

APRIL 2021

KETENANALYSE DIJKONTWERP

CASUS: VERKENNING GREBBEDIJK



WSP NEDERLAND B.V.
TRAMSINEL 2
4814 AB BREDA

+31 (0)88 910 20 00

wsp.com

COLOFON

Verantwoording

Leo Smit
Jonas Geise

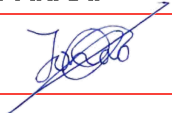
Contactgegevens

Jonas.Geise@wsp.com

Foto cover: Grebbedijk, richting de Grebbeberg nabij Rhenen.

AUTORISATIE

PROJECTNUMMER	VERSIE	DATUM	STATUS
SBA015749	1	26 maart 2021	Concept
SBA015749	2	2 april 2021	Concept
SBA015749	3	7 april 2021	Definitief

OPGESTELD DOOR	FUNCTIE	DATUM	PARAAF
JONAS GEISE	Junior Adviseur	7 april 2021	

GEVERIFIEERD DOOR	FUNCTIE	DATUM	OPMERKING
LEO SMIT	Directeur bij SmartTrackers	2 april 2021	Geholpen bij opstellen en meerdere reviews gegeven.

AKKOORD EINDVERANTWOORDELIJKE	FUNCTIE	DATUM	PARAAF
ERIC VAN DEN BROEK	Algemeen Directeur	9 april 2021	

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	4
1.1	Algemeen	4
1.2	Betrokkenheid kennisinstituut en informatiebronnen	4
1.3	Bronnen en ontwerpprincipes	4
2	UITGANGSPUNTEN	5
2.1	Keuze ketenanalyse	5
2.2	Hypothese	5
3	UITWERKING	6
3.1	Werkproces	6
3.2	CO ₂ Berekening	7
4	CONCLUSIE	10
4.1	Algemeen	10
4.2	Resultaten en innovaties	11
4.3	Verbeterpunten	11

1 INLEIDING

1.1 ALGEMEEN

Bij de start van de verkenning van het dijkversterkingsproject “Grebbedijk” tussen Wageningen en de Grebbeberg heeft Waterschap Vallei & Veluwe zich als doel gesteld bij te dragen aan verduurzaming van de GWW-sector door circulariteit mee te nemen in het project.

Omdat er geen pasklare normen zijn voor circulariteit, maar er wel behoefte was aan handelingsperspectief heeft WSP in opdracht van het Waterschap Vallei & Veluwe een afwegingskader voor circulariteit ontwikkeld.

Een uitgebreide uiteenzetting is reeds op de [website](#) van het project gepubliceerd. Deze ketenanalyse kan vanuit die optiek worden gezien als een samenvatting waarin het ontwerp en het rekenprincipe uiteen wordt gezet. We gaan daarom niet in op de precieze berekeningsmethodiek, maar beperken ons tot de hoofdlijnen. In deze ketenanalyse wordt er expliciet gekeken naar hoe bepaalde ontwerpkeuzes een belangrijke invloed hebben op de CO₂ uitstoot die direct of indirect gerelateerd is aan de realisatie van een waterkering zoals de Grebbedijk

Het onderzoek naar het meenemen van duurzaamheid en circulariteit in de dijkversterking is een lang en uitgebreid proces geweest, mede om de MKI en CO₂ waarden goed in beeld te brengen. Dit heeft er vervolgens toe geleid dat op 8 juli 2020 het Algemeen Bestuur van het Waterschap Vallei & Veluwe het Voorkeursalternatief (VKA) definitief heeft vastgesteld. Hiermee is de verkenning om te komen tot een versterking van de Grebbedijk afgerond.

De resultaten van dit project kunnen bovendien worden doorvertaald naar nieuw te ontwerpen waterkeringen. Binnen WSP wordt gewerkt aan verschillende andere dijkversterkingen die gebruik maken van de kennis en ervaringen die zijn opgedaan tijdens de verkenning van de Grebbedijk.

1.2 BETROKKENHEID KENNISINSTITUUT EN INFORMATIEBRONNEN

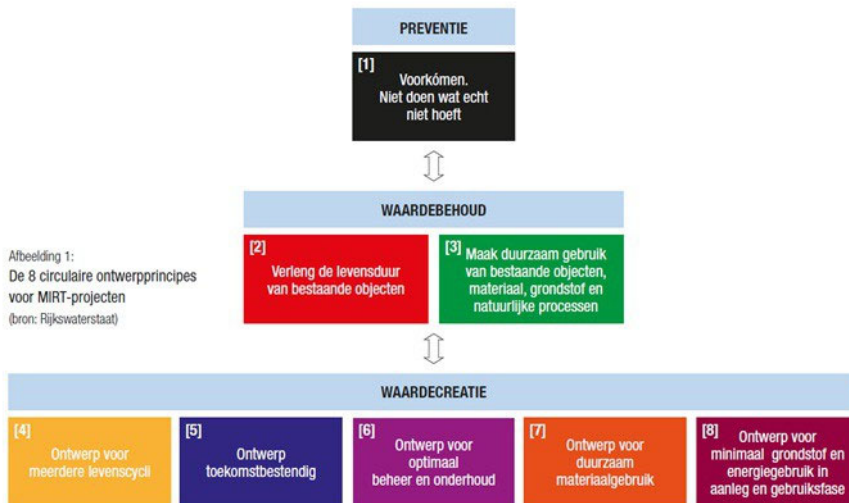
Deskundigheid vanuit de rol van een 'kennisinstituut' t.a.v. gekozen onderwerp en kengetallen is geborgd door de betrokkenheid van Leo Smit van SmartTrackers. Hij geeft binnen die rol adviezen aan organisaties hoe ze hun eigen footprint en invloed in de keten kunnen verkleinen.

Leo Smit is naast zijn rol binnen SmartTrackers docent energiebeheer bij de Post Hoger Onderwijs Energiekunde (PHOE). Dit is een post-HBO opleiding.

1.3 BRONNEN EN ONTWERPPRINCIPES

Voor de CO₂ berekeningen is gebruik gemaakt van de emissiefactoren uit Dubocalc, versie 5.1.

Daarnaast is bij het bepalen van de mogelijke alternatieven gewerkt op basis van de 8 Circulaire Ontwerpprincipes uit het MIRT die direct toepasbaar zijn in dijkversterkingsprojecten. Zie ook onderstaande afbeelding.



2 UITGANGSPUNTEN

2.1 KEUZE KETENANALYSE

Het ontwerpen van waterkeringen en infrastructuur vormt een van de belangrijke pijlers in de dienstverlening van WSP. Dit blijkt ook uit de 'Meest materiële emissies' die zijn geïdentificeerd in een apart document en te vinden is op de website van de SKAO.

Daarbij geldt dat de CO₂ impact (naast de ecologische) van het bouwen van waterkeringen per definitie hoog is door de benodigde inzet van zwaar materieel, het toepassen van damwanden of specifieke verharding. De gemaakte ontwerpkeuzes vormen hierin een belangrijk vertrekpunt om deze CO₂ emissies te minimaliseren.

Daarnaast sloot deze keuze optimaal aan bij de beschikbare expertise en invloed die er is vanuit WSP om in de ontwerpfase de juiste keuzes te maken.

2.2 HYPOTHESE

De verwachting is dat door slimme keuzes te maken t.a.v. het inpassen van het dijktrace in de beschikbare ruimte t.o.v. een referentie-ontwerp 20 tot 30% CO₂ reductie moet kunnen worden bereikt.

Dit staat dan nog los van de reductiemogelijkheden die aannemers zelf kunnen toepassen door het toepassen van boven gemiddeld energiezuinig materieel en/of CO₂ geoptimaliseerde bouwelementen.

3 UITWERKING

3.1 WERKPROCES

De Grebbedijk de Gelderse Vallei tegen hoge waterstanden in de Nederrijn. De dijk tussen de hoge gronden bij Wageningen en de hoge gronden bij Rhenen is ongeveer 5,5 kilometer lang. Wanneer de Grebbedijk zou doorbreken, overstroomt een groot gebied met steden als Veenendaal en Amersfoort en is de (economische) schade enorm. Daarom moet de dijk worden versterkt. In onderstaande afbeelding is het tracé te zien, waarbij verschillende trajecten zijn te onderscheiden zoals bepaald vanuit het referentie ontwerp.



In het vervolgproces is de versterkingsopgave verder gespecificeerd en zijn de trajecten preciezer ingedeeld, gebaseerd op de karakteristiek van de dijk en de opgave. Dit is weergegeven in onderstaande afbeelding van het Voorkeursalternatief. Het gehele tracé zoals hieronder weergegeven bestaat uit diverse constructie-elementen.



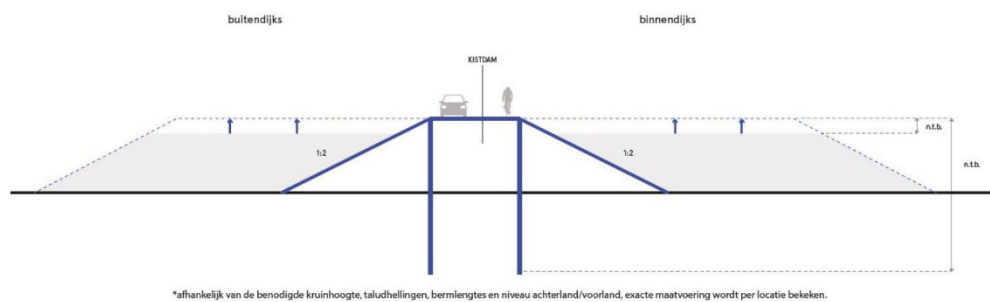
Om het vergelijken van verschillende tracévarianten te vergemakkelijken is er een rekenmodel gemaakt op basis van de elementen waaruit gekozen kan worden. Per element is vervolgens van de onderliggende handelingen en materialen de uitstoot per strekkende meter dijk bepaald.

Door de impact van de verschillende varianten uit te rekenen is gekeken welke samenstelling tot het beste resultaat zou leiden. Op deze manier ontstaat er een duidelijk afwegingskader, waarop het detailontwerp kan worden uitgewerkt.

Een uitgebreid rekenmodel is beschikbaar van alle varianten. In deze samenvatting van een zeer omvangrijk onderzoek zal de berekening worden getoond van een dwarsprofiel met de hoogste CO₂ impact en die van de één na laagste met het langste tracé deel. Op deze wijze ontstaat er een goed beeld van de bandbreedte waarbinnen gekozen kan worden om tot een waterkering te komen met een lage CO₂ impact.

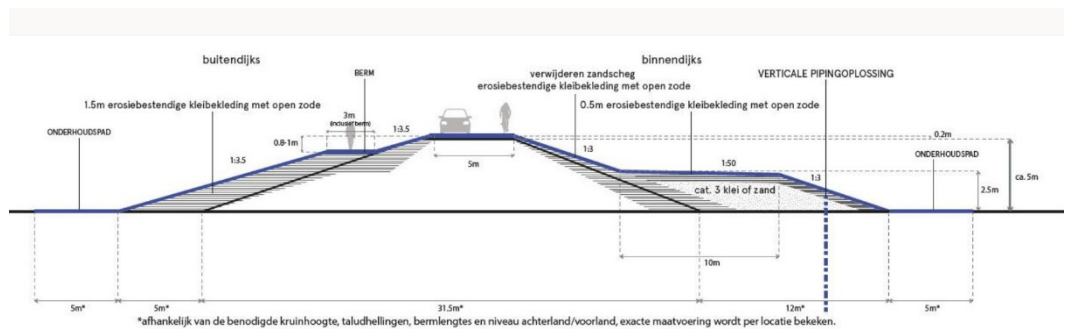
Het element met de hoogste CO₂ impact per strekkende meter heeft over een relatief korte afstand van het totale tracé tevens de hoogste CO₂ impact. Gesteld kan dus worden dat dit een constructie-element is wat je zo min mogelijk moet toepassen gelet op de emissies.

K3HW: Dwarsprofiel VKA Hoornwerk. Kenmerkend aan onderstaand profiel betreft de grote mate van grondverplaatsing buiten en binnendijks naast de kistdam constructie.



*afhankelijk van de benodigde kruinhoogte, taludhellingen, berm lengtes en niveau achterland/voorland, exacte maatvoering wordt per locatie bekeken.

Het profiel met de laagste CO₂ impact per strekkende meter betreft K2LB: Standaard dwarsprofiel landelijk gebied. Het betreft hier enkel grondgebonden oplossingen. Vanwege de landelijke omgeving is hiervoor voldoende ruimte beschikbaar.



*afhankelijk van de benodigde kruinhoogte, taludhellingen, berm lengtes en niveau achterland/voorland, exacte maatvoering wordt per locatie bekeken.

3.2 CO₂ BEREKENING

De berekening is uitgevoerd door middel van DuboCalc. DuboCalc is een softwaretool om de milieukosten van ontwerpvarianten in de Grond- Weg- en Waterbouw te berekenen. Waarbij naast de MKI waarden ook een doorrekening is gemaakt op basis van de CO₂ uitstoot. Sommige doorsnedes zijn alleen gemaakt op basis van MKI waarden. In dat geval is er gekeken naar de verhouding tussen MKI waarden en CO₂ emissies om een goede verdeling te komen van de CO₂ uitstoot over de benodigde constructie-elementen. De CO₂ uitstoot loopt vrijwel gelijk op met de daaraan gerelateerd MKI waarden, waarmee dit een te verantwoorden methode is.

Een nuance die gemaakt moet worden betreft het standaard uitgangspunt van de levensduur van een dijk zoals deze bepaald wordt in DuboCalc. Deze is op 100 jaar gesteld. Maar de materialen die nodig zijn voor de bouwstenen hebben een langere of minder lange levensduur. DuboCalc gaat er vanuit dat wanneer een materiaal een levensduur heeft van bijvoorbeeld 60 jaar, dat deze na 60 jaar volledig vervangen wordt om zo te voldoen aan de levensduur van de dijk.

Vervolgens wordt gesteld dat na 100 jaar alle materialen weggegooid worden. In de praktijk is dit uiteraard een genuanceerder beeld. Het is met name niet logisch om over einde levensduur te praten als het grond betreft. De berekende waarden zullen dus als richtinggevend beschouwd moeten worden, maar bieden voldoende houvast om een juiste afweging te maken naar het toepassen van de verschillende dijkprofielen.

Voor het K3HW: Dwarsprofiel Hoornwerk geldt de onderstaande rekentabel.

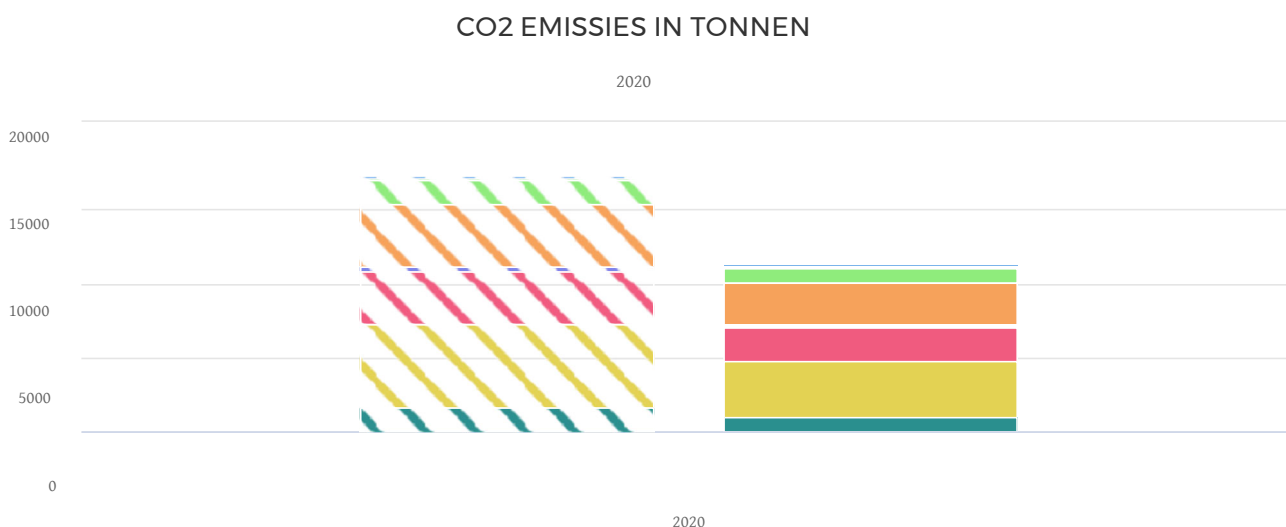
Dijkprofiel K3HW: Totale lengte 207 meter						
K3HW	Grondoplossingen binnendijks	Grondoplossingen buitendijks	Grondoplossingen kruin	Verhard oppervlak	Kistdam	Totaal
in CO2 [kg]	825.848	825.848	0	80.939	1.475.300	3.207.935
per m1	3.990	3.990	0	391	7.127	15.497

Voor het K2LB: dit is een standaard dwarsprofiel in het landelijk gebied.

Dijkprofiel K2+1LB: Totale lengte 2650 meter						
K2+1LB	Grondoplossingen binnendijks	Grondoplossingen buitendijks	Grondoplossingen kruin	Verhard oppervlak	Geotextiel	Totaal
in CO2 [kg]	0	1.202.646	142.684	301.254	91.725	1.738.309
per m1	0	454	54	114	35	656

Door het naast elkaar te zetten van deze profielen valt direct op hoe groot de verschillen zijn tussen de gekozen profielen. Het verschil is immers (ongeveer) een factor 23. Nu is het uiteraard niet altijd mogelijk vanwege ruimte gebrek om het K2LB profiel te kiezen, echter het geeft aan hoe zwaar het weegt om het het juiste tracé te kiezen, zodat de meest gunstige profielen kunnen worden ingepast.

In onderstaande grafieken is het eindresultaat doorgerekend van het voorkeursontwerp ('werkelijke waarde') en de verwachte waarden zoals berekend in het referentie-ontwerp.



 Betonnen keermuur Verwacht
 Grondoplossingen buitendijks Verwacht
 Verankerde damwand Verwacht
 Werkelijk
 Grondoplossingen kruin Werkelijk
 oppervlak Werkelijk

 Geotextiel Verwacht
 Grondoplossingen kruin Verwacht
 Verharde oppervlak Verwacht
 Grondoplossingen binnendijks Werkelijk
 Kistdam Werkelijk

 Grondoplossingen binnendijks Verwacht
 Kistdam Verwacht
 Betonnen keermuur Werkelijk
 Grondoplossingen buitendijks Werkelijk
 Verankerde damwand Werkelijk
 Verharde oppervlak Werkelijk

CO2e (ton) Verwacht	2020
Betonnen keermuur	118
Geotextiel	141
Grondoplossingen binnendijks	1.547
Grondoplossingen buitendijks	4.234
Grondoplossingen kruin	306
Kistdam	3.611
Verankerde damwand	5.673
Verharde oppervlak	1.570
Totaal	17.200

CO2e (ton) Werkelijk	2020
Betonnen keermuur	77
Geotextiel	92
Grondoplossingen binnendijks	1.007
Grondoplossingen buitendijks	2.757
Grondoplossingen kruin	199
Kistdam	2.352
Verankerde damwand	3.695
Verharde oppervlak	1.022
Totaal	11.201

CO2e (ton) Verschil met verwacht	2020
Betonnen keermuur	-41
Geotextiel	-49
Grondoplossingen binnendijks	-540
Grondoplossingen buitendijks	-1.477
Grondoplossingen kruin	-107
	2020

CO2e (ton) Verschil met verwacht	
Kistdam	-1.259
Verankerde damwand	-1.978
Verharde oppervlak	-548
Totaal	-5.999

CO2e (%) Relatief verschil met verwacht	2020
Betonnen keermuur	-35%
Geotextiel	-35%

Grondoplossingen binnendijs	-35%
Grondoplossingen buitendijs	-35%
Grondoplossingen kruin	-35%
Kistdam	-35%
Verankerde damwand	-35%
Verharde oppervlak	-35%
Totaal	-35%

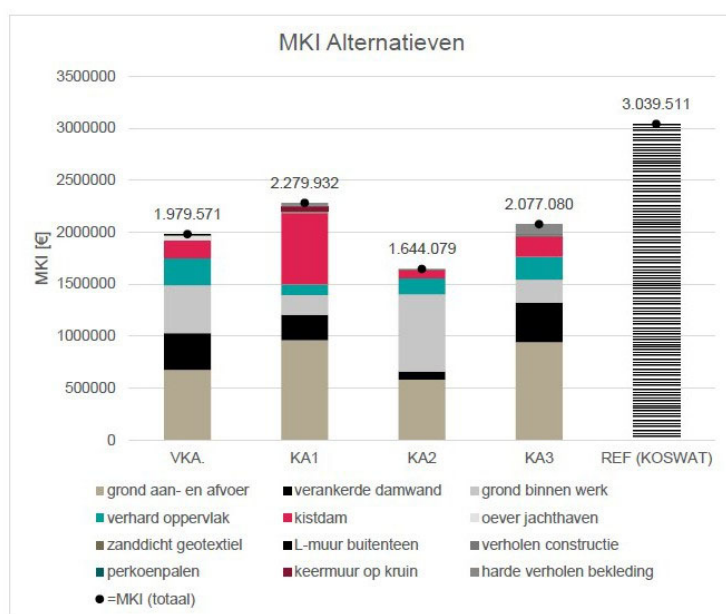
4 CONCLUSIE

4.1 ALGEMEEN

Uitgaande van het referentie ontwerp heeft het voorkeursalternatief geleid tot circa 35% besparing ten opzichte van het referentie-ontwerp uitgaande van de verhoudingen van de MKI waarden. Het gaat om bijna 6000 ton aan vermeden CO2 emissies. De originele MKI berekening grafiek is weergegeven in onderstaande grafiek.

Er zijn verschillende alternatieven doorgerekend. Uiteindelijk is de keuze niet gevallen op het meest optimale ontwerp gezien vanuit de CO2 emissies of milieukosten. De keuze wordt uiteindelijk bepaald door allerlei factoren, waarvan milieu er één is. De doorgerekende haalbare alternatieven laten echter goed zien wat er met de juiste inpassing kan worden bereikt op het vlak van emissie reductie.

Er is dan nog niet gekeken naar de mogelijkheden om binnen de keuzes voor het materiaalgebruik verder te optimaliseren. Dit is immers een stap die moet worden genomen in het definitieve ontwerp en niet zozeer in een verkenning.



Figuur 3: De milieu impact van dijkverzwarende elementen volgens DuboCalc

4.2 RESULTATEN EN INNOVATIES

CIRCULAIRE PEILER

Op basis van het project is de Circulaire Peiler, een excel tool ("CirculairePeiler_v1.XLS") die via een multicriteria-analyse (MCA) de circulariteit van een project beoordeelt op basis van de 8 Circulaire Ontwerpprincipes. Dit leidt per project (ontwerpalternatief) tot een ééngetalswaardering: de CPI (de index van het Circulair Peil), met index 100 als maximum, wat ongeveer gelijk moet staan aan het ambitieniveau circulariteit voor het jaar 2030. De wegingsfactoren verschillen per ontwerpprincipe en per fase van het ontwikkelingsproces, naargelang het relatieve belang van specifieke ontwerpprincipes. In de planuitwerking wordt dit kader gebruikt bij het verder in detail ontwerpen van de dijkversterking en het maken van circulaire keuzes.

De onderzoeksopzet en de resultaten zijn reeds publiekelijk [online](#) beschikbaar gesteld.

INNOVATIES GEBIEDSONTWIKKELING GREBBEDIJK

Nieuw ontwikkelde kennis inzetten én zelf kennis ontwikkelen. De dijkversterkingsopgave bij de Grebbedijk is complex, maar kan misschien wel efficiënter en nog beter. Naast het reguliere project onderzocht het projectteam enkele relevante innovaties op het gebied van nieuwe kennis, slimmere rekenmodellen en modernere technieken. De innovaties die goed toepasbaar bleken zijn opgenomen in het Voorkeursalternatief voor de versterking van de Grebbedijk.

RESTSTERKTE VAN DE ONDERLAAG

Grasbedekking aan de rivierzijde van een dijk kan bij extreme weersomstandigheden door golfslag wegslaan. Met innovatieve rekentechnieken is bepaald hoeveel klei onder de graslaag aanwezig moet zijn om een veilige dijk te maken en te behouden. De benodigde kleilaag voor een veilige dijk is opgenomen in het Voorkeursalternatief onder de getrapte kruin aan de buitendijkse zijde.

GEBIEDSEIGEN GROND

Het projectteam heeft de ambitie om grond die vrijkomt in de uiterwaarden (geul in de Plasserwaard en waterplas in de Driehoek) te gebruiken bij de versterking van de Grebbedijk. Om de grond te kunnen hergebruiken moet de kwaliteit van de bodem voldoen en moet er voldoende grond zijn om het ontwerp uit te voeren. In de planuitwerkingsfase onderzoeken we verder wat de kwaliteit en hoeveelheid van de gebiedseigen grond is die vrijkomt. Ook onderzoeken we de beschikbaarheid (qua eigendom) en vergunbaarheid.

GELAAGDHEID VAN DE ONDERGROND

De bodemopbouw van de grond waar de dijk op ligt is van belang in verband met piping. Piping houdt in dat kwelwater door een drukverschil van buitendijkse grond naar binnendijkse grond loopt, onder de dijk door. Dit kwelwater neemt steeds een beetje zand mee, waardoor de dijk instabiel kan worden en kan instorten. Onderzoek naar de doorlatendheid van de afzonderlijke bodemlagen heeft uitgewezen dat het pakket aan grondlagen minder water doorlaat dan eerder aangenomen. Hierdoor kan het kwelweglengtetekort (piping) 5 % worden teruggebracht. Dit inzicht zal in de planuitwerking opgenomen worden in het project.

4.3 VERBETERPUNTEN

De berekeningen zoals nu gemaakt in DuboCalc behoeven nog nadere verfijning. Op dit moment is het nog niet goed mogelijk om op detailniveau van de constructie-elementen verdere keuzes te maken. Bij verbeteringen kan gedacht

worden aan verschillende type damwanden die uiteraard dan ook ieder een eigen CO₂ impact hebben. De tool is daarmee met name geschikt voor keuzes op hoofdlijnen.

Het KOSWAT model wat als referentie-ontwerp is gebruikt is doorgerekend conform de MKI methode. Voor een nauwkeurigere vergelijking is het van belang om ook voor het referentieontwerp een doorrekening te maken naar CO₂ per toegepaste constructie methodes. Voor nu wordt het beschouwd als een goede indicatie voor de 'gerealiseerde' CO₂ besparing.



De Nederrijn gezien richting het westen, in het landelijke gebied tussen Wageningen en Grebbeberg. Aan de rechterkant de Grebbedijk.