

Duurzaamheidsvergelijking Dijkversterking Lauwersmeerdijk

Huidige ontwerp vs. traditioneel ontwerp in DuboCalc



Datum: 25 februari 2021
Versie: Definitief
Auteurs: Paul Buring, Ineke van der Reijden
Gecontroleerd: Ido Boonstra, André Zijlstra
Goedgekeurd: Arjan van den Hoogen, Machiel de Vries

Inhoudsopgave

SAMENVATTING	2
INLEIDING	4
UITGANGSPUNTEN	5
VERKALIT STEENZETTING VS. BASALTON STEENZETTING	7
Hoeveelheid uitgespaard betonvolume	7
Verschil tussen wel en niet inwassen van de steenzetting en dikte van de filterlaag	9
Verschil in grondbalans tussen Verkalit en Basalton	11
HERGEBRUIK ASFALTBEKLEDING ALS FUNDERINGSLAAG VS. AFVOEREN ASFALTBEKLEDING	11
Bespaarde hoeveelheid waterbouwasfalt door dunnere laagdikte	11
Benodigde brandstof voor hergebruik als funderingsmateriaal vergeleken met afvoeren	11
Verschil in grondbalans tussen hergebruik en afvoeren gefreesde asfalt	12
BLAUWE DIESEL VS. FOSSIELE DIESEL	12
CEMENTVRIJE DOORGROEISTENEN VS. STANDAARD DOORGROEISTENEN	13
TOEPASSING GEPENETREERDE BREUKSTEEN VS. LOS GESTORTE BREUKSTEEN	14
HERGEBRUIK OUDE KOPERSLAKBLOKKEN VS. AFVOEREN KOPERSLAKBLOKKEN EN AANVOEREN BREUKSTEEN	14
GRONDBALANS	15
RESULTATEN	16
Vergelijking CO ₂ equivalent	16
Vergelijking MKI-waarde	17
CO₂ EN MKI-WAARDE GEHELE DIJKVERSTERKING	18
KOSTEN EN BATEN FINANCIËEL EN DUURZAAMHEID	20
CONCLUSIES	21
AANBEVELINGEN	22

Samenvatting

De Lauwersmeerdijk van Wetterskip Fryslân wordt over een lengte van 4,4 km versterkt binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). De asfaltbekleding was in zeer slechte staat, waardoor de versterking in de programmering naar voren is gehaald. De versterking is integraal opgepakt, waarbij ook de steenzetting grotendeels vernieuwd is en een verborgen harde bekleding onder het gras op het buitentalud is aangebracht. Bij het ontwerp zijn verschillende ontwerp-optimalisaties doorgevoerd en is veel materiaal hergebruikt. Zo zijn voor de steenbekleding 'Verkalitblokken' gebruikt i.p.v. de gebruikelijke 'Basaltonzuilen'. Verkalitblokken haken rondom in elkaar, waardoor het geheel sterker is en de blokken minder dik kunnen zijn, wat dus beton bespaart. Daarnaast zijn de koperslabblokken uit de oude steenbekleding en de asfaltbekleding hergebruikt in het nieuwe ontwerp. Naast ontwerpoptimalisaties zijn ook meer door duurzaamheid gedreven keuzes gemaakt door voorschrijven van blauwe diesel en cementvrije doorgroeistenen.

Het doel van deze rapportage is om met behulp van DuboCalc inzichtelijk te maken wat de behaalde besparing in CO₂-uitstoot en Milieukostenindicator (MKI) van het huidige ontwerp is, ten opzichte van een meer traditionele dijkversterking. Deze traditionele variant is niet letterlijk meegenomen in de variantenafweging, maar komt wel veel voor in het beheergebied van Wetterskip Fryslân. Daarnaast is ook de totale CO₂-uitstoot en MKI-waarde van het huidige ontwerp ingeschat. Dit geeft inzicht in de CO₂-uitstoot van dit soort projecten en maakt het tevens mogelijk om de besparingen uit te drukken in een percentage ten opzichte van de totale uitstoot. Om deze waarden te bepalen is gebruik gemaakt van het programma DuboCalc. In de meeste gevallen zijn de benodigde materialen in DuboCalc aanwezig, maar soms zijn wel enige aannames nodig. Hierdoor is het resultaat van de analyse richtinggevend en zal het niet tot op de euro exact overeenkomen met de werkelijkheid.

Uit de DuboCalc-berekening volgt dat de totale hoeveelheid bespaarde CO₂ in het huidige ontwerp gelijk is aan 3.724 ton CO₂ en de reductie in MKI-waarde €785.110. Dit betreft 30% respectievelijk 41% van de totale uitstoot. De grootste besparingen in CO₂-uitstoot en MKI-waarde zijn met name in het hergebruik en slim ontwerpen van de bekledingen te vinden. De grootste besparing zit in de toepassing van Verkalitblokken als steenbekleding, met een bijdrage in CO₂ en MKI-besparing van respectievelijk 28 % en 23 %. Het voorschrijven van blauwe diesel en cementloze doorgroeistenen heeft (bij dit project) het kleinste aandeel in de besparing, waarbij blauwe diesel slechts 2 % bijdraagt aan zowel de CO₂ als MKI-besparing.

De totale dijkversterking van het huidige ontwerp heeft een gerekende CO₂-uitstoot van 8.590 ton en een MKI-waarde van €1.112.708. De grootste uitstoot komt voort uit de steen- en asfaltbekleding, welke samen meer dan de helft van de uitstoot veroorzaken. Dit is niet verrassend, omdat de dijkversterking ook gericht is op het verbeteren van de dijkbekleding. Wat verder opvalt is het relatief hoge aandeel van de aanvoer van grond, ondanks het sturen op een gesloten grondbalans. Dit benadrukt om waar mogelijk een zoveel mogelijk gesloten grondbalans te creëren.

Naast milieukosten is er ook naar de daadwerkelijke kosten van het huidige ontwerp en het traditionele ontwerp gekeken. De totale kosten van de huidige dijkversterking bedragen 10,7 miljoen euro, het beschouwde traditionele ontwerp is ruim 1,8 miljoen euro duurder. Omdat de belangrijkste verschillen voortvloeien uit materiaalbesparing is het geen verrassing dat dit zowel voor de financiën als voor duurzaamheid een positieve uitwerking heeft. De blauwe diesel en cementloze doorgroeistenen werken kostenverhogend, maar in het geval van blauwe diesel zijn de kosten lager dan de winst in milieukosten (MKI). Voor de cementloze doorgroeistenen zijn de kosten en milieubaten in balans.

Concluderend kan gezegd worden dat de grootste besparingen in het hergebruik van materialen en ontwerptimalisaties te vinden zijn. Het slim hergebruiken van vrijkomende materialen en ontwerpen met een gesloten grondbalans hebben in deze analyse een grote impact op de CO₂-uitstoot en MKI-waarde en werken tevens prijsverlagend. Hieruit volgt dat duurzaamheid niet altijd duurder hoeft te zijn. Daarnaast is opgevallen dat er soms forse verschillen zitten tussen het aandeel CO₂ en MKI. Dat komt doordat bij de MKI-waarde niet alleen naar CO₂ wordt gekeken, maar ook naar 10 andere factoren die klimaatverandering negatief beïnvloeden.

Inleiding

Over een lengte van 4,4 km wordt de Lauwersmeerdijk van Wetterskip Fryslân versterkt binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). De asfaltbekleding was in zeer slechte staat, waardoor het versterkingsproject versneld is uitgevoerd. De dijk is integraal versterkt voor de komende 50 jaar. Niet alleen het asfalt is vervangen, maar ook de steenzetting is grotendeels vernieuwd en het boventalud is versterkt met een verborgen bekleding van open steenasfalt. Daarnaast zijn o.a. de overgangen tussen de dijkbekledingen verschoven en is een teenversterking toegepast van breuksteen met gietasfalt. Bij het project is duurzaamheid als criterium meegenomen bij de afweging van verschillende ontwerpvarianten.

Vanuit de organisatie is gevraagd om inzicht te geven in de behaalde besparingen van de CO₂-uitstoot van het huidige ontwerp ten opzichte van een meer traditionele dijkversterking. Hierdoor wordt tevens de kennis van de organisatie vergroot op het gebied van duurzaamheid en de bijdrage van een project aan klimaatverandering.

In voorliggende rapportage is gebruik gemaakt van het computerprogramma DuboCalc om invulling te geven aan bovenstaande vraag. Naast de equivalente hoeveelheid vrijgekomen CO₂, geeft DuboCalc een zogenaamde Milieukostenindicator (MKI-waarde). De MKI-waarde is een maat voor diverse klimaatbelastende stoffen die tijdens de gehele levenscyclus vrijkomen, omgerekend naar een fictief geldbedrag. Zo staat 1 ton vrijkomend CO₂ bijvoorbeeld gelijk aan 50 euro MKI-waarde. Alle stoffen die in de MKI-berekening op geld worden gezet, staan in Figuur 1 weergegeven.

Milieueffectcategorie	Equivalent eenheid	Weefactor [€/ kg equivalent]
Uitputting abiotische grondstoffen (exclusief fossiele energiedragers) – ADP	Sb eq	€ 0,16
Uitputting fossiele energiedragers – ADP	Sb eq ^p	€ 0,16
Klimaatsverandering – GWP 100 j.	CO ₂ eq	€ 0,05
Aantasting ozonlaag – ODP	CFK-11 eq	€ 30
Fotochemische oxidantvorming – POCP	C ₂ H ₄ eq	€ 2
Verzuring – AP	SO ₂ eq	€ 4
Vermesting – EP	PO ₄ eq	€ 9
Humane toxiciteit – HTP	1,4-DCB eq	€ 0,09
Zoetwater aquatische ecotoxiciteit – FAETP	1,4-DCB eq	€ 0,03
Mariene aquatische ecotoxiciteit - MAETP	1,4-DCB eq	€ 0,0001
Terrestrische ecotoxiciteit – TETP	1,4-DCB eq	€ 0,06

Figuur 1 Opbouw Milieukostenindicator (MKI-waarde)

Uitgangspunten

In voorliggende rapportage is het verschil tussen het huidige dijkontwerp en een fictief traditioneel ontwerp bepaald. De totale CO₂ uitstoot en MKI-waarde van de gehele dijkversterking is aan het einde van deze rapportage globaal uitgerekend. Alleen daar waar het huidige en traditionele ontwerp significant van elkaar verschillen, is een vergelijkende analyse met DuboCalc uitgevoerd.

Deze analyse is over het algemeen op hoofdlijnen uitgevoerd. Daar waar de werkelijk gebruikte materialen niet voorkomen in de database van DuboCalc, is een zo goed mogelijk passend element gekozen. Keuzes, aannames en uitgangspunten worden zo veel mogelijk benoemd om de analyse navolgbaar te houden. Het is daarbij goed om te realiseren dat deze analyse geen zuivere wetenschap is, en veelal niet 100% passend is voor de daadwerkelijk uitgevoerde werkzaamheden bij de dijkversterking. Desondanks wordt aangenomen dat voorliggende analyse een redelijke indicatie geeft van de bespaarde CO₂ uitstoot en het verschil in MKI-waarde.

In onderstaand overzicht wordt kort weergegeven welke vergelijkingen zijn doorgekend. In het vervolg van de rapportage wordt uitgebreid stilgestaan bij iedere vergelijking.

- Verkalit steenzetting vs. Basalton steenzetting;
 - Besparing is betonvolume tussen benodigde zuilhoogtes;
 - Interlock steenzetting vs. steenzetting (periodiek) inwassen met steenslag;
- Hergebruik asfaltbekleding als funderingslaag vs. afvoeren asfaltbekleding;
 - 15 cm dikte nieuw waterbouwasfalt vs. 20 cm dik nieuwe waterbouwasfalt;
 - Oude freesasfalt mengsel met zand en terugplaatsen vs. afvoeren oude freesasfalt;
- Blauwe diesel vs. fossiele diesel;
- Cementvrije doorgroeistenen vs. standaard doorgroeistenen;
- Toepassing gepenetreerde breuksteen vs. los gestorte breuksteen;
- Hergebruik oude koperslakblokken vs. afvoeren koperslakblokken en aanvoeren breuksteen;
- Grondbalans, hergebruik categorie 3 kleigrond vs. afvoeren.

Sommige verschillen tussen het huidige en fictieve ontwerp zijn volledig door duurzaamheidsprincipes tot stand gekomen. Voorbeelden hiervan zijn de toepassing van blauwe diesel en cementvrije doorgroeistenen.

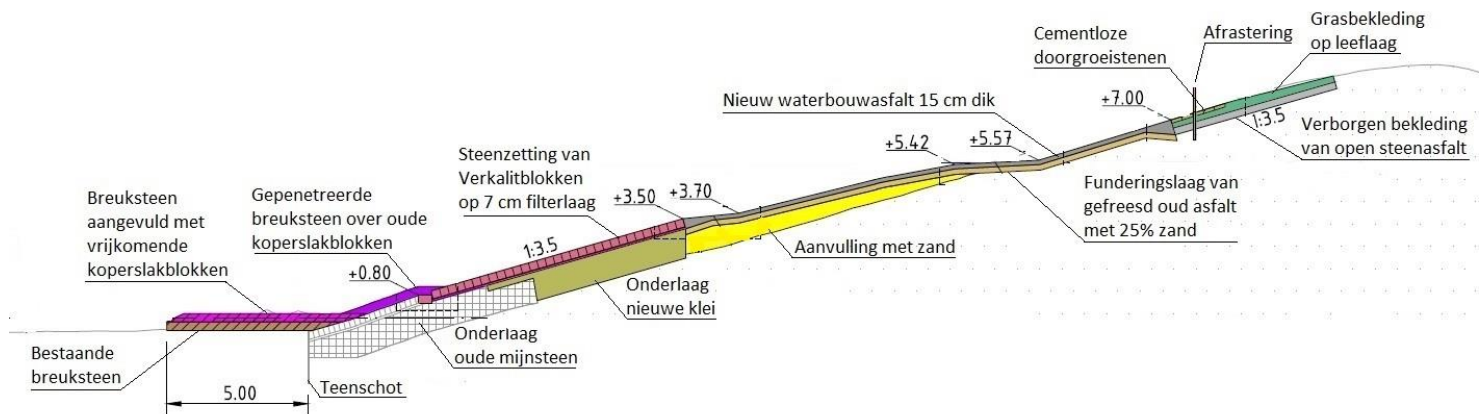
Andere verschillen zijn niet zo zeer door duurzaamheid gedreven, maar liggen in de sfeer van ontwerptimalisaties. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de toepassing van gepenetreerde breuksteen i.p.v. los gestorte breuksteen. Gepenetreerde breuksteen zou ook prima toepasbaar zijn voor het fictieve ontwerp, maar voor de DuboCalc-analyse is het erg interessant om uit te zoeken wat duurzamer is; een grote hoeveelheid los gestorte breuksteen, of een veel kleinere hoeveelheid breuksteen i.c.m. gietasfalt.

Daarnaast is er een categorie verschillen die volgt uit verstandig hergebruik van aanwezige materialen. Toepassing van het oude asfalt als funderingslaag onder de nieuwe asfaltbekleding is hier een voorbeeld van, evenals de toepassing van vrijkomende koperslakblokken tussen de nieuwe breuksteen. Deze aspecten zijn niet enkel vanuit de duurzaamheidsgedachte tot stand gekomen, maar hebben ook een positieve invloed op de projectkosten.

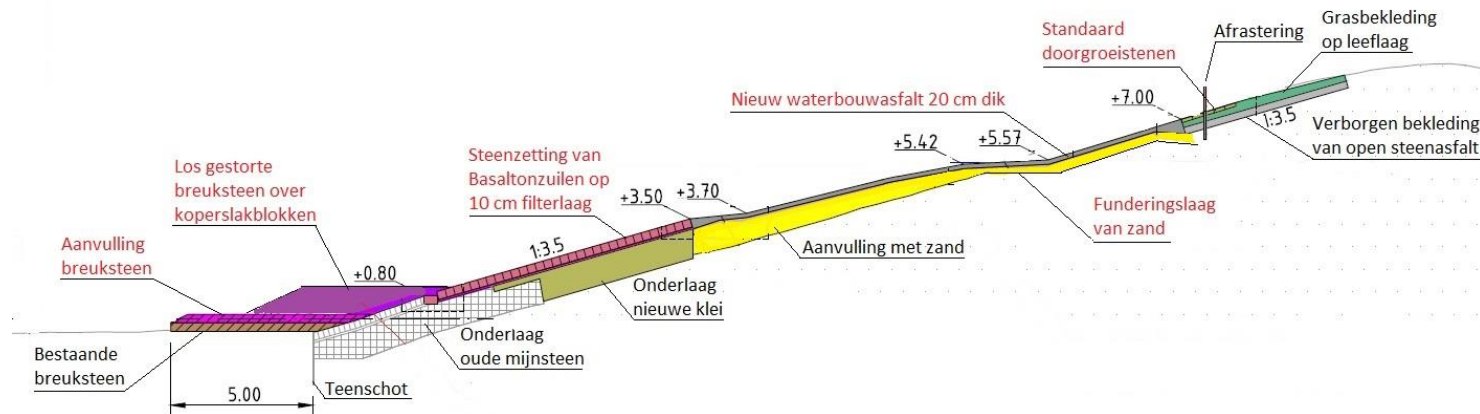
Het fictieve traditionele ontwerp is niet in alle opzichten even realistisch, omdat dit ontwerp ook nog mogelijkheden voor optimalisatie bevat. Zo is er in het fictieve ontwerp uiteindelijk een zandtekort om hetzelfde dijkprofiel te realiseren als bij het huidige ontwerp. In de praktijk ligt het voor de hand om het dijkprofiel aan te passen, zodanig dat ook hier een gesloten grondbalans ontstaat.

De impact op CO₂ equivalent en MKI-waarde is uiteindelijk voor alle verschillen afzonderlijk in beeld gebracht en samengevat in een schijfdiagram. Op deze manier is eenvoudig zichtbaar wat de bijdrage van de beschouwde verschillen is.

In Figuur 2 en Figuur 3 is een dwarsdoorsnede van zowel het huidige als het fictieve traditionele ontwerp weergegeven.



Figuur 2 Dwarsprofiel buitentalud van huidige ontwerp Lauwersmeerdijk



Figuur 3 Dwarsprofiel buitentalud van fictief traditioneel ontwerp t.b.v. vergelijking in DuboCalc

De rode teksten in figuur 3 geven de verschillen tussen het huidige ontwerp en het fictieve traditionele ontwerp weer.

Verkalit steenzetting vs. Basalton steenzetting

Bij de dijkversterking is een steenzetting bestaande uit Verkalitblokken toegepast. Deze zetsteen heeft een zogenoemd interlock-systeem, waardoor elk blok rondom zit verankerd aan de omliggende Verkalitblokken. Een deel van de sterkte tegen golfaanval wordt ontleend uit het interlock-systeem, daar waar dit zonder interlocking uit de massa van de individuele zuilen moet komen, i.c.m. inklemming door inwasmateriaal.

Als referentie voor de fictieve traditionele dijkversterking is gekozen voor een vergelijking met een steenzetting van Basalton. Basalton is de meest voorkomende betonnen steenzetting binnen het beheergebied van Wetterskip Fryslân en lijkt daardoor een voor de hand liggende keuze voor de vergelijking met Verkalitblokken. Zowel Verkalit als Basalton is weergegeven in Figuur 4.



Figuur 4 Verkalitblokken (links) en Basaltonzuilen (rechts)

De vergelijking tussen beide type steenzettingen bestaat uit drie aspecten:

- Een hoeveelheid uitgespaard betonvolume doordat de Verkalitblokken dunner zijn dan Basaltonzuilen (bij gelijk soortelijk gewicht) met een vergelijkbare stabiliteit tegen golfaanval;
- Het niet (periodiek) hoeven inwassen van Verkalitblokken met steenslag;
- Een verschil in grondbalans. Doordat zowel de zuilhoogte van de Basaltonzuilen als de dikte van de onderliggende filterlaag groter is dan in het geval van Verkalitblokken, komt er bij toepassing van Basalton meer grond (zand) vrij, uitgaande van hetzelfde dijkprofiel.*

* Het verschil in grondbalans wordt verderop in deze rapportage verrekend met een tegengesteld verschil in grondbalans bij de vergelijking tussen twee asfaltbekledingen.

Hoeveelheid uitgespaard betonvolume

Bij de dijkversterking zijn twee typen Verkalitblokken toegepast. Beide typen hebben dezelfde afmetingen, maar er is een verschil in soortelijk gewicht. Op het ondertalud zijn Verkalitblokken met een soortelijk gewicht van 2300 kg/m^3 toegepast en hoger op het talud 2650 kg/m^3 . Beide typen hebben een dikte van 30 cm.

Om de hoeveelheid bespaard beton te bepalen moet eerst een berekening worden uitgevoerd voor de benodigde zuilhoogte in het geval van Basaltonzuilen. Uit aangepaste ontwerpberekeningen volgt dat voor de Verkalitblokken van 2300 kg/m^3 een Basaltonzuil van 40 cm benodigd is en voor de Verkalitblokken van 2650 kg/m^3 een Basaltonzuil van 45 cm.

Basalton is eveneens beschikbaar in diverse soortelijke gewichten. Voor de vergelijking is uitgegaan van een soortelijk gewicht van 2450 kg/m³, omdat deze waarde mooi tussen de dichtheden van Verkalit in ligt.

De vergelijking tussen beide steenzettingen uitgedrukt in hoeveelheid bespaard beton is weergegeven in Tabel 1. Hierbij is uitgegaan van een percentage holle ruimte van 12% voor Basalton en 10% voor Verkalit.

	Aantal m ²	m ³ Verkalit	m ³ Basalton	Vershil in m ³
Verkalit 2300 kg/m ³	10.400	2.808	3.661	853
Verkalit 2650 kg/m ³	28.500	7.695	11.286	3.591

Tabel 1 Hoeveelheden Verkalit en Basalton

Om in DuboCalc de hoeveelheid bespaarde CO₂ en het verschil in MKI-waarde te bepalen zijn eigenlijk de elementen Verkalit en Basalton benodigd, inclusief de bijbehorende effecten van betonmengsels en aanlegmethode. Verkalit en Basalton zitten echter beide niet in de database van DuboCalc. Er zit wel een algemene variant in de vorm van Hydroblocks in DuboCalc. Deze is echter niet helemaal passend, omdat hier alleen een verschil in m² kan worden ingevoerd en dat is in voorliggende vergelijking een constante waarde.

Als alternatief kan worden gekeken naar de betonmengsels van zowel Verkalit als Basalton. In DuboCalc zitten echter meer dan 100 verschillende soorten beton met soms grote verschillen in CO₂ en MKI-waarde. Welk betonmengsel het meest passend is voor de steenzettingen is onbekend. Op een informatieblad op de website van Holcim (fabrikant Basalton) staat een betonmengsel met sterkteklasse C45/55 aangegeven. Ook deze sterkteklasse zit helaas niet in DuboCalc, maar er staat wel een betonmengsel met een sterkteklasse van C35/45 in de database, één sterkteklasse lager. Naast een sterkteklasse, heeft beton ook een bepaalde milieuklasse en zijn er verschillende soorten cement met elk een verschillende CO₂ uitstoot en MKI-waarde. Als cementtype is gekozen voor CEM III.

Voor de vergelijking tussen het ontwerp van de Lauwersmeerdijk en het fictieve traditionele ontwerp is gebruikgemaakt van de betonsoort met sterkteklasse C35/45. Deze komt in de buurt van de sterkteklasse van een steenzetting, maar in hoeverre de CO₂ uitstoot en MKI-waarde overeenkomen met de werkelijkheid is onduidelijk.

De besparing op CO₂ uitstoot en MKI-waarde door het uitsparen van 4.444 m³ beton (type “Betonmortel C35/45 (CEMIII)” in DuboCalc) is weergegeven in Tabel 2.

	Huidige ontwerp	Fictief traditioneel ontwerp
Hoeveelheid CO ₂ uitstoot [ton CO ₂ -eq]	Referentie	+ 1.166
MKI-waarde	Referentie	+ € 126.562

Tabel 2 Resultaten bespaarde hoeveelheid beton uit Verkalit vs. Basalton

Om een beter beeld te krijgen van bovenstaande getallen is toch gebruik gemaakt van de Hydroblocks in DuboCalc. In DuboCalc staat bij de Hydroblocks aangegeven dat er wordt uitgegaan van een vaste zuilhoogte van 37 cm, waardoor de berekende hoeveelheid bespaard beton kan worden omgerekend naar een hoeveelheid m² Hydroblocks. De CO₂ en MKI-waardes die uit deze analyse volgen zouden in elk geval hoger moeten zijn dan de waarden uit Tabel 2. De waardes uit Tabel 2 hebben namelijk enkel betrekking op het materiaal, terwijl bij de Hydroblocks ook alle uitvoeringsaspecten zijn inbegrepen om de steenzetting aan te leggen.

Een hoeveelheid van 4.444 m³ beton staat gelijk aan $(4.444 / 0,37) / 0,85 = 14.130 \text{ m}^2$ Hydroblocks, uitgaande van 15% holle ruimte tussen de Hydroblocks. De CO₂ voetprint en MKI-waarde van het aanleggen van 14.130 m² Hydroblocks is weergegeven in Tabel 3.

	CO ₂ equivalent [ton]	MKI-waarde
14.130 m² Hydroblocks	978	€ 103.637

Tabel 3 Resultaten equivalent oppervlak met Hydroblocks

De hoeveelheid CO₂ en de MKI-waarde is lager dan de waardes van enkel de hoeveelheid bespaard beton. Deze uitkomst is niet logisch, omdat bij deze CO₂ en MKI-waarden ook o.a. aanleg en transport zijn inbegrepen. De belangrijkste conclusie van de vergelijking tussen Verkalit en Basalton is dat de uitkomsten vrij onbetrouwbaar en hooguit enigszins richtinggevend zijn.

De resultaten uit Tabel 2 zijn onzekerder dan de resultaten uit Tabel 3. Mogelijk betreft het gekozen betonmengsel alleen het bindmiddel en niet de totale massa van het uiteindelijke betonproduct. Als dat het geval is, zijn de getallen wel te plaatsen. Met één m³ bindmiddel kunnen immers meerdere m³'s beton worden geproduceerd.

Omdat de getallen uit Tabel 3 een overschatting van de werkelijkheid moeten zijn, is in deze rapportage uitgegaan van 70% van de waardes uit Tabel 3. Met deze aanname wordt er vanuit gegaan dat 70% van de CO₂ en MKI-waardes van de Hydroblocks afkomstig is uit de materiaalproductie en 30% benodigd is voor o.a. transport en aanleg.

De in deze rapportage gehanteerde waardes voor de vergelijking tussen Verkalit en Basalton zijn weergegeven in Tabel 4.

	CO ₂ equivalent [ton]	MKI-waarde
14.130 m² Hydroblocks 70%	685	€ 72.546

Tabel 4 Resultaten vergelijken Verkalit met Basalton o.b.v. "best guess"



Figuur 5 Hydroblocks

Verschil tussen wel en niet inwassen van de steenzetting en dikte van de filterlaag

Verkalit is een steenzetting die niet wordt ingewassen met steenslag, terwijl Basalton wel dient te worden ingewassen. Voor de aanleg van Basalton is uitgegaan van een hoeveelheid inwasmateriaal van $((10.400 \times 0,40) + (28.500 \times 0,45)) \times 0,12 = 2.038 \text{ m}^3 = 3.441 \text{ ton}$, gebaseerd op een holle ruimte van ca. 12% tussen het volume Basalton.

Daarnaast wordt uitgegaan van elke 8 jaar periodiek inwassen van $\frac{1}{4}$ van het inwasmateriaal tussen de Basalton. Dit levert elke 8 jaar $510 \text{ m}^3 = 861 \text{ ton}$ periodiek inwasmateriaal. Gezien de ruime bandbreedte op de nauwkeurigheid van sommige berekeningen is de benodigde hoeveelheid diesel voor het inwassen van de steenzetting niet beschouwd. Voor de aanlegfase lijkt dit bovendien een prima uitgangspunt. Verkalit hoeft weliswaar niet ingewassen te worden, maar vergt bij het plaatsen van de blokken wel een extra handeling t.o.v. van Basalton. Basalton kan rechtstreeks vanaf de vrachtwagen in de dijk worden gezet, terwijl Verkalit in een legmachine dient te worden geplaatst. Het brandstofverbruik van de legmachine voor Verkalit en het inwassen van Basalton worden in deze analyse tegen elkaar weggestreept. Het brandstofverbruik voor het periodieke onderhoud valt vermoedelijk in de marge bij de aannames voor de hoeveelheid periodiek in te wassen materiaal.

Naast het inwassen van de Basaltonzuilen is er ook een klein verschil in filterlaag, de funderingslaag direct onder de steenzetting. Voor Verkalit bedraagt deze 7 cm en voor Basalton 10 cm. De hoeveelheid benodigd volume voor de filterlaag is toegevoegd aan de hoeveelheid inwasmateriaal bij aanleg. Het totaaloppervlak aan steenzetting bedraagt $10.400 + 28.500 = 38.900 \text{ m}^2$. Dit resulteert in een hoeveel extra benodigde steenslag van $0,03 \times 38.900 = 1.167 \text{ m}^3 = 1970 \text{ ton}$.

De benodigde hoeveelheden steenslag t.b.v. inwassen en filterlaag zijn weergegeven in Tabel 5.

	Huidige ontwerp	Fictief traditioneel ontwerp
Benodigde hoeveelheid steenslag bij aanleg	Referentie	$3.205 \text{ m}^3 = 5.411 \text{ ton}$
Periodiek benodigde hoeveelheid voor onderhoud	n.v.t.	$510 \text{ m}^3 = 861 \text{ ton}$

Tabel 5 Hoeveelheden benodigd steenslag t.b.v. inwassen en filterlaag

Om het verschil in CO₂ uitstoot en MKI-waarde te bepalen is eigenlijk steenslag benodigd, maar dit element zit niet in de database van DuboCalc. Grind en breuksteen zitten echter wel in de database, waarbij breuksteen het meest geschikte element lijkt. Het proces van winning in een groeve, breken, zeven en transport over water en vervolgens per as lijkt veel op dat van steenslag. Grind wordt op een hele andere manier gewonnen op de bodem van de zee of een rivier en lijkt daardoor minder passend. Het inwasmateriaal wordt in deze analyse dus beschouwd als breuksteen van een hele fijne sortering en deze aanname lijkt goed passend bij de werkelijkheid.

De besparing op CO₂ uitstoot en MKI-waarde door het niet hoeven inwassen en de dunnere filterlaag van Verkalit is weergegeven in Tabel 6.

	Huidige ontwerp	Fictief traditioneel ontwerp
Hoeveelheid CO ₂ uitstoot [ton CO ₂ -eq]	Referentie	+ 317
MKI-waarde	Referentie	+ € 95.615

Tabel 6 Resultaten bespaarde hoeveelheid steenslag uit Verkalit vs. Basalton

De periodieke CO₂ uitstoot en MKI-waarde voor het beheer en onderhoud van een ingewassen steenzetting is weergegeven in Tabel 7.

	Huidige ontwerp	Fictief traditioneel ontwerp
Hoeveelheid CO ₂ uitstoot in levenscyclus van 50 jaar [ton]	Nul	+ 50
MKI-waarde in levenscyclus van 50 jaar	Nul	+ € 15.214

Tabel 7 Resultaten periodiek beheer en onderhoud van ingewassen steenzetting

Verskil in grondbalans tussen Verkalit en Basalton

Uitgaande van hetzelfde dijkprofiel, komt er bij de traditionele steenzetting van Basalton meer zand vrij ten opzichte van de steenzetting met Verkalit. De Basaltonzuilen zijn immers hoger en de filterlaag is 3 cm dikker.

Het extra vrijkomende zandvolume bedraagt $(10.400 \times 0,10) + (28.500 \times 0,15) + (38.900 \times 0,03) = 6.482 \text{ m}^3$ en resulteert per saldo in een hoeveelheid minder te leveren zand. Een en ander wordt verderop in de rapportage verrekend met een hoeveelheid extra benodigd zand bij de vergelijking tussen de huidige en traditionele asfaltbekleding. De extra handelingen die benodigd zijn om dit zand bijvoorbeeld tijdelijk in depot te zetten zijn hierbij verwaarloosd.

Hergebruik asfaltbekleding als funderingslaag vs. afvoeren asfaltbekleding

Bij de dijkversterking Lauwersmeerdijk is nauwelijks oud asfalt van de bestaande bekleding afgevoerd. De oude asfaltbekleding is gefreesd, daarna gemengd in een verhouding 75% freesasfalt met 25% zand en weer teruggebracht als funderingslaag onder de nieuwe asfaltbekleding. Doordat een funderingslaag van asfaltgranulaat een veel stevigere ondergrond biedt dan verdicht zand, is de nieuw aangebrachte bekleding van waterbouwasfalt 15 cm dik in plaats van de gebruikelijke 20 cm bij aanleg op zand.

Bespaarde hoeveelheid waterbouwasfalt door dunnere laagdikte

Waterbouwasfaltbeton zit als element in de database van DuboCalc, waardoor deze analyse een stuk eenvoudiger is dat de vergelijking tussen Verkalit en Basalton. Bij de dijkversterking is in totaal 83.500 m^2 nieuw asfalt van 15 cm dikte aangebracht. Uitgaande van een soortelijk gewicht van 2350 kg/m^3 , is er $0,05 \times 2,35 \times 83.500 = 9.811$ ton nieuw waterbouwasfalt bespaard. Het verschil in CO_2 en MKI-waarde is weergegeven in Tabel 8.

	Huidige ontwerp	Fictief traditioneel ontwerp
Hoeveelheid CO_2 uitstoot [ton $\text{CO}_2\text{-eq}$]	Referentie	+ 618
MKI-waarde	Referentie	+ € 70.831

Tabel 8 Resultaten bespaarde hoeveelheid waterbouwasfaltbeton door dunnere laagdikte

Benodigde brandstof voor hergebruik als funderingsmateriaal vergeleken met afvoeren

In plaats van het gefreesde asfalt af te voeren, is ervoor gekozen om vrijwel al het oude asfalt te hergebruiken als funderingsmateriaal. Om deze handelingen in DuboCalc met elkaar te vergelijken is een inschatting gemaakt van de hoeveelheid benodigde (blauwe) diesel om de werkzaamheden uit te voeren. Er zijn hierbij diverse aannames gedaan m.b.t. transportafstand en brandstofverbruik, die in voorliggend rapport zijn opgenomen.

De hoeveelheid af te voeren materiaal bij geen hergebruik bedraagt $91.035 \text{ m}^2 \times 0,20 \text{ m} = 18.207 \text{ m}^3$ oud waterbouwasfalt. Daarnaast is 1.872 m^3 aan opensteenafval hergebruikt wat bij de af te voeren hoeveelheid wordt opgeteld. Bij het huidige ontwerp is echter toch nog 2.257 m^3 aan onbruikbare asfaltblokken afgevoerd. Om de vergelijking zuiver te houden wordt deze hoeveelheid er weer vanaf gehaald.

De vergelijkbare af te voeren hoeveelheid bedraagt daarmee $18.207 + 1.872 - 2.257 = 17.822 \text{ m}^3$. Bij afvoer wordt er vanuit gegaan dat de gehele hoeveelheid naar de dichtstbijzijnde asfaltcentrale wordt afgevoerd. Deze bevindt zich in Kootstertille op een rijafstand van 30 km enkele reis. Er is aangenomen dat één vrachtwagen 15 m^3 materiaal meeneemt, de afstand retour aflegt en een gemiddeld brandstofverbruik heeft van 1:2,5. Dit resulteert in een benodigde hoeveelheid fossiele diesel van $(17.822 / 15) \times (60 / 2,5) = 28.515 \text{ Liter}$. Uitgaande van $0,78 \text{ kg/L}$ resulteert dit in een hoeveelheid fossiele diesel van $(28.515 \times 0,78) / 1000 = 22,24 \text{ ton}$ fossiele diesel.

In plaats van te afvoeren is het materiaal hergebruikt en ook dat vraagt de nodige handelingen met bijbehorend brandstofverbruik van blauwe diesel. Om het gefreesde asfalt als funderingslaag aan te brengen wordt aangenomen dat het materiaal gemiddeld 2,5 keer wordt overgeslagen door een graafmachine. Dit in verband met tijdelijk in depot zetten, mengen met zand en terugplaatsen. In totaal is een hoeveelheid van 17.882 m^3 hergebruikt materiaal in de funderingslaag verwerkt. Uitgaande van een kraanproductie van $750 \text{ m}^3/\text{dag}$ geeft dit $(17.882 / 750) \times 8 \times 2,5 = 475$ draaiuren. Met een brandstofverbruik van 20 L/uur resulteert dit in een hoeveelheid benodigde blauwe diesel van 9.500 Liter . In gewicht betreft dit $(9.500 \times 0,78) / 1000 = 7,41 \text{ ton}$ blauwe diesel.

In Tabel 9 is de CO₂-uitstoot en MKI-waarde van zowel hergebruik als afvoer weergegeven.

	Huidige ontwerp, blauwe diesel	Fictief traditioneel ontwerp, fossiele diesel	Bespaard
CO ₂ in [ton CO ₂ -eq]	7	122	115
MKI-waarde	€ 2.772	€ 21.452	€ 18.680

Tabel 9 Resultaten hergebruik van gefreesd waterbouwasfalt

Bij bovenstaande beschouwing moet opgemerkt worden dat afgevoerd asfalt ook kan worden hergebruikt. Het vrijgekomen asfalt kan in de asfaltcentrale na behandeling weer worden toegepast in nieuwe asfaltmengsels. Het feit dat afvoeren van oud asfalt indirect ook leidt tot hergebruik van materialen is in deze analyse buiten beschouwing gelaten.

Verskil in grondbalans tussen hergebruik en afvoeren gefreesde asfalt

In het geval er geen asfalt zou zijn hergebruikt, had er een bepaald zandvolume moeten worden geleverd om hetzelfde dijkprofiel te realiseren. De funderingslaag is aangebracht over een oppervlak van 83.500 m^2 , 20 cm dik en heeft een zandpercentage van 25%. Als het zandpercentage 100% zou zijn geweest, had er dus een hoeveelheid van $83.500 \times 0,20 \times 0,75 = 12.525 \text{ m}^3$ zand geleverd moeten worden. Omdat er bij een andere vergelijking juist weer extra zand beschikbaar komt bij het fictieve traditionele ontwerp, worden de hoeveelheden met elkaar verrekend in hoofdstuk 'Grondbalans'.

Blauwe diesel vs. Fossiele diesel

Bij de dijkversterking Lauwersmeerdijk is als eis meegenomen dat de aannemer alleen blauwe diesel mag gebruiken in het werk en geen fossiele diesel. Blauwe diesel wordt geproduceerd uit biomassa en restafval. Een andere naam voor blauwe diesel is HVO100, wat staat voor 'Hydrotreated Vegetable Oil'.

In het jaar 2020 is er 17.500 liter blauwe diesel verbruikt op het werk. De gehele uitvoering duurt 2 jaar, waardoor totaal ongeveer 35.000 liter nodig is voor het project. In een traditionele dijkversterking zou dezelfde hoeveelheid nodig zijn geweest, alleen dan was de brandstof 'gewone' fossiele diesel geweest.

In DuboCalc zijn zowel blauwe diesel (HVO) als fossiele diesel aanwezig in de database. In de toelichting van HVO wordt vermeld dat dit item voor baggerschepen geldt. Er wordt aangenomen dat het verschil in verbranding tussen baggerschepen en materieel op de dijk verwaarloosbaar is, waardoor het ook toepasbaar is voor materieel op de dijk. De blauwe diesel moet ingevoerd worden in massa in plaats van liters. Aangenomen een dichtheid 0,78 ton/m³ wordt de massa $(35.000 \times 0,78) / 1000 = 27$ ton.

De besparing op CO₂ uitstoot en MKI-waarde door het gebruik van blauwe diesel (type “Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) (2016)” in DuboCalc) in plaats van fossiele diesel is weergegeven in Tabel 10.

	Huidige ontwerp	Fictief traditioneel ontwerp	Bespaard
CO ₂ [in ton CO ₂ -eq]	26	150	124
MKI-waarde	€ 10.114	€ 26.330	€ 16.216

Tabel 10 Resultaten blauwe diesel vs. fossiele diesel

Omdat in hoofdstuk ‘Hergebruik asfaltbekleding als funderingslaag vs. afvoeren asfaltbekleding’ al een verbruik van 7,41 ton blauwe diesel is meegenomen voor de aanleg van de funderingslaag onder het huidige asfalt, dient deze hoeveelheid van de totale 27 ton afgehaald te worden, wanneer alle resultaten bij elkaar opgeteld worden. Voor de cumulatieve CO₂ en MKI besparing wordt dus een hoeveelheid blauwe en fossiele diesel van 19,59 ton met elkaar vergeleken. De bijbehorende CO₂ en MKI-waardes zijn weergegeven in Tabel 11.

	Huidige ontwerp	Fictief traditioneel ontwerp	Bespaard
CO ₂ [in ton CO ₂ -eq]	19	109	90
MKI-waarde	€ 7.342	€ 19.184	€ 11.842

Tabel 11 Resultaten blauwe diesel vs. fossiele diesel t.b.v. cumulatieve resultaten

Naast een gereduceerde CO₂-equivalent en lagere MKI-waarde leidt de verbranding van blauwe diesel ook tot aanzienlijk minder fijnstof en een reductie van 9% in stikstofuitstoot. Deze beide stoffen zijn niet meegenomen in de MKI-waarde, waardoor dit effect niet is terug te vinden in Tabel 10 en Tabel 11. De MKI-waarde is hierbij dus niet allesomvattend.

Cementvrije doorgroeistenen vs. standaard doorgroeistenen

Bij de dijkversterking Lauwersmeerdijk is geen cement toegepast in het beton van de doorgroeistenen. In plaat van cement is voor deze stenen een geopolymer toegepast.

In DuboCalc zijn zowel de standaard doorgroeitegels als cementvrije doorgroeitegels in de database aanwezig. Het totale oppervlak aan doorgroeistenen bedraagt 9.250 m², wat voor beide varianten gelijk is.

De besparing op CO₂ uitstoot en MKI-waarde door het gebruik cementvrije doorgroeitegels (type “Graselement S type L 12 cm Reduton - v.d. Bosch Beton b.v.” in DuboCalc) in plaats van standaard doorgroeistenen is weergegeven in Tabel 12.

	Huidige ontwerp	Fictief traditioneel ontwerp	Bespaard
CO ₂ [in ton CO ₂ -eq]	234	487	253
MKI-waarde	€ 26.625	€ 44.037	€ 17.412

Tabel 12 Resultaten cementvrije vs. standaard doorgroeitegels

Toepassing gepenetreerde breuksteen vs. los gestorte breuksteen

Bij de dijkversterking was in eerste instantie een los gestorte breuksteenoverlaging in het ontwerp opgenomen. Dit is uiteindelijk geoptimaliseerd door te kiezen voor het penetreren van de breuksteen met gietasfalt. Door het penetreren is een kleinere breuksteensortering mogelijk, waardoor minder breuksteen nodig is.

Het huidige ontwerp bestaat uit 4.300 ton breuksteen met een sortering van 5/40 kg, wat is ingegoten met 2.130 ton gietasfalt. Het oppervlak van de breuksteenoverlaging is ca. 12.400 m². Bij een bestorting van losse breuksteen zou een sortering 40-200 kg nodig zijn (aannee gebaseerd op benodigde sortering op Ameland, wat een vergelijkbare situatie was), met een benodigde dikte van $2D_{n50} = 0,85$ m. De hoeveelheid benodigde breuksteen bij een losse bestorting is hiermee $12.400 \times 0,85 = 10.540$ m³, wat overeenkomt met ca. 18.000 ton losse breuksteen.

In DuboCalc zijn alle benodigde materialen aanwezig in de database. Zowel de breuksteen als het gietasfalt zijn gericht op waterbouw-toepassing. Alles wordt in de eenheid 'ton' ingevoerd, zoals hierboven berekend. Het huidige ontwerp bestaat dus uit 4.300 ton breuksteen en 2.130 ton gietasfalt, terwijl voor de traditionele los gestorte breuksteen is 18.000 ton benodigd is.

De besparing op CO₂ uitstoot en MKI-waarde door het gebruik van gepenetreerde breuksteen (type "Breuksteen (waterbouw)" en "Gietasfalt, waterbouw" in DuboCalc) in plaats van los gestorte breuksteen is weergegeven in Tabel 13. In het huidige ontwerp is het aandeel van de breuksteen 252 ton en van het gietasfalt 310 ton CO₂ uitstoot. Het aandeel in de MKI-waarde is respectievelijk €75.983 en €35.523 voor breuksteen en gietasfalt.

	Huidige ontwerp	Fictief traditioneel ontwerp	Bespaard
CO ₂ [in ton CO ₂ -eq]	562	1.054	493
MKI-waarde	€ 111.506	€ 318.069	€ 206.563

Tabel 13 Resultaten gepenetreerde breuksteen vs. los gestorte breuksteen

Hergebruik oude koperslakblokken vs. afvoeren koperslakblokken en aanvoeren breuksteen

Bij de dijkversterking is ervoor gekozen om de vrijkomende koperslakblokken niet af te voeren, maar deze te verwerken in de kreukelberm. Het niet hoeven afvoeren van de blokken levert een besparing op in brandstof. Daarnaast worden de koperslakblokken gebruikt in de berm waar anders breuksteen voor nodig was. In het huidige ontwerp hoeft er dus minder breuksteen aangeleverd te worden.

Het oppervlak van de vrijgekomen koperslakblokken is 23.500 m², bij een gemiddelde dikte van 0,22 m komt dit overeen met 5.170 m³. Voor het afvoeren van de blokken wordt naar het transport gekeken. Een aanname hierbij is dat een vrachtwagen met een capaciteit van 15 m³ is gebruikt, welke een brandstofverbruik heeft van 2,5 km/L. Door de afgelegen ligging van de Lauwersmeerdijk is aangenomen dat de transportafstand 30 km enkele reis is, een retour rit is dus 60 km. Voor het afvoeren van de koperslakblokken moet de vrachtwagen $5.170 / 15 = 345$ keer op en neer rijden. De hoeveelheid verbruikte brandstof wordt hiermee $345 \times 60 / 2,5 = 8272$ L.

De hoeveelheid breuksteen die bespaard is, is gelijk aan het volume koperslakblokken maal de dichtheid van breuksteen. Dit komt neer op $5.170 \times 2,6 = 13.500$ ton breuksteen. In DuboCalc wordt de afvoer van koperslakblokken in een traditioneel ontwerp meegenomen als liters diesel, waarbij de

verbruikte hoeveelheid gelijk is aan 8272 L. De hoeveelheid breuksteen die nodig zou zijn bij het traditionele ontwerp is 13.500 ton breuksteen.

De besparing op CO₂ uitstoot en MKI-waarde door het hergebruik van oude koperslakblokken in plaats van het afvoeren van koperslakblokken en aanvoeren van breuksteen is weergegeven in Tabel 14.

	Huidige ontwerp	Fictief traditioneel ontwerp
Hoeveelheid CO ₂ uitstoot [ton CO ₂ -eq]	Referentie	+ 826
MKI-waarde	Referentie	+ € 244.775

Tabel 14 Resultaten hergebruik koperslakblokken i.p.v. afvoeren en aanvoeren breuksteen

Grondbalans

Tijdens de uitvoering is er nauwelijks grond afgevoerd van het projectterrein. Er is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van een gesloten grondbalans.

In voorgaande hoofdstukken is berekend dat er verschillen zitten in benodigde en vrijkomende hoeveelheden grond bij de vergelijking tussen het huidige en traditionele ontwerp. Zo komt er bij het traditionele ontwerp 6.482 m³ zand vrij bij de aanleg van Basalton t.o.v. Verkalit.

Bij een traditioneel ontwerp van de asfaltbekleding zou echter 13.647 m³ zand moeten worden aangevoerd t.o.v. het huidige ontwerp. De hoeveelheid volgt uit de 17.822 m³ asfaltmateriaal die bij het traditionele ontwerp extra zou zijn afgevoerd, minus 4.175 m³ volume van een 5 cm dikkere asfaltbekleding.

Om het bij de hooflijnen te houden zijn deze twee getallen met elkaar verrekend, resulterend in een te leveren hoeveelheid zand voor de traditionele dijkversterking van $17.822 - 4.175 - 6.482 = 7.165$ m³. In werkelijkheid zal de vrijkomende grond onder de Basaltonzuilen niet direct verwerkt kunnen worden onder de nieuwe asfaltbekleding. Extra handeling zoals het overzetten van grond en het tijdelijk opslaan in depots zijn bij deze analyse verwaarloosd.

Het per as leveren van zand vanuit een zandwinning is in DuboCalc als element aanwezig, met een default transportafstand van 25 km. Omdat de Lauwersmeerdijk vrij afgelegen ligt, is de transportafstand verhoogd naar 40 km. Waar het zand in werkelijk vandaan had moeten gekomen is niet bekend.

De CO₂ uitstoot en MKI-waarde van het leveren van 7.165 m³ zand over een transportafstand van 40 km is weergegeven in Tabel 15.

	Huidige ontwerp	Fictief traditioneel ontwerp
Hoeveelheid CO ₂ uitstoot [ton CO ₂ -eq]	Referentie	+ 277
MKI-waarde	Referentie	+ € 31.632

Tabel 15 Resultaten extra grondaanvoer bij een traditioneel ontwerp

Resultaten

In dit hoofdstuk worden voorgaande resultaten samengevat, waarbij onderscheid is gemaakt tussen een vergelijking in CO₂ uitstoot en de MKI-waarde.

Vergelijking CO₂ equivalent

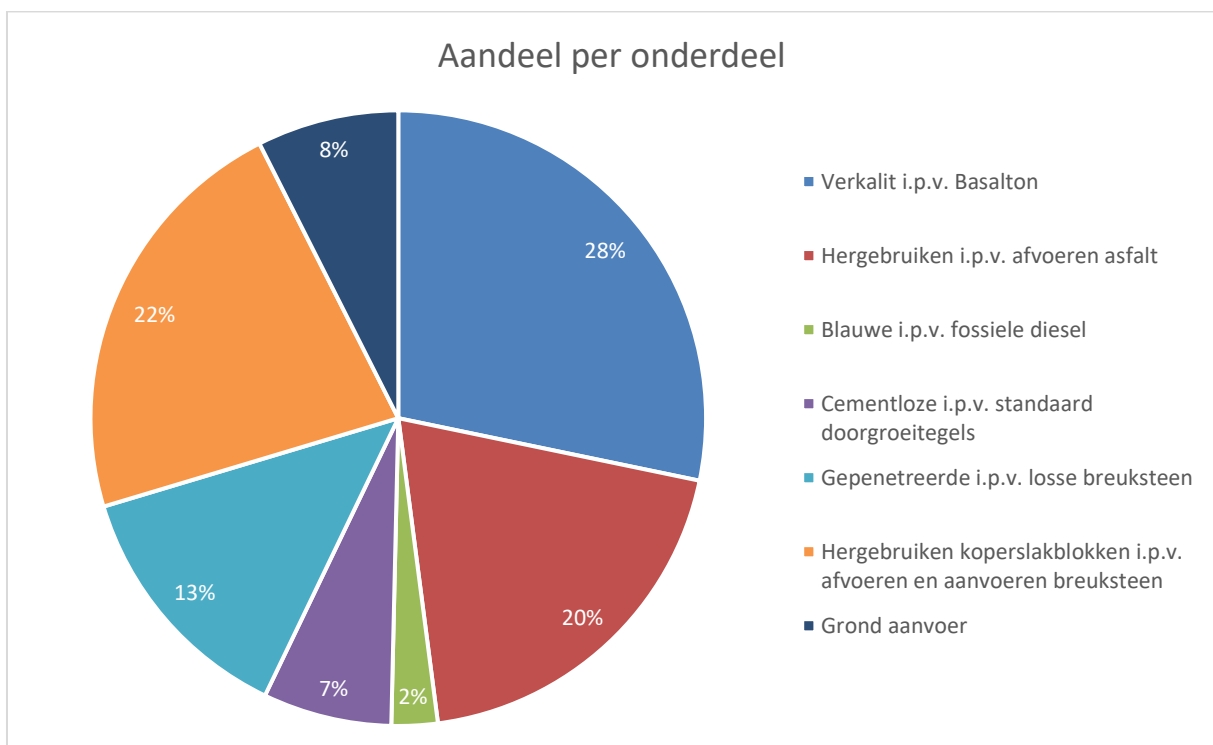
Tabel 16 geeft de hoeveelheid CO₂ die per onderdeel is bespaard in het huidige ontwerp t.o.v. een traditionele versterking. Hieruit volgt dat het toepassen van Verkalit als steenbekleding de grootste reductie in CO₂ tot gevolg heeft. Daarnaast zijn ook in het hergebruiken van koperslakblokken en gefreesd asfalt significante besparing te zien.

	CO ₂ bespaard in [ton CO ₂ -eq]
Verkalit i.p.v. Basalton	1052*
Hergebruiken i.p.v. afvoeren asfalt	733
Blauwe i.p.v. fossiele diesel	90
Cementloze i.p.v. standaard doorgroeitegels	253
Gepenetreerde i.p.v. losse breuksteen	493
Hergebruiken koperslakblokken i.p.v. afvoeren en aanvoeren breuksteen	826
Grond aanvoer	277
Totaal	3.724

Tabel 16 Totale hoeveelheid CO₂ die in het huidige ontwerp is bespaard

* deze waarde is inclusief 50 ton CO₂-equivalent t.g.v. periodiek inwassen in 50 jaar levensduur.

Onderstaand figuur geeft de resultaten van Tabel 16 in een cirkeldiagram weer. Dit geeft duidelijk inzicht in de onderdelen met de grootste invloed.



Figuur 6 Grafische verdeling van de CO₂ besparing per onderdeel

Vergelijking MKI-waarde

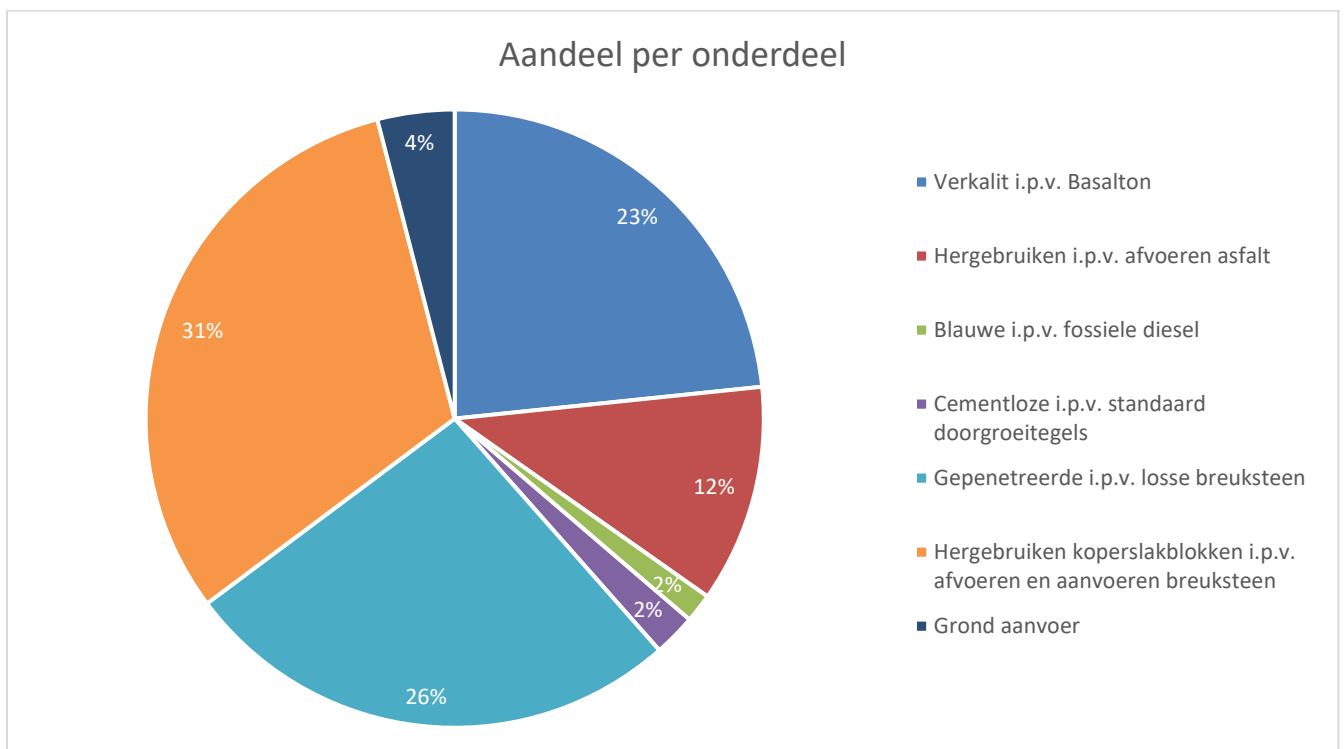
Tabel 17 geeft de MKI-waarde die per onderdeel is bespaard in het huidige ontwerp t.o.v. een traditionele versterking. Hieruit volgt dat het hergebruik van de koperslabblokken en het niet hoeven aanvoeren van nieuw breuksteen de grootste impact heeft op het verschil in de MKI-waarde. Daarnaast is ook het effect van het gebruik van Verkalit-blokken en het toepassen van gepenetreerde breuksteen relatief groot.

	MKI bespaard
Verkalit i.p.v. Basalton	€ 183.375*
Hergebruiken i.p.v. afvoeren asfalt	€ 89.511
Blauwe i.p.v. fossiele diesel	€ 11.842
Cementloze i.p.v. standaard doorgroeitegels	€ 17.412
Gepenetreerde i.p.v. losse breuksteen	€ 206.563
Hergebruiken koperslabblokken i.p.v. afvoeren en aanvoeren breuksteen	€ 244.775
Grond aanvoer	€ 31.632
Totaal	€ 785.110

Tabel 17 Overzicht van de MKI-waarde die in het huidige ontwerp is bespaard

* deze waarde is inclusief € 15.214 t.g.v. periodiek inwassen in 50 jaar levensduur

Onderstaand figuur geeft de resultaten van Tabel 17 in een cirkeldiagram weer. Dit geeft duidelijk inzicht in de onderdelen met de grootste invloed.



Figuur 7 Grafische verdeling van de reductie in MKI-waarde per onderdeel

CO₂ en MKI-waarde gehele dijkversterking

Naast een vergelijking van de verschillen tussen het huidige en traditionele ontwerp, is er ook gekeken naar de totale CO₂-equivalent en MKI-waarde van de gehele dijkversterking Lauwersmeerdijk, zoals deze in werkelijkheid is uitgevoerd.

Hiervoor zijn de gebruikte materialen en middelen, met bijbehorende hoeveelheden ingevoerd in DuboCalc. Er is hierbij alleen gekeken naar nieuw geleverde materialen. Het hergebruik van bestaande materialen en het verplaatsen van materialen van en naar tijdelijke depots is beschouwd als inbegrepen bij de totaal verbruikte hoeveelheid blauwe diesel. Aangezien machines op het bouwterrein zijn voorzien van blauwe diesel uit een voorraadtank op de bouwplaats, wordt dit uitgangspunt reël geacht. Daarnaast is de berekening op hoofdlijnen uitgevoerd. Materialen zoals paalhouders en schapengas t.b.v. de afrasteringen zijn verwaarloosbaar geacht en buiten beschouwing gelaten. In Tabel 18 zijn de gebruikte materialen, middelen en hoeveelheden weergegeven bijbehorende CO₂-equivalent en MKI-waarde.

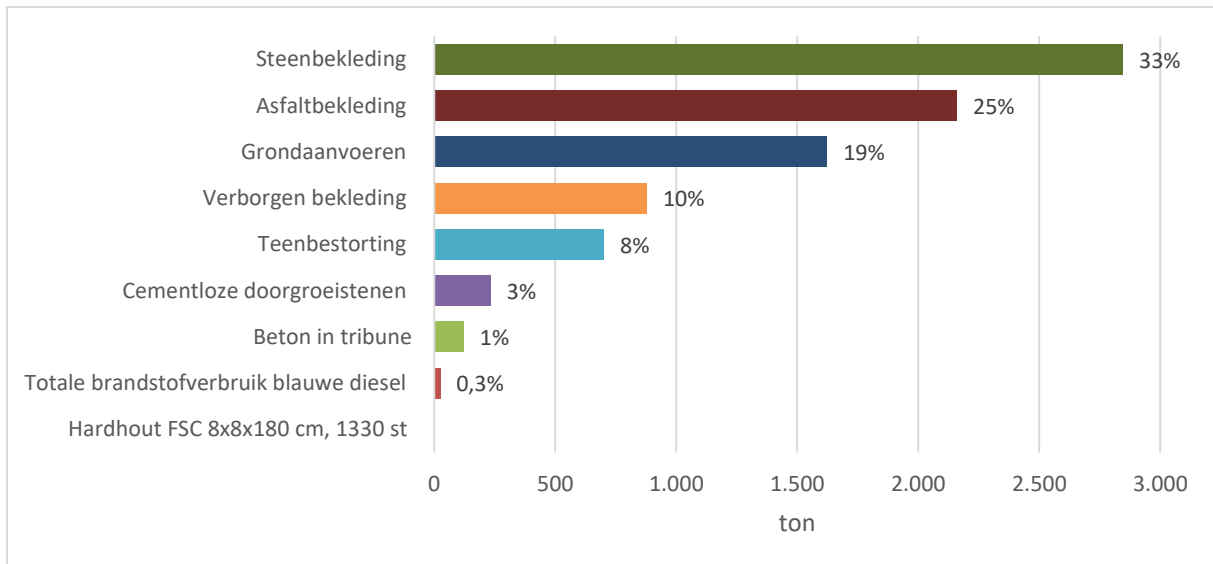
Gebruikte materialen en middelen	Hoeveelheden	CO ₂ equivalent [ton]	MKI-waarde [€]
Asfaltbekleding			
Waterbouwasfaltbeton (WAB)	32.655 ton	2.057	€ 235.754
Kleeflaag tbv slijtlaag	103 ton	43	€ 6.368
Steenslag tbv slijtlaag ³	1.023 ton	60	€ 18.077
Steenbekleding			
Verkalitblokken ¹	33.396 m ²	2.312	€ 244.945
Filterlaag van steenslag ³	4.602 ton	270	€ 81.320
Geotextiel (vlies + weefsel)	40.660 m ²	123	€ 12.911
Steunboord Verkalit ²	260 ton	141	€ 13.230
Teenbestorting			
Breksteen 5-40 kg	4.300 ton	252	€ 75.983
Gietasfalt	2.130 ton	310	€ 35.523
Geotextiel (vlies + weefsel)	3.465 m ²	10	€ 1.100
Breksteen 10-60 kg	2.214 ton	130	€ 39.122
Verborgene bekleding			
Open steenasfalt (OSA)	13.990 ton	825	€ 100.096
Geotextiel (weefsel)	25.275 m ²	54	€ 6.404
Grondaanvoeren			
Aanvoeren klei per as	20.750 m ³	1.061	€ 126.442
Aanvoeren zand per as	11.000 m ³	563	€ 67.030
Cementloze doorgroei stenen	9.250 m ²	234	€ 26.625
Beton in tribune²	225 ton	122	€ 11.449
Hardhout FSC 8x8x180 cm, 1330 st	17 ton	-3	€ 215
Totale brandstofverbruik blauwe diesel	27 ton	26	€ 10.114
Totalen		8.590	€ 1.112.708

Tabel 18 totale CO₂-equivalent en MKI-waarde dijkversterking Lauwersmeerdijk

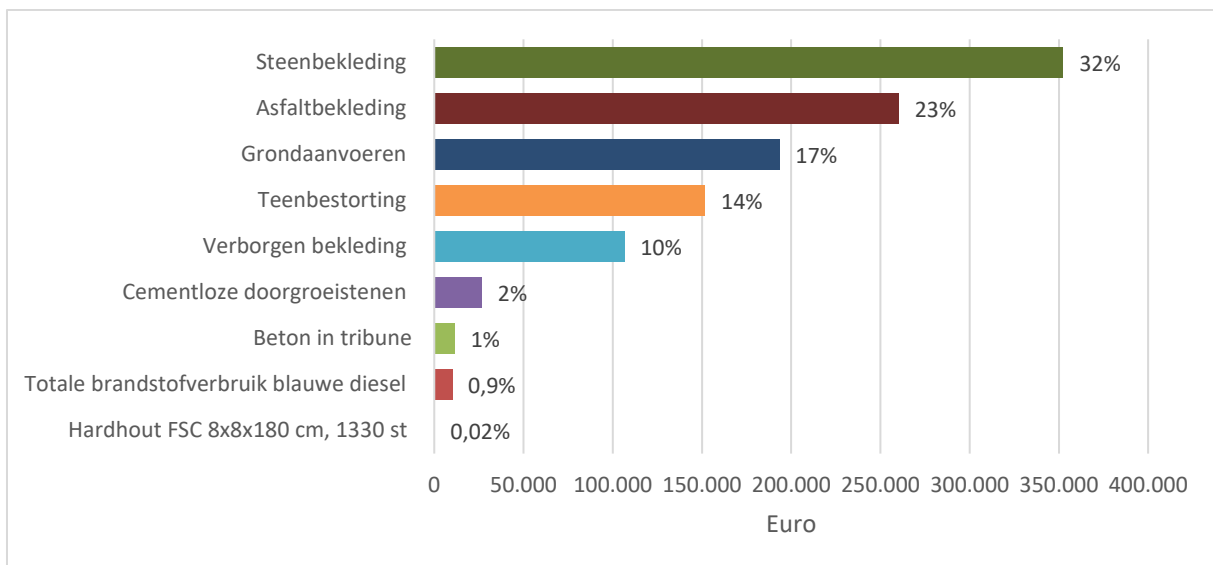
- 1) Voor Verkalitblokken is in DuboCalc uitgegaan van Hydroblocks. De hoeveelheid van 38.900 m² Verkalit met 30 cm dikte en 10% holle ruimte is omgerekend naar 33.396 m² Hydroblocks met 37 cm dikte en 15% holle ruimte. Het materiaalgebruik is namelijk maatgevend voor de klimaatbelasting.
- 2) Voor het steunboord en de tribune is in DuboCalc uitgegaan van betontype "betonband groot".
- 3) Voor de filterlaag onder de Verkalitblokken en de steenslag t.b.v. de slijtlagen is in DuboCalc uitgegaan

De bespaarde CO₂-equivalent bedraagt 30% van het totaal en de bespaarde MKI-waarde 41%.

Voor de overzichtelijkheid zijn de gegevens uit Tabel 18 ook grafisch weergegeven in Figuur 8 en Figuur 9. Deze figuren bevatten de CO₂-equivalent en MKI-waarde per onderdeel.



Figuur 8 Verdeling van de CO₂-equivalent over de verschillende onderdelen van de dijkversterking



Figuur 9 Verdeling van de MKI-waarde over de verschillende onderdelen van de dijkversterking

Het valt op dat de steen- en asfaltbekleding veruit de grootste bijdrage leveren aan de totale emissie. Dit is overigens niet verrassend, omdat de dijkversterking voornamelijk is gericht op het verbeteren van de dijkbekleding. Ook de aanvoer van klei en zand heeft een aanzienlijke bijdrage. Dit onderstreept het belang van een zo goed mogelijk gesloten grondbalans.

Wat eveneens opvalt is de negatieve CO₂-equivalent bij de toepassing van FSC Hardhout. Bij de berekening in DuboCalc wordt er vanuit gegaan dat het hout aan het einde van de levensduur wordt gebruikt als biomassa voor de opwekking van energie. Of dit in werkelijkheid ook gaat gebeuren is niet duidelijk, maar de bijdrage aan het geheel is verwaarloosbaar.

Kosten en baten financieel en duurzaamheid

Om een vergelijking tussen kosten en baten voor zowel financiën als duurzaamheid te kunnen maken is eerst een raming nodig van het fictieve traditionele ontwerp. De uitkomsten van deze raming zijn weergegeven in Tabel 19. Hierin zijn de verschillen tussen het traditionele en huidige ontwerp op geld gezet en afgerond naar duizendtallen. Het betreft dezelfde verschillen die in voorgaande hoofdstukken op CO₂-equivalent en MKI-waarde met elkaar zijn vergeleken.

Aan de raming ligt een vrij uitgebreide berekening ten grondslag die in deze rapportage niet is opgenomen. Enerzijds omdat het aan de doelstellingen van deze rapportage weinig toevoegt, anderzijds omdat diverse prijzen rechtstreeks zijn overgenomen uit de inschrijfstaat van de aannemer.

Verskil tussen traditionele en huidige ontwerp	Prijsverschil met huidige ontwerp
Toepassen van Basalton i.p.v. Verkalit als steenbekleding	+ € 745.000
Inwassen van Basalton t.o.v. niet inwassen Verkalit	+ € 108.000
Aanbrengen van 5 cm dikkere laag waterbouwasfaltbeton	+ € 722.000
Opbrengsten uit afvoeren oude freesasfalt naar asfaltcentrale	- € 145.000
Minderwerk voor niet aanbrengen van het oude freesasfalt als funderingslaag	- € 302.000
Niet hoeven afvoeren van koperslakblokken	+ € 160.000
Losse breuksteen 40-200 kg t.o.v. gepenetreerde breuksteen 5-40 kg	+ € 610.000
Meerkosten cementloze doorgroeistenen t.o.v. standaard doorgroeistenen	- € 17.000
Kosten voor hergebruik grond t.b.v. gesloten grondbalans huidige ontwerp	- € 160.000
Meerkosten voor extra hoeveelheid benodigd zand uit grondbalans	+ € 123.000
Meerkosten blauwe diesel t.o.v. fossiele diesel	- € 9.000
Totaal	+ € 1.835.000

Tabel 19 financiële verschillen tussen het traditionele en huidige ontwerp

De totale kosten voor de huidige dijksterking van de Lauwersmeerdijk bedragen 10,7 miljoen euro. Uit Tabel 19 blijkt dat het beschouwde traditionele ontwerp ruim 1,8 miljoen euro duurder is. Omdat de belangrijkste verschillen voortvloeien uit materiaalbesparing is het geen verrassing dat dit zowel voor de financiën als voor duurzaamheid een positieve uitwerking heeft.

Het voorschrijven van cementvrij beton en blauwe diesel is volledig gedreven door duurzaamheidsdoelstellingen en werkt prijsverhogend. In de schijfdiagrammen is echter duidelijk zichtbaar dat (bij deze dijkversterking) de grootste verschillen in CO₂ en MKI-waardes worden bepaald door ontwerpoptimalisaties die veelal ook prijsverlagend werken. Het verstandig hergebruiken van vrijkomende materialen, het werken met een zo goed mogelijk gesloten grondbalans en het optimaliseren van het ontwerp tot zo weinig mogelijk materiaalgebruik hebben in voorliggende analyse een veel grotere impact op de CO₂ en MKI-waarde dan het voorschrijven van blauwe diesel en cementvrij beton.

Wanneer alleen de toepassing van blauwe diesel wordt beschouwd, kan worden geconcludeerd dat een financiële investering van 9.000 euro heeft geleid tot een verschil in MKI-waarde van 11.842 euro. De financiële kosten wegen o.b.v. deze vergelijking dus op tegen de baten op het gebied van duurzaamheid.

Wanneer alleen de toepassing van cementvrije doorgroeistenen wordt beschouwd, kan worden geconcludeerd dat een financiële investering van 17.000 euro heeft geleid tot een verschil in MKI-waarde van 17.412 euro. De financiële kosten zijn o.b.v. deze vergelijking dus in balans met de baten op het gebied van duurzaamheid.

In beide gevallen moet wel opgemerkt worden dat de MKI-waarde 11-klimaatbelastende stoffen bevat en daarmee niet allesomvattend is. De werkelijke duurzaamheidsbaten liggen daardoor vermoedelijk nog iets hoger.

Er had bij de dijkversterking nog meer CO₂ en MKI-waarde bespaard kunnen worden als er naast cementloze doorgroeistenen ook cementloze Verkalitblokken zouden zijn toegepast. Uit de analyse van doorgroeistenen blijkt een besparing van 48% in CO₂-equivalent en 60% in MKI-waarde. Als deze reductie ook wordt toegepast op de CO₂-equivalent en MKI-waarde van de Verkalitblokken, dan zou er bij de gehele dijkversterking geen 30%, maar 39% op de totale CO₂-uitstoot zijn bespaard. Voor de MKI-waarde zou de besparing van 41% oplopen naar 49%.

Omdat onzekerheden en risico's m.b.t. de levensduur van een cementloze steenbekleding niet voldoende konden worden weggenomen, is uiteindelijk niet gekozen voor de toepassing van een cementloze steenbekleding. Deze onzekerheden gelden ook voor de doorgroeistenen, maar daarvan zijn de risico's voor de waterveiligheid een stuk kleiner.

Conclusies

Het is gebleken dat er diverse bruikbare elementen m.b.t. dijkversterkingen aan DuboCalc v5.1 zijn toegevoegd. Er ontbreekt echter nog wel het een en ander om een nauwkeurige berekening uit te kunnen voeren. In voorliggende analyse geldt dat laatste vooral voor de steenzettingen. Desondanks kan de analyse wel gebruikt worden als richtinggevend voor de bespaarde hoeveelheid equivalente CO₂ uitstoot en de MKI-waarde.

Omdat er in de meeste gevallen aannames en aanpassingen benodigd zijn om de uitgangspunten uit DuboCalc zo goed mogelijk aan te laten sluiten bij de werkelijk, is het raadzaam om alleen de hoofzaken te beschouwen en niet verzand te raken in details. Het 100% passend maken van de analyse is in de meeste gevallen niet mogelijk, mede omdat niet alle parameters in DuboCalc door de gebruiker zijn aan te passen.

Uit de resultaten valt op dat de grootste besparingen op CO₂ en MKI-waardes worden veroorzaakt door de steenzetting, het asfalt, de breuksteen en het hergebruik van de koperslakblokken. De blauwe diesel, cementvrije doorgroeistenen en de grondbalans hebben enige invloed, maar niet significant. De vergelijking tussen de grondbalans van het huidige en het traditionele ontwerp draagt niet veel bij in deze analyse. Dat komt zeer waarschijnlijk, doordat de beschouwd hoeveelheid grondverzet vrij beperkt is.

Voor de uitkomsten van deze analyse is het eigenlijk jammer dat de steenzetting vrij veel bijdraagt, want dit is helaas ook de vergelijking die het meest onnauwkeurig wordt geacht.

Daarnaast valt op dat er forse verschillen tussen het aandeel CO₂ en MKI zitten. Zo draagt de toepassing van gepenetreerde breuksteen 13% bij aan de CO₂ equivalent en 26% aan de MKI-waarde. Dat komt doordat bij de MKI-waarde niet alleen naar CO₂ wordt gekeken, maar ook naar 10 andere factoren die klimaatverandering negatief beïnvloeden. Alle 11 factoren uit de MKI-berekening zijn weergegeven in Figuur 1.

Om enigszins een beeld te krijgen bij de getallen van CO₂-equivalent is het goed om te weten dat de verbranding van 1 liter benzine ca. 3,03 kg CO₂ uitstoot en in 1 liter fossiele diesel ca. 3,47 kg CO₂. De bespaarde CO₂-equivalent van 3.724 ton staat dus gelijk aan de verbranding van 1,23 miljoen liter benzine en 1,07 miljoen liter diesel.

Het Woudagemaal van Wetterskip Fryslân heeft een verbruik van ca. 330 liter stookolie per uur. Van de bespaarde CO₂-uitstoot bij de dijkversterking Lauwersmeerdijk kan het Woudagemaal ruim 3.000 uur draaien, uitgaande van 3,76 kg CO₂ per liter stookolie. Daarbij wordt in totaal 720 miljoen kubieke meter water verpompt, uitgaande van de pompdebiet van 4.000 m³ per minuut.

Ook is te concluderen dat duurzaamheid niet altijd duurder hoeft te zijn. Het slim hergebruiken van vrijkomende materialen en ontwerpen met een gesloten grondbalans hebben in deze analyse een grote impact op de CO₂-uitstoot en MKI-waarde en werken tevens prijsverlagend. In het project zijn cementvrije doorgroeiënten toegepast, evenals blauwe diesel. De financiële meerkosten van deze door duurzaamheid gedreven keuzes wegen in deze situatie op tegen de baten in MKI-waarde.

Bij de huidige dijkversterking is 30% CO₂ bespaard t.o.v. het fictieve traditionele ontwerp en 41% van de totale MKI-waarde.

Aanbevelingen

Aannames en uitgangspunten dienen zo goed mogelijk vastgelegd te worden in de rapportage om de beschouwde situaties navolgbaar te houden. Desondanks is het haast onvermijdelijk dat de resultaten voor meerdere interpretaties vatbaar blijven.

Er staat een nieuwe release van DuboCalc v6.0 gepland. Het is raadzaam om na te gaan of er nieuwe elementen aan de database zijn toegevoegd, die voor voorliggende rapportage relevant zijn.

Het is toeval dat alle drie auteurs uit het DuboCalc-team zelf als waterbouwkundig ingenieur werkzaam zijn bij het Wetterskip en deels betrokken zijn geweest bij het ontwerp van de Lauwersmeerdijk. We hebben ervaren dat dit een groot voordeel is geweest bij de analyse, omdat naast kennis over DuboCalc, zeker ook inhoudelijk kennis van het project noodzakelijk is. Het projectteam van de dijkversterking heeft zeer nuttige informatie verzameld en aangeleverd bij het DuboCalc-team. Het heeft ons inziens enorm geholpen dat beide teams in dit geval dezelfde taal spreken.

Wanneer een DuboCalc-team en projectteam totaal verschillende inhoudelijke expertise hebben, is een zeer goede samenwerking tussen beide teams vereist om een passende DuboCalc-analyse uit te kunnen voeren.