355	S 390	S 430
	mm	mm	mm	mm	cm²/m	enkele plank	wand	cm⁴/m	cm³/m	cm³/m	cm³/m						
AZ 12	670	302	8,5	8,5	126	66,1	**99**	18140	**1200**	705	1409	2	3	3	3	3	3
AZ 13	670	303	9,5	9,5	137	72,0	**107**	19700	**1300**	765	1528	2	2	2	3	3	3
AZ 14	670	304	10,5	10,5	149	78,3	**117**	21300	**1400**	825	1651	2	2	2	2	2	3
AZ 17	630	379	8,5	8,5	138	68,4	**109**	31580	**1665**	970	1944	2	2	3	3	3	3
AZ 18	630	380	9,5	9,5	150	74,4	**118**	34200	**1800**	1050	2104	2	2	2	3	3	3
AZ 19	630	381	10,5	10,5	164	81,0	**129**	36980	**1940**	1140	2275	2	2	2	2	2	2
AZ 25	630	426	12,0	11,2	185	91,5	**145**	52250	**2455**	1435	2873	2	2	2	2	2	2
AZ 26	630	427	13,0	12,2	198	97,8	**155**	55510	**2600**	1530	3059	2	2	2	2	2	2
AZ 28	630	428	14,0	13,2	211	104,4	**166**	58940	**2755**	1625	3252	2	2	2	2	2	2
AZ 34	630	459	17,0	13,0	234	115,5	**183**	78700	**3430**	1990	3980	2	2	2	2	2	2
AZ 36	630	460	18,0	14,0	247	122,2	**194**	82800	**3600**	2100	4196	2	2	2	2	2	2
AZ 38	630	461	19,0	15,0	261	129,1	**205**	87080	**3780**	2210	4417	2	2	2	2	2	2
AZ 46	580	481	18,0	14,0	291	132,6	**229**	110450	**4595**	2650	5295	2	2	2	2	2	2
AZ 48	580	482	19,0	15,0	307	139,6	**241**	115670	**4800**	2775	5553	2	2	2	2	2	2
AZ 50	580	483	20,0	16,0	322	146,7	**253**	121060	**5015**	2910	5816	2	2	2	2	2	2
Voor een minimale staaldikte van 10 mm:																	
AZ 13 10/10	670	304	10,0	10,0	143	75,2	**112**	20480	**1390**	795	1589	2	2	2	2	3	3
AZ 18 10/10	630	381	10,0	10,0	157	77,8	**123**	35540	**1870**	1095	2189	2	2	2	2	2	3

*: Indeling volgens ENV 1993-5

[4] Arcelor Groep(2004), Algemene catalogus: Stalen Damwanden, Z-profielen (blz.4), Arbed Damwand Nederland

Uitgangspunt voor nieuw materiaal: Equivalent op AZ26 met Elastisch weerstandsmoment van 2600 cm^3/m en 155 kg/m^2 massa, tenzij het materiaal verankerd kan worden. Dan equivalent op AZ13 met Elastisch weerstandsmoment van 1300 cm^3/m en 107 kg/m^2 massa.

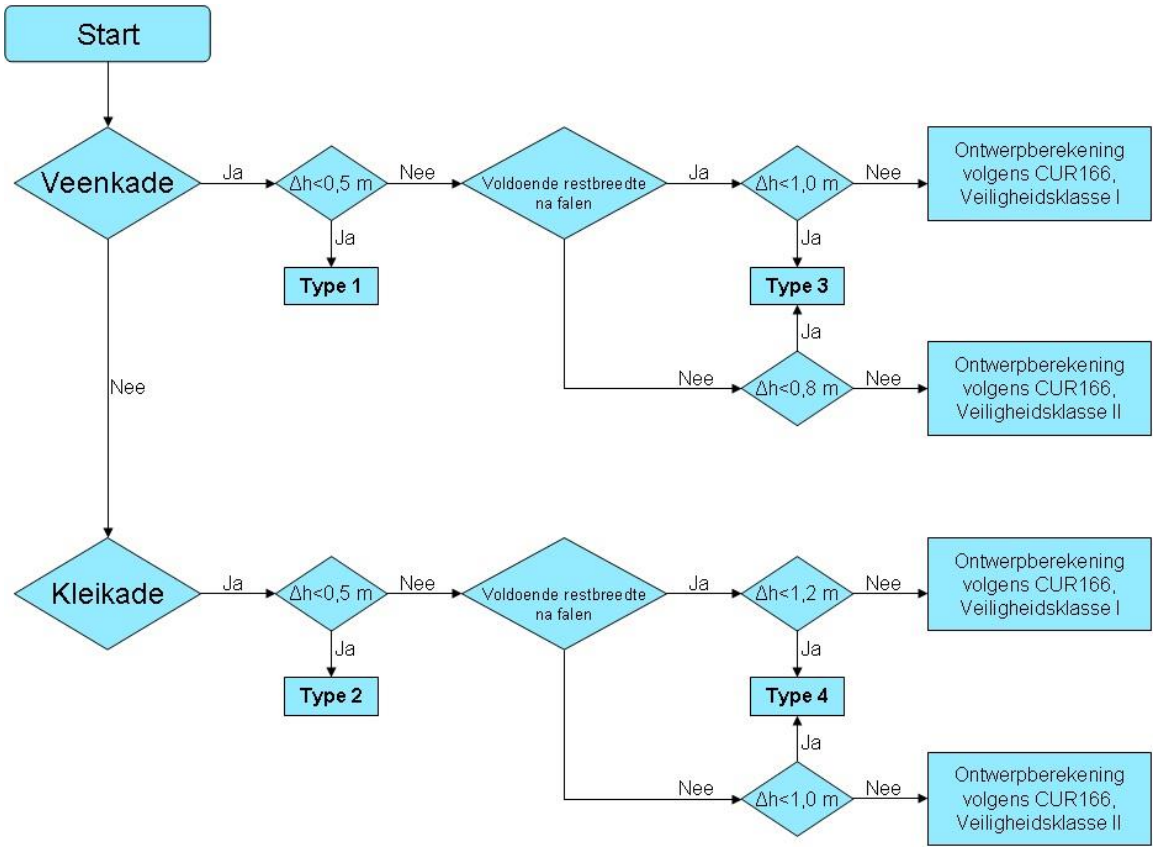
Er is ook gekeken naar een duurzame oplossing met een houten damwand in de Zuidzijderpolder. Hier werden houten damplanken van 4 meter lang en 50 mm dik gebruikt.

[3] Bosch-Stalenberg, B. (2013), Kadeverbetering Zuidzijderpolder, 5. Verbeteradvies (blz 24-26), RPS advies- en ingenieursbureau B.V.

Hardhouten palen constructies voor beschoeiingen. Flowchart.

Hardhouten palen constructies worden gebruikt om het buitentalud te beschermen tegen oevererosie. Ze bedragen een beperkte grondkerende functie, de kerende hoogte mag niet meer dan 0,80 meter bedragen bij een onderwatertalud van 1:3 of flauwer. Voor boezemkeringen ligt het maaiveld achter de beschoeiing doorgaans 0,5 m boven het streefpeil. Dit betekent dat de waterdiepte direct langs de beschoeiing niet meer mag zijn dan 0,30 m.

Het ontwerp voor standaard beschoeiingconstructies is hieronder weergegeven in een flowchart, die snel wegwijs biedt in het te gebruiken type hardhouten palen.



Type 1	Ongeschilde, vurenhouten palen rond 100 mm; paallengte 3,0 m; h.o.h.-afstand 0,50 m.
	Hardhouten palen vierkant 75 mm; paallengte 3,0 m; h.o.h.-afstand 0,50 m.
Type 2	Ongeschilde, vurenhouten palen rond 100 mm; paallengte 2,0 m; h.o.h.-afstand 0,50 m.
	Hardhouten palen vierkant 75 mm; paallengte 2,0 m; h.o.h.-afstand 0,50 m.
Type 3	Ongeschilde, vurenhouten palen rond 150 mm; paallengte 7,0 m; h.o.h.-afstand 0,50 m.
Type 4	Ongeschilde, vurenhouten palen rond 120 mm; paallengte 4,0 m; h.o.h.-afstand 0,50 m.
	Hardhouten palen vierkant 100 mm; paallengte 4,0 m; h.o.h.-afstand 0,50 m.

Bijlage E: Interviews

Interview met geotechnisch adviseur Onno van Logchem:

In het verleden hebben we weleens geprobeerd met houten palenrijen de dijk te verzwaren, wat ook leidde tot een belastingproef. Onze gedachten hierover is dat dit niet een oplossing is voor de lange termijn. Ik heb hier nog wel een cursus over gegeven. Recentelijk is Wetterskip Fryslan hier ook weer wat mee gaan experimenteren.

Er was een POV Gebiedseigen Grond. Het gebruik van gebiedseigen grond betekent milieuwinst door minder transportbewegingen. Deze zou lopen van 2018 tot 2022.

Kortgeleden heb ik een voorstel gemaakt om met biogrout een lekkage door een waterkering tegen te gaan. In het verleden zijn er ook diverse pilots geweest met (versterkte) bagger. Vaak ketst dit af op het kostenaspect, maar ook op het feit dat "onze" dijken niet ons bezit zijn. De percelen zijn in bezit van anderen. Daarom komt ook grootschalige bodemtoepassing niet snel in beeld.

Interview met technisch adviseur Anne-Sophie van Oosterom tijdens projectbezoek:

In Boskoop is een dijk ingesloten door bebouwing van een woonwijk. Deze dijk is sterk verzakt en moet worden opgehoogd. De weg is net nieuw aangelegd zonder overleg met het Hoogheemraadschap, dus de gemeente werkt tegen. Er is een tijdelijke oplossing gevonden door een stuk buitendijksgebied een tijdelijke kering te geven, waardoor de kans op overstroming binnen de marges wordt verkleind voor de komende 10 jaar.





Ook is er een stuk beschoeiing haaks op de stalen damwand van de ingesloten dijk waar men een tijdelijke houten damwand voor wil plaatsen. Deze zal uiteindelijk bij de grote aanpak van de dijk worden vervangen voor een stalen damwand.



Anne-Sophie geeft aan dat de herkomst van materialen wordt bepaald door de aannemer. Er zijn geen strenge eisen voor de locatie waar materialen vandaan moeten komen, alleen technische eisen.

Stalen damwanden hebben een levensduur van 100 jaar. Houten damwanden 30-50 jaar. Levensduur van een bouwwerk is erg belangrijk. Er is veel weerstand vanuit de omgeving als een dijkverbetering in een dichtbevolkt dient te worden uitgevoerd. Als deze maatregelen een grotere frequentie krijgen, gaan omwonenden mogelijk meer moeilijk doen.

Houten damwanden worden veelal al hergebruikt. Voor ofwel beschoeiing of tijdelijke keringen. Maar het gebruik van houten damwanden over de langere termijn is dus beperkt.

Hergebruik van bijvoorbeeld dijkbekleding is lastig. Een dijkverbeteringsproces kan in gevallen van sterke verzakkingen 9 maanden in beslag nemen. Als grasmatten worden gebruikt en deze opnieuw aangelegd moeten worden, dan overleven deze matten die wachttijd niet.

Tijdelijke ophogingen/keringen worden gemaakt met zand. Permanente keringen worden gemaakt met (erosiebestendige) klei. Afgraven van tijdelijke keringen is onpraktisch en levert meer transport over de weg op.

<u>Interview met technisch adviseur Gianni van Leeuwen tijdens projectbezoek:</u>

Het project in Aalsmeer bevat een 1,5 kilometer strekking oude veendijk. Deze veendijk is ontstaan door het uitgraven van het achterland voor de productie van turf in het verleden. Er wordt voornamelijk een ophoging met EC I klei op kruin en EC II op binnentalud aangebracht. Er bevindt zich asbest beschoeiing op het buitentalud, afblijven. De veendijk zakt flink. Er mag geen zwaar materieel erop komen, dus er wordt rond gereden met kleine kiepwagens.




Op het voetpad bovenop de dijk is een laag houtsnippers aangebracht voor een dempend effect met daar rijplaten bovenop. De houtsnippers zijn hiernaartoe gebracht en worden na gebruik weer weggegooid. Inmiddels zijn er wel bomen gekapt op deze kering. Op de vraag of deze versnipperd had kunnen worden, wordt gesteld dat dit niet praktisch zou zijn. Er worden ook boomstammen gebruikt als tijdelijke grondkering in de teensloot totdat de grond gezet is.

Er wordt veel gebruik gemaakt van damwanden in dit project. Ze worden aangebracht door gebrek aan ruimte langs lokale bebouwing op enkele honderden meters van de kering. Het betreft stalen damwanden, AZ 18. Ze gaan langer mee dan de houten variant en de veen grond werkt niet goed samen met het hout. Aantasting van het materiaal door de veen grond kan levensduur beperken. Er zijn ook vragen bij kunststof damwanden of deze wel goed kunnen omgaan met veengrond. Brosheid van het materiaal geeft veel onzekerheid. Stalen damwanden hebben wel drainage nodig om de veengrond vochtig te houden. Droge veengrond vergaat en zakt snel in.

Er is een tijdelijke zandstorting om damwand platen op te bergen aan de rand van de dijk. Zand wordt naderhand weer afgevoerd. Waar naartoe is onbekend.

Het gras is ingezaaid en het pad op de dijk, onder de rijplaten, is van stortsteen (granulaat).

Er komt wederom bevestiging dat men blijft pakken naar conventionele oplossingen in plaats van rond kijken naar innovatieve varianten die spaarzaam zijn op nieuwe materialen. Voornaamste reden wordt tijdgebrek genoemd. 20-25 kilometer aan strekkingen dienen ieder jaar te worden voltooid. Weinig ruimte om nieuwe expertise op te doen en nieuwe methodes uit te proberen.

Er worden geen materialen hergebruikt tijdens dit project. Het Hoogheemraadschap stelt alleen eisen aan de kwaliteit van de materialen en niet aan hun herkomst. Het is voor nu aan de aannemer om duurzaam met materialen om te gaan.

<u>Interview uitvoering expert Piet Schering</u>

Piet Schering loopt al 46 jaar rond in het vakgebied. Hij heeft veel ervaring in levert voornamelijk een voorbeeld functie. Zijn pensioen komt eraan, maar hij blijft nog werken bij Rijnland op enkele projecten om expertise te delen.

Piet houdt zich veel bezig met het materialen gebruik. Hij gaat op locatie kijken of de grond geschikt is voor de omgeving en hij heeft een sterke voorkeur voor lokale grond. Hij noemt

een grote voorraad uitbagger klei uit Limburg. De grond sloot niet goed aan op de natuurhuishouding van het gebied, waardoor deze niet toegepast ging worden in het gebied.

In stedelijk gebied wordt veel rietbeplanting verwijderd. Deze worden elders hergebruikt voor onderwaterbeschoeiing op het buitentalud en de vooroever van de keringen.

Voor de opslag van materialen wordt een sleufsilo gebruikt. Deze silo heeft een dubbele opslag functie, dus er is wel haast om de materialen in hetzelfde seizoen opnieuw te gebruiken. Anders gaat het naar de stort. Er is daardoor een vraag naar een centraal opslag depot in Rijnland.

De klei grond die wordt gebruikt kan van vele locaties komen, maar vaak wordt grond gebruikt die vrijkomt uit akkerland dat wordt omgezet in industriegebieden en nieuwbouw. De blik op deze klei is kritisch en op locatie dient te worden gekeken of het voldoet aan de eisen. Piet stelt dat klasse 3 klei wel gebruikt kan worden voor de stabiliteit, maar dat het erg afhankelijk is van de IPO veiligheidsklasse. Bij lagere klassen is het nog toe te passen, maar als de eisen hoger worden, is er meer vraag voor hogere klasse klei.

Het toepassen van zonnepanelen op de kade is een slecht idee volgens Piet. Het kan de gras aangroei hinderen, wat schadelijk is voor de hoofdfunctie van de kering.

Piet vertelt over het project langs de Langeraarse Plassen. Hierbij is afgesproken met de aannemer om compleet emissievrij te werken. Er wordt gebruik gemaakt van elektrisch materieel en door de Noordplas te baggeren komt slip vrij voor de dijkverbetering.

In Benenbroek is een experiment opgezet voor het gebruik van kunststof damwanden. Hier is een oude hardhouten kering verwijderd. In dit project wordt getest hoe de kunststof damwanden impact hebben op de omgeving en of het materiaal uitloogt. Bij het verwijderen van de houten palen bleek een teerlaag erop te zitten, die bij verwijdering uitloogde in het milieu.

<u>Interview Anja van Baaren en Marco Witte (circulariteit en DuboCalc binnen Rijnland)</u>

Dubocalc is erg arbeidsintensief. Meeting Dubocalc is op 1 april. Secundaire materialen zijn er maar wordt niks mee gedaan. Liggen ze op de goede plek? Is de kwaliteit goed genoeg? Werkgroep alternatieve materialen net opgezet.

Er zijn nog geen depots voor verzamelen materialen. Cementindustrie zoekt ook opslag voor restproducten. Wie wil dit in zijn achtertuin? De basics zijn er nog niet. Het wordt overgelaten aan de aannemer of hij wil hergebruiken of niet. We schieten onszelf in de voet. We betalen twee keer voor dezelfde materialen.

Pilot voor onderzoek lokale grond is een groot goed dat zou moeten worden opgezet

<u>Interview Arjan Kooij over gebruik van gebiedseigen grond; (HWBP, POV Gebiedseigen grond)</u>

Gaat de POV DGG verder op expertise uit het verleden? Veel van de dijkkernen zijn al gebouwd met gebiedseigen grond natuurlijk. De expertise hoe grond werkt moet meer worden opgenomen onder de beheerders. Er zijn meer hoogopgeleide grondtechnici nodig onder het beheer, zodat effectief kan worden gewerkt met elk type grond dat in de directe omgeving beschikbaar is.

Hoe kan Rijnland gebruik maken van gebiedseigen grond als er veel veen in het gebied is? Veen is absoluut niet te gebruiken. Er moet voornamelijk worden gekeken naar de klei. Bij

uitbagger werkzaamheden kan worden gekeken naar een Meegroeidijk. Hierbij wordt iedere keer dat de waterbodem wordt uitgebaggerd, het slib als een dunne laag op de dijk gegooid. Een dunne laag kan langzaam rijpen en het gras kan erdoorheen groeien. Op deze manier kan de zetting van de veengronden worden gecompenseerd en is er een geleidelijkheid in de methodiek. Dit geeft uiteraard wel nadelen, wanneer er een weg over de dijk loopt en het slib kan stank overlast geven. Het voordeel is dat er geen grootschalig dijkversterkingsproject hoeft worden opgezet als deze ophogingen met slib effectief de zetting compenseren. Hierover weet Annette Kieftenburg bij Deltares meer.

Zijn geotextielen toe te passen in keringen met klei en zijn ze bruikbaar voor stabiliteit of alleen piping? In principe is het voornamelijk voor piping, maar je kan er voor kiezen om grond in te pakken in geotubes. Het toevoegen van kalk kan de erosiebestendigheid van de grond ook opwaarderen.

Zijn er verder nog vorderingen binnen het gebruik van gebiedseigen grond? We merken dat de gebiedseigen grond technisch eigenlijk altijd wel kan. Alleen sluit het in het proces vaak niet goed aan. Grond komt niet op hetzelfde moment vrij als dat het moet worden gebruikt in de regio. Een opslag depot zou hier een goede oplossing voor geven. Tevens kan die opslag depot worden gebruikt om klei van lagere sterkte klasse te laten rijpen naar een hogere klasse, zoals gebeurt bij de Brede Groene dijk.

Het is belangrijk om een omslag te maken in de denkwijze. In plaats van: “Welk materiaal heb ik nodig voor deze dijkconstructie?”, vraag jezelf: “Hoe kan ik een veilige dijk bouwen met deze materialen die ik heb?”.

Bijlage F: LCA waardes uit EPD MOSO Xtreme Bamboe materiaal

LCA results

In the table below the results for the various environmental categories are provided for 1 kg of MOSO Density® material.

Basic profiles										
Stage(s) EN 15804	Unit	A1-3	A4	A5	B1	B2	C1	C2	C3 + C4	D
Abiotic depletion, non fuel	kg antimoon eq.	9,40E-07	5,82E-08	-	-	-	0	4,35E-08	-4,07E-09	0
Abiotic depletion, fuel	kg antimoon eq.	5,96E-03	1,52E-04	-	-	-	0	1,06E-04	-5,28E-03	0
Global warming (GWP100)	kg CO2 eq.	8,08E-01	2,06E-02	-	-	-	0	1,47E-02	-5,82E-01	0
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFK-11 eq.	4,69E-08	3,40E-09	-	-	-	0	2,36E-09	-4,63E-08	0
Photochemical oxidation	kg ethyleen eq.	6,32E-04	1,76E-05	-	-	-	0	1,08E-05	-4,21E-05	0
Acidification	kg SO2 eq.	9,16E-03	1,08E-04	-	-	-	0	7,95E-05	-5,78E-04	0
Eutrophication	kg PO4- eq.	9,49E-04	2,99E-05	-	-	-	0	2,19E-05	6,84E-05	0
Human toxicity	kg 1,4- DB eq.	6,35E-01	7,20E-03	-	-	-	0	5,07E-03	-5,55E-02	0
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4- DB eq.	5,14E-02	2,05E-03	-	-	-	0	1,45E-03	2,36E-03	0
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4- DB eq.	9,47E+01	4,10E+00	-	-	-	0	2,94E+00	-3,25E+01	0
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4- DB eq.	4,59E-03	4,85E-05	-	-	-	0	3,37E-05	-3,31E-04	0
Total renewable energy	MJ	3,52E-01	4,14E-03	-	-	-	0	3,07E-03	-3,27E-01	0
Total non renewable energy	MJ	1,21E+01	3,52E-01	-	-	-	0	2,47E-01	-1,11E+01	0
Total Energy	MJ	1,25E+01	3,57E-01	-	-	-	0	2,50E-01	-1,15E+01	0
Water, fresh water use	m3	1,08E+00	2,41E-02	-	-	-	0	1,79E-02	-2,68E-01	0
Waste, non hazardous	kg	2,85E-02	5,16E-03	-	-	-	0	3,10E-03	1,13E+02	0
Waste, hazardous	kg	2,97E+01	8,14E-03	-	-	-	0	5,81E-03	-5,58E-01	0

Representativeness production process

This product is made following the production protocols of MOSO in the factories in China, which is representative for all MOSO Density® material sold worldwide.

Representativeness Geographically

MOSO Density® material as described in this EPD is made from giant bamboo sourced from sustainable managed production forests. Harvesting and first processing takes place in the region Anji in Zhejiang province, China. The final manufacturing processes are executed in Hangzhou and Jianyang, China after which the products are shipped via Shanghai and Rotterdam to the warehouse of MOSO International in Zwaag, the Netherlands.

For the transport to the building site an average distance was assumed in the LCA calculations of 150 kilometres which is representative for the Dutch situation.

Qualitative information

MOSO Density® material is produced in ISO 9001 and 14001 certified factories. Various MOSO products are available with CE mark and FSC certification. All indoor products meet the European E1 norm (EN 717) with respect to indoor emissions while several products even comply with E0, the strictest emission class available.

Agrodome

4

Bijlage G: DuboCalc resultaten

De calculaties in DuboCalc zijn gedaan aan de hand van LCA studies afkomstig uit de Nationale Milieudatabase. In DuboCalc worden varianten opgezet waarbij materialen uit de Nationale Milieudatabase aan elementen worden toegevoegd. Enkel de hoeveelheid van het materiaal en de benodigde levensduur van de elementen kan worden aangepast. De rest van de gegevens worden geleverd door een materiaal van de milieudatabase in te laden.

<u>Damwanden studie</u>

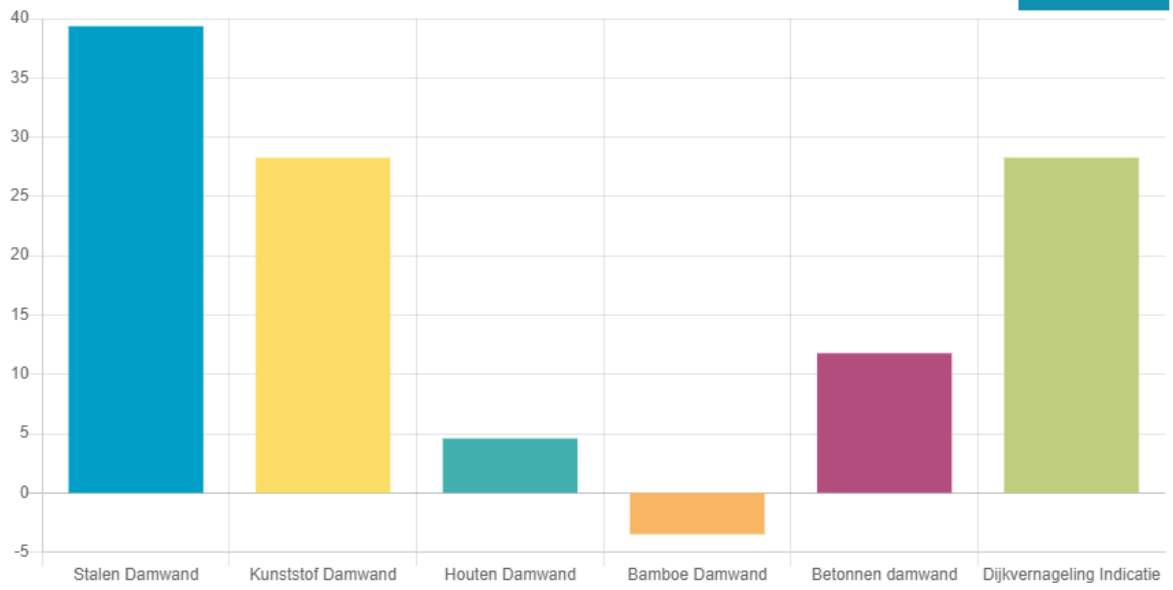


Damwanden studie

Vergelijking varianten

Exporteren

Uitsplitsen



MKI

Stalen Damwand	Kunststof Damwand	Houten Damwand	Bamboe Damwand	Betonnen damwand	Dijkvernageling Indicatie
39.35	28.26	4.59	-3.49	11.78	28.27

Staal

Omschrijving

Stalen damwanden van 12 m diep, AZ24700, 0,136 tonm2, per m2

Naam	Hoeveelheid	Levensduur (in jaren)	Vervangingen	Maateenheid	MKI	MKI MP	MKI Toeslag	Bijdrage %	CO2 (kg CO2-eq)	A1-A3	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Damwand	1	100	0	m2	38,99	27,00	11,99	99,09	298,45	37,47	0	0	0	0,19	2,29	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	-12,96
Slopen	0,03	100	0		0,36	0,28	0,08	0,91	3,81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0	0	0	0

Naam	Eenheid	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D	Totaal	Weighting Factor	Totaal * Weighting Factor
uitputting van abiotische grondstoffen,	kg antimoon	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0,00	0,16	0,00
uitputting van fossiele energiedragers	kg antimoon	1,97	0,01	0,12	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	-0,62	1,49	0,16	0,24
klimaatverandering	kg CO2	288,56	1,72	17,41	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	-101,72	206,11	0,05	10,31
ozonlaagaantasting	kg CFK-11	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0,00	0,00	30	0,00
fotochemische oxidantvorming (smog)	kg ethyleen	0,45	0,00	0,02	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	-0,24	0,23	2	0,47
verzuring	kg SO2	1,15	0,01	0,10	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	-0,38	0,88	4	3,51
vermesting	kg PO4-	0,14	0,00	0,02	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	-0,04	0,12	9	1,09
humaan-toxicologische effecten	kg 1,4-dichloorbenzeen	170,32	0,61	8,26	0	0	0	0	0	0	0,05	0	0	-65,40	113,83	0,09	10,24
ecotoxicologische effecten, aquatisch (;	kg 1,4-dichloorbenzeen	1,95	0,04	0,10	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0,84	2,94	0,03	0,09
ecotoxicologische effecten, aquatisch (;	kg 1,4-dichloorbenzeen	5.549,97	102,44	317,05	0	0	0	0	0	0	7,94	0	0	910,19	6.887,59	0,00	0,69
ecotoxicologische effecten, terrestrisch	kg 1,4-dichloorbenzeen	0,48	0,00	0,02	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	5,70	6,20	0,06	0,37

Kunststof

Omschrijving

Damwand van glasvezelversterkt PP, per m2. Enkel fase A1-A3 beschikbaar.

Naam	Hoeveelheid	Levensduur (in jaren)	Vervangingen	Maateenheid	MKI	MKI MP	MKI Toeslag	Bijdrage %	CO2 (kg CO2-eq)	A1-A3	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Damwand	1	30	2,33	m2	28,26	21,74	6,52	100	294,28	6,52	0	0	0	0	0	0	0	0	15,22	0	0	0	0	0	0

Naam	Eenheid	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D	Totaal	Weighting Factor	Totaal * Weighting Factor
uitputting van abiotische grondstoffen,	kg antimoon	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,16	0,00
uitputting van fossiele energiedragers	kg antimoon	0,89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,89	0,16	0,14
klimaatverandering	kg CO2	67,91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67,91	0,05	3,40
ozonlaagaantasting	kg CFK-11	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	30	0,00
fotochemische oxidantvorming (smog)	kg ethyleen	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	2	0,11
verzuring	kg SO2	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	4	1,00
vermesting	kg PO4-	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	9	0,24
humaan-toxicologische effecten	kg 1,4-dichloorbenzeen	16,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16,96	0,09	1,53
ecotoxicologische effecten, aquatisch (;	kg 1,4-dichloorbenzeen	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,27	0,03	0,01
ecotoxicologische effecten, aquatisch (;	kg 1,4-dichloorbenzeen	890,94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	890,94	0,00	0,09
ecotoxicologische effecten, terrestrisch	kg 1,4-dichloorbenzeen	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,06	0,00

Hout

Omschrijving

Houten damwand van 80% naaldhout en 20% hardhout teruggerekend naar 1m2

Naam	Hoeveelheid	Levensduur (in jaren)	Vervangingen	Maateenheid	MKI	MKI MP	MKI Toeslag	Bijdrage %	CO2 (kg CO2-eq)	A1-A3	A1	A2	A3	A4	A5	B1
Damwand Twinwood/Azobé	1	30	2,33	m2	4,59	4,59	0	100	44,74	1,46	0	0	0	0,09	0,28	0

Naam	Eenheid	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3.	B4.	B5	C1	C2	C3	C4	D	Totaal	Weighting Factor	Totaal * Weighting Factor
uitputting van abiotische grondstoffen,	kg antimoon	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,16	0,00
uitputting van fossiele energiedragers	kg antimoon	0,07	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0,00	0,00	0	-0,03	0,07	0,16	0,01
klimaatverandering	kg CO2	13,30	0,73	2,01	0	0	0	0	0	1,04	0,24	0,15	0	-4,05	13,42	0,05	0,67
ozonlaagaantasting	kg CFK-11	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	30	0,00
fotochemische oxidantvorming (smog)	kg ethyleen	0,01	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	-0,01	0,01	2	0,02
verzuring	kg SO2	0,06	0,00	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0,00	0,00	0	-0,03	0,06	4	0,24
vermesting	kg PO4-	0,01	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	-0,01	0,01	9	0,09
humaan-toxicologische effecten	kg 1,4-dichloorbenzeen	4,16	0,30	0,97	0	0	0	0	0	0,38	0,10	0,30	0	-2,70	3,50	0,09	0,31
ecotoxicologische effecten, aquatisch (;	kg 1,4-dichloorbenzeen	0,09	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0,00	0,00	0	-0,07	0,06	0,03	0,00
ecotoxicologische effecten, aquatisch (;	kg 1,4-dichloorbenzeen	278,01	31,03.	38,67	0	0	0	0	0	17,68	10,32	7,07	0	-126,32	256,47	0,00	0,03
ecotoxicologische effecten, terrestrisch	kg 1,4-dichloorbenzeen	0,03	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	-0,02	0,01	0,06	0,00

Indicatie bamboe damwand van MOSO Density Material.

Het inladen van de LCA studie voor een m^3 MOSO Density Material ondervond een kinderziekte in het systeem van DuboCalc 6,0. Een voorbeeld hiervan zijn de 99 vervangingen die zijn weergegeven, terwijl deze 2,33 zou moeten zijn.

Naam	Hoeveelheid	Levensduur (in jaren)	Vervangingen	Maateenheid	MKI	MKI MP	MKI Toeslag	Bijdrage %	CO2 (kg CO2-eq)	A1-A3	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
MOSO Density material	1	1	99	kg	-3.666,93	-3.666,93	0	100	-57.403,50	0	0	0	0	3,06	0	0	0	0	-3.630,26	0	0	2,19	-41,92	0	0

Naam	Eenheid	A1	A2	A3.	A4	A5	B1	B2	B3.	B4.	B5	C1.	C2	C3	C4	D	Totaal	Weighting Factor	Totaal * Weighting Factor
uitputting van abiotische grondstoffen,	kg antimoon	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,16	0,00
uitputting van fossiele energiedragers	kg antimoon	0	0	0	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0,11	-5,54	0	0	-5,27	0,16	-0,84
klimaatverandering	kg CO2	0	0	0	21,63	0	0	0	0	0	0	0	15,44	-611,1	0	0	-574,04	0,05	-28,70
ozonlaagaantasting	kg CFK-11	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	30	0,00
fotochemische oxidantvorming (smog)	kg ethyleen	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0,01	-0,04	0	0	-0,01	2	-0,03
verzuring	kg SO2	0	0	0	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0,08	-0,61	0	0	-0,41	4	-1,64
vermesting	kg PO4-	0	0	0	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0,07	0	0	0,13	9	1,14
humaan-toxicologische effecten	kg 1,4-dichloorbenzeen	0	0	0	7,56	0	0	0	0	0	0	0	5,32	-58,28	0	0	-45,39	0,09	-4,09
ecotoxicologische effecten, aquatisch (;	kg 1,4-dichloorbenzeen	0	0	0	2,15	0	0	0	0	0	0	0	1,52	2,48	0	0	6,15	0,03	0,18
ecotoxicologische effecten, aquatisch (;	kg 1,4-dichloorbenzeen	0	0	0	4.305	0	0	0	0	0	0	0	3.087	-34.125.	0	0	-26.733	0,00	-2,67
ecotoxicologische effecten, terrestrisch	kg 1,4-dichloorbenzeen	0	0	0	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0,04	-0,35	0	0	-0,26	0,06	-0,02

Met behulp van de hoeveelhedenstaat is deze omrekening verbeterd naar een waarde die realistisch is met de werkelijkheid.



Type	Naam	Hoeveelheid	Eenheid	Fase	Datacategorie	Vrijkomend materiaal	MKI	MKI MP	MKI Toeslag	Bijdrage %
	MOSO Density material	1	m3	Bouwfase	Cat.1	☐	-3.666,93	-3.666,93	0	100

Beton

Naam	Hoeveelheid	Levensduur (in jaren)	Vervangingen	Maateenheid	MKI	MKI MP	MKI Toeslag	Bijdrage %	CO2 (kg CO2-eq)	A1-A3	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B
Damwand	1	999	0	m2	5,85	4,50	1,35	49,65	27,40	4,50	0	0	0	0	0	0	0	0	

Naam	Eenheid	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D	Totaal	Weighting Factor	Totaal * Weighting Factor
uitputting van abiotische grondstoffen,	kg antimoon	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,16	0,00
uitputting van fossiele energiedragers	kg antimoon	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0,16	0,02
klimaatverandering	kg CO2	21,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21,08	0,05	1,05
ozonlaagaantasting	kg CFK-11	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	30	0,00
fotochemische oxidantvorming (smog)	kg ethyleen	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	2	0,06
verzuring	kg SO2	0,09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,09	4	0,36
vermesting	kg PO4-	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	9	0,14
humaan-toxicologische effecten	kg 1,4-dichloorbenzeen	31,09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31,09	0,09	2,80
ecotoxicologische effecten, aquatisch (;	kg 1,4-dichloorbenzeen	0,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,19	0,03	0,01
ecotoxicologische effecten, aquatisch (;	kg 1,4-dichloorbenzeen	529,47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	529,47	0,00	0,05
ecotoxicologische effecten, terrestrisch	kg 1,4-dichloorbenzeen	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0,06	0,01

Beton	0,25	999	0	m3	5,93	4,56	1,37	50,35	73,85	4,56	0	0	0	0	0	0	0	0

Naam	Eenheid	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D	Totaal	Weighting Factor.	Totaal * Weighting Factor.
uitputting van abiotische grondstoffen,	kg antimoon	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,16	0,00
uitputting van fossiele energiedragers	kg antimoon	0,86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,86	0,16	0,14
klimaatverandering	kg CO2	226,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	226,00	0,05	11,30
ozonlaagaantasting	kg CFK-11	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	30	0,00
fotochemische oxidantvorming (smog)	kg ethyleen	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,07	2	0,13
verzuring	kg SO2	0,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,60	4	2,39
vermesting	kg PO4-	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,11	9	0,98
humaan-toxicologische effecten	kg 1,4-dichloorbenzeen	31,86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31,86	0,09	2,87
ecotoxicologische effecten, aquatisch (;	kg 1,4-dichloorbenzeen	0,76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,76	0,03	0,02
ecotoxicologische effecten, aquatisch (;	kg 1,4-dichloorbenzeen	2.924,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.924,04	0,00	0,29
ecotoxicologische effecten, terrestrisch	kg 1,4-dichloorbenzeen	0,39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,39	0,06	0,02

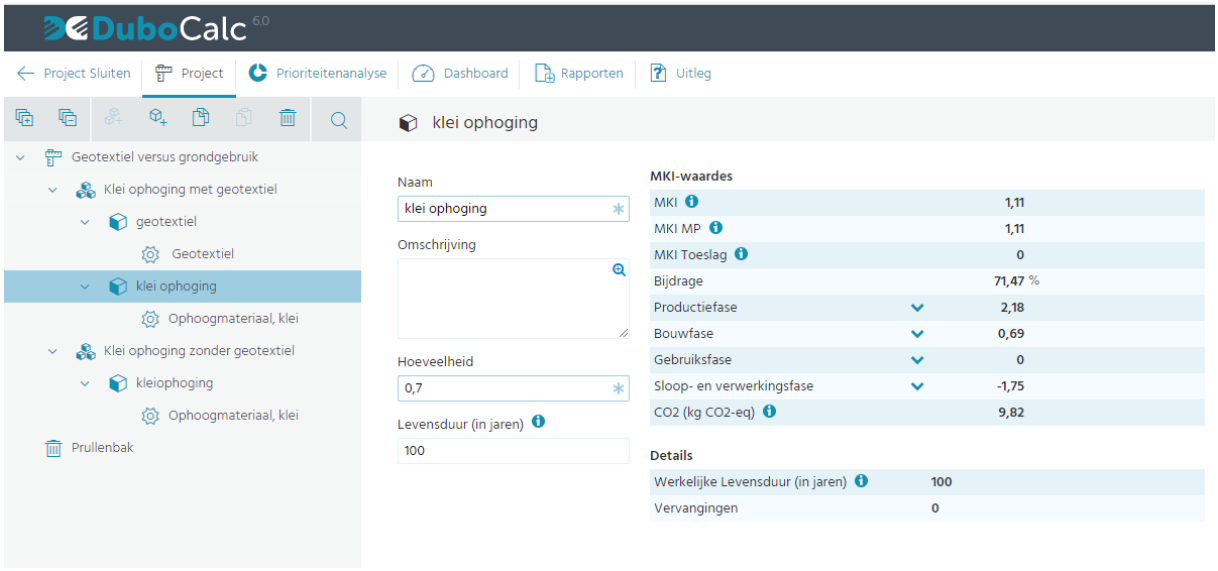
Dijkvernageling indicatie

Type	Naam	Hoeveelheid	Eenheid	Fase	Datacategorie	Vrijkomend materiaal	MKI	MKI MP	MKI Toeslag	Bijdrage %	CO2 (kg CO2-eq)	A1-A3	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D	Levensduur (in jaren)
	Damwand, staal	0,06	m2	Bouwfase	Cat.3 (30%)	☐	2,22	1,54	0,68	7,85	17,05	2,11	0	0	0	0,01	0,13	0	0	0	0	0	0,02	0,00	0	0	-0,73	100
	Plaatdeksel (PE)	2	m1	Bouwfase	Cat.3 (30%)	☐	26,05	20,04	6,01	92,15	315,73	10,02	0	0	0	0	0	0	0	0	10,02	0	0	0	0	0	0	100

Naam	Hoeveelheid	Levensduur (in jaren)	Vervangingen	Maateenheid	MKI	MKI MP	MKI Toeslag	Bijdrage %	CO2 (kg CO2-eq)	A1-A3	A1	A2	A3	A4	A5	B1	E
Plaatdeksel	1	50	1	p	13,03	10,02	3,01	50	157,87	5,01	0	0	0	0	0	0	

Naam	Eenheid	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D	Totaal	Weighting Factor	Totaal * Weighting Factor
uitputting van abiotische grondstoffen,	kg antimoon	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,16	0,00
uitputting van fossiele energiedragers	kg antimoon	0,89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,89	0,16	0,14
klimaatverandering	kg CO2	60,72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60,72	0,05	3,04
ozonlaagaantasting	kg CFK-11	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	30	0,00
fotochemische oxidantvorming (smog)	kg ethyleen	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,07	2	0,14
verzuring	kg SO2	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22	4	0,89
vermesting	kg PO4-	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	9	0,17
humaan-toxicologische effecten	kg 1,4-dichloorbenzeen	6,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,44	0,09	0,58
ecotoxicologische effecten, aquatisch (;	kg 1,4-dichloorbenzeen	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,17	0,03	0,00
ecotoxicologische effecten, aquatisch (;	kg 1,4-dichloorbenzeen	520,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	520,10	0,00	0,05
ecotoxicologische effecten, terrestrisch	kg 1,4-dichloorbenzeen	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,06	0,00

Geotextiel Calculatie



Naam	Hoeveelheid	Levensduur (in jaren)	Vervangingen	Maateenheid	MKI	MKI MP	MKI Toeslag	Bijdrage %	CO2 (kg CO2-eq)	A1-A3	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Klei	1	999	0	m3	1,33	1,33	0	83,65	11,23	3,11	0	0	0	0,76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	-2,55

Naam	Eenheid	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3.	B4.	B5	C1.	C2.	C3	C4	D	Totaal	Weighting Factor	Totaal * Weighting Factor
uitputting van abiotische grondstoffen,	kg antimoon	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00
uitputting van fossiele energiedragers	kg antimoon	0,11	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,07	0,08	0,16	0,01
klimaatverandering	kg CO2	15,83	6,76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,08	-11,45	11,23	0,05	0,56
ozonlaagaantasting	kg CFK-11	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	30	0,00
fotochemische oxidantvorming (smog)	kg ethyleen	0,01	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,01	0,01	2	0,01
verzuring	kg SO2	0,11	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,09	0,04	4	0,18
vermesting	kg PO4-	0,02	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,02	0,01	9	0,08
humaan-toxicologische effecten	kg 1,4-dichloorbenzeen	17,33	2,38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	-15,11	4,63	0,09	0,42
ecotoxicologische effecten, aquatisch (;	kg 1,4-dichloorbenzeen	0,21	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,15	0,21	0,03	0,01
ecotoxicologische effecten, aquatisch (;	kg 1,4-dichloorbenzeen	685,18	401,74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,12	-498,96	591,07	0,00	0,06
ecotoxicologische effecten, terrestrisch	kg 1,4-dichloorbenzeen	0,10	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	-0,09	0,02	0,06	0,00

Wiellaadschop	0,03	999	0		0,16	0,16	0	9,76	1,68	0	0	0	0	0	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bulldozer	0,01	999	0		0,07	0,07	0	4,23	0,73	0	0	0	0	0	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Graafmachine	0,01	999	0		0,04	0,04	0	2,36	0,40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0	0

Naam	Hoeveelheid	Levensduur (in jaren)	Vervangingen	Maateenheid	MKI	MKI MP	MKI Toeslag	Bijdrage %	CO2 (kg CO2-eq)	A1-A3	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Geotextiel	1	999	0	m2	0,10	0,07	0,03	23,03	1,40	0,06	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,03	0	-0,02

Naam	Eenheid	A1-A3.	A4	A5	B1	B2	B3.	B4.	B5	C1.	C2	C3	C4	D	Totaal	Weighting Factor	Totaal * Weighting Factor
uitputting van abiotische grondstoffen,	kg antimoon	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,16	0,00
uitputting van fossiele energiedragers	kg antimoon	0,01	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0,00	0,01	0,16	0,00
klimaatverandering	kg CO2	0,77	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,54	0	-0,32	1,00	0,05	0,05
ozonlaagaantasting	kg CFK-11	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	30	0,00
fotochemische oxidantvorming (smog)	kg ethyleen	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	2	0,00
verzuring	kg SO2	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	4	0,01
vermesting	kg PO4-	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	9	0,00
humaan-toxicologische effecten	kg 1,4-dichloorbenzeen	0,08	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,02	0	-0,02	0,09	0,09	0,01
ecotoxicologische effecten, aquatisch (;	kg 1,4-dichloorbenzeen	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,01	0	0,00	0,01	0,03	0,00
ecotoxicologische effecten, aquatisch (;	kg 1,4-dichloorbenzeen	6,17	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0,12	8,98	0	-0,78	14,72	0,00	0,00
ecotoxicologische effecten, terrestrisch	kg 1,4-dichloorbenzeen	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,06	0,00

Graafmachine	0,03	999	0		0,14	0,11	0,03	31,54	1,51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,11	0	0	0	0
Wiellaadschop	0,03	999	0		0,20	0,16	0,05	45,43	2,18	0	0	0	0	0	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0