

FUGRO GEOSERVICES B.V.

CO₂ Prestatieladder

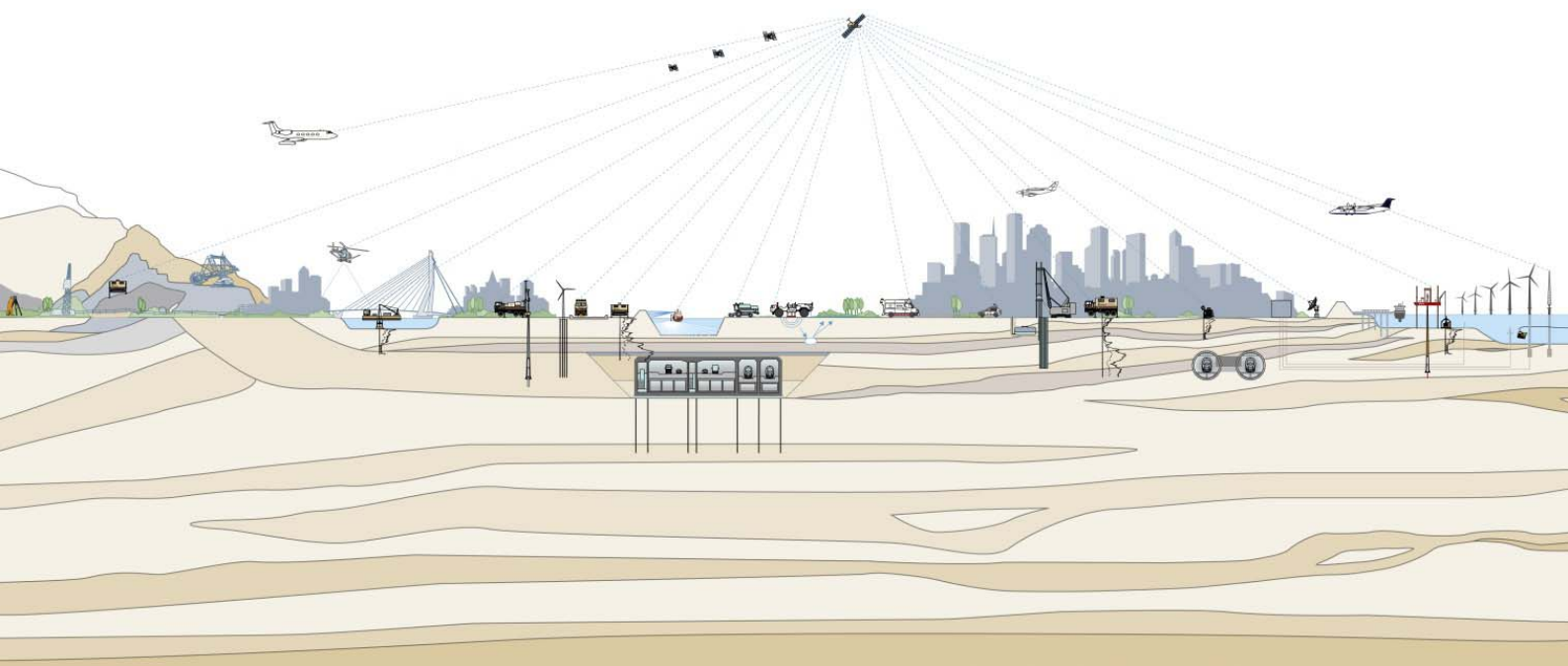
Bijlage H1.2 – Ketenanalyse 100 meter steilranddijk

Afdeling Waterbouw

Datum: 25 april 2017



Versie 1.1



INHOUDSOPGAVE

1.	INLEIDING	3
2.	METHODIEK.....	5
2.1.	Functionele eenheid en scope	5
2.2.	Ketenomschrijving en systeemgrenzen	6
2.3.	CO ₂ -berekeningen en validatie	7
2.4.	Ketenpartners.....	8
3.	RESULTATEN	9
3.1.	Productiefase	9
3.2.	Transportfase	9
3.3.	Bouwfase	11
3.4.	Resultaten	15
3.5.	Onzekerheden.....	17
4.	CONCLUSIES.....	18

1. INLEIDING

Fugro GeoServices heeft een ketenanalyse van 100 meter steilranddijk uitgevoerd in Limburg. Deze ketenanalyse is opgesteld om nader inzicht te krijgen in de mogelijke CO₂-besparing als gevolg van het hergebruik van zoveel mogelijk van het lokaal materiaal. Deze ketenanalyse zal worden voorgelegd aan de aannemer die de opdracht uitvoert (combinatie Mooder Maas: Dura Vermeer en Ploegam) en de opdrachtgever (Provincie Limburg) met als doel deze bewust te maken van de invloed die de keuze voor hergebruik van materialen heeft op de CO₂-emissies.

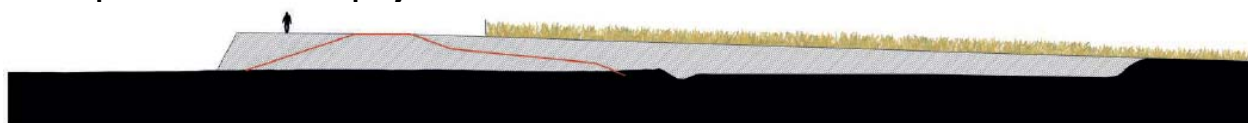
De analyse is gebaseerd op een bestaand project: Gebiedsontwikkeling Ooijen Wanssum (GOW). Binnen dit project wordt circa 18 km nieuwe groene dijken aangelegd om aan de wettelijke eisen te voldoen voor de veiligheid tegen overstromen. Vanuit de bredere projectdoelstelling ten aanzien van het verhogen van de landschappelijke kwaliteit van het gebied, is het dijkontwerp gebaseerd op het concept van de (Limburgse) steilranddijk. Deze dijk wordt volledig opgebouwd uit gebiedseigen materiaal, wat vrijkomt bij het graven van nevengeulen voor de waterstandsdeling in de Maas. Daarenboven worden grote binnendijkse aanvullingen aan dit dijkprofiel gerealiseerd, waarop agrarisch medegebruik mogelijk is. Ten opzichte van het klassieke dijkprofiel wat als referentiedijk is doorgerekend, zijn er twee belangrijke voordelen:

- Voor de opbouw van de klassieke dijk is externe aanvoer van klei noodzakelijk, de steilranddijk kan volledig uit gebiedseigen grond worden opgebouwd;
- In de klassieke dijk gaat minder grond, zodat een groot deel van het materiaal uit de te ontgraven geulen afgevoerd zal moeten worden, bij de steilranddijk wordt gestreefd naar een volledig gesloten grondbalans.

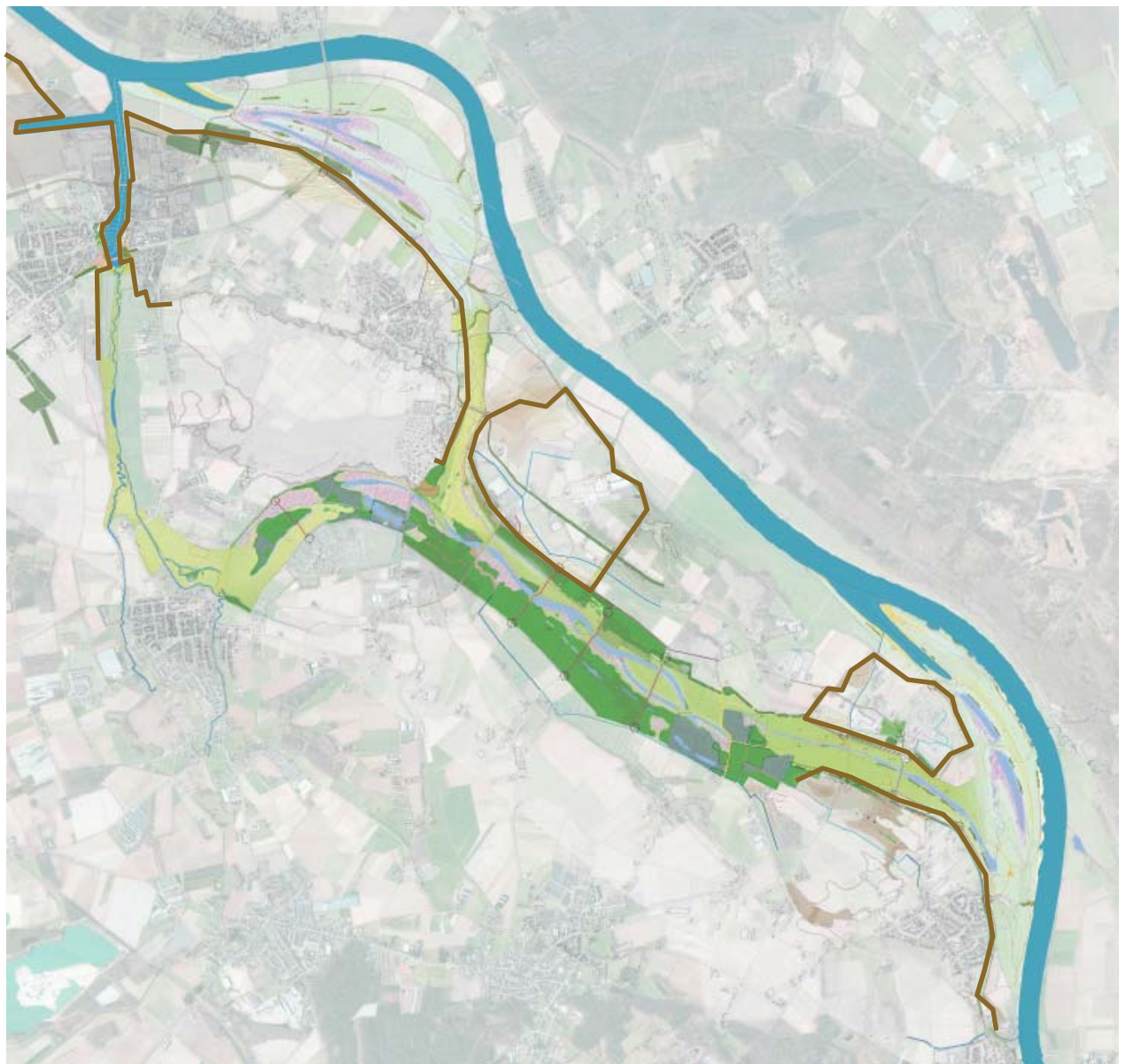
De analyse is uitgevoerd op basis van de gehele achttien kilometer dijk en daarna vertaald naar honderd meter dijk voor zowel het Mooder Maas ontwerp (steilranddijk) als het referentieontwerp (klassieke dijk). Deze vertaling naar honderd meter dijk is gemaakt om vergelijking met andere projecten eenvoudiger te kunnen maken. Als ingenieursbureau kan Fugro GeoServices B.V. invloed uitoefenen op het ontwerp en het materiaalgebruik van dijken. Vanuit de wens om circulair en met een gesloten grondbalans te ontwerpen is er een grond gestuurd ontwerp opgesteld, waarin al de vrijkomende materialen aan de functionele onderdelen van de dijk zijn toegekend. In het referentie ontwerp wordt wel materiaal aangevoerd.



Deze ketenanalyse is opgesteld in het kader van eis 4.A.1 van het CO₂-Prestatieladder handboek 3.0 en conform de structuur van de Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard van het Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol).

Ontwerp van Mooder maas project:


Figuur 1: Steilranddijk, verholen waterkering met natuurlijk (steilrand) uiterlijk en flauw binnentalud met agrarisch gebruik



Figuur 2: Gebiedsinrichting Ooijen Wanssum met locaties nieuwe waterkeringen

2. METHODIEK

Dit hoofdstuk behandelt de manier waarop de CO₂-emissies in de levenscyclus van een dijk is bepaald. Hierbij zijn de volgende stappen doorlopen:

- Bepalen functionele eenheid en scope
- Beknopte ketenbeschrijving en systeemgrenzen
- Dataverzameling, validatie en methode CO₂-emissieberekeningen
- Bepalen ketenpartners

2.1. Functionele eenheid en scope

De functionele eenheid is de referentie eenheid waarvan de CO₂-emissie wordt berekend. In deze studie betreft de functionele eenheid:

100 meter steilranddijk, met de volgende eigenschappen:

- De kruin van de dijk is 8 meter breed met verholen taluds van 1:2 en een verholen binnenberm ten behoeve van de stabiliteit van de dijk;
- Aan de rivierzijde van de dijk ligt extra grond (steilrand), de natuurbuffer. Deze zone heeft een natuurlijk gebruik en behoort niet tot de feitelijke waterkering;
- Op de kruin van de dijk wordt een onderhoudspad en/of fietspad aangelegd;
- Aan de binnenzijde wordt een overhoogte van 1,0 m op de berm aangebracht, welke gebruikt kan worden als agrarische grond;
- De levensduur bedraagt 50 jaar.

100 m klassieke dijk met de volgende eigenschappen:

- De kruin van de dijk is 4,5 meter breed met taluds van 1:3 en een voorlandverbetering ten behoeve van de stabiliteit van de dijk;
- Op de kruin van de dijk wordt een onderhoudspad en/of fietspad aangelegd;
- De levensduur bedraagt 50 jaar.

Buiten de scope vallen:

- Op en afritten aan de dijk;
- Freeswerk huidig maaiveld
 - In vergelijking met de totale CO₂-uitstoot zal de CO₂-uitstoot van het freeswerk minimaal zijn;
- Verwijdering vegetatie
 - Niet relevant, meeste gronden zijn in agrarisch gebruik.

CO₂ emissie wordt veroorzaakt door gebruik van energie en inzet van materialen. De volgende dijkonderdelen worden meegenomen:

- Erosiebestendige klei cat. I/II.
- Vrijkomende grond

Tevens wordt het energiegebruik als gevolg van inzet van materieel tijdens de aanleg beschouwd.

Het gebruikte materieel bestaat uit:

- Dumper
- Schip
- Kraan / bulldozer

2.2. Ketenomschrijving en systeemgrenzen

Binnen een standaard LCA worden de volgende fasen onderscheiden:

- Ontwerpfase
- Productiefase
- Transportfase
- Bouwfase
- Onderhoudsfase
- Gebruiksfase (van de functionele eenheid)
- Exploitatie tijdens de gebruiksfase
- Einde levensduurfase

Voor de onderhavige ketenstudie is gekeken naar de volgende fasen: de productiefase, de transportfase en de bouwfase. Er is geen aparte analyse gedaan van de onderhoudsfase en de einde levensduur fase. De ontwerpfase is buiten beschouwing gelaten omdat de CO₂-emissies van deze fase als zeer gering beschouwd kunnen worden ten opzichte van de hiervoor genoemde fases. Ook de gebruiksfase is buiten beschouwing gelaten omdat Fugro GeoServices als ingenieursbureau geen invloed heeft op de uitstoot door het gebruik van een dijk.

Productiefase

In de voorgestelde steilranddijk worden alle materialen lokaal ingewonnen en hergebruikt. De doelstelling is dat er geen aanvoer is van materialen van buiten het gebied, dan wel afvoer van materialen naar buiten het gebied.

In het standaardprofiel wordt deels categorie I klei aangevoerd van buitenaf.

Transportfase

In de transportfase wordt het zogeheten voortransport van de materialen naar de bouwplaats beschouwd, evenals de afvoer van afgegraven grond die niet gebruikt wordt. Dit geldt dus alleen voor het standaardprofiel, aangezien voor het Mooder Maas ontwerp alle lokale materialen opnieuw worden ingezet. Het enige materiaal dat wordt aangevoerd van buitenaf in het referentieontwerp is klei. Daarnaast wordt een grote hoeveelheid afgegraven grond afgevoerd per schip.

Het lokaal transport met dumper uitsluitend binnen het gebied over bouwwegen wordt meegenomen in de bouwfase.

Bouwfase

De bouwfase omvat de aanleg van de dijk en aanvullingen. In de bouwfase wordt het energiegebruik van het materieel om de dijk op locatie op te bouwen (constructie) geïncventariseerd. Meegenomen worden het dieselverbruik van de dumpers, kraan en bulldozer. Dit geldt voor beide ontwerpen.

Personenvervoer van medewerkers valt buiten de systeemgrenzen, omdat Fugro geen invloed kan uitoefenen op deze stroom. Bovendien is deze stroom dusdanig klein in vergelijking met de rest dat deze geen invloed heeft.

Onderhoudsfase en einde levensduur fase

De levensduur voor beide ontwerpen bedraagt 50 jaar. Er is geen aparte analyse gedaan van de onderhoudsfase (het beheer) en de einde levensduur fase.

Voor de onderhoudsfase geldt dat het referentieontwerp maaiwerkzaamheden vergt en de steilranddijk niet. Dit is qua CO₂-uitstoot dus voordeliger voor de steilranddijk, maar is niet meegenomen in de berekeningen.

Voor wat betreft de einde-levensduurfase geldt dat het nu niet te voorspellen is wat er gaat gebeuren met de ingezette materialen aan het einde van de levensduur van de dijk. Gezien de insteek van het hergebruik van lokale materialen is de te verwachten CO₂-uitstoot minimaal en wordt deze fase niet meegenomen in de analyse.

2.3. CO₂-berekeningen en validatie

Voor de CO₂-berekeningen binnen deze ketenanalyse zijn de volgende stappen doorlopen:

- 1) Data verzameling
- 2) Methode CO₂ emissieberekening
- 3) Datavalidatie

1) Data verzameling

Er zijn twee varianten uitgewerkt: het Moeder Maas projectontwerp (steilranddijk) en het referentieontwerp (klassieke ontwerp). Voor beiden is door Fugro GeoServices B.V. in samenwerking met de aannemer een berekening uitgewerkt in Excel voor het gehele project, waarna dit is teruggerekend tot 100 meter dijk met benodigde hoeveelheden materialen, gebruik van materieel en transportafstanden en -middelen.

2) Methode CO₂ emissieberekening

Slechts één materiaal wordt van buitenaf aangevoerd en dat is klei binnen het referentieontwerp. DuBoCalc 4.0 is gebruikt om de CO₂ van de productie hiervoor te berekenen, middels een Zwaartepuntenanalyse. De MKI van alleen het Milieueffect Klimaatverandering van klei is opgevraagd, en deze is vermenigvuldigd met een factor 20 om kg CO₂-eq te krijgen¹.

Voor transport is uitgegaan van de hoeveelheden van de aangevoerde klei en de afgevoerde grond. Voor de aangevoerde klei is bepaald wat de afstand is van de winlocatie tot de bouwlocatie. Voor de afgevoerde grond is de bestemming bepaald. Voor beiden zijn de vervoersmiddelen bepaald.

¹ Zie <http://www.dubocalc.nl/faq/>

Emissiefactoren afkomstig van co2emissiefactoren.nl zijn gebruikt om de CO₂-uitstoot van de transportfase te berekenen.

Ook in DuBoCalc wordt transport meegenomen. Om dubbelrekenen te voorkomen is in deze studie, voor klei de waarde voor transport zoals berekend in Dubocalc niet meegenomen.

3) Datavalidatie

De data is aangeleverd door de projectleider en de aannemer. Voor de datavalidatie is deze data gereviewed door de senior adviseur duurzaamheid binnen het bedrijf. De rapportage is beoordeeld door de projectleider en het afdelingshoofd van de afdeling Waterbouw.

2.4. Ketenpartners

Voor de ketenanalyse van de steilranddijk in Limburg zijn de volgende ketenpartners te onderscheiden:

- De opdrachtgever, Provincie Limburg (Projectbureau GOW)
- Overige stakeholders: Toekomstig beheerders (eveneens Provincie Limburg, Waterschap Limburg, Rijkswaterstaat, Staatsbosbeheer)
- Producenten van de materialen
- Transporteurs
- Aannemers

3. RESULTATEN

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste resultaten gepresenteerd. Per fase worden de CO₂-emissies berekend.

De onderzochte primaire variant betreft een steilranddijk met een flauw binnentalud zoals deze binnen het project GOW wordt aangelegd. De dijk inclusief aanvullingen wordt volledig opgebouwd uit gebiedseigen materialen, zodat geen bouwstoffen hoeven worden aangevoerd of grondoverschotten hoeven worden afgevoerd.

De GOW steilranddijk wordt vergeleken met het referentieontwerp, bestaand uit een klassieke dijk. De voor deze variant benodigde materialen zijn niet in voldoende mate in het gebied aanwezig en moeten worden aangevoerd. Daarnaast gaat er minder materiaal in de dijk, en moet ook materiaal worden afgevoerd uit het projectgebied.

3.1. Productiefase

Om te kunnen bepalen wat de CO₂-uitstoot van de productie is, is de volgende inventarisatie gemaakt van de benodigde materialen en hoeveelheden.

Tabel 1 – Hoeveelheden benodigde materialen

Variant	Materiaal	Materiaal DuBoCalc	Hoeveelheid (m3)	Hoeveelheid (ton) ²
Mooder Maas	geen	-	-	-
Referentieontwerp	Erosiebestendige klei cat. I/II.	Klei	400.000	640.000

Voor de in het referentieontwerp benodigde klei is in DuBoCalc 4.0 bekeken wat de CO₂-uitstoot is van de productie daarvan. Deze informatie wordt in de volgende tabel weergegeven.

Tabel 2 – CO₂-uitstoot in kg voor de benodigde materialen referentieontwerp

Materiaal DuBoCalc	Hoeveelheid (ton)	Productie (kg CO ₂)
Klei	640.000	651.266

De CO₂-uitstoot van de productiefase van de Mooder Maas variant is nul.

3.2. Transportfase

Voor wat betreft het transport in de Mooder Maas variant, is het transport beperkt tot het lokaal transport met dumper. De CO₂ daarvan wordt meegenomen in de bouwfase, aangezien deze dumpers alleen op de bouwlocatie rijden. De CO₂-uitstoot van de transportfase is voor de Mooder Maas variant nul.

² Aangehouden omrekenfactor van m³ klei naar ton klei is 1,6

Voor het referentieontwerp is er wel transport, aanvoer van 400.000 m³ klei en afvoer van 3.100.000 m³ grond. De berekening van de CO₂-uitstoot van transport is als volgt uitgewerkt. Allereerst zijn de hoeveelheden omgezet van m³ naar ton. Vervolgens zijn de afstanden en de vervoermiddelen bepaald. Deze zijn vervolgens weer omgezet naar kg CO₂. Al deze gegeven zijn verwerkt in de onderstaande tabellen.

Tabel 3 – Hoeveelheden in m³ en ton voor het transport van de benodigde materialen van het referentieontwerp

Activiteit	Hoeveelheid (m ³)	Hoeveelheid (ton)
Aanvoer klei	400.000	640.000
Afvoer grond ³	3.100.000	4.960.000

Tabel 4 – CO₂-uitstoot in kg voor het transport van de benodigde materialen van het referentieontwerp

Activiteit	Hoeveelheid (ton)	Afstand	Tonkilometer	Vervoermiddel	Conversiefactor ⁴	Transport (kg CO ₂)
Aanvoer klei	640.000	15	9.600.000	Vrachtwagen Groot (> 20 ton)	0,11	1.056.000
Aanvoer klei	640.000	85	54.400.000	Binnenvaart Gemiddeld, 1500-3000 ton (RHK-groot Rijnschip)	0,03	1.632.000
Afvoer grond	4.960.000	55	272.800.000	Binnenvaart Gemiddeld, 1500-3000 ton (RHK-groot Rijnschip)	0,03	8.184.000
Totaal						10.872.000

Op de stortlocatie wordt het schip gelost met behulp van een kraan, waarna het door twee dumpers naar de definitieve stortlocatie wordt gebracht. De CO₂-uitstoot die dit aanvullend oplevert is uitgewerkt in de volgende tabel.

Tabel 5 – CO₂-uitstoot voor het lossen van het schip op de stortlocatie voor het referentieontwerp

Post		Eenheid
Hoeveelheid	3.100.000	m ³
Benodigde dagen	1.292	Dagen
Verbruik kraan	350	Liters diesel
Inzet 2 dumpers	440	Liters diesel
Totaal per dag	790	Liters diesel
Diesel transport deel 2	1.020.417	Liters diesel
Conversiefactor CO ₂	3,230	Kg CO ₂ /liter diesel
CO₂-uitstoot lossen schip	3.295.946	Kg CO₂

³ De af te voeren grond bestaat uit grond, lichte klei en zand.

⁴ Bron: www.co2emissiefactoren.nl. 2016-12 Goederenvervoer (Versie januari 2017)

In totaal geeft het transport van de materialen voor het referentieontwerp een CO₂-emissie van 14.167.946 kg CO₂. In de onderstaande tabellen is deze nader onderverdeeld.

Tabel 6 – CO₂-uitstoot van de transportfase voor het referentieontwerp

Post	Kg CO ₂	Percentage
Aanvoer klei vervoer vrachtwagen	1.056.000	7%
Aanvoer klei vervoer schip	1.632.000	12%
Afvoer grond vervoer schip	8.184.000	58%
Afvoer grond lossen schip stortlocatie	3.295.946	23%
Totaal	14.167.946	100%

Tabel 7 – CO₂-uitstoot van de transportfase naar bron voor het referentieontwerp

Post	Kg CO ₂	Percentage
Vrachtwagen	1.056.000	7%
Schip	9.816.000	69%
Kraan	1.460.229	10%
Dumper	1.835.717	13%
Totaal	14.167.946	100%

Aannames:

- Voor de steilranddijk wordt uitsluitend gebruik gemaakt van gebiedseigen materiaal, de transportafstand hiervan bedraagt circa 5 km (op basis van de gemiddelde afstand van de ontgravingslocaties tot de te bouwen dijken);
- Voor de klassieke dijk wordt materiaal aangevoerd per schip vanuit een winlocatie op circa 100 km afstand (Opheusden). Vanaf de winlocatie wordt het materiaal 15 km per as vervoerd, en de resterende 85 worden per schip afgelegd. Het materiaal wordt gelost op gemiddeld 7,5 km afstand van de te bouwen dijken; De CO₂-uitstoot van het transport op de bouwlocatie wordt meegenomen in de bouwfase.
- Het af te voeren materiaal in de klassieke variant wordt per schip naar de stortlocatie op circa 55 km afstand vervoerd (Ploegam Smalbroek nabij Roermond).

Voor de CO₂-emissiefactoren van het transport is gebruik gemaakt van de lijst met CO₂-emissiefactoren zoals gepubliceerd op de website www.co2emissiefactoren.nl. De gebruikte versies zijn 2016-12 Goederenvervoer (Versie januari 2017) en 2016-06 Brandstoffen voertuigen (versie juni 2016).

3.3. Bouwfase

In de bouwfase wordt het energiegebruik van het materieel om de dijk op locatie op te bouwen (constructie) geïnventariseerd. Meegenomen worden het diesilverbruik van de dumpers, kraan en bulldozer. Dit geldt voor beide ontwerpen. De berekening is voor beide varianten verschillend, aangezien er in de Mooder Maas variant alleen met lokaal materiaal wordt gewerkt, en voor het referentie ontwerp wordt weliswaar dezelfde hoeveelheid grond afgegraven, maar deze wordt slechts voor een zeer beperkt gedeelte opnieuw ingezet. Daarnaast is er extra vervoer op locatie van

de aangeleverde klei. Een en ander is uitgewerkt in onderstaande tabellen, waarin achtereenvolgens de volgende subfasen van de bouwfase worden benoemd: Ontgraving, aanleg van de dijken, aanvoer - en afvoer.

Voor het materieel geldt het volgende verbruik per etmaal voor het aanleggen van de dijk.

Tabel 8 – Dagverbruik in liters diesel van het te gebruiken materieel⁵

Materieel	Verbruik per etmaal (liters diesel)
Kraan	350
Bulldozer	400
Dumper	220

Ontgraving

Voor de ontgraving is er geen verschil tussen de beide varianten. De volgende hoeveelheid diesel (die verderop zal worden omgezet in CO₂-uitstoot) is berekend voor beide. In totaal moet er 3.500.000 m³ grond worden ontgraven. Een kraan kan 2.400 m³ ontgraven per etmaal.⁶ In totaal is een kraan hier dus 1.458 etmalen mee bezig. Per dag gebruikt een kraan 350 liter diesel. In totaal is er voor de ontgraving 510.147 liter diesel nodig.

Verwerking/Aanleg van de dijken

Voor de verwerking, het aanleggen van de dijken en de aanvullingen is er verschil tussen beide varianten. Voor beide varianten is afzonderlijk de benodigde hoeveelheid diesel berekend. Voor de Mooder Maas variant wordt de volledige 3.500.000 m³ aan grond verwerkt in het ontwerp. Voor het referentieontwerp is slechts 800.000 m³ benodigd, waarvan de helft van extern wordt aangevoerd en de helft gebiedseigen materiaal is. De aan- en afvoer worden apart berekend in de volgende paragraaf. De verschillen voor het dieselverbruik benodigd voor de aanleg zijn uitgewerkt in de onderstaande tabellen.

Voor het aanleggen van de dijken gelden het volgende dieselverbruik per etmaal:

Tabel 9 – Dagverbruik in liters diesel van het te gebruiken materieel voor de aanleg

Materieel	Verbruik per etmaal (liters diesel)	Aantal	Totaal verbruik per etmaal
Kraan	350	1	350
Bulldozer	400	1	400
Dumper	220	8	1760
Totaal			2.510

Dit heeft de volgende hoeveelheden dieselverbruik voor het aanleggen van de dijk per variant tot gevolg:

⁵ Bron: Expert judgement aannemer.

⁶ Bron: Expert judgement aannemer.

Tabel 10 – Totaalverbruik in liters diesel van het te gebruiken materieel voor de aanleg van 18km dijk⁷

Variant	Totaal te verwerken grond voor de aanleg van 18 km dijk (m3)	Aantal dagen nodig ⁸	Diesilverbruik per etmaal	Diesilverbruik totaal voor aanleg
Mooder Maas	3.500.000	1.458	2.510	3.660.417
Referentie ontwerp	800.000	333	2.510	836.667

Uitleg: Voor het aanleggen van de dijken gelden de volgende berekeningen: Een kraan kan 2.400 m3 verwerken per dag, dit betekent dat voor het Mooder maas ontwerp 1.458 dagen nodig zijn en voor het referentieontwerp 333.

Aanvoer van klei van buitenaf

Voor het referentieontwerp wordt 400.000 m3 klei van buitenaf aangevoerd. De transportfase berekent de hoeveelheid CO2 benodigd tot het afleveren op de bouwlocatie met schip. Voor het lossen van de klei wordt wederom een kraan ingezet, en daarna dumpers om de klei op een tussenlocatie te krijgen. Het vervoer vanaf deze tussenlocatie tot aan de locatie waar de klei daadwerkelijk wordt aangelegd is meegenomen in de subfase *Aanleg van de dijken*. In de Mooder Maas variant wordt alleen met gebiedseigen materiaal gewerkt. De Mooder Maas variant heeft dus ook geen CO2 uitstoot voor deze fase.

Tabel 11 – Dagverbruik in liters diesel van het te gebruiken materieel voor de aanvoer van de klei

Materieel	Verbruik per etmaal (liters diesel)	Aantal	Totaal verbruik per etmaal
Kraan	350	1	350
Dumper	220	8	1760
Totaal			2.110

Dit heeft het volgende totaal diesilverbruik voor de aanvoer van de klei tot gevolg:

Tabel 12 – Totaalverbruik in liters diesel van het te gebruiken materieel voor de aanvoer van klei

Variant	Totaal aan te voeren klei voor de aanleg van 18 km dijk (m3)	Aantal dagen nodig ⁹	Diesilverbruik per etmaal	Diesilverbruik totaal voor aanleg
Mooder Maas	0	0	0	0
Referentie ontwerp	400.000	167	2.110	351.667

Afvoer van grond naar buitenaf

De afvoer van gebiedseigen grond is in de Mooder Maas variant nul, aangezien al het materiaal lokaal wordt ingezet. Voor het referentieontwerp wordt 3.100.000 m3 grond afgevoerd. De transportfase berekent de hoeveelheid CO2 benodigd vanaf het moment dat de af te voeren grond in

⁷ Bron: Expert judgement aannemer.

⁸ Berekend door te delen door 2.400, de hoeveelheid grond die een kraan kan verwerken per dag.

⁹ Berekend door te delen door 2.400, de hoeveelheid grond die een kraan kan verwerken per dag.

het schip zit tot en met de stortlocatie. De subfase *Afvoer van grond naar buitenaf* berekent de hoeveelheid CO₂ (via het dieselvebruik) nodig voor het vervoer van de grond na ontgraving tot in het schip. Hiervoor worden eerst dumpers ingezet, en om de grond in het schip te krijgen wederom een kraan.

Tabel 13 – Dagverbruik in liters diesel van het te gebruiken materieel voor de afvoer van de grond

Materieel	Verbruik per etmaal (liters diesel)	Aantal	Totaal verbruik per etmaal
Kraan	350	1	350
Dumper	220	8	1760
Totaal			2.110

Dit heeft het volgende totaal dieselvebruik voor de afvoer van de grond tot gevolg:

Tabel 14 – Totaalverbruik in liters diesel van het te gebruiken materieel voor de aanvoer van klei

Variant	Totaal af te voeren grond voor de aanleg van 18 km dijk (m3)	Aantal dagen nodig	Dieselvebruik per etmaal	Dieselvebruik totaal voor aanleg
Moeder Maas	0	0	0	0
Referentie ontwerp	3.100.000	1.292	2.110	2.725.417

CO₂ uitstoot Bouwfase

De totale dieselvebruiken voor de hierboven genoemde subfasen worden hieronder per variant weergegeven.

Tabel 15 – Totaalverbruik in liters diesel per subfase per variant

Subfase	Moeder Maas	Referentieontwerp
Ontgraving totaal	510.417	510.417
Aanleg 18 km dijk	3.660.417	836.667
Aanvoer klei	0	351.667
Afvoer grond	0	2.725.417
Totaal	4.170.833	4.424.167

Deze dieselvebruiken worden in de onderstaande tabel omgezet in kg CO₂, met bijbehorende percentages per subfase van de bouwfase.

Tabel 16 – kg CO₂ per subfase bouwfase per variant in kg CO₂

Subfase	Moeder Maas	Percentage	Referentieontwerp	Percentage
Ontgraving	1.648.646	12%	1.648.646	12%
Verwerking/Aanleg van de dijken	11.823.146	88%	2.702.433	19%
Aanvoer van klei	0	0%	1.135.883	8%

Afvoer naar buitenaf	0	0%	8.803.096	62%
Totaal kg CO2	13.471.792	100%	14.290.058	100%

Per type materieel levert dit het volgende beeld:

Tabel 17 – CO₂-uitstoot per type materieel bouwfase per variant in kg CO₂

Materieel	Mooder Maas	Percentage	Referentieontwerp	Percentage
Kraan	3.297.292	24%	3.674.125	26%
Dumpers	8.290.333	62%	10.185.267	71%
Bulldozer	1.884.167	14%	430.667	3%
Totaal	13.471.792	100%	14.290.058	100%

Het zwaartepunt van de CO₂-uitstoot zit op basis van de bovenstaande tabel bij de dumpers in de bouwfase (Mooder Maas variant 62%, referentieontwerp 71%).

3.4. Resultaten

Tabel 18 – CO₂-uitstoot in kg per fase per variant voor 18km dijk aanleg

Fase	Mooder Maas	Referentieontwerp
Productiefase	0	651.266
Transportfase	0	14.167.946
Bouwfase	13.471.792	14.290.058
Totaal	13.471.792	29.109.270

Aangezien de Mooder Maas variant alle materialen op de locatie opnieuw verwerkt wordt minder dan de helft aan CO₂ uitgestoten. Deze variant levert een besparing van 54% op de CO₂-uitstoot op. De transportfase verdubbelt de hoeveelheid CO₂ in het referentieontwerp.

Als de bouwfase wordt opgedeeld in subfasen ontstaat het volgende beeld:

Tabel 19 – CO₂-uitstoot in kg per fase en subfase per variant voor 18km dijk aanleg

Fase	Mooder Maas	Percentage	Referentieontwerp	Percentage
Productiefase	0	0%	651.266	2%
Transportfase	0	0%	14.167.946	49%
<i>Ontgraving totaal</i>	<i>1.648.646</i>	<i>12%</i>	<i>1.648.646</i>	<i>6%</i>
<i>Aanleg 18 km dijk</i>	<i>11.823.146</i>	<i>88%</i>	<i>2.702.433</i>	<i>9%</i>
<i>Aanvoer klei</i>	<i>0</i>	<i>0%</i>	<i>1.135.883</i>	<i>4%</i>
<i>Afvoer grond</i>	<i>0</i>	<i>0%</i>	<i>8.803.096</i>	<i>30%</i>
Totaal	13.471.792	100%	29.109.270	100%

In de bovenstaande tabel is te zien dat in de Mooder Maas variant de meeste CO₂ wordt uitgestoten tijdens de aanleg van de dijken (88%). In het referentieontwerp ligt het zwaartepunt van de CO₂-uitstoot bij de transportfase (49%).

In de onderstaande tabellen is de CO₂ uitstoot van alle fasen onderverdeeld naar bron van de CO₂-uitstoot.

Tabel 20 – CO₂-uitstoot in kg opgedeeld naar bron voor 18km dijkaanleg Mooder Maas variant

Bron	Productie	Transport	Bouw	Totaal
Productie	0	0	0	0
Vrachtwagen	0	0	0	0
Schip	0	0	0	0
Kraan	0	0	3.297.292	3.297.292
Dumpers	0	0	8.290.333	8.290.333
Bulldozer	0	0	1.884.167	1.884.167
Totaal	0	0	13.471.792	13.471.792

Tabel 21 – CO₂-uitstoot in kg opgedeeld naar bron voor 18km dijkaanleg Referentieontwerp

Bron	Productie	Transport	Bouw	Totaal
Productie	651.266	-	-	651.266
Vrachtwagen	-	1.056.000	-	1.056.000
Schip	-	9.816.000	-	9.816.000
Kraan	-	1.460.229	3.674.125	5.134.354
Dumpers	-	1.835.717	10.185.267	12.020.983
Bulldozer	-	-	430.667	430.667
Totaal	651.266	14.167.946	14.290.058	29.109.270

Tabel 22 – CO₂-uitstoot in percentages per fase en subfase voor het referentieontwerp voor 18km dijkaanleg

Fase	Productie	Transport	Bouw	Totaal
Productie	2%	0%	0%	2%
Vrachtwagen	0%	4%	0%	4%
Schip	0%	34%	0%	34%
Kraan	0%	5%	13%	18%
Dumpers	0%	6%	35%	41%
Bulldozer	0%	0%	1%	1%
Totaal	2%	49%	49%	100%

De bovenstaande tabellen maken duidelijk dat het in de Mooder Maas variant de dumpers het grootste aandeel hebben in de totale CO₂-uitstoot (62% zie tabel 16). Voor het referentieontwerp leveren de dumpers weliswaar het grootste aandeel (41%) maar is het aandeel van het schip ook aanzienlijk (34%).

Om een vergelijking mogelijk te maken met andere ketenanalyses zijn de hier bovenstaande cijfers ook berekend voor 100 meter dijk, door het totaal te delen door 180.

Tabel 23 – CO₂-uitstoot in kg per fase per variant voor 100 meter dijkaanleg

Fase	Mooder Maas	Percentage	Referentieontwerp	Percentage
Productiefase	-	0%	3.618	2%
Transportfase	-	0%	78.711	49%
<i>Ontgraving totaal</i>	9.159	12%	9.159	6%
<i>Aanleg 18 km dijk</i>	65.684	88%	15.014	9%
<i>Aanvoer klei</i>	-	0%	6.310	4%
<i>Afvoer grond</i>	-	0%	48.906	30%
Totaal	74.843	100%	161.718	100%

3.5. Onzekerheden

De onzekerheden voor de berekeningen in de ketenanalyse in deze rapportage zijn de volgende:

- De conversiefactoren en CO₂-cijfers afkomstig van www.co2emissiefactoren.nl en DuBoCalc zijn gebaseerd op gemiddelden.
- Voor de transportfase zijn de kilometrages berekend, de werkelijkheid zal altijd iets afwijken.
- De voorgeschreven materialen zijn niet identiek aan de materialen die terug te vinden zijn in DuBoCalc, hierdoor is een afwijking in CO₂ mogelijk.
- Sluizen leveren een langere vaarduur op voor de aan te leveren klei en de af te voeren grond. De extra diesel die hierdoor wordt verbruikt is niet meegenomen.
- Voor de transportfase is voor het omrekenen van m³ naar ton voor zowel klei als de lokale grond de omrekenfactor 1,6 ton per m³ gebruikt. In de praktijk zou de omrekenfactor voor grond en klei hoger uit kunnen vallen (tot 1,9). Aan de andere kant kan doordat er soms organisch materiaal in zit het weer lager uitvallen. Gemiddeld is 1,6 aangehouden. Voor de zekerheid is een omrekenfactor van 1,6 ton per m³ aangehouden. Als een hogere factor zou worden aangehouden zou de CO₂ voor het referentieontwerp (waar deze factor van invloed is) hoger uitvallen. Om het referentieontwerp zo gunstig mogelijk te laten uitkomen is ervoor gekozen een factor 1,6 aan te houden.

4. CONCLUSIES

Het uiteindelijke doel van deze ketenstudie is mogelijkheden voor CO₂-reductie onderzoeken. Om deze reden zijn er twee varianten onderzocht. De Mooder Maas (steilranddijk) variant blijkt de variant met de minste CO₂-uitstoot per 100 meter dijk. Dit verschil komt voornamelijk tot stand door de transportfase bij het referentieontwerp (klassieke dijk), en het ontbreken daarvan in de Mooder Maas variant. De transportfase is verantwoordelijk voor ongeveer de helft van de emissies van de klassieke dijk waarin een grote hoeveelheid grond afgevoerd moet worden naar een stortlocatie en een kleinere hoeveelheid klei aangevoerd wordt van buitenaf. De steilranddijk variant verwerkt alle materialen (grond/klei) lokaal en verbruikt hiermee 54% minder CO₂.

Overige conclusies:

- De meeste CO₂-uitstoot wordt veroorzaakt door de dumpers in beide varianten. In de steilranddijk zijn de dumpers verantwoordelijk voor 62% van de CO₂-uitstoot. In de klassieke dijk zijn de dumpers verantwoordelijk voor 41% en het vervoer per schip voor 34%.
- Het steilranddijk ontwerp levert 54% besparing op in CO₂-uitstoot ten opzichte van het klassieke dijk referentieontwerp.
- In de Mooder Maas variant vindt de meeste CO₂-uitstoot plaats in de aanleg van de dijk (88%).
- Bij de klassieke dijk van het referentieontwerp vindt de meeste CO₂-uitstoot plaats tijdens de transportfase (49%), gevolgd door de subfase afvoer van de grond (30%). Het aandeel in de totale CO₂-uitstoot van de aanleg van de daadwerkelijke dijk bedraagt slechts 9%.

Aanbevelingen

Door de aanleg van de steilranddijk wordt 54% CO₂ bespaard ten opzichte van het klassieke dijk referentieontwerp. Aanvullend zou CO₂-besparing kunnen worden bereikt door het gebruik van biodiesel of andere alternatieve brandstoffen.