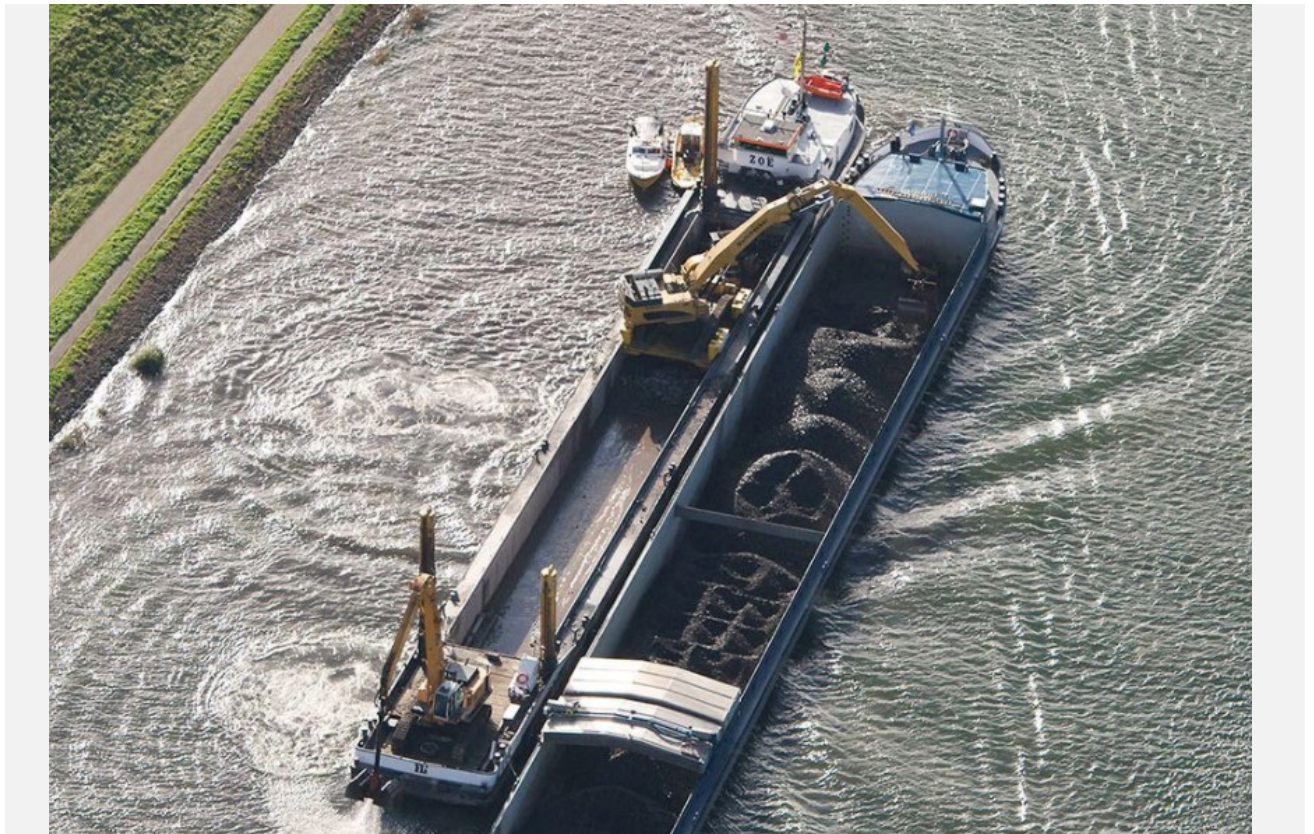


KETENANALYSE CO2 PRESTATIELADDER

OPLOSSING FAALMECHANISME ZETTINGSVLOEIING

JUNI 2022



WSP NEDERLAND B.V.
LINIE 524
7325 DZ APELDOORN

PROJECTNUMMER
WAB 019429

+31 (0)88910 20 00
wsp.com



COLOFON

CONTACTGEGEVENS

Sanne.Lahaije@wsp.com

Jonas.Geise@wsp.com

Foto cover: foto van uitvoering maatregelen bij zettingsvloeiing Spui -

<https://www.rotim.com/nl/projects/zettingsvloeiing-spui/>

AUTORISATIE

PROJECTNUMMER	DOCUMENTNUMMER	STATUS	
WAB 019429		Definitief	
OPGESTELD DOOR	FUNCTIE	DATUM	PARAAF
Sanne Lahaije	Junior adviseur	20 mei 2022	SL
GEVERIFIEERD DOOR	FUNCTIE	DATUM	PARAAF
Jonas Geise	Adviseur	6 juni 2022	JG
GOEDGEKEURD DOOR	FUNCTIE	DATUM	PARAAF
Jonas Geise	Adviseur	6 juni 2022	JG

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	4
1.1	Algemeen	4
1.2	Het project	4
2	ONTWERPEN VOOR DUURZAAMHEID	6
3	CO₂ BEREKENING	8
3.1	MKI materiaalkeuzes	8
3.2	MKI ontwerpkeuzes	9
4	CONCLUSIE	10

1 INLEIDING

1.1 ALGEMEEN

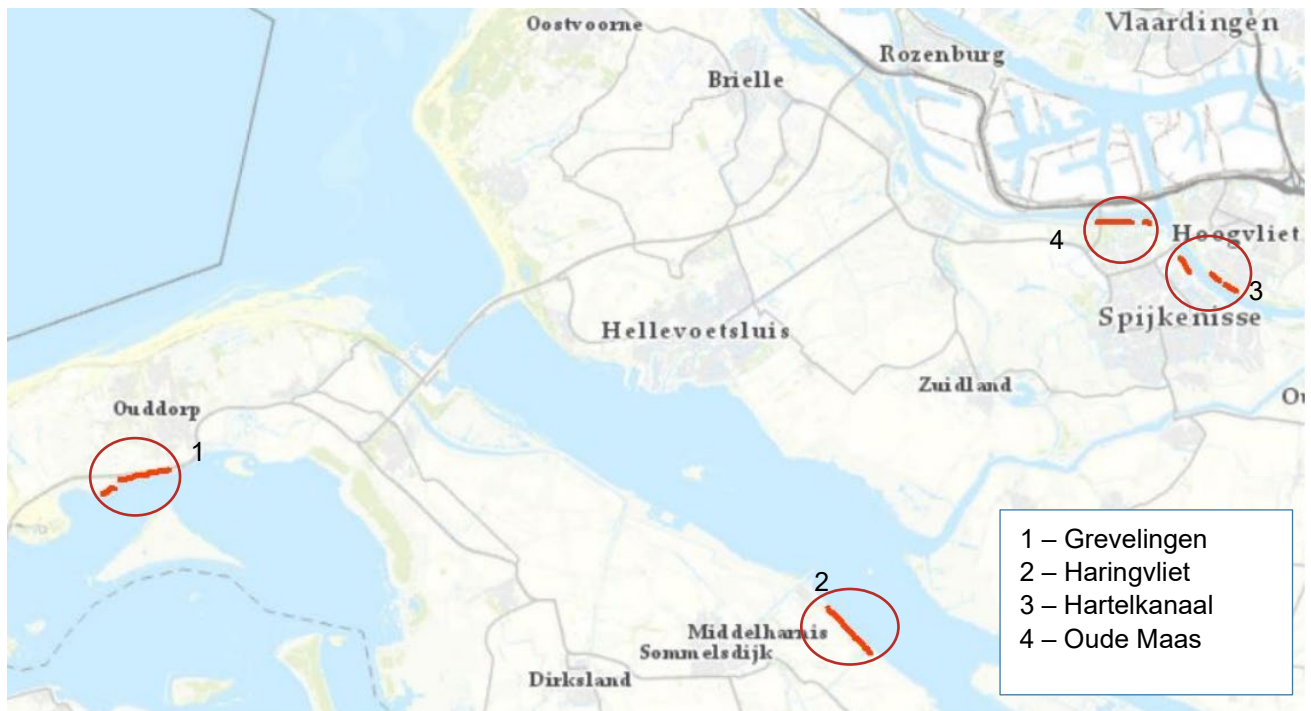
Deze ketenanalyse is een samenvatting waarin verschillende ontwerp- en materiaalkeuzes uiteen worden gezet voor het project “duurzame oplossing voor het faalmechanisme zettingsvloeiing” voor Waterschap Hollandse Delta. Hierbij wordt expliciet gekeken naar hoe bepaalde ontwerpkeuzes invloed hebben op de MKI waarden (en de CO₂ uitstoot), die direct of indirect gerelateerd is aan de realisatie van een duurzame oplossing om zettingsvloeiing tegen te gaan. Deze ketenanalyse benadrukt ook het belang van het vroegtijdig meenemen van duurzaamheid in het ontwerp, om zo voldoende richting te kunnen geven aan ontwerp- en materiaalkeuzes.

In deze ketenanalyse wordt, om in kaart te brengen hoe binnen het ontwerp rekening is gehouden met het verminderen van CO₂-emissies, het referentie uitvoeringsplan vergeleken met het meest recente uitvoeringsplan. De documenten die hiervoor worden gebruikt, zijn respectievelijk “Conceptuitvoeringsplan versie 2” en “Conceptuitvoeringsplan versie 5”. Allereerst zijn in deze analyse de maatregelen die zijn genomen op het gebied van CO₂-reductie, vergeleken tussen de twee uitvoeringsplannen. Hiervoor worden de 8 Circulaire Ontwerpprincipes uit het MIRT gebruikt. Daarnaast is het verschil in milieu-impact berekend tussen de verschillende soorten mogelijke materialen met behulp van het programma DuboCalc. We gaan hier niet in op de precieze berekeningsmethodiek, maar beperken ons tot de hoofdlijnen. Een uitgebreide uiteenzetting is te vinden in het onderzoek van Frederique Verberne (“duurzame oplossing voor faalmechanisme zettingsvloeiing”¹).

1.2 HET PROJECT

Uit onderzoek van het Directoraat-generaal Ruimte en Water is naar voren gekomen dat vier dijkringen, van het Waterschap Hollandse Delta (WSHD), bij hoogwater perioden dreigen te bezwijken door het faalmechanisme zettingsvloeiing. Zettingsvloeiing is een taludinstabiliteit waarbij zand wegvloeit als een (dikke) vloeistof. Het zand komt pas tot rust onder een zeer flauwe helling. De dijk kan hierdoor niet meer voldoen als waterkering. Wegens het optreden van zettingsvloeiing binnen de scope van dit project, dienen de dijken versterkt te worden. De dijken binnen de scope zijn gelegen langs de Grevelingen, het Hartelkanaal, Haringvliet en de Oude Maas. Dit is weergegeven in onderstaande afbeelding.

¹ F. Verberne (2021) Duurzame oplossing voor faalmechanisme zettingsvloeiing. WSP



Figuur 1 Projectgebied met in rood de trajecten die dienen te worden versterkt. In deze ketenanalyse kijken we specifiek naar deelgebied 2, Haringvliet.

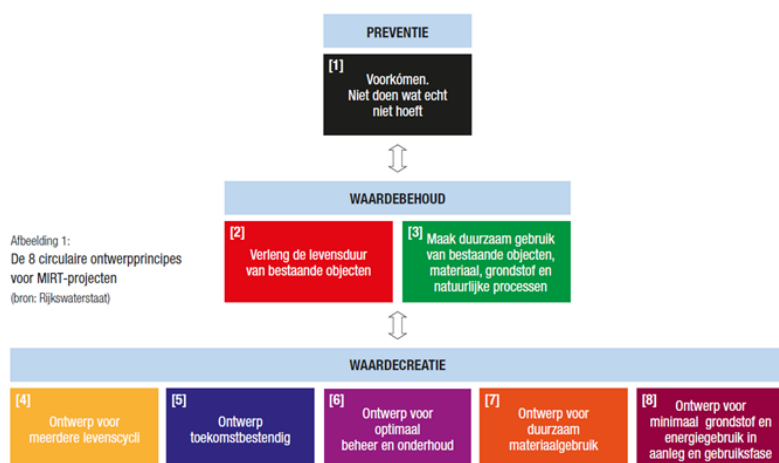
Vanuit WSP is onderzocht welke oplossingen mogelijk zijn bij de genoemde tracés om zettingsvloeiing te voorkomen. De ambitie was om niet alleen een technisch haalbare oplossing te realiseren, maar ook een duurzame oplossing. Het doel van het nationale Klimaatakkoord is om in 2030 minimaal 49% minder CO₂ uit te stoten. Het gebruik van grondstoffen voor het versterken van de tracés en het gebruik van fossiele brandstoffen door schepen, graafmachines en andere werktuigen, leidt tot de uitstoot van CO₂-emissies. Ook binnen dit project dient daarom scherp te worden gekeken naar de uitstoot die vrijkomt bij de werkzaamheden voor het versterken van de primaire kering.

Er zijn meerdere oplossingsrichtingen mogelijk om zettingsvloeiing te voorkomen. Uit een Multi Criteria Analyse (MCA) op basis van kosten, tijd, duurzaam, betrouwbaar, realistisch volgt dat er twee oplossingsrichtingen mogelijk zijn. Het aanbrengen van een bestorting is hiervan als meest wenselijk gezien. De andere optie (een zinkstuk) werd niet reëel geacht. Binnen de oplossingsrichting bestorten zijn verschillende soorten bestortingssteen denkbaar. De verschillende soorten steen worden gestort op de buitenzijde van het talud (aan de waterkant), wat vervolgens stabiliteit biedt voor de kering. De bestorting dient in een helling 1:3 te liggen om de afschuiving te voorkomen.

Breuksteen is een gangbare bestortingssteen voor dergelijke projecten en wordt daarom in deze ketenanalyse als referentiemateriaal meegenomen. Andere materialen die zijn meegenomen in de CO₂ berekeningen met het programma DuboCalc, zijn: mijnsteen, betongranulaat, fosforslak, staalslak en breuksteen. In deze analyse wordt de milieu-impact van de materialen berekend en vergeleken tussen de materialen zelf, en tussen uitvoeringsplan versie 2 en versie 5. Voorafgaand worden eerst de verschillende ontwerpkeuzes vergeleken tussen uitvoeringsplan 2 en 5, aan de hand van de Circulaire Ontwerpprincipes.

2 ONTWERPEN VOOR DUURZAAMHEID

Om de ontwerpkeuzes uit conceptuitvoeringsplan versie 2 en versie 5 te vergelijken, wordt gebruik gemaakt van de 8 Circulaire Ontwerpprincipes uit het MIRT, te zien in onderstaande afbeelding. Deze zijn ontwikkeld om circulair werken te stimuleren en bieden een denkraam bij het maken van ontwerpkeuzes. In versie 5 van het conceptuitvoeringsplan, zijn verschillende keuzes en maatregelen toegelicht die in versie 2 nog niet van toepassing waren. De gunstige effecten van deze maatregelen op het gebied van CO₂-emissies, worden vervolgens uitgewerkt door de maatregelen te plaatsen binnen de circulaire ontwerpprincipes. Benodigde informatie is daarnaast verkregen uit het onderzoek van Frederique Verberne.



Figuur 2. 8 Circulaire ontwerpprincipes

De acht ontwerpprincipes uit Figuur 1, zijn gericht op verschillende onderdelen en fases van het ontwerp. Hieronder vallen zowel preventieve maatregelen, door bijvoorbeeld slank te ontwerpen, maar ook maatregelen gericht op het verlengen van de levensduur of het aanpassen van het ontwerp om deze bestand te maken tegen toekomstige klimaatveranderingen. Op basis van de Circulaire Ontwerpprincipes, zijn een aantal mogelijke emissie reducerende maatregelen weergegeven die als relevant werden beschouwd binnen het project zettingsvloeiing. Deze emissie reducerende maatregelen zijn weergegeven in onderstaande tabel en kunnen onderverdeeld worden in 4 reductietypes: Slimme ontwerp mogelijkheden, slimme grond- en materiaalstromen, slim transport en gebruik van schone verwerking. Daarnaast wordt ook het verbinden van meekoppelkansen als overige maatregel meegenomen.

Type	#	Maatregel
Slimme ontwerp mogelijkheden (=minder m3)	1	Slank ontwerp door meer onderzoek.
Slimme grond- en materiaalstromen (= minder af te leggen km)	2	Beperken energie tijdens de productie; gebruik van verschillende materialen
	3	Hergebruik van materialen; secundaire materialen
	4	Materieelinzet optimaliseren
Slim transport (= minder emissie)	5	Beperken transport kilometers
	6	Schone transport kilometers

Schone verwerking(= minder emissie)	7	Opslag dichtbij/overslag
	8	Schoon schepen;
	9	Efficiënte manoeuvreren/generator
	10	Wat levert het nieuwe draaien op
	11	Schoon verwerkingsmaterieel; elektrisch
Overig	12	Hoeveel invloed hebben meekoppelkansen op de uitstoot

Binnen dit project lag de uiteindelijke focus voornamelijk op maatregel 1 en 7, namelijk; slank ontwerpen en schone verwerking. Hoe binnen deze maatregelen te werk is gegaan, wordt hieronder omschreven. Daarnaast worden ook de effecten van een meekoppelkans kort toegelicht, namelijk het aanbrengen van een eco-toplaag.

SLANK ONTWERPEN

Door slank te ontwerpen en te streven naar een zo klein mogelijke opgave, wordt de hoeveelheid benodigd materiaal en werkzaamheden verminderd. In versie 5 van het conceptuitvoeringsplan is een forse afname in de hoeveelheid breuksteen zichtbaar vergeleken het referentie conceptuitvoeringsplan. Doordat minder materiaal gewonnen en geproduceerd hoeft te worden, leidt dit tot een reductie van CO₂ en andere emissies. Daarnaast hoeft ook minder materiaal getransporteerd en verwerkt te worden, wat opnieuw leidt tot een reductie van emissies gerelateerd aan vrachtwagens en schepen. In het uitvoeringsplan versie 5 zijn de effecten van het slanke ontwerp terug te vinden in zowel de hoeveelheid benodigde schepen, als in de werkuren van de kraan. De afname van benodigd breuksteen, schepen en gebruik van de kraan, leidt tot een reductie van emissies.

SCHONERE VERWERKING

Maatregel 7, schone verwerking, betreft vooral de overstap naar schoner verwerkingsmaterieel. Hierbij dient te worden gewerkt met materieel Stage V in plaats van Stage IV of lager. Dit moderner materieel leidt tot minder emissies in vergelijking tot het oudere materieel. Ook zorgt het gebruik van elektrisch materieel voor een afname in CO₂-emissies, vooral wanneer deze worden aangesloten op groene stroom. Efficiënter gebruik van het materieel draagt daarnaast ook bij aan schonere verwerking, bijvoorbeeld met behulp van trainingen zoals 'het nieuwe draaien', waarbij bewustwording onder dijkbouwers leidt tot meer energiezuinig gebruik van het materieel.

MEEKOPPELKANS

Binnen het project werd daarnaast ook een eco-toplaag toegepast. Deze maatregel is meegenomen als meekoppelkans (maatregel 8). Het aanbrengen van een eco-toplaag heeft namelijk een positief effect op de ontwikkeling van biodiversiteit. De laag biedt een leefomgeving voor plant- en diersoorten. Overigens leidt het aanbrengen van deze eco-toplaag niet tot een reductie in emissies. Het aanbrengen vereist namelijk extra materiaal en het gebruik van materieel voor de werkzaamheden, waardoor emissies zelfs toe kunnen nemen. Desondanks is wegens de positieve effecten op een ander aspect van duurzaamheid (biodiversiteit), toch gekozen om deze meekoppelkans als maatregel mee te nemen in deze ketenanalyse. Er zijn nog geen gedetailleerde gegevens zijn bekend over het materiaal en de werkzaamheden die nodig zijn voor het aanbrengen van de laag, waardoor hiervoor geen MKI is berekend in het volgende hoofdstuk.

3 CO₂ BEREKENING

Het verschil in CO₂-uitstoot tussen de verschillende materialen en tussen uitvoeringsplan 2 en 5, is berekend met behulp van het programma DuboCalc versie 5.1. Deze softwaretool berekend de milieukostenindicator (MKI) van ontwerpvarianten in de Grond-, Weg- en Waterbouw (GWW). Deze MKI waarde wordt berekend aan de hand van 11 milieueffecten, waaronder de uitstoot van CO₂. Omdat de MKI waarde een gangbare eenheid is voor de vergelijking van de milieu-impact van verschillende materialen, zijn de resultaten in deze ketenanalyse ook uitgedrukt in MKI. Daarnaast zullen we ook een kort overzicht geven van de bijbehorende CO₂ uitstoot. Dit is specifiek gedaan voor het deelgebied Haringvliet en niet voor de andere deelgebieden. De CO₂ uitstoot en MKI waarden lopen veelal parallel en daarom is in de berekening de reductie van de MKI gelijkgesteld aan een reductie van de CO₂ uitstoot. Zie ook de ketenanalyse van de Grebbedijk, waarin deze aanpak ook is gekozen.

Eerst is de MKI berekend voor de verschillende materiaalsoorten voor de bestorting. De hoeveelheid (massa) die nodig is voor de bestorting, verschilt per materiaal en per deelgebied. Om een eerlijke vergelijking te maken, is deze berekening specifiek uitgevoerd voor de filterlaag, uitsluitend voor het *deelgebied Haringvliet*. Voor de hoeveelheden en gegevens van dit deelgebied is opnieuw gebruik gemaakt van het onderzoek van Frederique Verberne. Daarna is met de gekozen materiaalsoort, de MKI voor het *totale project* vergeleken tussen uitvoeringsplan 2 (referentie) en uitvoeringsplan 5.

De berekeningen in DuboCalc behoeven nog nadere verfijning. De software is nog niet uitontwikkeld en de waarden per oplossing kunnen daarom niet aangepast worden. DuboCalc rekent met standaard waarden die in werkelijkheid door verschillende omstandigheden kunnen afwijken. Tevens is het niet mogelijk om een levensduur te verlengen of de transporthoeveelheid aan te passen. De locatie van winning kan niet nader worden bepaald. Desalniettemin geeft DuboCalc een redelijk inzicht in de uitstoot die vrijkomt bij de uitvoering van een GWW project.

3.1 MKI MATERIAALKEUZES

Om het verschil in de milieu-impact gerelateerd aan de materiaalkeuze tussen uitvoeringsplan 2 en 5 te berekenen, is eerst een vergelijking gemaakt tussen de MKI-waardes van de verschillende mogelijke materialen binnen het project zettingsvloeiing. Onderstaande figuur toont deze waardes en de benodigde hoeveelheid van elk materiaal voor de *filterlaag* in deelgebied Haringvliet.

Tabel 1. Initiële berekening totale MKI voor de verschillende materiaalkeuzes in deelgebied Haringvliet. De tabel laat de grote verschillen tussen materialen zien qua milieu effect.

Materiaal	Hoeveelheid (ton)	MKI	CO ₂ (kg CO ₂ -eq)
Mijnsteen	525000	1.185.818	273.650
Breuksteen	525000	10.002.691	36.588.643
Fosforslakken	525000	2.209.398	15.741.740
Beton-granulaat	309000	2.854.776	20.857.144

Kleischelpen	309000	2.348.276	19.320.008
Staalslakken	525000	1.860.524	10.986.937

Tabel 1 geeft weer dat in deelgebied Haringvliet het gebruik van mijnsteen voor de filterlaag de laagste MKI-waarde geeft en de laagste uitstoot van CO₂. Breuksteen (het referentiemateriaal) scoort het slechtst. Omdat breuksteen een relatief gangbaar materiaal is en omdat in zowel versie 2 als 5 van het uitvoeringsplan wordt uitgegaan van de toepassing van breuksteen, is gekozen om breuksteen als referentiemateriaal te gebruiken voor de vergelijking met het duurzamere alternatief mijnsteen. De toepassing van deze materialen wordt vergeleken tussen uitvoeringsplan versie 2 en versie 5.

Staalslakken is bij de materiaalkeuze verworpen. Hierover is een aparte memo geschreven in het project. Bij het toepassen van staalslakken bestaat de mogelijkheid van het uitlogen van schadelijke stoffen in de staalslakken in het water. Dit is niet wenselijk met het oog op de waterkwaliteit.

3.2 MKI ONTWERPKEUZES

In conceptuitvoeringsplan versie 5 is uitgegaan van een slanker ontwerp ten opzichte van versie 2, waardoor bespaard is op benodigd materiaal. Minder ton mijnsteen en breuksteen, betekent ook een verlaging van de totale MKI. Onderstaande tabel geeft deze besparing weer. Hierbij is gerekend met het totale ton aan materiaal voor alle deelgebieden samen.

Tabel 2. Vergelijking totale MKI (uitgedrukt in euro's) van breuksteen (referentiemateriaal) en mijnsteen voor conceptuitvoeringsplan versie 2 en versie 5 voor alle deelgebieden samen.

Materiaal	Totale massa versie 2 (referentie) [ton]	MKI totaal versie 2 [euro]	Totale massa versie 5 [ton]	MKI totaal versie 5 [euro]
Breuksteen totaal toplaag (MKI/ton=19,05)	41.000	781.050	35.237	671.265
Mijnsteen totaal toplaag (MKI/ton=2.26)	41.000	92.660	35.237	79.636
Breuksteen totaal filterlaag(MKI/ton=19,05)	1.054.000	20.078.700	817.550	15.574.328
Mijnsteen totaal filterlaag (MKI/ton=2.26)	1.054.000	2.382.040	817.550	1.847.663

De MKI berekeningen laten zien dat de totale MKI waarde 14% lager ligt in conceptuitvoeringsplan versie 5 ten opzichte van versie 2. Dit geldt voor zowel breuksteen als mijnsteen, en voor zowel de toplaag als de filterlaag. Het aanbrengen van de eco-toplaag zorgt voor meer werkzaamheden en materiaalgebruik. Hierdoor stijgt ook de CO₂ uitstoot, en bedraagt meer dan strikt noodzakelijk is om zettingsvloeiingen te voorkomen. Daarnaast worden in de MKI berekeningen de positieve effect van een eco-toplaag op de biodiversiteit niet meegenomen.

Ondanks bovenstaande conclusie dat mijnsteen een duurzamer alternatief is dan breuksteen, is in het project zettingsvloeiing gekozen voor het toepassen van breuksteen. Deze keuze is gemaakt wegens de grote 'sortering' van breuksteen. Sortering betekent de korrelgrootte-verdeling van een materiaal. De vereiste

sortering van het materiaal wordt bepaald door de stroomsnelheden in de deelgebieden. Namelijk; hoe groter de sortering, hoe beter het materiaal blijft liggen en hoe minder het materiaal erodeert bij hogere stroomsnelheden. Breuksteen heeft in vergelijking tot de andere materialen een grote sortering, waardoor deze beter bestand is tegen de hoge stroomsnelheden in de deelgebieden. Het mogelijk hergebruiken van zetsteen van elders kan ervoor zorgen dat de uitstoot vermindert, omdat er geen productie van het materiaal hoeft plaats te vinden. De markt hiervoor is echter beperkt en tijdens het opstellen van het uitvoeringsplan was geen zicht op hergebruik van zetsteen uit waterkeringen elders.

4 CONCLUSIE

In deze ketenanalyse van project zettingsvloeiing is het referentieontwerp (conceptuitvoeringsplan versie 2) vergeleken met het meest recente ontwerp (conceptuitvoeringsplan versie 5), om inzicht te krijgen in hoe verschillende ontwerp- en materiaalkeuzes invloed hebben op de reductie van CO₂ emissies. Hierbij zijn de genomen maatregelen in kaart gebracht met behulp van de circulaire ontwerpprincipes. Daarnaast is het verschil in milieukosten (MKI) tussen uitvoeringsplan 2 en 5 berekend met het programma DuboCalc. Hier valt ook de CO₂ uitstoot af te leiden, doordat de MKI uitstoot en CO₂ relatief parallel aan elkaar lopen.

De ontwerpkeuzes uit het conceptuitvoeringsplan versie 5 zijn naast de Circulaire Ontwerpprincipes gelegd en vergeleken met het ontwerp in versie 2. Hieruit bleek dat voornamelijk aandacht is besteed aan *slank ontwerpen*, en *schone verwerking*. Door het ontwerp te richten op minder materiaal gebruik en door moderner en/of elektrisch materieel in te zetten voor de verwerking, worden emissies gereduceerd. Afhankelijk van de mate van afname in materiaal gebruik en de keuze wat betreft het verwerkingsmaterieel, kan dit tot een flinke daling in emissies leiden. Tot slot is ook kort ingegaan op het aanbrengen van een ecotoplaag. Deze maatregel brengt extra werkzaamheden met zich mee en daarmee een stijging van emissies. Dit laat zien dat maatregelen niet alleen op basis van emissies worden afgewogen, maar ook op positieve of negatieve effecten op de directe omgeving. Denk in dit geval aan ecologie en waterkwaliteit.

Vervolgens zijn de MKI-waardes berekend voor de verschillende materiaalsoorten en vergeleken tussen uitvoeringsplan versie 2 en 5. Uit deze berekeningen bleek dat mijnsteen het laagst scoort op de MKI-waarde en daarmee de laagste uitstoot van CO₂ veroorzaakt. Breuksteen scoort het slechtst. Daarnaast lieten de berekeningen ook zien, dat de MKI-waardes voor beide materialen lager waren in uitvoeringsplan versie 5 vergeleken uitvoeringsplan versie 2. Deze besparing is bereikt door het verminderen van benodigd materiaal in versie 5. Ondanks dat breuksteen méér uitstoot van CO₂ veroorzaakt, is in project zettingsvloeiing uiteindelijk toch gekozen voor het toepassen van breuksteen in plaats van mijnsteen. Deze keuze is gemaakt omdat breuksteen beter bestand is tegen de hoge stroomsnelheden in de deelgebieden.

De MKI berekeningen laten zien dat de totale MKI waarde **14% lager** ligt in conceptuitvoeringsplan versie 5 ten opzichte van versie 2. Dit percentage ligt lager dan algemene CO₂ reductiedoelstelling van WSP Nederland voor scope 3 emissies, namelijk 25%. Dit is te verklaren uit het feit dat andere alternatieven (mijnsteen) niet voldoen aan de voorwaarden of ecologisch nadelige effecten hebben (staalslakken). Dit illustreert dat vanuit CO₂ reductie de beste optie is niet altijd de gewenste keuze is. Overigens is de reductie ten opzichte van een referentie ontwerp groter, maar dat is hier buiten beschouwing gelaten.

Het voorbeeld in deze analyse laat zien dat het van belang is om duurzaamheid en CO₂ reductie vroeg in het ontwerpproces aan bod te laten komen. Op deze manier kan nog voldoende richting gegeven worden aan ontwerpkeuzes gerelateerd aan materiaalgebruik (slanker ontwerpen), werkzaamheden (schoner ontwerpen). Het vroegtijdig meenemen van duurzaamheid kan worden gestimuleerd met behulp van instrumenten zoals het Ambitieweb, vroegtijdige CO₂ berekeningen en duurzaamheidsessies met betrokken partijen. Resultaten hiervan kunnen worden meegenomen bij het afwegen van alternatieven.