

Aan: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR)
Datum: 9 april 2021
Van: Michiel Wolbers en Sam Westerhof
Review: Erik Arnold
Referentie: SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0278
Betreft: Toelichting MKI-berekeningen dijkversterking Culemborgse Veer – Beatrixsluis (CUB)

1. MKI: Berekenen van de milieu-impact van ontwerpen

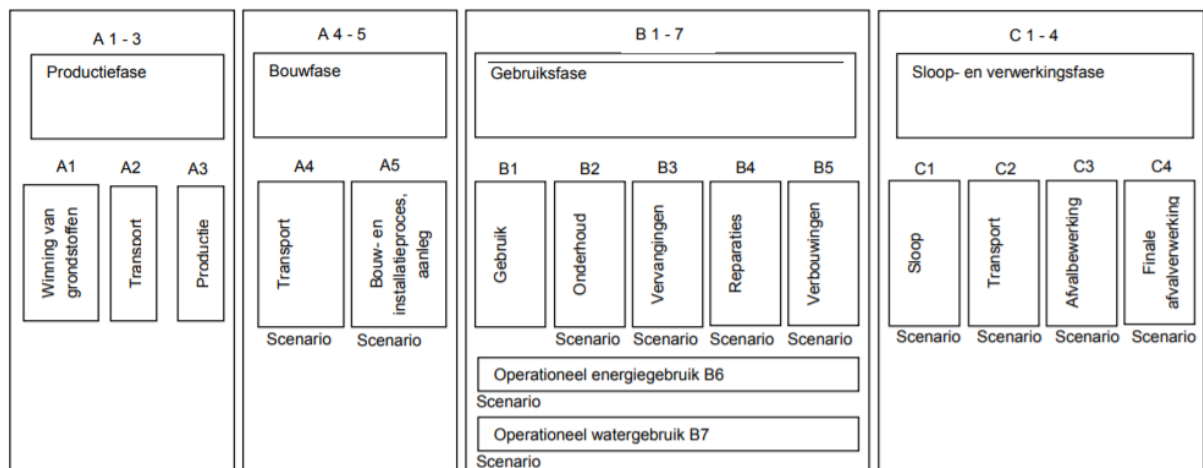
De milieu-impact van het materiaalgebruik en het energieverbruik in ontwerpen is te duiden door middel van de milieukostenindicator (MKI). De MKI-waarde kan worden berekend in het programma DuboCalc. DuboCalc (Duurzaam Bouwen Calculator) is ontwikkeld door Rijkswaterstaat en wordt gebruikt om de milieueffecten van ontwerpen in de grond-, weg- en waterbouw te berekenen en te vergelijken. De software berekent alle milieueffecten van het materiaal- en energieverbruik van winning tot aan de sloop- en hergebruikfase. De milieueffecten worden m.b.v. schaduwrijzen berekend tot een MKI-waarde, welke uiteindelijk wordt uitgedrukt in euro's. De schaduwrijzen weerspiegelen de kosten die de maatschappij ervoor over heeft de betreffende milieudoelen te bewerkstelligen. Uiteindelijk geldt, hoe lager de MKI-waarde, hoe duurzamer het ontwerp.

De methodiek van MKI is gebaseerd op de rekenmethodiek van Levenscyclusanalyse (LCA) gespecificeerd in de [SBK Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en Bouwwerken](#). Door elf milieueffecten om te rekenen naar schaduwrijzen is het vergelijken van functionele eenheden mogelijk. In Tabel 1 zijn de schaduwrijzen per milieueffect weergegeven.

Tabel 1: MKI-waarde per milieueffect equivalent.

Milieueffectcategorie	Equivalent eenheid	Weegfactor in € / kg eq.
<i>Uitputting abiotisch grondstoffen (exclusief fossiele energiedragers) – ADP</i>	Sb eq.	€ 0,16
<i>Uitputting fossiele energiedragers – ADP</i>	Sb eq.	€ 0,16
<i>Klimaatverandering – GWP 100 j.</i>	CO ₂ eq.	€ 0,05
<i>Aantasting ozonlaag – ODP</i>	CFK-11 eq.	€ 30,00
<i>Fotochemische oxidantvorming – POCP</i>	C ₂ H ₄ eq.	€ 2,00
<i>Verzuring – AP</i>	SO ₂ eq.	€ 4,00
<i>Vermesting – EP</i>	PO ₄ eq.	€ 9,00
<i>Humane toxiciteit – HTP</i>	1,4-DCB eq.	€ 0,09
<i>Zoetwater aquatische ecotoxiciteit – FAETP</i>	1,4-DCB eq.	€ 0,03
<i>Mariene aquatische ecotoxiciteit – MAETP</i>	1,4-DCB eq.	€ 0,00001
<i>Terrestrische ecotoxiciteit – TETP</i>	1,4-DCB eq.	€ 0,06

De milieueffecten worden berekend over de gehele levensduur van een product. In Figuur 1 zijn de verschillende fases van een levenscyclusanalyse weergegeven. In de fases A1 t/m A3 wordt de productiefase weergegeven: van winning van grondstoffen tot de productie van een product. In fase A4 wordt het transport berekend van de productielocatie naar de projectlocatie, terwijl in fase A5 de constructie wordt weergegeven. In de fases B1 t/m B7 wordt de gebruiksfase weergegeven; hier valt ook het beheer en onderhoud onder. Tot slot zijn in de fases C1 t/m C4 de sloop en de verwerkingsfase van materialen weergegeven.



Figuur 1: Fases als onderdeel van een levenscyclusanalyse

2. MKI-berekeningen in dijkversterkingsprojecten met DuboCalc

In opdracht van de Unie van Waterschappen (UvW) is in 2019 door Royal HaskoningDHV DuboCalc geschikt gemaakt voor het maken van MKI-berekeningen in de verkenningsfase van dijkversterkingsprojecten. Hierbij is er gekeken naar een zevental elementen die in het algemeen een significante effect hebben op de milieu-impact van een alternatief.

De zeven elementen zijn:

1. Grondoplossing (ontgraven en aanbrengen);
2. Harde bekleding (verwijderen en aanbrengen);
3. Zachte bekleding;
4. Damwand;
5. Kwelscherm;
6. Verticaal Zanddicht Geotextiel (VZG);
7. Weg / onderhoudspad (verwijderen en aanbrengen).

Voor elk element zijn in het traject met de UvW uitgangspunten vastgesteld, zoals het gemiddelde soortelijk gewicht van materialen, de transportafstand voor het grondverzet, de afmetingen en het type materiaal. De uitkomsten van dit traject zijn gebruikt als basis voor het maken van de MKI-berekeningen voor het project CUB.

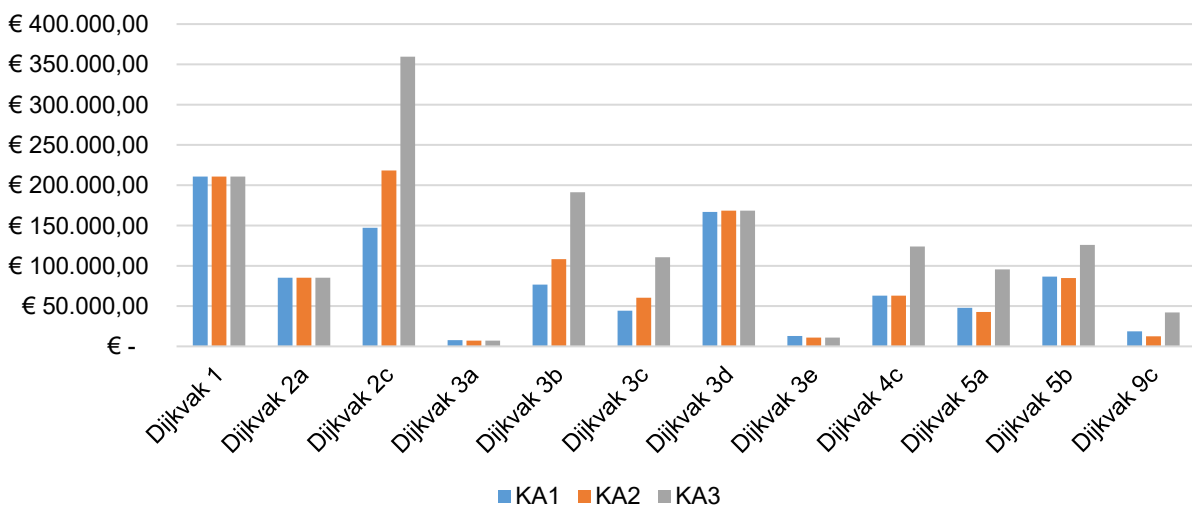
De MKI-berekeningen zijn gemaakt op basis van de milieudata uit DuboCalc (versie 5.1.1 - Nationale Milieudatabase (NMD) versie 2.3 – 6.01.27092018). In deze milieudatabase staan productkaarten van diverse items, zoals stalen damwanden. Voor deze producten is de MKI-waarde berekend voor een vaste eenheid (ton, kg, m³, m², m¹) en met bepaalde vaste uitgangspunten (verhouding primair / gerecycled staal, energie benodigd bij productie, transportafstand en -middel, etc.). Qua materieelinzet gaat het om 'standaard' materieel, zoals EURO4-diesel vrachtwagens voor het transport.

Voor deze dijkversterking is gerekend met een projectlevensduur van 100 jaar.

3. Resultaten van MKI-berekeningen voor kansrijke alternatieven

Per dijkvak en per kansrijk alternatief (KA) is een MKI-berekening gemaakt, gebaseerd op de materiaalhoeveelheden waarvan uit is gegaan bij het opstellen van de SSK-ramingen. Ten opzichte van het traject met de UvW zijn er verschillende soorten stalen damwanden en kwelschermen onderscheiden in de MKI-berekeningen, zodat per KA / dijkvak ook kan worden gekeken wat de hoeveelheid staal die wordt toegepast in een bepaald type damwand voor een impact heeft op de MKI-waarde.

Totale MKI-waarden kansrijke alternatieven per dijkvak



Figuur 2: MKI-waarde per kansrijk alternatief voor het gehele dijkvak

STERKE LEKDIJK

Notitie

In Figuur 2 is de MKI-waarde per alternatief per dijkvak weergegeven. Hierbij is gekeken wat de milieu-impact is over de volledige lengte van het betreffende dijkvak. De dijkvakken 1, 2c en 3d hebben gemiddeld genomen voor de verschillende KA's de grootste totale milieu-impact. Deze dijkvakken behoren tot de langste dijkvakken, en vanwege grootschalige maatregelen tegen piping is de MKI-waarde voor deze dijkvakken hoog. Dijkvakken 3a en 3e laten de laagste MKI-waarden zien, aangezien in deze korte dijkvakken de pipingopgave ontbreekt, waardoor hier relatief weinig ingrepen nodig zijn in vergelijking met andere dijkvakken.

De totale MKI-waarden van de kansrijke alternatieven voor het gehele traject van CUB zijn weergegeven in Tabel 2. Hieruit blijkt duidelijk dat KA3 een veel hogere MKI-waarde heeft dan de andere twee kansrijke alternatieven. Kansrijke alternatieven 1 en 2 liggen dicht bij elkaar, ondanks de verschillende invulling van de dijkversterking.

Tabel 2: Overzicht totale MKI-waarde en MKI per strekkende meter voor de 3 kansrijke alternatieven

Kansrijk alternatief	Totale MKI-waarde [€]	MKI-waarde per strekkende meter dijk [€]
KA1	Ca. € 968.000,-	Ca. € 196,-
KA2	Ca. € 1.072.000,-	Ca. € 218,-
KA3	Ca. € 1.531.000,-	Ca. € 311,-

Figuur 3 geeft de MKI-waardes van de kansrijke alternatieven verrekend naar strekkende meters dijk. Dit maakt het mogelijk om de milieu impact van de verschillende onderdelen uit de kansrijke alternatieven beter met elkaar te vergelijken en de verschillen te verklaren. Hierin vallen een aantal verschillen op:

- Bij dijkvakken 2c, 3b en 3c en 9c zijn duidelijke verschillen in milieu impact zichtbaar. KA3 resulteert hier in hoge MKI-waarden door het vele grondverzet dat is gemoeid met de as verschuivingen in KA3. Dit grondverzet geeft een hoge milieubelasting door de vele graafwerkzaamheden en grondtransporten die nodig zijn. Daarbovenop is het verwijderen en aanbrengen van een volledig nieuwe weg bij deze dijkvakken een extra belasting die bij KA1 en KA2 achterwege blijft;
- Bij dijkvakken 4c, 5a en 5b is ook te zien dat KA3 duidelijk hogere MKI-waarden geeft dan de andere 2 kansrijke alternatieven. Ook hier geldt dat het vele grondverzet en de hiervoor benodigde transporten en graafwerkzaamheden zorgen voor hoge MKI-waarden ten opzichte van de andere twee kansrijke alternatieven waarin wordt gekozen voor een constructieve oplossing;
- Bij dijkvakken 2c, 3b en 3c ligt de MKI-waarde van KA2 hoger dan van KA1. Dit is te verklaren door de inzet van stabiliteitsbermen bij deze dijkvakken in combinatie met een constructie tegen piping. Een gecombineerde piping- en stabiliteitsconstructie zoals toegepast bij KA1 blijkt lagere milieukosten te geven dan een combinatie van een pipingconstructie én een stabiliteitsberm (met de milieubelasting van grondtransporten die hierbij nodig zijn);
- De MKI-waarden voor KA1 en KA2 liggen bij de meeste andere dijkvakken dicht bij elkaar. Vaak is de MKI-waarde voor KA2 iets lager dan voor KA1. Dit komt doordat in KA1 wordt gekozen voor het

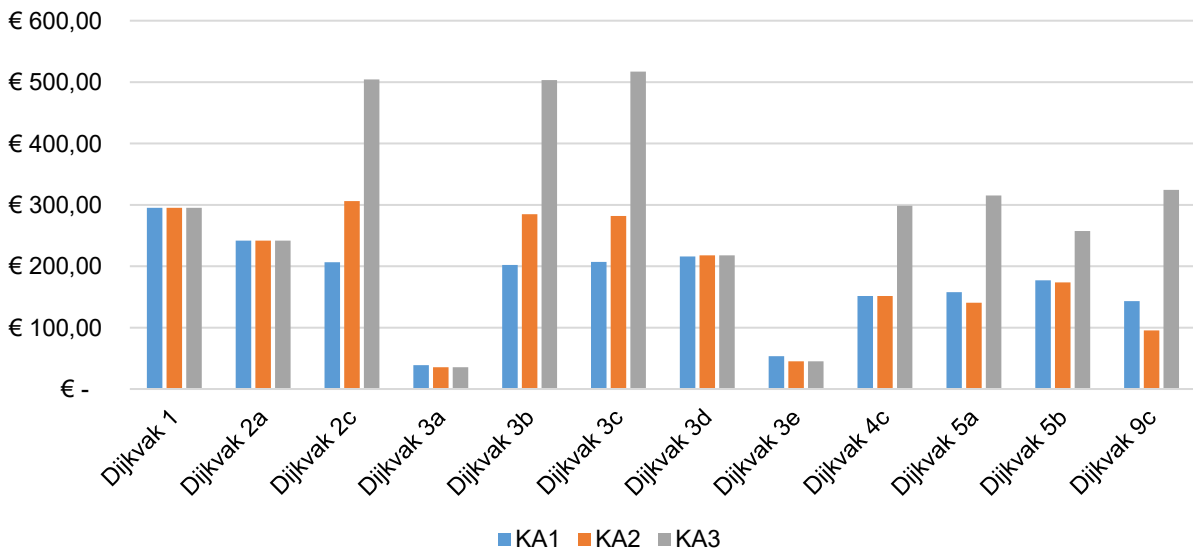
STERKE LEKDIJK

Notitie

aanbrengen van geotextiel als maatregel tegen het faalmechanisme afschuiven grasbekleding binnentalud, terwijl bij KA2 wordt gekozen voor het verflauwen van het binnentalud als maatregel. Het aanbrengen van geotextiel is iets milieubelastender dan het verflauwen van het binnentalud doordat naast de milieubelasting van de productie van geotextiel, er ook relatief veel grondverzet nodig is om het geotextiel aan te brengen. Deze gecombineerde effecten zijn iets groter dan de effecten van het grondverzet dat nodig is voor taludverflauwing;

- Tot slot ligt de MKI-waarde van dijkvak 9c bij KA2 juist veel lager dan bij KA1, aangezien hier wordt gekozen voor een milieubelastende stabiliteitsconstructie, in plaats van taludverflauwing bij KA2.

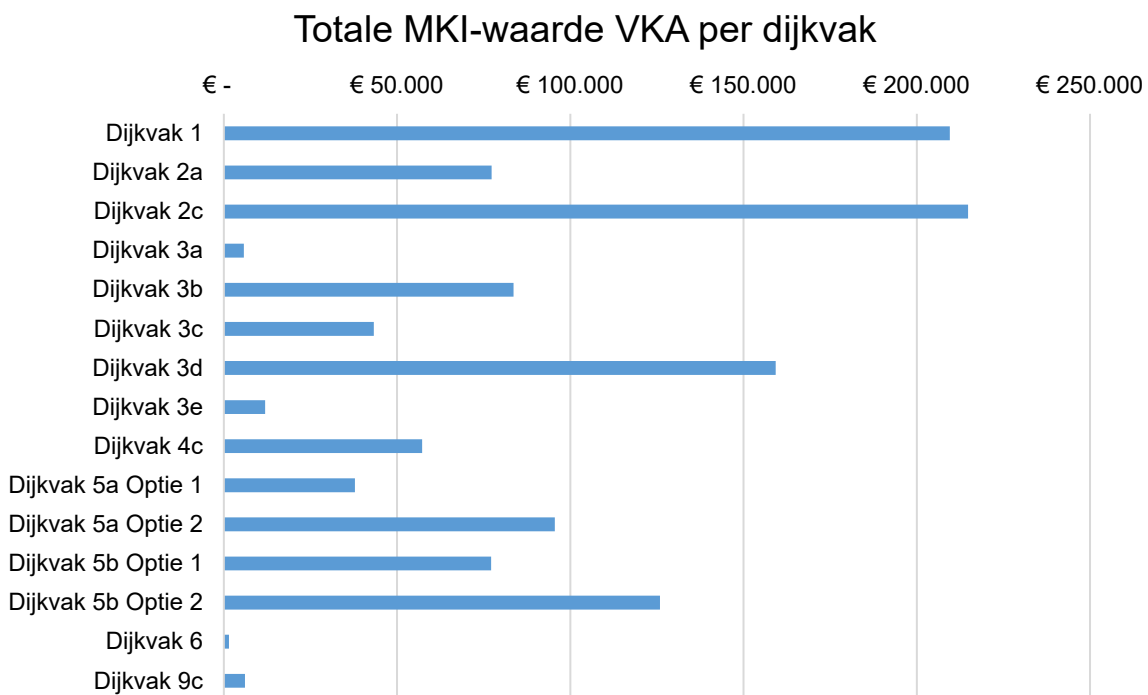
MKI-waarden kansrijke alternatieven per meter dijk



Figuur 3: MKI-waarde per kansrijk alternatief per strekkende meter dijkvak

4. Resultaten van MKI-berekeningen voor het VKA

Voor het voorkeursalternatief (VKA) zijn vergelijkbare MKI-berekeningen gemaakt als voor de kansrijke alternatieven, per dijkvak en per onderdeel van de dijkversterking. Voor het maken van de MKI-berekeningen zijn dezelfde uitgangspunten gehanteerd voor de MKI-berekeningen van de kansrijke alternatieven. De materiaalhoeveelheden per dijkvak zijn overgenomen uit de gemaakte SSK-ramingen voor het VKA. Voor dijkvak 5 bestaan binnen het VKA 2 opties: optie 1 met een pipingconstructie + verflauwing binnentalud en optie 2 met een voorlandverbetering + verflauwing binnentalud. In het moduleboek van de SSK-raming zijn de hoeveelheden opgenomen voor optie 1 van het VKA. Om het verschil in MKI-waarde tussen deze 2 varianten van het VKA in beeld te brengen zijn daarom voor optie 2 de MKI-waarden uit kansrijk alternatief 3 voor dijkvak 5 overgenomen. In dit kansrijk alternatief worden dezelfde maatregelen genomen in dijkvak 5 als in optie 2 van het VKA.



Figuur 4: MKI-waarde per dijkvak van het voorkeursalternatief (VKA)

STERKE LEKDIJK

Notitie

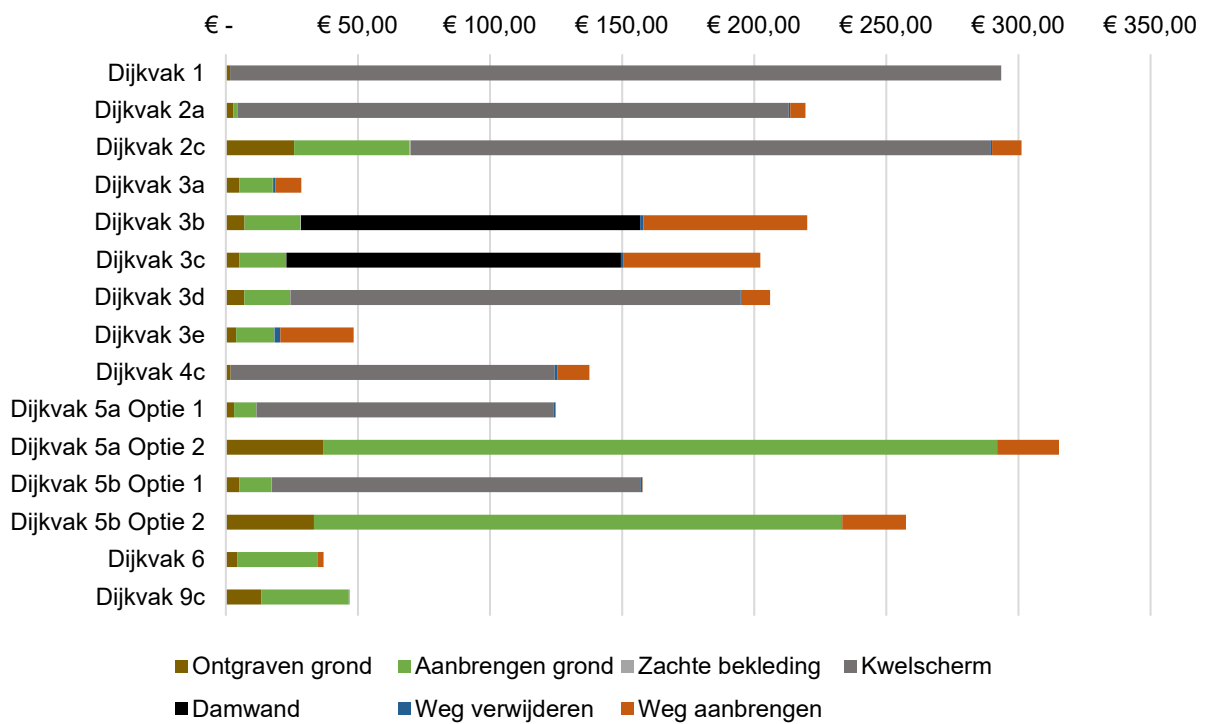
In Figuur 4 zijn de totale MKI-waardes per dijkvak weergegeven en in Figuur 5 zijn de MKI-waarden per strekkende meter dijk weergegeven, uitgesplitst per onderdeel uit de dijkversterking. De dijkvakken 1, 2c en 3d hebben als langste dijkvakken de grootste bijdrage aan de totale milieu-impact op het project. Ook per strekkende meter hebben deze dijkvakken, samen met dijkvakken 2a, 3b en 3c de grootste impact. Dit zijn allen dijkvakken waar grote constructieve ingrepen worden gedaan. Dijkvakken 3a, 3e, 6 en 9c hebben per meter dijkversterking naar verhouding de kleinste MKI-waarden. Hier vinden alleen beperkte grondoplossingen plaats, waardoor de MKI-waardes hier per strekkende meter veel lager liggen dan in de andere dijkvakken waar ook grote ingrepen tegen piping of macrostabiliteit binnenwaarts noodzakelijk zijn. Als wordt ingezoomd op de onderdelen van de dijkversterking (zie Figuur 5), dan is zichtbaar dat de grootste impact in de dijkvakken veelal komt door de (stalen) kwelschermen tegen piping die worden toegepast. In de dijkvakken 3b en 3c zijn het de stalen damwanden (voor de combinatie piping en stabiliteit) die voor de grootste impact zorgen. De constructieve elementen zijn dus veruit de belangrijkste bijdragers aan de totale MKI-waarde van het VKA. Het ontgraven en aanbrengen van grond heeft naar verhouding een kleine impact op de MKI-waarde van de dijkversterking. Voor de MKI-waarde speelt alleen het grondverzet in dijkvak 2c een significante waarde (teelaarde en klei), aangezien hier is gekozen voor een stabiliteitsberm. Dit draagt ook bij aan het feit dat dit dijkvak de hoogste MKI-waarde per strekkende meter heeft. Bij een aantal dijkvakken zorgt het aanbrengen van nieuwe stukken weg bij op- en afritten voor een extra milieubelasting.

Wanneer we tot slot kijken naar dijkvak 5 en het verschil tussen de 2 varianten van het VKA, is te zien dat optie 2, waarbij wordt gekozen voor een voorlandverbetering, een significant hogere milieubelasting geeft dan optie 1 met een pipingconstructie. De grote hoeveelheden benodigde nieuw aan te brengen grond geven een grote belasting op het milieu door de vele benodigde aan- en afvoer transporten om grond te verplaatsen. Voor dijkvak 5a is dit verschil groter dan voor dijkvak 2b, vooral doordat de voorlandverbetering bij dit dijkvak breder is dan bij dijkvak 5b. Belangrijk om hierbij op te merken is dat de milieu impact bij verdere uitwerking van het VKA in de planuitwerkingsfase nog significant kan veranderen onder invloed van bijvoorbeeld de gekozen constructies en het type materieel dat wordt ingezet voor transport van materialen (denk bijvoorbeeld aan elektrisch vervoer).

STERKE LEKDIJK

Notitie

MKI-waarde VKA per meter dijk, uitgesplitst per onderdeel



Figuur 5: MKI-waarde per dijkvak uitgesplitst per onderdeel van de dijkversterking, voor de variant van het VKA waarbij bij dijkvak 5 constructieve maatregelen worden toegepast