Bijlage H1.5 Ketenanalyse Geotextiel

Van: **Fugro NL Land B.V.**

Datum: **2 juni 2026**

Onderwerp: **Uitkomsten DuboCalc berekeningen bij toepassing van Geotextiel**

Inleiding

Deze memo dient ter begeleiding van de door Fugro uitgevoerde DuboCalc berekeningen voor het ontwerp van de overnachtingshaven. Drie ontwerpen zijn geschematiseerd en de CO^2 uitstoot van deze ontwerpen kan met elkaar worden vergeleken, namelijk:

1. Referentieontwerp Rijkswaterstaat dat bij de aanbestedingstukken is meegeleverd;
2. Het ontwerp van Fugro en Aannemer met open filterconstructie;
3. Het ontwerp van Fugro en Aannemer met geotextiel.

Bovengenoemde ontwerpvarianten zijn verderop nader toegelicht.

In dit document is uitgelegd welke materialen gebruikt zijn in de ontwerpen en welke hoeveelheid voor de materialen. De gebruikte materialen zijn gerelateerd aan een materiaal in de DuboCalc database met verschillende kengetallen, samengevat in de MKI-waarde. MKI staat voor Milieu Kosten Indicator; het prijskaartje (in euro's) van de gecombineerde kosten van verschillende milieueffecten bepaald over de hele levensloop van een object. De CO^2 uitstoot in kg is onderdeel van de MKI en kan worden berekend met behulp van de MKI. Fugro heeft zowel de MKI als de CO^2 uitstoot berekend voor de drie ontwerpen.

Voor de drie ontwerpen zijn de materialen en de uitstoot berekend voor de dijkprofielen van de overnachtingshaven. De strekdammen zijn niet meegerekend. Het ontwerp van deze strekdammen is in alle scenario's identiek, dus de CO^2 uitstoot is gelijk over alle scenario's. Het verschil in CO^2 uitstoot wordt juist duidelijk door de verschillende ontwerpen voor de dijkbekleding; deze verschillen het meest van elkaar. Fugro onderscheidt vier secties in het talud van de dijk; Talud A, B, B1 en C. De bekleding van de secties verschilt in de drie ontwerpen en elk ontwerp heeft zijn eigen milieu-impact.

Op dit moment is de DuboCalc database nog niet volledig. Niet alle materialen of transportmethoden die gebruikt worden voor de inrichting van de overnachtingshaven staan in DuboCalc. In de volgende paragrafen zal per ontwerp toegelicht worden welke keuzes er gemaakt zijn wat betreft materiaalkeuze in DuboCalc. Enkele vaak voorkomende materialen die voorkomen in alle ontwerpen worden hier toegelicht:

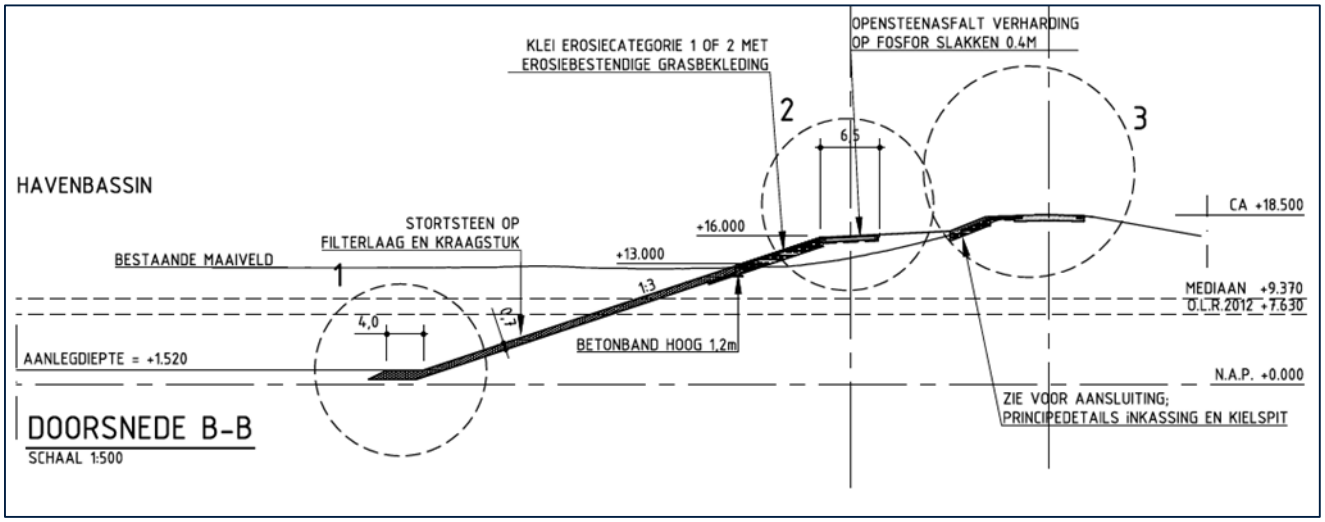
- De drie ontwerpen gebruiken verschillende sorteringen stortsteen. In DuboCalc is hiervoor het materiaal 'breuksteen (waterbouw)' geselecteerd. Er is geen specificatie van gewichtsklassen, maar wel is gespecificeerd dat het materiaal per schip wordt aangevoerd.

- Het transport van klei is in DuboCalc alleen mogelijk als bulk over de weg. Dit is niet naar wens van de opdrachtgever en heeft een hoge CO^2 uitstoot. Voor het transport van grond is wel de transportoptie mogelijk om 'per schip' te selecteren. Gekozen is om bij benadering de MKI-waarde en CO^2 uitstoot van de klei die per schip wordt aangevoerd te berekenen bepaald als het gemiddelde van 'klei per as' en 'grond per schip'.
- Voor teelaarde is 'grond (per schip)' aangehouden als materiaal.
- 'Inzaaien van erosiebestendig graszaad' komt niet voor in de DuboCalc database, ook graszaad zelf niet. Deze post is buiten beschouwing gelaten. Aangenomen wordt dat de het inzaaien van gras en het onderhoud hier van een lage MKI-waarde en CO^2 uitstoot heeft.

In deze memo zijn eerst ramingen weergegeven van de gebruikte materialen van de ontwerpen en de MKI-waarden en uitstoot die hierbij horen. Deze zaken worden eerst beschreven voor het referentieontwerp, vervolgens voor het ontwerp met open filterconstructie en daarna voor het ontwerp met geotextiel. De memo sluit af met de conclusies die getrokken kunnen worden naar aanleiding van dit onderzoek.

1. Referentieontwerp

Het door Rijkswaterstaat verstrekte referentieontwerp betreft een bestorting van stortsteen op een filterlaag met kraagstuk. In tabel 1 is de raming van de gebruikte materialen en de hoeveelheden van de gebruikte materialen te zien. Figuur 1 laat het profiel zien van een dijktraject in het referentieontwerp.



Figuur 1: Profiel dijk sectie B in het referentieontwerp

Tabel 1: Raming materiaalgebruik referentieontwerp

Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid
Kraagstuk	51.550	m2
Geotextiel	34.160	m2
Klemlat 22x50mm	1.290	m1

Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid
Breuksteen 5/40 kg	28.285	tn
Breuksteen 40/200 kg	98.996	tn
Klei erosieklasse 1 of 2	22.351	tn
Teelaarde	3.105	tn
Inzaaien erosiebestendig graszaad	15.522	m2

Voor het geotextiel is gekozen voor polypropyleen weefsel. Dit is het type geotextiel dat gebruikt wordt in de waterbouw. Klemlat staat als zodanig niet in de DuboCalc database. Op basis van de hoeveelheden is een tonnage bepaald, hierbij is uitgegaan van zachthout (vuren). Zachthout met keurmerk is geselecteerd als materiaal in DuboCalc. Omdat het toepassen van hout wordt gezien als het vastleggen van CO^2 is de CO^2 uitstoot negatief voor dit materiaal.

De uitkomsten van de DuboCalc ramingen zijn te zien in tabel 2. De tabel laat het genoemde materiaal zien, de hoeveelheid zoals ingevoerd in DuboCalc, de DuboCalc equivalent van het materiaal, de afstand waarover is vervoerd en de MKI-waarde en CO^2 uitstoot. De resulterende MKI-waarde en CO^2 uitstoot geldt als benchmark voor de andere ontwerpen.

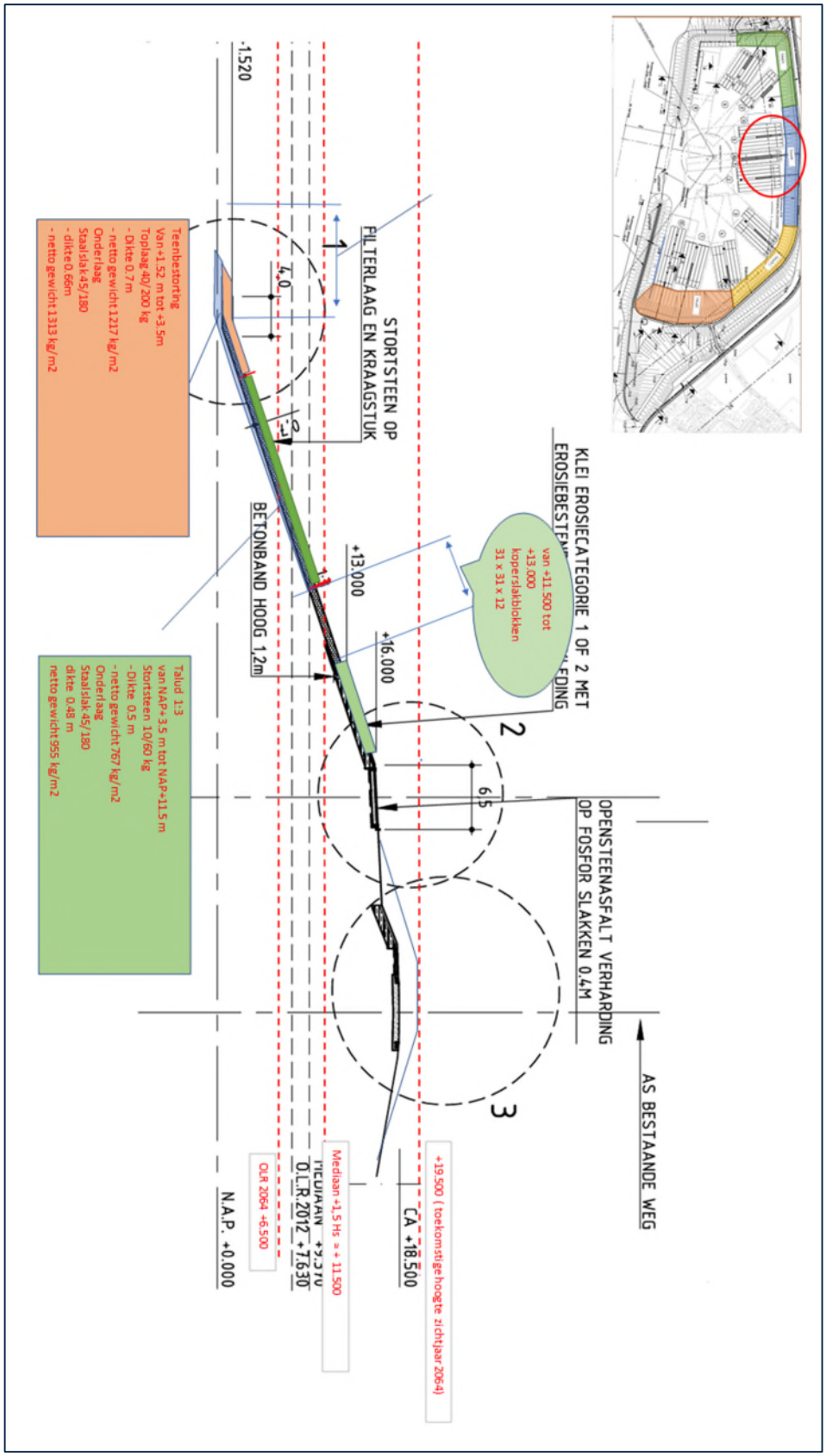
Tabel 2: CO2 uitstoot per materiaal voor het referentieontwerp

Materiaal	Hoeveelheid	DuboCalc equivalent	Afstand (km)	MKI	CO2 (kg)
Kraagstuk	51.550 m2	Kraagstuk van rijshout	100	22.211	620.800
Geotextiel	34.160 m2	Polypropyleen weefsel	50	5.232	65.621
Klemlat 22x50mm	0,65 tn	Zachthout met keurmerk	50	11	-321
Breuksteen 5/40 kg	28.285 tn	Breuksteen (waterbouw)	250	549.474	2.056.248
Breuksteen 40/200 kg	98.996 tn	Breuksteen (waterbouw)	250	1.923.129	7.196.758
Klei erosieklasse 1 of 2	22.351 tn	Klei (per as) / grond (per schip)	150	28.505	242.578
Teelaarde	3.105 tn	Grond (per schip)	25	4.576	35.294
Inzaaien erosiebestendig graszaad	-	-	-	-	-
Totaal				**2.533.138**	**10.216.978**

In bijlage 1 is grafisch te zien wat verhoudingsgewijs de materialen zijn met de hoogste MKI-waarden en/of de hoogste CO^2 uitstoot.

2. Ontwerp met open filterconstructie

Het ontwerp met een open filter constructie zonder geotextiel betreft een ontwerp zonder kraagstuk. De bekleding bestaat volledig uit een filter constructie. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van staalslakken en koperslakblokken. Deze restproducten van de metaalindustrie kunnen toegepast worden als bestorting. Hoewel deze restproducten metalen uitlogen is de milieubelasting lager dan de productie en aanvoer van nieuwe breuksteen. De raming van het materiaalgebruik voor het ontwerp met een open filterlaag is te zien in tabel 3, het ontwerp staat in figuur 2.



Figuur 2: Profiel dijk sectie B in het ontwerp met open filterconstructie

Tabel 3: Raming materiaalgebruik ontwerp met filterlaag

Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid
Staalslakken 45-180 mm	54.992	tn
Breuksteen 10/60 kg	29.937	tn
Breuksteen 40/200 kg	35.262	tn
Koperslakblokken	4.174	tn
Grauwacke 5-40 mm	1.983	tn
Klei erosieklasse 1 of 2	61.539	tn
Teelaarde	9.846	tn
Inzaaien erosiebestendig graszaad	22.792	m2

De koperslakblokken worden toegepast op het deel van de kering waar de golfaanvallen het zwaarst zijn (van NAP +11,5 m tot +13,0 m) zie figuur 2. Dit figuur laat ook zien dat de filterlaag bestaat uit een onderlaag van circa 0,5 m – 0,7 m staalslak 45/180 en een toplaag van 0,7 m stortsteen 40/200 in de teen en 0,5 m stortsteen 10/60 in het talud. Voor dit ontwerp wordt ook 15.400 ton stortsteen uit de omgeving hergebruikt van te slopen kribben en een ander werk. Dit is meegenomen in de berekening van de MKI-waarde en CO^2 uitstoot van de stortsteen.

De MKI-waarden en CO^2 uitstoot van de gebruikte materialen voor dit ontwerp zijn te vinden in tabel 4.

Tabel 4: CO2 uitstoot per materiaal voor het ontwerp met open filterconstructie

Materiaal	Hoeveelheid	DuboCalc equivalent	Afstand (km)	MKI	CO2 (kg)
Staalslakken 45-180 mm	54.992 tn	Staalslakken (waterbouw)	70	141.469	922.222
Breuksteen 10/60 kg	29.937 tn	Breuksteen (waterbouw)	250	296.869	1.151.273
Breuksteen 40/200 kg	35.262 tn	Breuksteen (waterbouw)	250	685.011	2.563.458
Koperslakblokken	4.174 tn	Hoogoven slakkenmengsel (waterbouw)	400	18.533	137.776
Grauwacke 5-40 mm	1.983 tn	Breuksteen (waterbouw)	250	38.522	144.159
Klei erosieklasse 1 of 2	61.539 tn	Klei (per as) / grond (per schip)	150	78.482	667.889
Teelaarde	9.846 tn	Grond (per schip)	25	8.925	68.830
Inzaaien erosiebestendig graszaad	-	-	-	-	-
Totaal				**1.267.810**	**5.655.607**

Voor de staalslakken is in DuboCalc gekozen voor ‘staalslakken (waterbouw)’. Deze slakken worden per schip aangevoerd. Koperslakblokken staan niet als zodanig in DuboCalc, hierom is gekozen om ‘Hoogoven slakkenmengsel (waterbouw)’ te gebruiken. Deze worden ook per schip aangevoerd. Voor de Grauwacke was geen goed equivalent te vinden behalve ‘breuksteen (waterbouw)’. Dit scenario bevat beduidend meer klei dan het referentieontwerp. Het klei is nodig voor de filterconstructie die

wordt toegepast. Zoals eerder is beschreven is de MKI-waarde en de CO^2 uitstoot hiervan bepaald a.d.h.v. de DuboCalc database materialen 'klei (per as)' en 'grond (per schip)'.

In bijlage 2 is te zien wat verhoudingsgewijs de materialen zijn met de hoogste MKI-waarden en/of de hoogste CO^2 uitstoot.

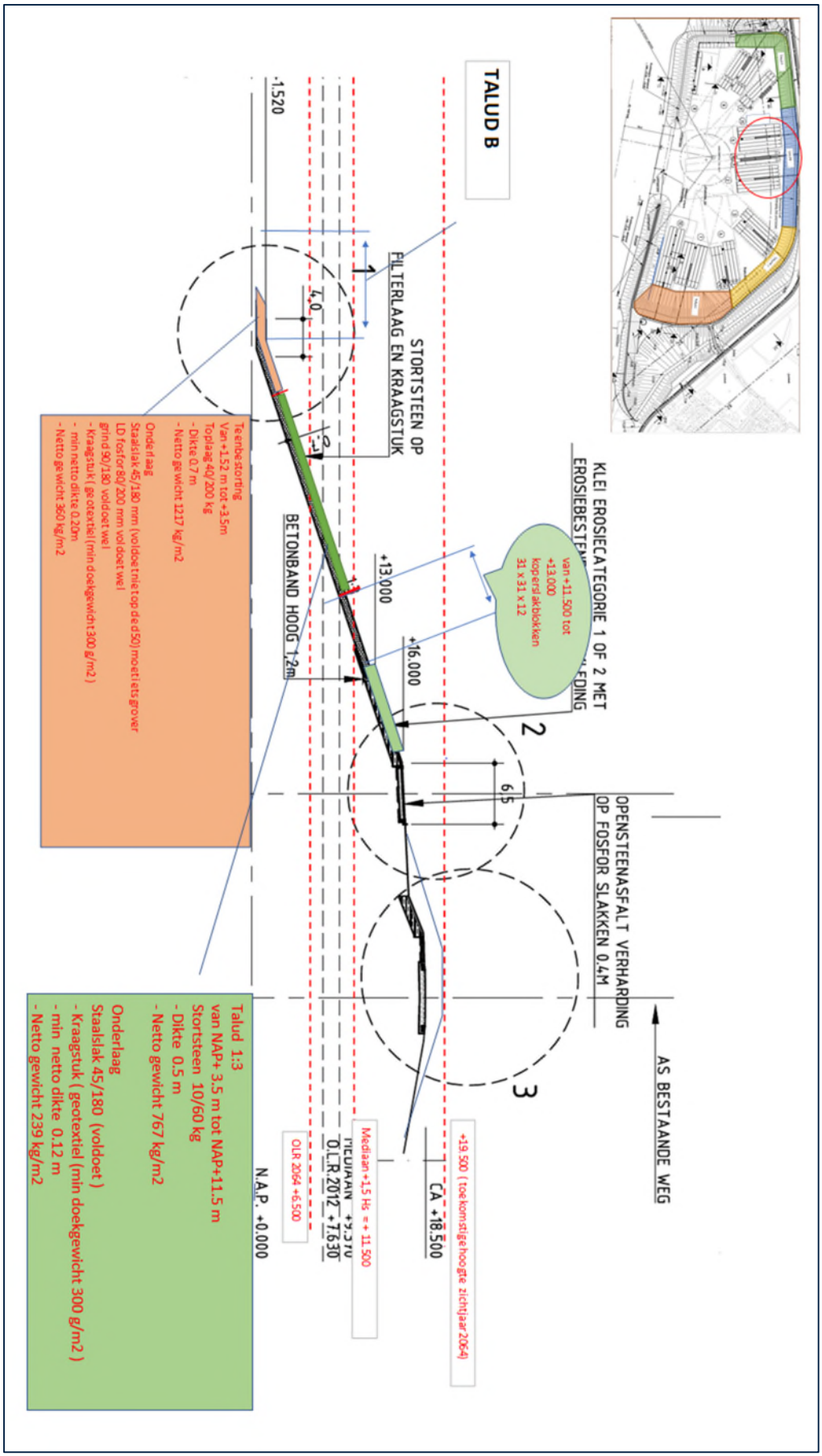
3. Ontwerp met geotextiel

Het ontwerp met geotextiel betreft een ontwerp met kraagstuk. Dit ontwerp is grotendeels identiek aan dat van de variant met een open filterconstructie. Het voornaamste verschil is dat de bekleding bestaat uit een bestorting op een kraagstuk waarbij gebruik gemaakt wordt van staalslakken en koperslakblokken. Deze restproducten van de metaalindustrie kunnen toegepast worden als bestorting. Hoewel deze restproducten metalen uitlogen is de milieubelasting lager dan de productie en aanvoer van nieuwe breuksteen. De raming van het materiaalgebruik voor het ontwerp met geotextiel is te zien in tabel 5.

Tabel 5: Raming materiaalgebruik ontwerp met geotextiel

Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid
Kraagstuk	51.550	m2
Geotextiel	34.160	m2
Klemlat 22x50mm	1.290	m1
Staalslakken 45-180 mm	15.060	tn
Betongranulaat	4.829	tn
Breuksteen 10/60 kg	29.937	tn
Breuksteen 40/200 kg	35.262	tn
Koperslakblokken	4.174	tn
Grauwacke 5-40 mm	1.983	tn
Klei erosieklasse 1 of 2	61.539	tn
Teelaarde	9.846	tn
Inzaaien erosiebestendig graszaad	22.792	m2

De koperslakblokken worden toegepast op het deel van de kering waar de golfaanvallen het zwaarst zijn (van NAP +11,5 m tot +13,0 m) zie Figuur 3. Dit figuur laat ook zien dat de filterlaag bestaat uit een onderlaag van circa 0,2 m betongranulaat of een soortgelijk product in de teen en 0,2 m staalslak 45/180 in het talud en een toplaag van 0,7 m stortsteen 40/200 in de teen en 0,5 m stortsteen 10/60 in het talud.



Figuur 3: Profiel dijk sectie B in het ontwerp met geotextiel

Tabel 6: MKI-waarde en CO2 uitstoot per materiaal voor het ontwerp met geotextiel

Materiaal	Hoeveelheid	DuboCalc equivalent	Afstand (km)	MKI	CO2 (kg)
Kraagstuk	51.550 m2	Kraagstuk van rijshout	100	22.211	620.800
Geotextiel	34.160 m2	Polypropyleen weefsel	50	5.232	65.621
Klemlat 22x50mm	0,65 tn	Zachthout met keurmerk	50	11	-321
Staalslakken 45-180 mm	15.060 tn	Breuksteen (waterbouw)	70	38.742	252.558
Betongranulaat	4.829 tn	Betongranulaat 200 mm	30	17.320	132.322
Breuksteen 10/60 kg	29.937 tn	Breuksteen (waterbouw)	250	296.869	1.151.273
Breuksteen 40/200 kg	35.262 tn	Breuksteen (waterbouw)	250	685.011	2.563.458
Koperslakblokken	4.174 tn	Hoogoven slakkenmengsel (waterbouw)	400	18.533	137.776
Grauwacke 5-40 mm	1.983 tn	Breuksteen (waterbouw)	250	38.522	144.159
Klei erosieklasse 1 of 2	61.539 tn	Klei (per as) / grond (per schip)	150	78.482	667.889
Teelaarde	9.846 tn	Grond (per schip)	25	8.925	68.830
Inzaaien erosiebestendig graszaad	-	-	-	-	-
Totaal				**1.209.857**	**5.804.365**

Voor dit ontwerp wordt ook 15.400 ton stortsteen uit de omgeving hergebruikt van te slopen kribben en een ander werk. Dit is meegenomen in de berekening van de MKI-waarde en CO^2 uitstoot van de stortsteen.

De MKI-waarden en CO^2 uitstoot van de gebruikte materialen voor dit ontwerp zijn te vinden in tabel 6.

Voor de staalslakken is in DuboCalc gekozen voor ‘staalslakken (waterbouw)’. Deze slakken worden per schip aangevoerd. Koperslakblokken staan niet als zodanig in DuboCalc, hierom is gekozen om ‘Hoogoven slakkenmengsel (waterbouw)’ te gebruiken. Deze worden ook per schip aangevoerd. Voor de Grauwacke was geen goed equivalent te vinden behalve ‘breuksteen (waterbouw)’. Voor betongranulaat is uitgegaan van de DuboCalc equivalent ‘Betongranulaat 200mm’. De transportwijze in DuboCalc is ‘per as’, de optie ‘per schip’ is niet mogelijk. De MKI-waarde en CO^2 uitstoot zal in werkelijkheid lager zijn omdat het materiaal dan wel per schip wordt vervoert. Dit scenario bevat beduidend meer klei dan het referentieontwerp. Het klei is nodig voor de filterconstructie die wordt toegepast. Zoals eerder is beschreven is de MKI-waarde en de CO^2 uitstoot hiervan bepaald a.d.h.v. de DuboCalc database materialen ‘klei (per as)’ en ‘grond (per schip)’.

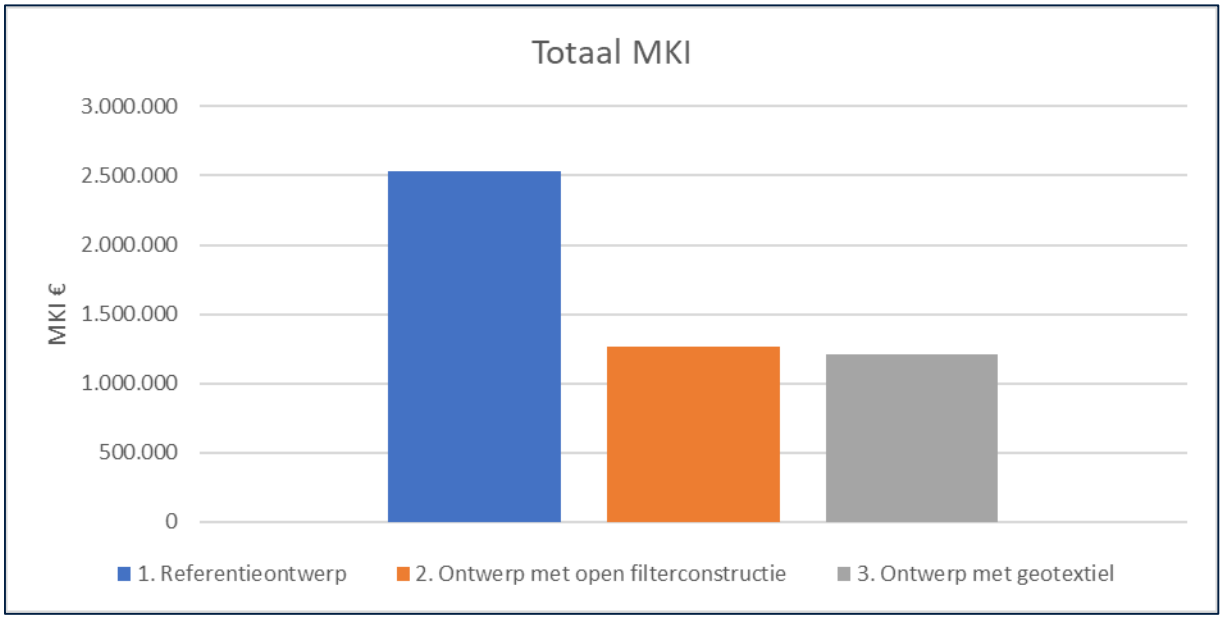
In bijlage 3 is te zien wat verhoudingsgewijs de materialen zijn met de hoogste MKI-waarden en/of de hoogste CO^2 uitstoot.

4. Conclusies en aanbevelingen

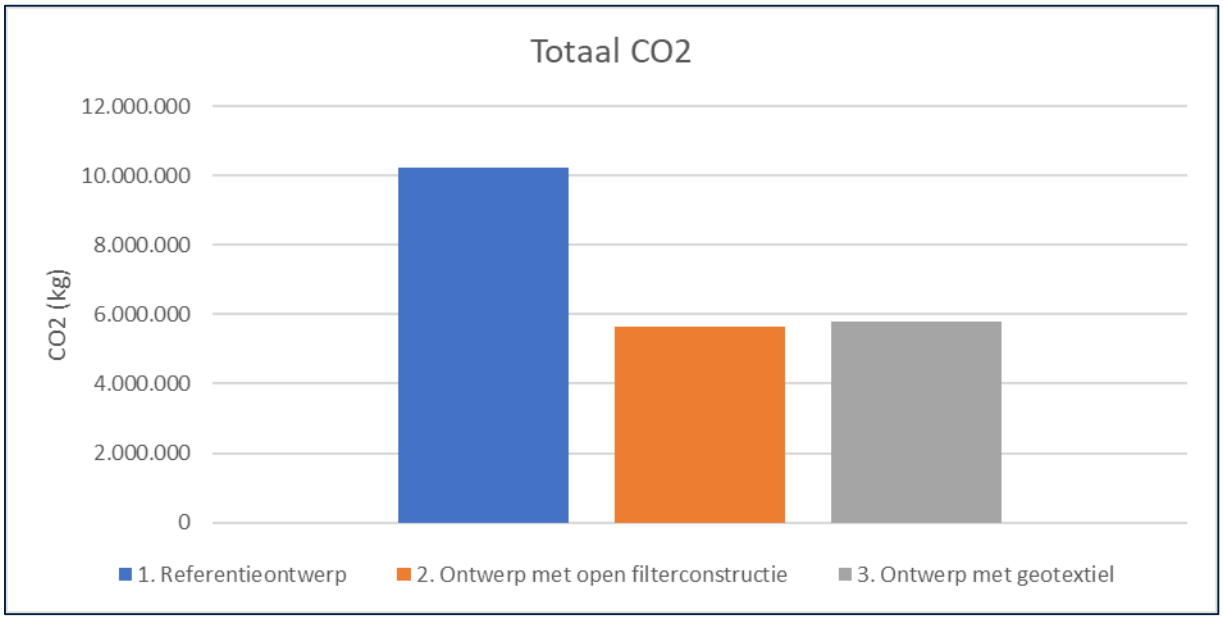
In deze memo zijn de MKI-waarde en CO^2 uitstoot van drie ontwerpen met elkaar vergeleken: het referentieontwerp, het Fugro ontwerp met open filterconstructie en het Fugro ontwerp met geotextiel.

Conclusies

In figuur 4 en figuur 5 zijn respectievelijk de totale MKI waarde van de drie ontwerpen en de totale CO2 uitstoot van de drie ontwerpen weergegeven.



Figuur 4: Totale MKI-waarden voor de drie ontwerpen



Figuur 5: Totale CO^2 uitstoot voor de drie ontwerpen

In tabel 7 staan de totale MKI, de totale CO^2 uitstoot en de MKI en CO^2 uitstoot ten opzichte van het referentieontwerp.

Tabel 7: MKI-waarden en CO2 uitstoot voor de drie ontwerpen ten opzichte van elkaar

Ontwerp	Totaal MKI (€)	MKI afname t.o.v. referentie ontwerp (%)	MKI besparing t.o.v. referentie ontwerp in (€)	Totaal CO^2 uitstoot (kg)	CO^2 uitstoot afname t.o.v. referentie ontwerp (%)
Referentieontwerp	2.533.138	-	-	10.216.978	-
Open filterconstructie	1.267.810	50%	1.265.328	5.655.607	45%
Geotextiel	1.209.857	52%	1.323.281	5.804.365	43%

Dus de grootste besparing in MKI wordt kan worden bereikt als het ontwerp met geotextiel wordt gekozen. **Ten opzichte van het referentieontwerp is de reductie dan 52% en 43%, voor respectievelijk de MKI-waarde en de CO^2 uitstoot.** De grootste besparing in CO^2 uitstoot wordt kan worden bereikt als het ontwerp met geotextiel wordt gekozen. **Ten opzichte van het referentieontwerp is de reductie dan 50% en 45%, voor respectievelijk de MKI-waarde en de CO^2 uitstoot.**

De verschillen tussen het ontwerp met geotextiel en het ontwerp met open filterconstructie zijn klein. Het maakt niet veel uit welk model van de twee gekozen wordt.

Aanbevelingen

De grootste besparing in MKI-waarde en CO^2 uitstoot komt door het toepassen van ander bestortingsmateriaal dan stortsteen. Door het gebruik van slakken in plaats van stortsteen worden deze waarden veel lager. In het referentieontwerp is bestorting relatief gezien voor 985% en 91% verantwoordelijk voor de MKI-waarde en de CO^2 uitstoot. In het Fugro ontwerp met open filter constructie is dit 93% en 87% en in het Fugro ontwerp met geotextiel is dit 91% en 75% (totale bestorting: stortsteen en slakken). Hierbij wordt ook vermeld dat stortsteen in DuboCalc een erg lage transportbelasting heeft van 0,07 MKI per ton/km. Deze waarde is 8-10 keer zo hoog voor andere materialen. In de realiteit zullen deze waarden dichter bij elkaar liggen en heeft stortsteen een hogere MKI-waarde en CO^2 uitstoot.

Aanbevolen wordt om met de beheerder van DuboCalc contact op te nemen over enkele materialen in de DuboCalc database, zoals de hiervoor genoemde transport uitstoot voor steenbestorting en het ontbreken van een optie om aan te geven dat klei per schip wordt aangevoerd.

5. Update Ketenanalyse

5.1 Update Ketenanalyse Geotextiel 24 april 2023

De methodiek van Geotextiel is na het opstellen van de Ketenanalyse Geotextiel niet in projecten toegepast omdat deze methodiek bij onze opdrachtgevers niet als een duurzame oplossing wordt ervaren vanuit het oogpunt van herwinbaarheid van materiaal. Deze Ketenanalyse wordt door Fugro als relevant beschouwd en blijft vooralsnog gehandhaafd waarbij de kans op toepassing naar verwachting komende jaren zal gaan toenemen, door ontwikkeling van bio-degradable geotextielen.

5.2 Update Ketenanalyse Geotextiel 29 maart 2024

Met toepassing van de **Ketenanalyse 'Geotextiel'** (RC-215-2) is voor een studie naar 3 **varianten dijkontwerp** voor een door RWS aangeleverd referentieproject een CO2 Reductie in het ontwerp door Fugro voorgesteld met een omvang van **4.412** Ton CO2 door middel van toepassing van geotextiel.

5.3 Update Ketenanalyse Geotextiel 7 maart 2025

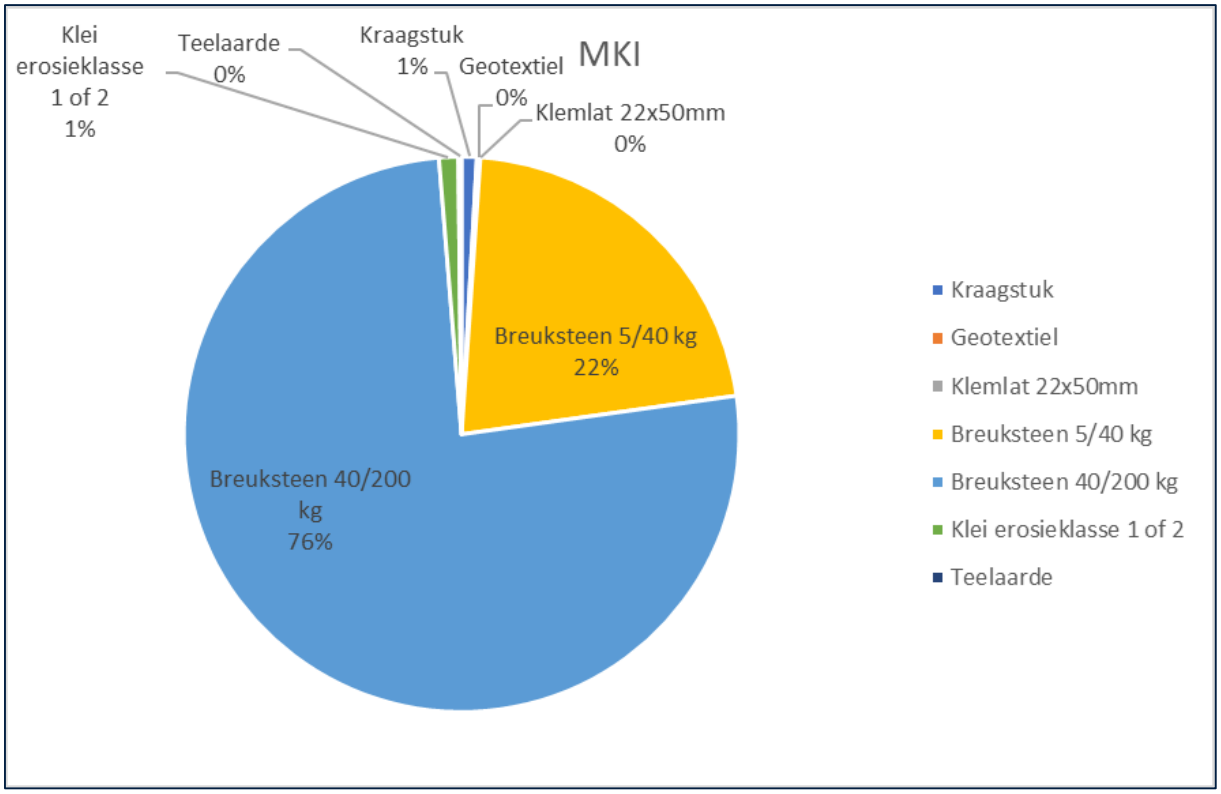
De methodiek van Geotextiel is na het opstellen van de Ketenanalyse Geotextiel in 2024 niet in projecten toegepast.

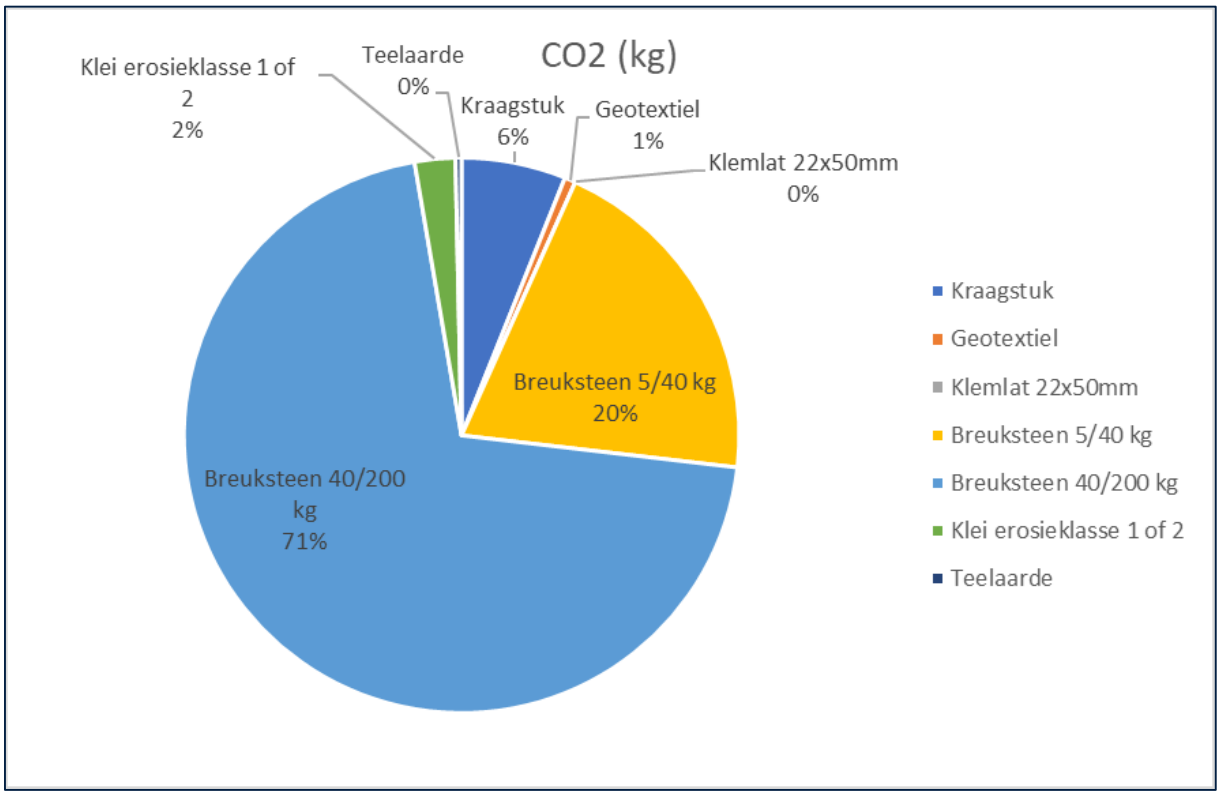
5.4 Update Ketenanalyse Geotextiel 2 juni 2026

Deze ketenanalyse gaf inspiratie binnen de tender IJsselmeerdijken. De aannemerscombinatie waarbij Fugro aangesloten was, heeft de tender echter niet gewonnen, waardoor deze aanpak geen verdere toepassing heeft gekregen. Bovendien bleek de uitgevoerde ketenanalyse sterk projectspecifiek, waardoor deze onder de geldende randvoorwaarden niet direct overdraagbaar was naar andere projecten.

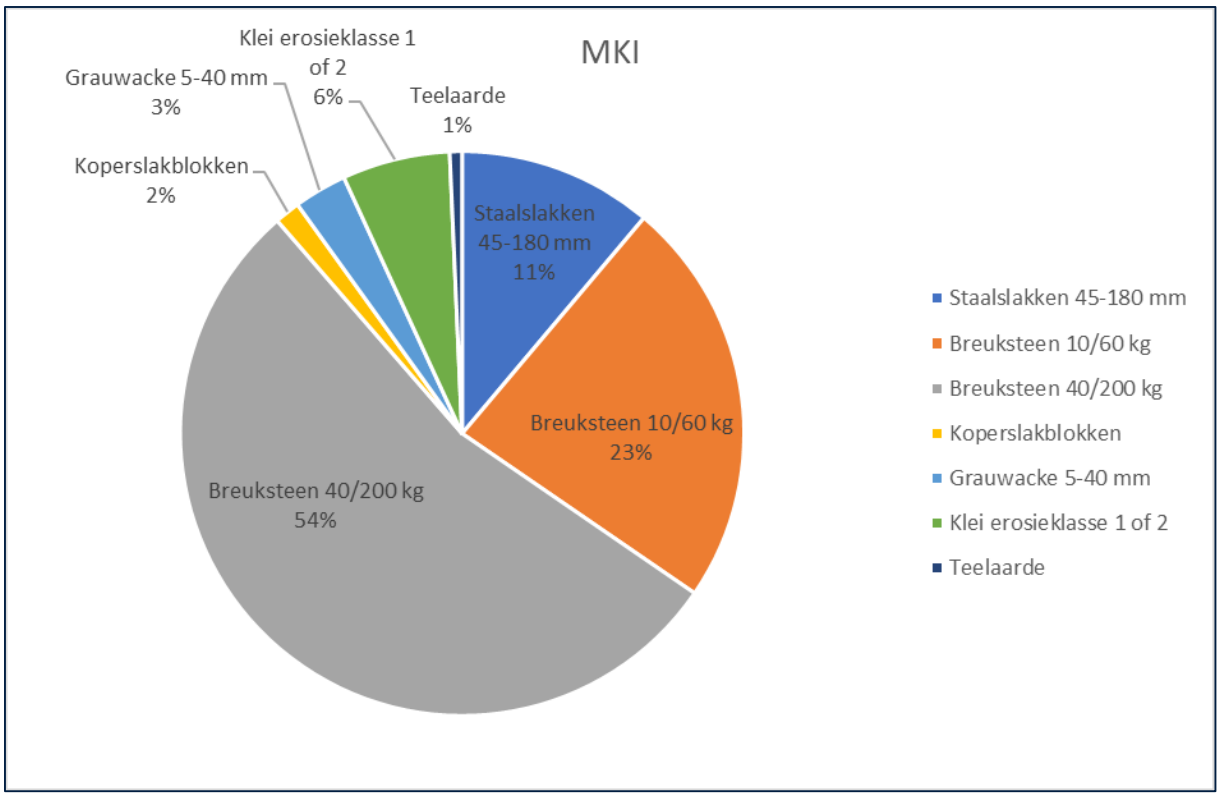
Bijlagen

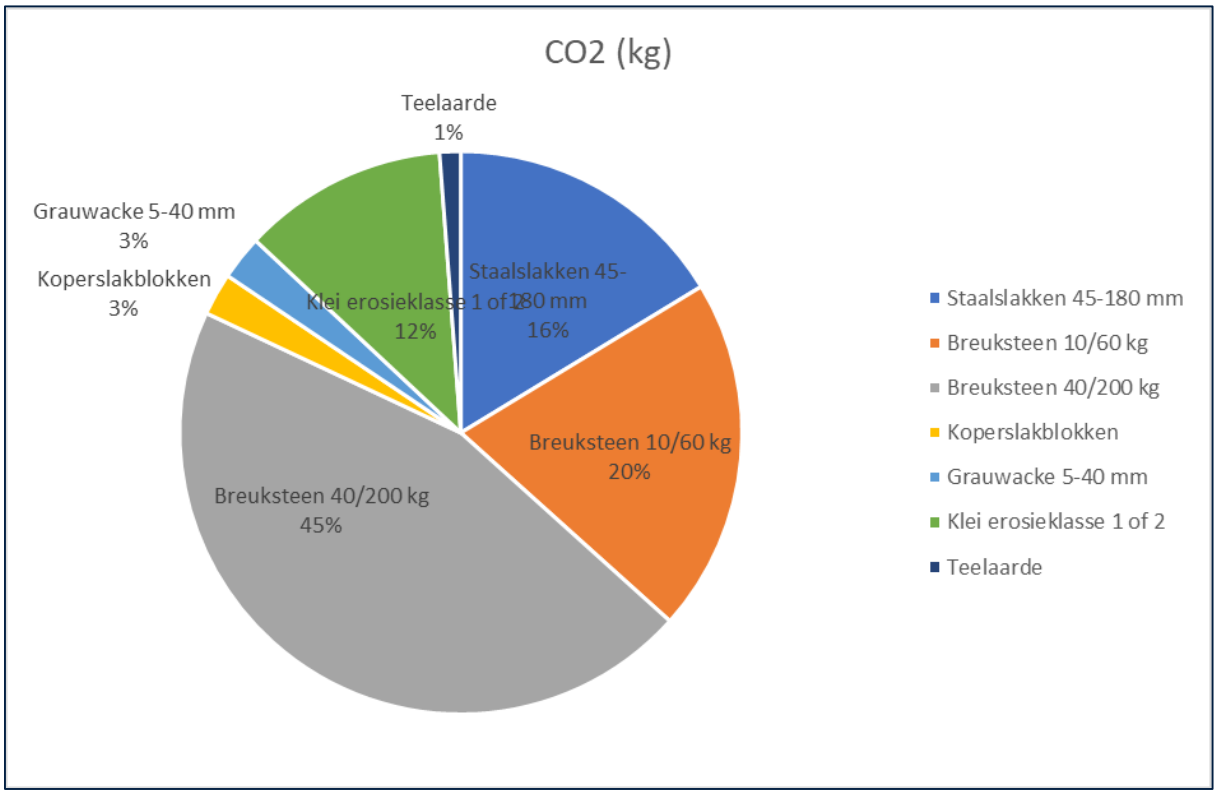
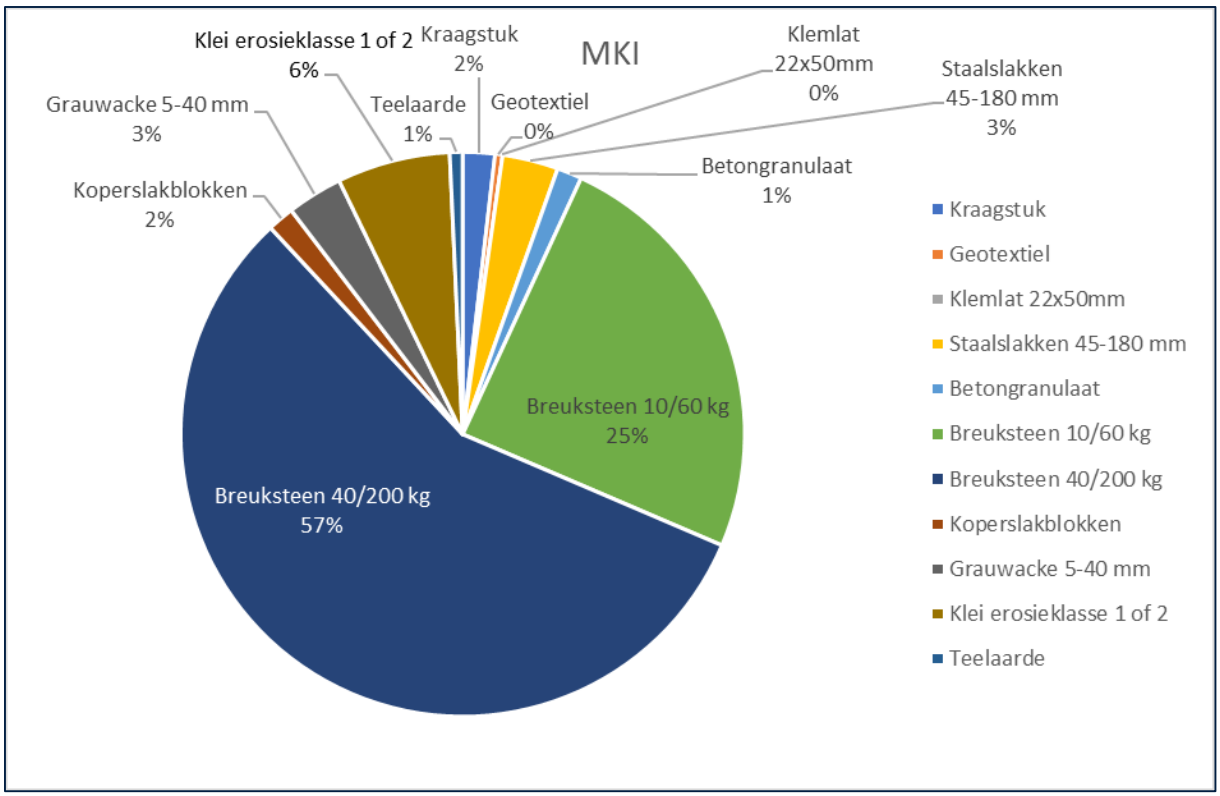
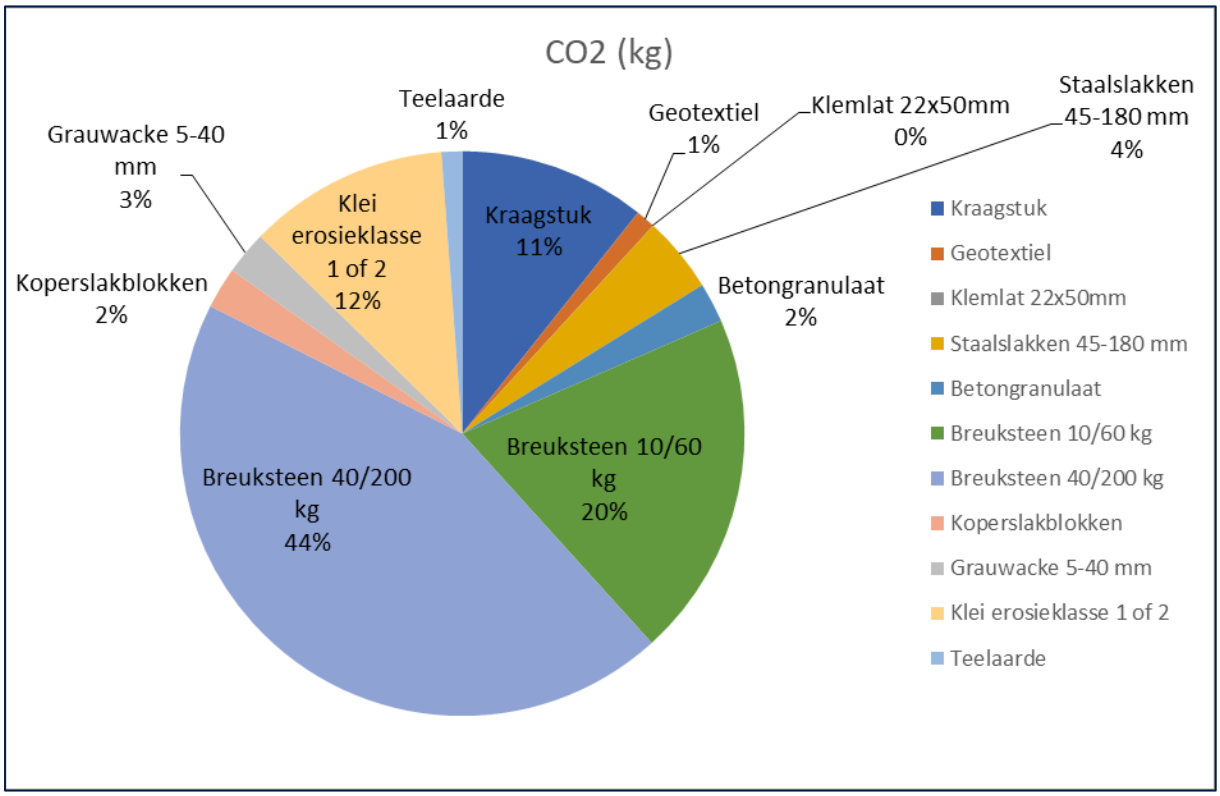
Bijlage 1: Verdeling van MKI en CO^2 naar materiaal in het referentieontwerp





Bijlage 2: Verdeling van MKI en CO^2 naar materiaal in het ontwerp met open filterconstructie





Bijlage 3: Verdeling van MKI en CO^2 naar materiaal in het ontwerp met geotextiel