Witteveen + Bos



# Duurzaamheid filterlagen in oeverbeschermings-constructies

**Definitief eindrapport**

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving

| | |
|---|---|
| **Project** | Duurzaamheid filterlagen in oeverbeschermings-constructies |
| **Opdrachtgever** | Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat<br>Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving |
| **Document** | Definitief eindrapport |
| **Status** | Definitief |
| **Datum** | 11 oktober 2022 |
| **Referentie** | 132744/22-014.462 |
| **Projectcode** | 132744 |
| **Projectleider** | Ir. T. Wilms |
| **Projectdirecteur** | Ir. R. Bouw |
| **Auteur(s)** | S. de Visser MSc, B.M. Roelofs MSc, ing O.C. Kerssens, ir. A. van den Berg |
| **Gecontroleerd door** | F. Huinink MSc, ir. T. Wilms |
| **Goedgekeurd door** | Ir. T. Wilms |
| **Paraaf** | Bescherming persoonlijke leven |

**Adres**

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Leeuwenbrug 8
Postbus 233
7400 AE  Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

## INHOUDSOPGAVE


1 INLEIDING 5

1.1 Projectbeschrijving 5
1.2 Doel 5
1.3 Leeswijzer 5

2 INTRODUCTIE VAN OEVERBESCHERMINGSCONSTUCTIES, FILTERS EN AFBAKENING 7

2.1 Algemeen 7
2.2 Kunststof geotextiel filter 8
2.3 Granulair geometrisch gesloten filter 9
2.4 Klassiek rijswerk filter 9
2.5 Biobased biodegradable geotextiel filter 10
2.5.1 Terminologie 10
2.5.2 Algemene kenmerken Biobased biodegradable geotextiel filter 13
2.6 Samenvatting 14

3 UITGANGSPUNTEN 15

3.1 Functie gedurende levensduur 15
3.2 Typische doorsnede 15
3.3 Materiaaleigenschappen 16
3.4 Uitgangspunten milieu-impact berekeningen 17
3.5 Uitvoering en beheer 18
3.6 Kosten 19

4 WATERBOUWKUNDIG ONTWERP 20

4.1 Kunststof geotextiel filter 20
4.2 Granulair geometrisch gesloten filter 21
4.3 Klassiek rijswerk filter 22
4.4 Biobased biodegradable geotextiel filter 23

5 MILIEU-IMPACT 25

5.1 MKI-systematiek 25
5.2 Resultaten 26
5.2.1 Kunststof geotextiel filter (non-woven PP) 26
5.2.2 Granulair geometrisch gesloten filter 28
5.2.3 Klassiek rijswerk filter 31
5.2.4 Biobased biodegradable geotextiel filter 33
5.3 Interpretatie en vergelijking MKI 35
5.3.1 Algemeen 35
5.3.2 Milieu-impact per onderdeel 36
5.3.3 Milieu-impact per fase 37
5.3.4 Milieu-impact per onderdeel, per fase 38
5.3.5 Impact filterlaag 38
5.3.6 Jute textiel 40
5.3.7 Gevoeligheid uitgangspunten 41
5.4 Kwalitatieve beschouwing van de milieu-impact van het vrijkomen van kunststoffen 42
5.4.1 Degradatie mechanismen 42
5.4.2 Verspreiding in het milieu 43
5.4.3 Invloed op het milieu: ecologisch 44
5.4.4 Conclusie 49
5.5 Beperkingen MKI-systematiek 49

6 KOSTEN VAN DE VERSCHILLENDE VARIANTEN 51

6.1 Kosten methodiek 51
6.2 Uitvoering 51
6.3 Resultaat 51
6.4 Interpretatie en vergelijking 52

7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN. 53

7.1 Conclusies 53
7.2 Aanbevelingen 55

8 REFERENTIES 58

Laatste pagina 58

Bijlage(n) Aantal pagina's

I Standaard steensorteringen 1
II LCA resultaten 19
III Kostenonderbouwing 5

# 1

# INLEIDING

## 1.1 Projectbeschrijving

Rijkswaterstaat beheert ruim 1.200 km aan rivieroevers, die grotendeels zijn beschermd met een stenige oeverbeschermingsconstructie bestaande uit een toplaag van breuksteen en daaronder een kunststof geotextiel filter. Deze oeverbeschermingsconstructie heeft een de levensduur van minimaal 50 jaar. Als de toplaag, onbedoeld, van stenen verdwijnt, komt het kunststof geotextiel filter bloot te liggen. Het kunststof geotextiel filter kan hierdoor sneller verouderen door blootstelling aan zonlicht, meer bewegen, beschadigen en stukgaan waardoor kunststof in het milieu terecht komt.

Naar aanleiding van nieuwsberichten en Kamervragen is de Kamermotie 32852-148 aangenomen [ref. 1] waarin is verzocht om informatie te geven over mogelijke duurzamere alternatieven voor kunststof geotextiel die kunnen worden toegepast in oeverbeschermingen in binnenwateren.

Dit project betreft het in kaart brengen van mogelijke alternatieven voor kunststof geotextielen toegepast als filterlagen in oeverconstructies. Dit resulteert in varianten voor de hele oeverbeschermingsconstructie (inclusief top- én filterlaag), daarbij heeft de 0-variant een filter van een kunststof geotextiel.

## 1.2 Doel

Het doel van dit project is om de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:
- welke varianten van filter in oeverbeschermingsconstructie zijn er beschikbaar?
- welke variant is het meest duurzaam op basis van de Milieu Kosten Indicator (MKI)-systematiek?
- wat zijn de kosten van de varianten?

Deze onderzoeksvragen worden beantwoord middels het bepalen van de (ontwerp)situatie voor een stenige oeverbeschermingsconstructie in binnenwater en het geven van context door middel van op te stellen uitgangspunten en (ontwerp)methodieken voor verschillende varianten voor filters. Er worden ook een variant met nieuwe materialen uitgewerkt. Hiervoor is waar nodig literatuurstudie uitgevoerd en zijn MKI-berekeningen gemaakt. Daarbij wordt de milieu-impact van de varianten beoordeeld middels MKI, waarna de milieu-impact wordt geïnterpreteerd en met elkaar vergeleken. Ook de monetaire kosten van de varianten worden vergeleken.

## 1.3 Leeswijzer

Het beantwoorden van de onderzoeksvragen is in 3 fases uitgevoerd:
- fase 1 - uitgangspunten en methodiek:
  - hierbij worden in hoofdstuk 2 de context gegeven, in hoofdstuk 3 de uitgangspunten besproken, en in hoofdstuk 4 en 5 de ontwerp- en MKI-systematiek beschreven;
- fase 2 - ontwerp en MKI:
  - hierbij worden in hoofdstuk 4 het waterbouwkundig ontwerp opgesteld en in hoofdstuk 5 de MKI-scores bepaald voor de filtervarianten en de totale oeverbescherming. Aan het einde van

hoofdstuk 5 wordt een kwalitatieve beschouwing gegeven van de milieu-impact van het vrijkomen van kunststof;

- fase 3 - kosten, vergelijking en interpretatie:
  - hierbij worden in hoofdstuk 6 de kosten van de verschillende varianten bepaald. In hoofdstuk 7 worden varianten vergeleken en de conclusies en aanbevelingen gegeven.

Het voorliggende rapport is het concept eindrapport en bevat het resultaat van de alle drie de fasen.

# 2

# INTRODUCTIE VAN OEVERBESCHERMINGSCONSTUCTIES, FILTERS EN AFBAKENING

## 2.1 Algemeen

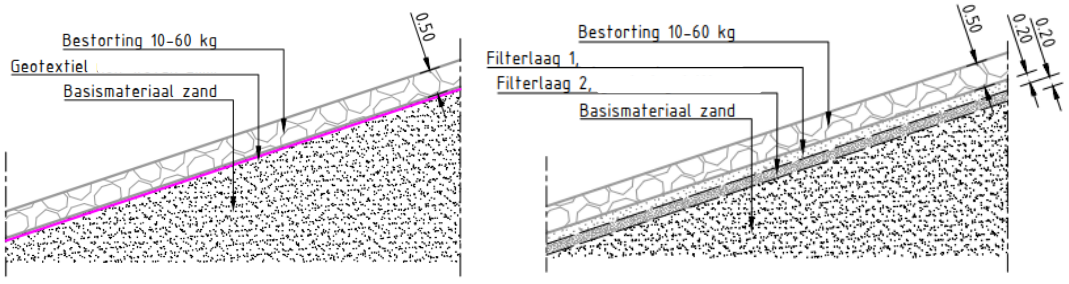
In dit hoofdstuk wordt de oeverbeschermingsconstructie geïntroduceerd met de locaties waarop deze kan voorkomen en de verschijningsvormen. Ook wordt onderbouwd welke varianten van filters worden gekozen en deze worden nader beschreven.

Oevers zijn overgangen tussen land en oppervlaktewater. Er zijn verschillende verschijningsvormen van oeverconstructies, afhankelijk van de beschikbare ruimte en de benodigde sterkte:

- verticale constructies (uit staal, hout of beton) waar relatief weinig ruimte beschikbaar is of scheepvaart tot vlak voor de oever mogelijk moet zijn;
- beschermingsconstructies in losse of verlijmde steen;
- onbeschermde oevers waar weinig belasting is en/of verplaatsing van de oever kan worden toestaan.

Voorliggend rapport gaat alleen in op los gestorte beschermingsconstructies uit steen. In deze beschermingsconstructie werken de toplaag en onderliggende lagen/laag samen. Om verplaatsing van de oever tegen te gaan moet de beschermingsconstructie bestand zijn tegen stromingen en golven in het waterlichaam (en in sommige gevallen ook grondwaterstroming door de constructie). De toplaag dient daarbij als stabiele laag tegen golven en stroming, terwijl de onderliggende laag of lagen het uitspoelen van bodemdeeltjes (grond/zand) moet tegengaan. De onderliggende laag dient daarnaast de afvoer van overtollig water uit de ondergrond mogelijk te maken en er zorg voor te dragen dat er geen waterdruk kan opbouwen die tot beschadiging, opdrukken, van de oever leidt. De onderliggende laag of lagen worden de filterconstructie genoemd en deze kan op verschillende manieren worden vormgegeven. Afbeelding 2.1 toont een standaard opbouw van een oeverbeschermingsconstructie met twee mogelijke filters, een geotextiel filter en een granulair filter. Om de functies te vervullen worden er eisen gesteld aan het filter voor de mate van waterdoorlatendheid en de gronddichtheid.

Afbeelding 2.1 Voorbeelden van oeverbeschermingen met links een geotextiel filter en rechts en granulair filter




Stenige oeverbeschermingen langs binnenwateren hebben veel verschijningsvormen, veelal afhankelijk van de mate van golven en stroming die op een binnenwater optreedt. Er is gekozen voor een stenige oever met een steengradering van 10 - 60 kg omdat deze veel wordt toegepast op de rivieroevers die Rijkswaterstaat

beheert. De gradering 10 - 60 kg is een standaard steengradering die in het algemeen direct op een kunststof geotextiel filter kan worden geplaatst.

Binnen de stenige oeverbeschermingen langs rivieren zal worden gekeken naar granulaire filters en niet-granulaire filters. Granulaire filters kunnen geometrisch gesloten of geometrisch open zijn. Bij een gesloten filter kan het onderliggende materiaal niet fysiek migreren door de granulaire filterlaag (de openingen zijn te klein). Bij een open filter zou het onderliggende materiaal wel fysiek door de filterlaag kunnen migreren, maar wordt de filterlaag en/of toplaag dermate dik gemaakt, dusdanig dat de hydraulische belasting niet groot genoeg is om het onderliggende materiaal te transporteren. Van de granulaire filters wordt in de voorliggende rapportage een geometrisch gesloten granulaire filter beschouwd omdat dit verreweg de meest toegepast variant is.

De niet-granulaire filters zijn onderverdeeld in geotextiel filters en klassiek rijshout filters. De geotextiel filters worden uitgesplitst naar grondstof, namelijk:
- kunststof geotextielen, deze zijn gemaakt van (deels) fossiele grondstoffen;
- bioplastic geotextielen, die hernieuwbaar (biobased) zijn en/of biologisch afbreekbaar (biodegradable).

De termen worden later toegelicht. Deze drie niet-granulaire filters worden in dit project beschouwd.

De 4 varianten van filterconstructies die worden beschouwd zijn:
- kunststof geotextiel filter;
- granulair geometrisch gesloten filter;
- klassiek rijswerk filter;
- biobased biodegradable geotextiel filter.

Voor dit project wordt een levensduur voor de oeverbeschermingsconstructie van 50 jaar gehanteerd hetgeen een gangbare ontwerplevensduur voor oeverconstructies is. Als de verwachte levensduur van een variant korter is, dan vervult die de functie niet meer en wordt vervanging meegenomen.

## 2.2 Kunststof geotextiel filter

**Algemeen**

Een kunststof geotextiel filter is een doek dat zanddicht is, waardoor geen materiaal uit de ondergrond kan uitspoelen en tevens waterdoorlatend is waardoor water doorgevoerd kan worden en geen overdrukken ontstaan. Filters in de waterbouw, CUR 161 [ref.6], geeft twee hoofdsoorten geotextielen:
- weefsels (wovens); geweven geotextiel vervaardigd uit garens of bandjes, waarbij deze halfproducten een geordende structuur hebben;
- vliezen (non-wovens): mechanisch, chemisch of thermisch aaneengehechte vezels met als kenmerk een willekeurige oriëntatie van de vezels.

De weefsels kunnen worden onderverdeeld in de volgende soorten:
- gazen: weefsel van ongeveer ronde enkelvoudige garens (monofilamenten). De openingen van het weefsel zijn vaak vrij groot;
- doeken: weefsel, waarvan de draden elk gesponnen zijn uit vele dunne garens (multifilament). De opening en van dit weefsel kunnen erg klein zijn;
- bandjesweefsels: weefsel van platte pandjes, waarvan de individuele draden vaak makkelijk zijn te splijten. De openingen van dit weefsel kunnen erg klein zijn;
- matten: weefsel van dikke, ongeveer ronde, vaak makkelijk splijtbare garens. Een mat is meestal dikker dan de ander drie soorten. De openingen van het weefsel zijn vaak vrij groot.

De vliezen zijn te onderscheiden in de volgende categorieën:
- doeken: niet-geweven doek van kriskras door elkaar lopende, zeer dunne draadjes. Het doek is vaak zacht en makkelijk plat te drukken. De openingen van dit weefsel kunnen erg klein zijn;

- vliezen: niet-geweven doek met een ongeordende structuur van de vezels de resulterend in een stugge platte en niet veder plat te drukken laag. De opening van dit weefsel kunnen erg klein zijn;
- knitted fabrics: textiel dat ontstaat is door brijen of haken van de draden. Het doek is vaak zacht en makkelijk plat te drukken. De openingen van het weefsel zijn vaak groot.

Ook zijn er composieten, dit zijn combinaties van weefsels en vliezen.

Veel voorkomende grondstoffen voor deze geotextielen zijn een kunststof zoals polypropyleen (PP), polyetheen (PE) of polyamide (PA).

#### Levensduur
De kunststof geotextielen hebben veelal een levensduur van 50 tot 100 jaar. In de voorliggende rapportage wordt uitgegaan van een levensduur van 50 jaar.

#### Realisatie
Kunststof geotextielen worden vaak geplaatst door ze uit te rollen en af te storten met breuksteen of ze te verbinden aan een zinkstuk en vervolgens af te zinken met ballaststeen.

#### Kenmerken geselecteerde variant
Voor dit project wordt voor het kunststof geotextiel filter een vlies (non-woven) van polypropyleen (PP) van 2 mm wordt gehanteerd. De gehanteerde aanlegmethode is het uitrollen van het doek en afstorten. Dit is de aanlegmethode die bij vliezen van PP het meest wordt toegepast, [ref. 9].

## 2.3 Granulair geometrisch gesloten filter

#### Algemeen
Het granulair geometrisch gesloten filter bestaat uit alleen granulair materiaal. Er zijn meerdere lagen nodig tussen het basismateriaal en de toplaag. De erosie van materiaal uit iedere onderliggende laag, filterlaag of basismateriaal, wordt voorkomen doordat de openingen tussen de korrels zo klein zijn dat het basismateriaal daar niet door kan passeren.

Het granulaire filtermateriaal is natuursteen dat normaliter afkomstig is uit steengroeven in België, Duitsland of Noorwegen waardoor het door springen is verkregen. Ook kan relatief klein filtermateriaal op de rivieren worden gewonnen (grindwinning). Uit de verschillende groeven komen vergelijkbare soorten steen, maar de kwaliteit alsmede de soortelijke dichtheid kan verschillen.

#### Levensduur
De levensduur van het granulaire materiaal is veelal meer dan 50 tot 100 jaar. In de voorliggende rapportage wordt uitgegaan van een levensduur van 50 jaar.

#### Realisatie
Het aanbrengen van een filterlaag wordt veelal gedaan met een hydraulische kraan met een bak.

#### Kenmerken geselecteerde variant
In de voorliggende rapportage wordt er van uitgegaan dat het granulaire filtermateriaal afkomstig is uit België en een levensduur heeft van 100 jaar.

## 2.4 Klassiek rijswerk filter

#### Algemeen
Het klassieke rijswerk filter is opgebouwd uit bundels van wilgenhout (wiepen) van circa 10 cm met tussenlagen van rijshout. De onderlinge afstand van de wiepen bedraagt circa 1 m. Het aantal lagen is af te stemmen op de ondergrond en de hydraulische belasting dusdanig dat het uitspoelen van de ondergrond

kan worden voorkomen. Een klassiek rijswerk filter is niet volledig zanddicht en uitspoeling van de ondergrond is fysiek mogelijk (zie ook paragraaf 4.3). In de voorliggende variant worden geen bentonietmatten of een kunststof geotextiel filter toegevoegd.

**Levensduur**
Dit rijswerk filter is een natuurlijk materiaal en daardoor in principe biologisch afbreekbaar, echter wanneer een rijshouten filter volledig onder water wordt aangebracht en in de tijd met een laagje slib (natuurlijke afzetting) is bedekt ontstaat er een anaerobe omgeving die het oxidatie proces stopt. De anaerobe schimmels en bacteriën blijven zorgen voor een zeer langzame afbraak over een periode van meer dan 100 jaar. De levensduur van dit filter hangt af van de omstandigheden. Uit interviews met leveranciers is naar voren gekomen dat die 20 tot 30 jaar kan zijn bij oeverbeschermingen in anaerobe omstandigheden. Rondom de waterlijn en hoger is de levensduur afhankelijk van de grond en samenstelling ongeveer 5 tot 15 jaar. In de voorliggende rapportage wordt uitgegaan van een levensduur van 10 jaar.

**Realisatie**
De 'zate' is een plek langs het water, waar het klassieke rijswerk wordt gerealiseerd. Vanaf de zate wordt het rijswerk drijvend naar de oever gebracht en daar gedeeltelijk op de oever getrokken waarna het afgestort/afgezonken met breuksteen.

De levensduur is relatief kort en derhalve zal gedurende de levensduur van de oeverconstructie het rijswerk meermaals vervangen dienen te worden. Dit gebeurt door met een hydraulische kraan de toplaag te verwijderen en tijdelijk op te slaan. Vervolgens wordt het bestaande rijswerk verwijderd. Een nieuw rijswerk zal op dezelfde wijze worden geplaatst als bij de initiële realisatie.

**Kenmerken geselecteerde variant**
Bovenstaande geeft een levensduur van 20 - 30 jaar onder anaerobe omstandigheden en 5 - 15 jaar boven water. In de voorliggende rapportage wordt uitgegaan van een levensduur van 10 jaar voor de volledige rijswerk filterconstructie.

## 2.5 Biobased biodegradable geotextiel filter

Deze paragraaf is opgedeeld in twee delen. Eerst wordt de terminologie gegeven (paragraaf 2.5.1) en vervolgens worden algemene kenmerken gegeven zoals ook voor de andere filterconstructies is gegeven (paragraaf 2.5.2).

### 2.5.1 Terminologie

Biologisch, bioplastic, biobased, biodegradable, composteerbaar, natuurlijk, duurzaam, hernieuwbaar; deze termen worden veelal gebruikt om kunststoffen aan te duiden die een alternatief zijn voor conventionele kunststoffen (ook wel plastics of polymeren genoemd) zoals PE, PP en PET die gemaakt worden van fossiele grondstoffen. Verwarring van deze termen kan er voor zorgen dat onjuiste opvattingen ontstaan. Daarom is in deze paragraaf de terminologie rondom alternatieve kunststoffen van hernieuwbare herkomst gegeven. Hiervoor is gebruik gemaakt van de volgende bronnen:

- Hann, S. et al. (2020) Relevance of Biodegradable and Compostable Consumer Plastic Products and Packaging in a Circular Economy. Eunomia. ISBN 978-92-76-17851-4 doi:10.2779/497376;
- European bioplastics (2018) Fact sheet European bioplastics - what are bioplastics? Material types, terminology, and labels – an introduction;
- Europese commissie (2020) Biodegradability of plastics in the open environment ISBN 978-92-76-23786-0 doi:10.2777/690248.

**Duurzaam**
Geen materiaal is per definitie duurzaam te noemen, dit hangt sterk samen met specifieke productieprocessen en toepassing. Wel kan mogelijk op basis van de functie van het materiaal worden

aangegeven welk materiaal de laagste milieulast creëert. Een lagere milieulast is over het algemeen duurzamer te noemen.

Geen materiaal is per definitie duurzaam. Voor bioplastics geldt het volgende. Bioplastics kunnen duurzaam toegepast zijn als ze aan 1 van de volgende voorwaarden voldoen:
- geen fossiele grondstoffen opmaken, die eindig zijn, omdat ze gebruik maken van oneindig hernieuwbare grondstoffen (biomassa);
- op natuurlijke wijze biologisch afbreken, zodat ze niet bijdragen aan plastic soep, bioaccumulatie, ecotoxiciteit en humane toxiciteit.

Bioplastics kunnen ook NIET duurzaam toegepast zijn, omdat:
- biomassa op niet-duurzame wijze wordt verbouwd (denk aan kappen van regenwoud voor palmolie);
- bioplastics in specifieke gevallen wél gebruik maken van fossiele grondstoffen, dus niet hernieuwbaar zijn;
- bioplastics in specifieke gevallen niet onder natuurlijke omstandigheden biologisch afbreekbaar zijn.

De volgende paragraaf gaat verder in op het begrip bioplastics om deze eigenschappen verder toe te lichten.

### Bioplastics (biobased en biodegradable)

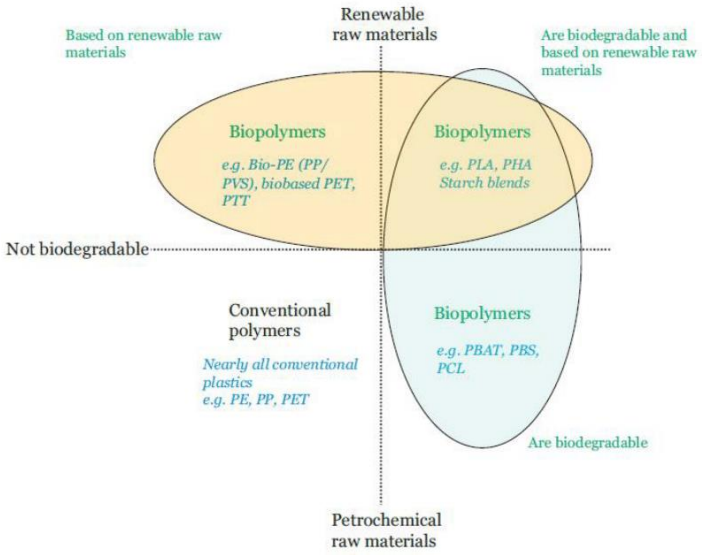
Bioplastics kunnen dus hernieuwbaar (biobased) zijn en/of biologisch afbreekbaar (biodegradable). De termen biobased en biodegradable kunnen respectievelijk beschreven worden als 'afkomstig uit hernieuwbare grondstoffen' en 'afbreekbaar door natuurlijke processen'. Hernieuwbare grondstoffen zijn afkomstig uit een bron die wordt geteeld, of natuurlijk wordt aangevuld of gereinigd op menselijke tijdschaal[1]. Biologisch afbreekbaar houdt in dat een materiaal afbreekbaar is door micro-organismen (bacteriën, schimmels) in de aanwezigheid van zuurstof[2] tot koolstofdioxide, water, zouten en andere elementen en nieuwe biomassa of zonder aanwezigheid van zuurstof tot koolstofdioxide, methaan, zouten en nieuwe biomassa. Biologische afbraak kan plaatsvinden door middel van natuurlijke omstandigheden (in grond, water of lucht), of door kunstmatige omstandigheden; (industrieel)composteren.

Afbeelding 2.2 geeft inzicht in deze termen en de relatie tot verschillende kunststoffen. Conventionele kunststoffen zijn afkomstig van fossiele grondstoffen en niet biologisch afbreekbaar. De term 'biopolymers' of 'bioplastic' wordt gebruikt om kunststoffen met hernieuwbare afkomst (biomassa) en biologische afbreekbaarheid aan te duiden. Hierbij kan het zijn dat een bioplastic wél biologisch afbreekbaar is, maar ook afkomstig is van fossiele grondstoffen of dat een bioplastic niét biologisch afbreekbaar is, maar wel afkomstig van hernieuwbare grondstoffen.

[1] Tijdspanne van honderd jaar of minder, ter ordegrootte van een mensenleven (CB'23, meten van circulariteit).

[2] The breakdown of an organic chemical compound by micro-organisms in the presence of oxygen to carbon dioxide, water and mineral salts of any other elements present (mineralization) and new biomass or in the absence of oxygen to carbon dioxide, methane, mineral salts and new biomass. (EN 13432 and EN14995).

Afbeelding 2.2 Bioplastics Bron: Lackner, M. (2015) Bioplastics - Biobased plastics as renewable and/or biodegradable alternatives to petroplastics




**Biobased definitie** volgens International Union of Pure and Applied Chemistry en gehanteerd door de Europese commissie: 'a polymer composted or derived in whole or in part of biological products issued from biomass (including plant, animal, and marine or forestry materials)'.

Biobased is dus ook niet per definitie 100 % hernieuwbaar, maar kan ook gedeeltelijk zijn. 'The bio-based content is the amount of biomass used by percentage of weight to create the final product. It is measured in accordance with EN 16640 or EN 16785'.

### Natuurlijke materialen

Het kan ook zijn dat een geotextiel filter helemaal geen kunststof is. Materialen als jute bestaan uit natuurlijke vezels en twijgen en wiepen zijn wilgenhout. Er is dus sprake van een fysiek bewerkt, natuurlijk materiaal zonder aanpassingen aan chemische eigenschappen. Omdat het een natuurlijk materiaal is, zonder toevoegingen, is biologische afbreekbaarheid vanzelfsprekend, maar belangrijker is dat het materiaal in de natuur geen microplasticverontreiniging kan veroorzaken.

### Biodegradable en composteerbaar

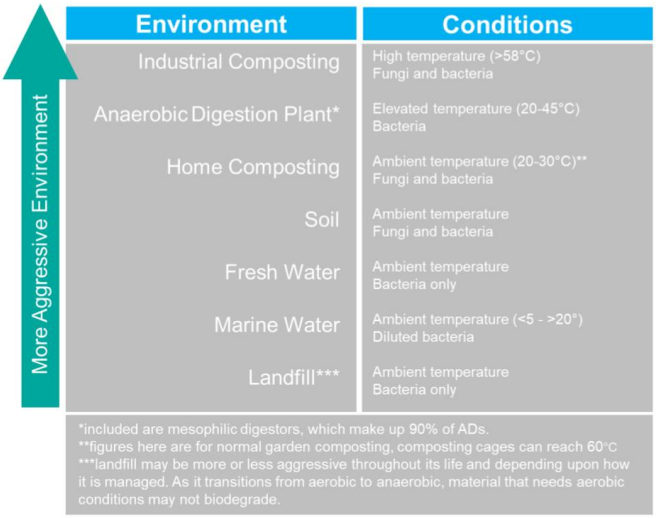
Vrijwel alle materialen zijn biologisch afbreekbaar door natuurlijke processen. Conventionele kunststoffen doen er echter honderden jaren over om af te breken. Op menselijke tijdschaal is dit niet merkbaar en kunnen er problemen binnen ecosystemen optreden binnen deze termijn (zie paragraaf 5.4). Biologisch afbreekbare kunststoffen kunnen een deel van de oplossing van dit probleem bieden.

De omstandigheden zijn van grote invloed op de biologische afbreekbaarheid. De snelheid van decompositie wordt beïnvloed door bacteriën, schimmels en zuurstof. Daarom kan het zo zijn dat bij industriële compostering een kunststof wel biologisch afbreekt, maar bij natuurlijke omstandigheden niet. De omgeving en tijdschaal moeten daarom benoemd worden bij biologische afbreekbaarheid.
Een biologisch afbreekbaar materiaal is dus niet per definitie afbreekbaar op menselijke tijdschaal in natuurlijke omstandigheden, zoals in grond, zoet of zoutwater kan worden gevonden.

Om inzicht te geven in de omstandigheden die nodig zijn om een biodegradable kunststof af te laten breken, geeft afbeelding 2.3 een overzicht van omgeving en condities. Landfill (stort), marine water (zee), fresh water (zoetwater) en soil (grond) worden als natuurlijke omstandigheden gezien. Home composting (thuis composteren) anaerobic digestion (vergisting) en industrial composting (industrieel composteren) worden als kunstmatige omstandigheden gezien. Een biologisch afbreekbaar kunststof dat kunstmatige

processen nodig heeft om af te breken kan daarom bij vrijkomen in de natuur negatieve effecten (zie paragraaf 5.7.) op het milieu hebben.

Afbeelding 2.3 Hiërarchie van agressiviteit van biodegradatie omstandigheden. Bron: Hann, S. et al. (2020)




**Oxo-degradable** wordt niet gezien als biodegradable door de Europese commissie. Dit zijn conventionele kunststoffen met een additief dat afbreken in de aanwezigheid van zuurstof zou helpen, er is echter weinig bewijs dat dit werkt.

### 2.5.2 Algemene kenmerken Biobased biodegradable geotextiel filter

**Algemeen**
De filterwerking bij een biobased biodegradable geotextiel is hetzelfde als bij een kunststof geotextiel, zie paragraaf 2.2. Het gekozen materiaal is jute (zie hieronder voor een overzicht en toelichting op de keuze).

**Levensduur**
Jute is een natuurproduct dat onder natuurlijke omstandigheden afbreekt. De levensduur van jute hangt erg af van de toepassing en kan variëren tussen de één en de 10 jaar. Een minimale levensduur in een oeverbescherming wordt aangenomen op 5 jaar op basis van gesprekken met leveranciers. Een levensduur van 5 jaar wordt derhalve gehanteerd in de voorliggende rapportage.

**Realisatie**
Zie kunststof geotextiel. De realisatie is gelijk voor kunststof geotextielen en biobased biodegradable geotextielen.

De levensduur is relatief kort en derhalve zal gedurende de levensduur van de oeverconstructie het jutedoek meermaals vervangen dienen te worden. Dit gebeurt door met een hydraulische kraan de toplaag te verwijderen en tijdelijk op te slaan. Vervolgens wordt het bestaande jute doek verwijderd. Een nieuw doek zal op dezelfde wijze worden geplaatst als bij de initiële realisatie: geotextielen worden geplaatst door ze uit te rollen en af te storten met het op zij gelegde breuksteen of ze te verbinden aan een zinkstuk en vervolgens af te zinken met de opzij gelegde breuksteen.

### Kenmerken geselecteerde variant

Voor dit project is gekozen voor een biobased biodegradable geotextiel filter van jute. Onder andere de volgende producttypen vallen onder de noemer biobased biodegradable geotextiel:

- geweven PLA gronddoek Duracover/ Ökocover (mais/suikerbieten/hennep);
- jute;
- hennep;
- kokos erosiemat/grid;
- bentoniet;
- biomatten.

Deze lijst is uiteraard niet uitputtend. In de voorliggende rapportage is verder uitgegaan van een geotextiel van jute. De overige producttypen worden niet beschouwd. Er is voor jute gekozen omdat de ontwikkeling het verst is. Daarnaast zijn er verscheidene leveranciers die dit geotextiel filter leveren. Opgemerkt wordt dat er een verscheidenheid aan materialen is met verschillende eigenschappen. Er zijn continue ontwikkelingen op dit gebied. Aanbevolen wordt om de komende jaren deze ontwikkelingen bij te houden en voorliggende rapportage te actualiseren wanneer meer informatie bekend is.

## 2.6 Samenvatting

Op veel locaties in Nederland zijn er land-water-overgangen die op hun plek gehouden moeten worden. Daarvoor zijn verschillende oeverbeschermingsconstructies toepasbaar. Dit project richt zich op stenige rivieroevers. Uitgangspunt is een toplaag van breuksteen gradering 10 - 60 kg met daaronder een filterconstructie. In de voorliggende rapportage worden de volgende 4 varianten van filterconstructies nader beschouwd:

- kunststof geotextiel filters: een vlies (non-woven) van polypropyleen (PP) van 2 mm;
- granulair geometrisch gesloten filters: een of meerdere granulaire lagen;
- klassiek rijswerk filter: bestaande uit bundels van wiepen en tussenlagen van rijshouten matten;
- biobased biodegradable geotextiel filter: een doek van jute.

Deze varianten worden vergeleken op de levensduur, de milieu-impact en de kosten.

# 3

## UITGANGSPUNTEN

Dit hoofdstuk beschrijft de uitgangspunten die gehanteerd zijn in de beschouwing en vergelijking van de vier varianten voor de filterconstructie.

### 3.1 Functie gedurende levensduur

De functie van een filter is om uitspoeling van de ondergrond te voorkomen, de afvoer van overtollig water uit de ondergrond mogelijk te maken en het voorkomen van wateroverdruk gedurende de levensduur. Oeverbeschermingsconstructies worden ontworpen voor een relatief lange levensduur van 50 tot 100 jaar. Uitgangspunt in de voorliggende rapportage is een levensduur van de oeverbeschermingsconstructie van 50 jaar. Het filter moet deze lange levensduur hebben of gedurende de ontwerplevensduur worden vervangen zodat voor de ontwerplevensduur de functie wordt vervuld.

### 3.2 Typische doorsnede

In de voorliggende rapportage wordt uitgegaan van een typische doorsnede van een oeverbeschermingsconstructie. Dit is een vereenvoudigde weergave van een oever en deze constructie zal niet overal langs de Nederlandse rivieren toepasbaar zijn. afbeelding 2.1 toont de typische doorsnede van een rivieroever. Deze typische doorsnede heeft de volgende eigenschappen:

- zandig basismateriaal met een korreldiameter (D50) van 0,2 mm tot 0,4 mm. Zand wordt als basismateriaal gebruikt, omdat dit een veel voorkomende ondergrond is bij de Nederlandse rivieren;
- een taludhelling van 1:3;
- een bekleding van 10 m, waarvan 2/3 onder water en 1/3 boven water;
- een toplaag met een steengradering van 10-60 kg met een laagdikte van 0,5 m. De gehanteerde laagdikte is de ontwerplaagdikte. Uitvoeringstoleranties kunnen leiden tot een grotere benodigde laagdikte.

Bovenstaande eigenschappen gelden voor alle te beschouwen filtervarianten.

Opgemerkt wordt dat de keuze voor gradering 10 - 60 kg voor alle filterconstructies niet altijd juist is. De benodigde gradering van de toplaag om stabiliteit te garanderen in relatie tot hydraulische belastingen (golven en stroming) hangt immers wel degelijk af van de filterconstructie. Bij de varianten klassiek rijswerk filter, kunststof geotextiel filter en biobased biodegradable filter is de benodigde gradering van de toplaag vrijwel gelijk. Bij een granulair filter is de benodigde steendiameter kleiner (omdat een deel van de golfenergie dissipeert in de filterlaag en waardoor de toplaag minder belast wordt) waardoor in sommige gevallen een kleinere steengradering zou kunnen volstaan. In een specifieke situatie is het bijvoorbeeld mogelijk dat een steengradering 10 - 60 kg op een granulair filter nog juist voldoet, maar dat bij de keuze voor 1 van de andere 3 beschouwde filterconstructies een grotere gradering benodigd is. De eerst volgende standaard gradering is gradering 40 - 200 kg met een laagdikte van circa 0,7 m. Een grotere gradering heeft een grotere laagdikte, maar tevens is het gangbaar om bij de filterconstructie met een geotextiel een additionele granulaire laag toe te passen om schade aan het geotextiel te voorkomen. Het toepassen van een niet granulair filter kan in deze specifieke situatie leiden tot 40 - 100 % toename in het benodigd granulair materiaal ten opzichte van de granulaire filterconstructie. Uitgangspunt in de voorliggende

rapportage is standaard gradering 10 - 60 kg. In de conclusies zal gereflecteerd worden op de hier benoemde gevoeligheid voor deze keuze.

## 3.3 Materiaaleigenschappen

Tabel 3.1 toont de eigenschappen van de materialen die zijn beschouwd.

Tabel 3.1 Eigenschappen van verschillende materialen

| Eigenschap | Eenheid | Kunststof geotextiel filter | Breuksteen | Klassiek rijswerk filter | Biobased biodegradable filter |
|---|---|---|---|---|---|
| relevant voor | | kunststof geotextiel filter | toplaag, filterlagen | wiepen bundels rijshout matten | jute |
| levensduur | [jaar] | 50-100 | 50-100 | 5-15 rondom en boven waterlijn 20-30 onder de waterlijn | 1-10 |
| gehanteerde levensduur | [jaar] | 50 | 50 | 10 | 5 |
| dichtheid | [kg/m$^3$] | 900 | 2600 | n.v.t. | n.v.t. |
| gewicht | [kg/m$^2$] | n.v.t. | n.v.t. | 10,3 | 0,425 |
| porositeit | [-] | n.v.t. [1] | 30 % | n.v.t. | n.v.t. |
| dikte | [mm] | 2 | toplaag: 500<br>filterlagen: 2 x 200[2] | 2 x 200 | variabel |

Tabel 3.2 geeft een overzicht van de eigenschappen van enkele biologisch afbreekbare geotextielen zoals genoemd in [ref. 7] en een productsheet van Jute van T&F [ref. 8]. Om een actueel inzicht te krijgen in materiaaleigenschappen zijn verschillende producenten geïnterviewd (zie [ref. 12] tot [ref. 16]). Alleen Jute wordt in het vervolg van dit document meegenomen. Alleen Jute wordt in het vervolg van dit document meegenomen.

Tabel 3.2 Overzicht van de eigenschappen van verschillende natuurlijke materialen

| Eigenschap | Eenheid | Jute | Hennep | Kokos | PLA<br>mais, suikerbieten<br>hennep<br>(Natural Plastics) | Bron |
|---|---|---|---|---|---|---|
| levensduur | [jaar] | 1 - 10 | 4 - 5 | 1 - 3 | 7 (UV stabiel) | interviews, [ref. 12] tot [ref. 16] |
| soortelijke massa | [g/cm$^2$]<br>[g/m$^2$]<br>[g/m$^2$] | 1,46<br>500<br>425 | 1,48 | 1,15 - 1,33<br><br>400 - 500 | <br><br>157 | [ref. 7]<br>[ref. 8]<br>interviews, [ref. 12] tot [ref. 16] |
| treksterkte (droog - nat) | [GPa]<br>[kN/m]<br>[kN] | 0,22 - 0,53<br>38,5 - 42,6<br>25,0 - 27,4 | 0,5 - 0,7 | 0,13 - 0,18 | <br><br>3 | [ref. 7]<br>[ref. 8] |

[1] In werkelijkheid is er sprake van enige porositeit van het kunststof geotextiel. Dit zal zeer weinig zijn, dus heeft beperkt invloed op de massa en is daarom verwaarloosbaar.

[2] De gehanteerde laagdikte is de ontwerplaagdikte. Uitvoeringstoleranties kunnen leiden tot een grotere benodigde laagdikte.

| Eigenschap | Eenheid | Jute | Hennep | Kokos | PLA<br>mais, suikerbieten<br>hennep<br>(Natural Plastics) | Bron |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (droog: schering - inslag) | | | | | | interviews, [ref. 12] tot [ref. 16] |
| rek bij breuk | [%] | 1,5 -2,0<br>~ 15<br>10 - 15 | 1,7 - 2,7 | 15 -40<br><br>34 x 20 | <br><br>circa 40 % | [ref. 7]<br>[ref. 8]<br>interviews, [ref. 12] tot [ref. 16] |

## 3.4 Uitgangspunten milieu-impact berekeningen

Voor het onderdeel milieu-impact zijn de volgende uitgangspunten van toepassing:
- de functionele eenheid is het beschermen van 10.000 $m^2$ oever;
- de levensduur genoemd in paragraaf 3.1 is van belang voor de resultaten. Er wordt gerekend met een levensduur van de oeverconstructie van 50 jaar. Dit houdt in dat voor de filterconstructies met een kortere levensduur dan 50 jaar de milieu-impact van de vervangingen worden meegenomen. Dit houdt in dat de toplaag wordt verwijderd, het geotextiel wordt vervangen en de toplaag wordt teruggebracht. De specifieke uitwerking wordt in de berekening (Hoofdstuk 5) beschreven. Er wordt aangenomen dat hierbij 10 % van de toplaag gedurende de levensduur verloren gaat, conform forfaitair scenario voor steenachtig materiaal waterbouw[1]. Bij het klassiek rijswerk filter en het jute filter is de invloed hiervan groter, omdat bij deze varianten de toplaag vaker wordt opgepakt;

De volgende uitgangspunten worden gehanteerd per levensfase:
- winning van grondstoffen (**A1**): de dikte van de materialen volgt uit de variantenuitwerking, het percentage recyclede materiaal is 0 %. Verliezen van bouwafval worden als beperkt aangenomen op het totale volume. Voor de filterdoeken is gerekend met 10 % overlap en dat de folies niet worden gelast;
- transport (**A2**): transportafstanden van grondstofwinning naar verwerking worden gebaseerd op expert judgement;
- productie (**A3**): voor de productiefase wordt het energieverbruik van het materieel meegenomen;
- transport (**A4**): transportafstanden van productielocatie naar gebruikslocatie worden gebaseerd op expert judgement;
- bouw- en installatieproces, aanleg (**A5**): voor de installatie wordt het brandstofverbruik meegenomen;
- gebruiksfase (**B1-B7**): buiten scope, behalve **vervangingen (B4)**. Een kwalitatieve beschrijving van de uitloging en afbraak van kunststoffen in het milieu is toegevoegd (paragraaf 5.4);
- sloopfase (**C1**): wordt bepaald aan de hand van expert judgement;
- transport (**C2**): transportafstanden van gebruikslocatie naar afvalverwerking worden gebaseerd op forfaitaire waarden (100 km);
- afvalverwerking (**C3**): de standaard sloop- en verwerkingsprocedure zijn conform forfaitaire NMD scenario's Kust- en oeverwerken[2]. Dit houdt in dat verwerking van kunststof geotextielen, bestortingsmateriaal en natuurlijk materiaal meegerekend worden. Breuksteen voor de toplaag wordt 90 % hergebruikt conform forfaitaire scenario. Rijswerk zal volgens forfaitair scenario 50 % op locatie achterblijven, 25 % verbrand worden en 25 % naar stort gaan. Filterlagen worden op locatie achtergelaten (expert judgement), waardoor geen lasten zullen optreden. Jute is volgens expert judgement volledig vergaan en zal daardoor ook geen impact leveren;
- finale afvalverwerking (**C4**): de standaard sloop- en verwerkingsprocedure zijn conform forfaitaire NMD scenario's Kust- en oeverwerken[3]. Dit houdt in dat stort van kunststof geotextielen, (inert) bestortingsmateriaal en natuurlijk materiaal meegerekend worden. Breuksteen voor de toplaag wordt hergebruik conform forfaitaire scenario. Filterlagen worden op locatie achtergelaten (expert judgement),

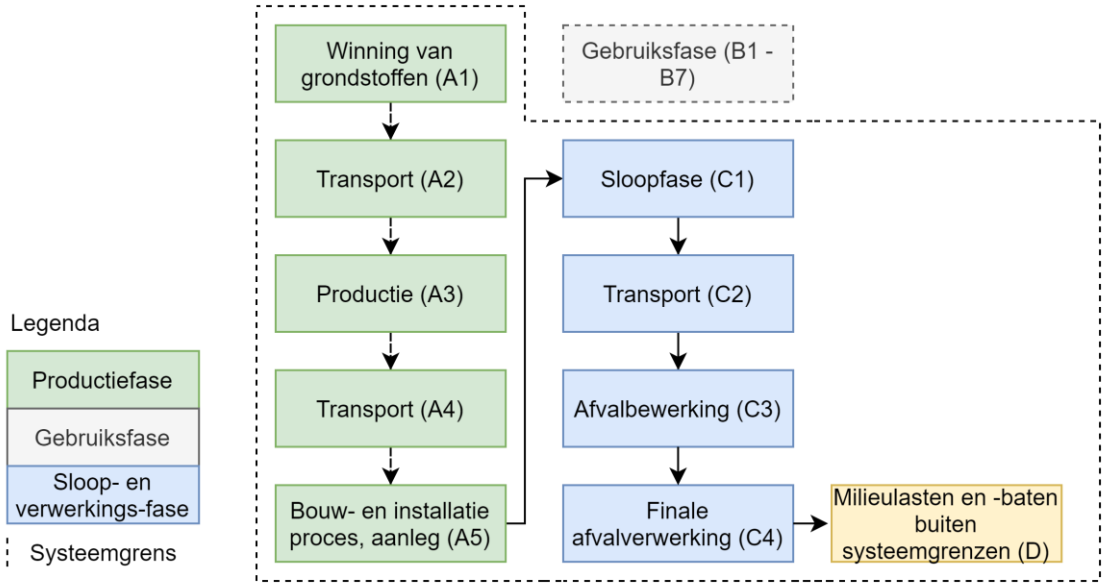
[1] https://milieudatabase.nl/wp-content/uploads/2022/05/Forfaitaire_waarden_mei_2022.pdf.

[2] https://milieudatabase.nl/wp-content/uploads/2022/09/H52-Kust-en-oeverwerken-V1.6.pdf.

[3] https://milieudatabase.nl/wp-content/uploads/2022/09/H52-Kust-en-oeverwerken-V1.6.pdf.

waardoor geen lasten zullen optreden. Jute is volgens expert judgement volledig vergaan en zal daardoor ook geen impact leveren;
- milieulasten en baten buiten systeemgrenzen (**D**); de standaard sloop- en verwerkingsprocedure zijn conform forfaitaire NMD scenario's Kust- en oeverwerken . Dit houdt in dat verbranding van kunststof geotextielen en natuurlijk materiaal levert energie. Breuksteen voor de toplaag wordt hergebruik conform forfaitaire scenario. Filterlagen worden op locatie achtergelaten (expert judgement), waardoor geen baten van hergebruik zullen optreden. Jute is volgens expert judgement volledig vergaan en zal daardoor ook geen baten leveren.

Afbeelding 3.1 Flowchart voor de MKI / LCA-berekening van de verschillende filters




De levenscyclus inventarisatie (LCI) wordt gebaseerd op de ontwerpvarianten, expert judgement, specificatiebladen en LCA (Levenscyclus analyse) rapporten verkregen van leveranciers.

## 3.5 Uitvoering en beheer

Ten aanzien van de uitvoering worden de volgend uitgangspunten gehanteerd:
- alle voorbereidende werkzaamheden worden niet mee genomen, zoals de plaatsing van het basismateriaal en het profileren van de oever. De lokale situatie is dus dat de oever al geprofileerd is en zo nodig verdicht;
- op de oever is voldoende ruimte om met het materieel te staan en aan te voeren;
- doeken worden uitgerold;
- doeken hoeven niet onderling verbonden te worden, maar worden met een overlap van circa 1 m aangebracht;
- alle werkzaamheden vinden plaats van af het land, met uitzondering van de plaatsing en aanvoer van het klassiek rijswerk filter;
- alle materialen worden per as (dat wil zeggen: per vrachtwagen over de weg) aangevoerd, met uitzondering van de stenen (zowel voor de toplaag als de filterlagen) die per schip worden aangevoerd;
- de stenen worden voorzichtig op het doek gestort door een graafmachine, er is geen handwerk;
- voor alle filters wordt zo veel als mogelijk hetzelfde materieel gebruikt en dit materieel is standaard beschikbaar op de markt. Daarbij wordt uitgegaan van materieel op fossiele brandstoffen;
- het dagelijks beheer en onderhoud is van alle varianten gelijk en daarmee niet onderscheidend;

- het beheer en onderhoud wordt uitgevoerd zoals gepland en ontworpen. Dat betekent dat de toplaag van stortstenen blijft liggen, of als het verplaatst is, dat dit weer wordt aangevuld. Hierdoor blijft de filter een functioneel onderdeel van de oeverbeschermingsconstructie;
- het verwijderen wordt uitgevoerd zoals gepland en ontworpen, daarbij wordt uitgegaan van de forfaitaire waarden;
- de varianten met de kortere levensduur worden elke 5 jaar (jute) tot 10 jaar (klassiek rijswerk filter) vervangen waarbij de stenen toplaag opzij wordt gezet, een nieuwe filter wordt geplaatst en de stenen toplaag wordt teruggezet. Hierbij wordt de volledige filter vervangen. Dit is een conservatief uitgangspunt, want het deel dat continu onder water ligt en langzamer degradeert, zou langer kunnen blijven liggen. Voor dit conservatieve uitgangspunt is gekozen, omdat er wel een voldoende brede strook wordt verwijderd zodat zeker is dat het materiaal niet is gedegradeerd. Daarnaast moet ook de aansluiting goed blijven.

Tabel 3.3 De productiesnelheden van verschillende materialen

| Eigenschap | Kunststof geotextiel filter | Breuksteen | Klassiek rijswerk filter | Biobased biodegradable filter |
|---|---|---|---|---|
| relevant voor | kunststof geotextiel filter | toplaag, filterlagen | wiepen bundels rijshout matten | biobased biodegradable filter |
| inzet personeel | 2 GWW werkers | 0,75 GWW werkers | 2 GWW werkers | 2 GWW werkers |
| inzet materieel | graafmachine | graafmachine | graafmachine + 2 GWW werkers | graafmachine + 2 GWW werkers |
| productie per dag | ~ 100 $m^2$/uur | ~ 50 $m^2$/uur | 50 - 150 $m^2$/uur | ~ 100 $m^2$/uur |

## 3.6 Kosten

- bouwkosten zijn kosten die voortvloeien uit aangegane verplichtingen ten behoeve van de realisering van een bouwproject tot en met de oplevering van het object. Voor de aannemer bestaan de bouwkosten uit de aanneemsom (directe kosten) + bijkomende kosten (indirecte kosten):
  - voor dit project wordt enkel gekeken naar de directe bouwkosten, bestaande uit i) levering van materialen en ii) inzet van materieel en arbeid;
  - de indirecte (bijkomende) kosten zijn de overhead van de organisatie en worden niet meegenomen in dit project;
- er wordt gewerkt met grote hoeveelheden. Dit schaal voordeel wordt aangehouden in de productie en inkoopsprijs;
- mobilisatie en demobilisatie worden niet meegenomen. Dit zou een buitenproportioneel aandeel hebben in de totaalkosten omdat maar een klein deel oever wordt beschouwd;
- het prijspeil van Q1 2022 wordt gehanteerd;
- de bedragen zijn exclusief omzetbelasting;
- de volgende uurtarieven worden gebruikt:
  - een GWW arbeider kost EUR 52,50 per uur;
  - de inzet van een hydraulische kraan met speciaal opzet stuk is EUR 90,00 per uur;
- de productiesnelheden zijn voor het bepalen van de kosten verder uitgesplitst naar:
  - aanbrengen van bestortingsmateriaal op doek van 50 $m^2$ per uur;
  - aanbrengen van twee filterlagen van 75 $m^2$ per uur;
  - aanbrengen van bestortingsmateriaal op filtermateriaal van 65 $m^2$ per uur;
- de steengradering voor de toplaag komt uit de Ardennen en de filterlagen uit Duitsland.

# 4

## WATERBOUWKUNDIG ONTWERP

Dit hoofdstuk beschrijft het ontwerp van de vier varianten voor de filterconstructie in de oeverbescherming. De beoogde functie is voor de vier varianten gelijk: De functie van een filter is om uitspoeling van de ondergrond te voorkomen, de afvoer van overtollig water uit de ondergrond mogelijk te maken en het voorkomen van wateroverdruk gedurende de levensduur. Voor iedere variant wordt een typische doorsnede gegeven die zal worden gehanteerd voor het bepalen van de MKI en de kosten in volgende hoofdstukken.

### 4.1 Kunststof geotextiel filter

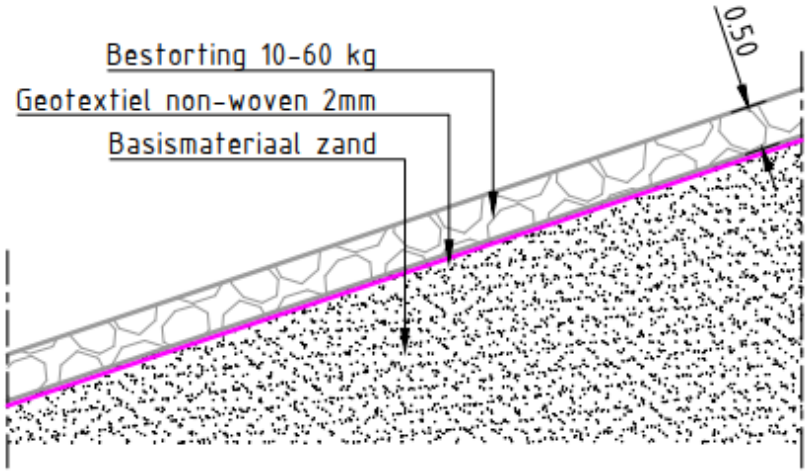
Het ontwerp op gronddichtheid en waterdoorlatendheid leidt tot criteria ten aanzien van de karakteristieke openingsgrootte en de doorlatendheidseigenschappen van het geotextiel. Uitgangspunt bij het bepalen van de vereiste openingsgrootte (O90, poriënafmeting van een geotextiel die correspondeert met de gemiddelde diameter van die zandfractie waarbij 10 % het geotextiel passeert) van een geometrisch dicht geotextiel, is dat slechts een zeer klein deel mag uitspoelen ongeacht de optredende belasting, waarbij de constructie wel voldoende doorlatend moet zijn.

De volgende rekenregels gelden voor een geotextiel filter:
- de openingsgrootte ($O_{90}$) moet kleiner zijn dan het onderliggende materiaal ($D_{50b,}$ mediane korreldiameter van het basismateriaal) [ref. 2];
- het overtollige water kan uitstromen. Dit wordt gerealiseerd doordat de waterdoorlatendheid van het geotextiel ($k_g$ in m/s) 10 tot 100 keer groter is dan het onderliggende materiaal [ref. 2].

Daarnaast moet bij geotextielen ook rekening worden gehouden met de robuustheid. Dit bestaat uit de minimale treksterkte en de minimale breukrek van het geotextiel van meer dan 60 %, [ref. 2]. Daarnaast moet het geotextiel ook niet beschadigen bij installatie, van belang zijn de maximale rek bij de vereiste treksterkte, sterkte van naainaden en een energie absorptie niveau [ref. 2].

Afbeelding 4.1 geeft de typische doorsnede van een oeverbescherming met een kunststof geotextiel filter, welke als volgt is opgebouwd:
- een toplaag met een gradering van 10 - 60 kg van 0,5 m dikte;
- een filter van een kunststof geotextiel: een vlies van PP van 2 mm dikte;
- het basismateriaal zand.

Afbeelding 4.1 Doorsnede van oeverbescherming met kunststof geotextiel filter




## 4.2 Granulair geometrisch gesloten filter

Bij granulair geometrisch gesloten filters gelden de volgende eisen:

- de korrels uit de basislaag mogen qua afmeting fysiek niet door de openingen in de filterlagen migreren. De rekenregel die hier vaak voor wordt gehanteerd is dat de kleine korrels in de bovenlaag de ($D_{f15}$: korreldiameter van granulaire bovenlaag die door 15 % van het materiaal op basis van het gewicht wordt onderschreden, f staat voor filterlaag) moeten kleiner zijn dan 4 maal de grote korrels in de onderlaag (4*$D_{b85:}$ : korreldiameter van granulaire onderlaag die door 85 % van het materiaal op basis van het gewicht wordt onderschreden, b staat voor basislaag), Terzaghi and Peck (1948) [ref. 3];
- het overtollige water kan wel uitstromen. Dit wordt gerealiseerd doordat de permeabiliteit van de bovenlaag groter is dan die van de onderlaag, hiervoor wordt bijvoorbeeld het volgende criterium gebruikt: $D_{f15}/D_{b15} > 1$, Rock Manual Eq. 5.277 [ref. 4];
- de interne stabiliteit van elke laag moet goed zijn, daarvoor wordt het volgende criterium gebruikt:
  - $D_{60}/D_{10} < 6$, Pilarczyk (1998) [ref. 5].

Bij de overgang van de onderste filterlaag naar het basismateriaal worden de filterregels mogelijk ruimer toegepast. Dit wordt gedaan omdat vanuit de maakbaarheid een grotere laagdikte wordt toegepast en dat de verwachting is dat het zand, het basismateriaal, niet uit zal spoelen.

Voor de korrelgroottes van de verschillende steengraderingen is gebruik gemaakt van de tabellen in Ontwerp van Schutsluizen [ref. 10] Deel 2 Appendix 16.1.

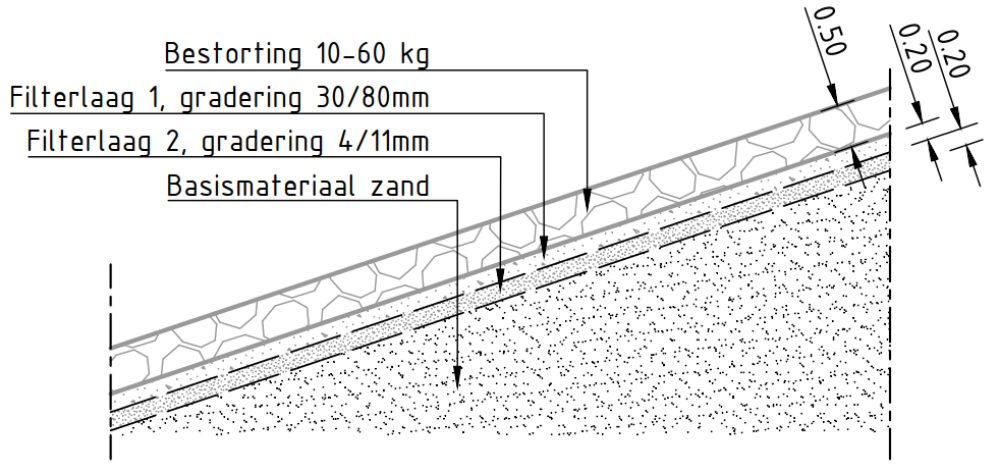
Tabel 4.1 toont de opbouw van dit filter, daarbij zijn de laagdiktes van de filterlagen gebaseerd op diktes die maakbaar zijn. Afbeelding 4.2 geeft de typische doorsnede.

De overgang van de onderste filterlaag naar het basismateriaal voldoet niet aan de filterregels. Vanwege de grote laagdikte wordt aangenomen dat het zand niet uit zal spoelen. Naar verwachting kan dit een werkend ontwerp zijn.

Tabel 4.1 Laagopbouw granulair geometrisch gesloten filter

| Laag | Gradering | Laagdikte |
|---|---|---|
| toplaag | 10 - 60 kg | 0,5 m |
| filterlaag 1 | 30 / 80 mm | 0,2 m |
| filterlaag 2 | 4 / 11 mm | 0,2 m |
| basismateriaal | zand (0,2 / 0,5 mm) | - |

Afbeelding 4.2 Doorsnede van oeverbescherming met granulair geometrisch gesloten filter

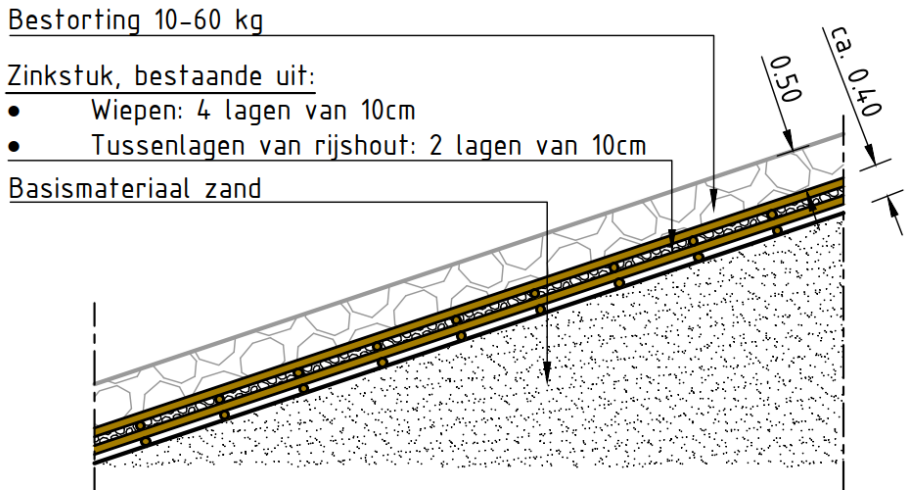



## 4.3 Klassiek rijswerk filter

Het ontwerpen van een klassiek filter is met name op basis van ervaring en er is een zeer beperkte ondersteuning van de werking door proeven. Ontwerpregels of harde cijfers zijn er nauwelijks. Door te variëren in de laagdikte, afstand van de wiepen, en het soort fijn of grof hout wordt de mat 'zand c.q. grond' dichter en laat het toch water door. Eventueel kan een geweven jute doek of een viscose non-woven worden toegevoegd om de zanddichtheid ook voor de wat langer termijn te garanderen. Opgemerkt wordt dat in eerdere onderzoeken ook wel wordt geconcludeerd dat een klassiek rijswerk filter in principe niet zanddicht is en al bij een relatief zeer laag verhang ('teleurstellend laag') al uitspoeling mogelijk is [ref. 11]. Het klassieke rijswerk werkt in feite als een open filter. Bij een open filter kan het onderliggende materiaal wel fysiek door de filter migreren. Echter wordt het filter/toplaag dermate dik gemaakt of is de hydraulische belasting laag, dusdanig dat de hydraulische belasting niet groot genoeg is om het onderliggende materiaal te transporteren. Wanneer deze variant op grotere schaal gaat worden toegepast, wordt aanbevolen om nader onderzoek uit te voeren naar het voorkomen van uitspoeling. Mogelijk volgt hieruit dat een grotere toplaag of filter benodigd is. Dit heeft uiteraard invloed op MKI en kosten.

Afbeelding 4.3 geeft een typische doorsnede van een oeverbescherming met een klassiek rijswerk filter. Deze is in overleg met een leverancier gemaakt en is als volgt opgebouwd:
- een toplaag met een gradering van 10 - 60 kg van 0,5 m dikte;
- vier lagen van bundels van wiepen, iedere bundel is 0,1 m dik;
- in de middelste twee lagen bundels liggen rijshouten matten, ieder 0,1 m dik;
- het basismateriaal zand.

Afbeelding 4.3 Doorsnede van oeverbescherming met een klassiek rijswerk filter




Afbeelding 4.4 Klassiek rijswerk filter

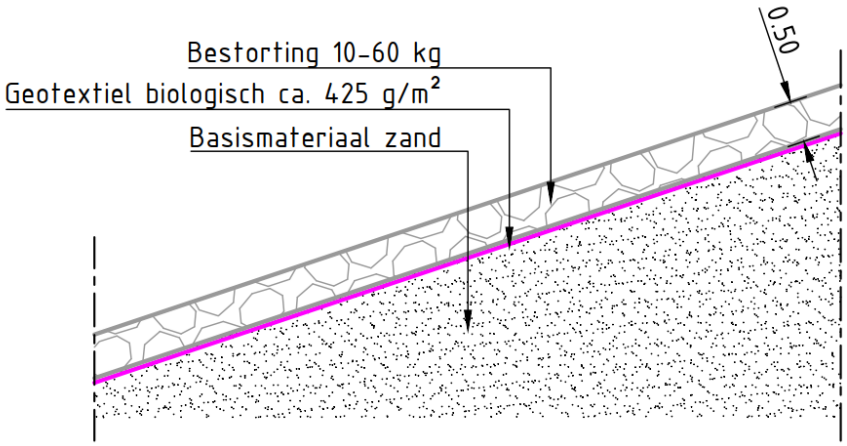


## 4.4 Biobased biodegradable geotextiel filter

Het biobased biodegradable geotextiel filter wordt op dezelfde wijze ontworpen als een kunststof geotextiel filter (zie paragraaf 4.1).

Afbeelding 4.5 geeft een typische doorsnede van een oeverbescherming met een biobased biodegradable filter, welke als volgt is opgebouwd:
- een toplaag met een gradering van 10 - 60 kg van 0,5 m dikte;
- een filter van biobased biodegradable geotextiel filter, van jute met een gewicht van circa 425 gram per $m^2$;
- het basismateriaal zand.

Afbeelding 4.5 Doorsnede van oeverbescherming met een biobased biodegradable filter



# 5

# MILIEU-IMPACT

Dit hoofdstuk geeft de MKI-score voor de gehele oeverbescherming en van de onderdelen voor de varianten. Voor de 'nieuwe' varianten wordt op basis van de bestudeerde literatuur en LCA-berekeningen de MKI-score uitgewerkt. De waarden worden geïnterpreteerd en er wordt aangegeven wat niet in de MKI-scores verwerkt is en niet meeweegt in de beoordeling;

## 5.1 MKI-systematiek

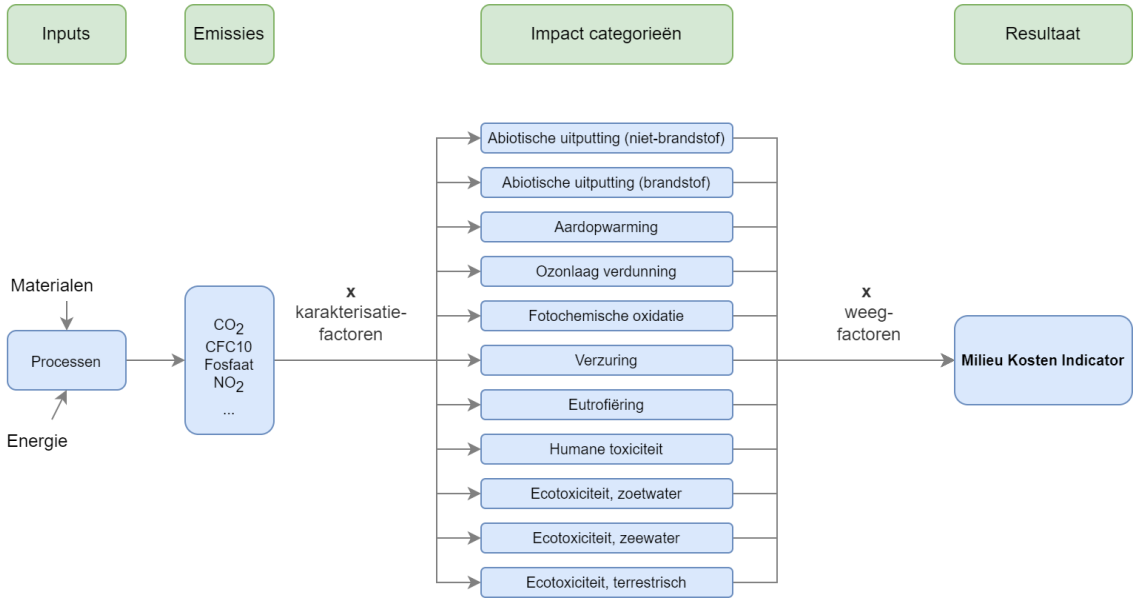
De MKI is een single-score indicator voor milieukosten uitgedrukt in euro's. Het voegt verschillende relevante milieueffecten samen in 1 enkele score van milieukosten om zo de schaduwkosten van een product of project aan te tonen. Deze kosten zijn de verwachtte maatschappelijke kosten ten gevolge van schade aan het milieu.

De MKI berust op de levenscyclus analyse (LCA) methodiek (ISO14040, EN15804). De eerste stap is het berekenen van de uitkomsten van verschillende LCA impactcategorieën. Hiervoor wordt een inventarisatie van input en output gemaakt van grondstoffen, energie en de bijhorende emissies. Dit wordt de levenscyclus inventarisatie (LCI) genoemd, conform levensduurfasen uit paragraaf 3.4. Vervolgens worden deze geclassificeerd naar de relevante impactcategorieën en een impact score berekend. Specifieke impactcategorieën zijn vastgesteld in de NMD bepalingsmethode die worden gebruikt om de MKI uit te kunnen rekenen. De NMD bepalingsmethode sluit lange termijn (> 100 jaar) emissies uit. De laatste stap om tot een MKI-score te komen is door de impact scores te vermenigvuldigen met de wegingsfactoren in tabel 5.1.

Het idee achter de MKI is om een compleet beeld van de verschillende milieu-impactcategorieën te schetsen. Hierbij wordt een eenduidige score toegekend op basis van verschillende relevante impactcategorieën.

De MKI-methodiek is nog in ontwikkeling en nog niet alle milieueffecten zijn opgenomen in de methodiek. In het geval van kunststof geotextiel filters mist in de MKI-methodiek een impact categorie voor vervuiling door microplastics. Deze beperking in de MKI-systematiek is toegelicht in paragraaf 5.5. Een kwalitatieve beschouwing van de milieu-impact van microplastics is wel opgenomen in de analyse (paragraaf 5.4).

Afbeelding 5.1 Schematisch overzicht van de LCA / MKI-conversie




Tabel 5.1 Impact categorieën en bijhorende wegingsfactoren in de MKI-systematiek

| Impact categorie | Eenheid | Wegingsfactor |
|---|---|---|
| abiotische uitputting, niet-brandstof | kg Sb-eq. | 0,16 |
| abiotische uitputting, brandstof | kg Sb-eq. | 0,16 |
| aardopwarming | kg $CO_2$-eq. | 0,05 |
| ozonlaag verdunning | kg CFC-11-eq. | 30 |
| fotochemische oxidatie | kg $C_2H_4$-eq. | 2 |
| verzuring | kg $SO_2$-eq. | 4 |
| eutrofiëring | kg $PO_4^{3-}$-eq. | 9 |
| humane toxiciteit | kg 1,4-DB-eq. | 0,09 |
| ecotoxiciteit, zoetwater | kg 1,4-DB-eq. | 0,03 |
| ecotoxiciteit, zeewater | kg 1,4-DB-eq. | 0,0001 |
| ecotoxiciteit, terrestrisch | kg 1,4-DB-eq. | 0,06 |

## 5.2 Resultaten

Deze paragraaf beschrijft de levenscyclus inventarisatie en de resultaten. Hierbij wordt voor elke variant per onderdeel en elke fase toegelicht welke processen zijn aangehouden in het LCA model, hoeveelheid en resulterende MKI. In bijlage II staan de volledige LCA resultaten (ongewogen en gewogen) uitgewerkt.

### 5.2.1 Kunststof geotextiel filter (non-woven PP)

Tabel 5.2 beschrijft de gebruikte processen voor het kunststof geotextiel filter.

### Productie (A1-A3)

De toplaag steenbestorting is in alle gevallen hetzelfde globale marktproces[1] voor basalt stenen. Voor het PP non-woven is gebruik gemaakt van een globaal marktproces voor Textile, non-woven polypropyleen, waarbij zoals beschreven in de uitgangspunten 10 % extra materiaal is aangehouden.

### Transport en aanleg (A4-A5)

Transport van productie naar projectlocatie (A4) van het textiel gaat per as 175 km. Voor de bestorting gaat transport per schip over 250 km (Ardennen). Aanleg gaat voor bestorting (50 $m^2$/h) en textiel (100 $m^2$/h) uit van een graafmachine, met ingeschat gemiddeld verbruik van 11l/h.

### Gebruik (B)

Er vinden geen vervangingen plaats.

### Einde levensduur (C1-C4)

Verwijdering van bestorting en textiel vindt plaats op dezelfde wijze als aanleg. Het transport van projectlocatie naar verwerking is in alle gevallen 100 km, voor bestorting per schip en voor textiel per as. Conform forfaitaire NMD scenario's gaat 80 % van het PP textiel naar verbranding en wordt 20 % als stort gerekend en wordt 90 % van de toplaag bestorting hergebruikt waar de overige 10 % tevens als stort gerekend wordt.

### Milieulasten en -baten buiten systeemgrenzen (D)

Conform forfaitaire NMD scenario's wordt 90 % van de toplaag bestorting hergebruikt. Hiervoor is (afwijkend van forfaitair) hetzelfde proces als de aanleg aangehouden (Basalt), zodat lasten in A1 - A3 overeenkomen met baten van hergebruik. De baten van verbanding van PP textiel zijn bepaald op basis van een energetische waarde van 42,47 MJ/kg en 80 % van de originele massa van het textiel.

Tabel 5.2. MKI kunststof geotextiel filter

| Fase | Onderdeel | SimaPro proces | Hoeveelheid | Eenheid | MKI | Opmerking |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 - A3 | toplaag (stenen) | basalt {GLO}\| market for \| Cut-off, U | 9.100.000 | kg | 18.909 | meest accurate proces gebaseerd op expert judgement |
| A1 - A3 | non-woven pp | textile, non-woven polypropylene {GLO}\| market for textile, nonwoven polypropylene \| Cut-off, U | 19.800 | kg | 5.344 | 1 m overlap per 10 m, dus 10 % extra |
| A4 | toplaag (stenen) | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | 2.275.000 | tkm | 12.630 | 250 km (Ardennen), per schip |
| A4 | non-woven pp | transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}\| market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 \| Cut-off, U | 3.465 | tkm | 37 | 175 km, per as |
| A5 | toplaag (stenen) | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | 2.200 | l | 657 | 50 $m^2$/h, 11l/h |
| A5 | non-woven pp | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | 1.100 | l | 329 | 100 $m^2$/h, 11l/h |

[1] Marktprocessen beschrijven fasen A1, A2 en A3, omdat deze een marktgemiddelde omschrijven voor het betreffende proces. Hierin zijn winning, transportafstanden, materieel, verwerking, etc. in verwerkt.

| Fase | Onderdeel | SimaPro proces | Hoeveelheid | Eenheid | MKI | Opmerking |
|---|---|---|---|---|---|---|
| C1 | toplaag (stenen) | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | 2.200 | l | 657 | 50 $m^2$/h, 11l/h |
| C1 | non-woven pp | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | 1.100 | l | 329 | 100 $m^2$/h, 11l/h |
| C2 | toplaag (stenen) | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | 819.000 | tkm | 4.547 | 100 km, per schip, 90 % massa |
| C2 | non-woven pp | transport, freight, lorry > 32 metric ton, euro5 {RER}\| market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 \| Cut-off, U | 1.584 | tkm | 17 | 100 km, per as, 80 % massa * toeslagfactor vervuild kunststof (1,5) |
| C3 | non-woven pp | waste polypropylene {RoW}\| treatment of waste polypropylene, municipal incineration \| Cut-off, U | 15.840 | kg | 2.231 | 80 % massa PP textiel |
| C4 | toplaag (stenen) | 0247-sto&Stort inert afval (o.b.v. Inert waste, for final disposal {RoW}\| treatment of inert waste, inert material landfill \| Cut-off, U) fijn-/grofkeramisch, grind, kalkzandsteen, schelpen, zand | 910.000 | kg | 664 | 10 % massa toplaag |
| C4 | non-woven pp | 0249-sto&Stort kunststoffen (o.b.v. mix 21 % PE, 21 % PP, 17 % PVC, 21 % PS en 20 % mixture) | 3.960 | kg | 30 | 20 % massa PP textiel |
| D | toplaag (stenen) | basalt {GLO}\| market for \| Cut-off, U | 8.190.000 | kg | -17.018 | afwijkend van forfaitair voor Basalt gekozen. Het forfaitaire recyclingproces is identiek aan productieproces waterbouwsteen *-1 |
| D | non-woven pp | 0267-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. FOSSIELE grondstoffen, 18 % elektrisch en 31 % thermisch (per MJ LHV) | 672.725 | MJ | -1.665 | 42,47 MJ/kg, conform H52 kust en oeverwerken NMD |

### 5.2.2 Granulair geometrisch gesloten filter

Tabel 5.3 beschrijft de gebruikte processen voor het granulair geometrisch gesloten filter.

**Productie (A1-A3)**
De toplaag steenbestorting is in alle gevallen hetzelfde globale marktproces voor basalt stenen. Voor de filterlagen is ook gebruik gemaakt van basalt stenen, een NMD proces dat goed overeenkomt met het beoogde filtermateriaal.

### Transport en aanleg (A4-A5)

Voor de filterlagen en de bestorting gaat transport per schip over 250 km (Ardennen). Aanleg gaat voor bestorting en filterlagen (50 $m^2$/h) uit van een graafmachine, met ingeschat gemiddeld verbruik van 11l/h.

### Gebruik (B)

Er vinden geen vervangingen plaats.

### Einde levensduur (C1-C4)

Verwijdering van bestorting vindt plaats op dezelfde wijze als aanleg. Het transport van projectlocatie naar verwerking is in alle gevallen 100 km, per schip. Conform forfaitaire NMD scenario's wordt 90 % van de toplaag bestorting hergebruikt waar de overige 10 % als stort gerekend wordt.

De filterlagen blijken uit expert judgement op locatie achter te blijven, waarbij geen negatief effect op de omgeving optreedt. Dit wijkt af van forfaitaire scenario's voor steenbestorting (waterbouw).

### Milieulasten en -baten buiten systeemgrenzen (D)

Conform forfaitaire NMD scenario's wordt 90 % van de toplaag bestorting hergebruikt. Hiervoor is (afwijkend van forfaitair) hetzelfde proces als de aanleg aangehouden (Basalt), zodat lasten in A1 - A3 overeenkomen met baten van hergebruik.

Filterlagen blijven achter op locatie en leveren daarom geen baten bij einde levensduur.

Tabel 5.3 MKI Granulaire geometrisch gesloten filter

| Fase | Onderdeel | SimaPro proces | Hoeveelheid | Eenheid | MKI | Opmerking |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 - A3 | toplaag (stenen) | basalt {GLO}\| market for \| Cut-off, U | 9.100.000 | kg | 18.909 | meest accurate proces gebaseerd op expert judgement |
| A1 - A3 | filterlagen | basalt {GLO}\| market for \| Cut-off, U | 7.280.000 | kg | 15.127 | meest accurate proces gebaseerd op expert judgement |
| A4 | toplaag (stenen) | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | 2.275.000 | tkm | 12.630 | 250 km (Ardennen), per schip |
| A4 | filterlagen | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | 1.820.000 | tkm | 10.104 | 250 km (Ardennen), per schip |
| A5 | toplaag (stenen) | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | 2.200 | l | 657 | 50 $m^2$/h, 11l/h |
| A5 | filterlagen | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | 2.200 | l | 657 | 50 $m^2$/h, 11l/h |
| C1 | toplaag (stenen) | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | 2.200 | l | 657 | 50 $m^2$/h, 11l/h |
| C1 | filterlagen | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | - | - | - | wordt niet verwijderd |
| C2 | toplaag (stenen) | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | 819.000 | tkm | 4.547 | 100 km, per schip |
| C2 | filterlagen | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | - | - | - | wordt niet verwijderd |
| C4 | toplaag (stenen) | 0247-sto&Stort inert afval (o.b.v. Inert waste, for final disposal {RoW}\| treatment of inert waste, inert material landfill \| Cut-off, U) fijn-/grofkeramisch, grind, kalkzandsteen, schelpen, zand | 910.000 | kg | 664 | 10 % massa toplaag |
| C4 | filterlagen | - | - | - | - | wordt niet verwijderd |
| D | toplaag (stenen) | basalt {GLO}\| market for \| Cut-off, U | 8.190.000 | kg | -17.018 | afwijkend van forfaitair voor Basalt gekozen. Het forfaitaire |

| Fase | Onderdeel | SimaPro proces | Hoeveelheid | Eenheid | MKI | Opmerking |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | recyclingproces is identiek aan productieproces waterbouwsteen *-1 |
| D | filterlagen | | - | - | - | wordt niet teruggewonnen |

### 5.2.3 Klassiek rijswerk filter

Tabel 5.4 beschrijft de gebruikte processen voor het klassiek rijswerk filter.

**Productie (A1-A3)**
De toplaag steenbestorting is in alle gevallen hetzelfde globale marktproces voor basalt stenen. Voor het rijswerk is gebruik gemaakt van een NMD proces, specifiek voor een rijswerk.

**Transport en aanleg (A4-A5)**
Transport van productie naar projectlocatie (A4) van het rijswerk gaat per as 175 km. Opgemerkt wordt dat de productiecapaciteit van rijshout in Nederland niet zo hoog meer is als vroeger. Bij een toenemende vraag naar rijshout kunnen de transport afstanden mogelijk gaan toenemen.

Voor de bestorting gaat transport per schip over 250 km (Ardennen). Aanleg gaat voor bestorting (50 $m^2$/h) en rijswerk (100 $m^2$/h) uit van een graafmachine, met ingeschat gemiddeld verbruik van 11l/h.

**Gebruik (B)**
Er vinden over de projectlevensduur van 50 jaar, met een technische levensduur van het rijswerk van 10 jaar, 4 vervangingen plaats. Dit houdt in dat in gebruiksfase (B4) de gehele levenscyclus van het rijswerk en aanvullen, aanleg en verwijdering van bestorting en rijswerk nog 4 keer zijn meegenomen. De effecten van vervangingen op de MKI zijn in paragraaf 5.3 visueel weergegeven.

**Einde levensduur (C1-C4)**
Verwijdering (C1) van bestorting en rijswerk vindt plaats op dezelfde wijze als aanleg (A5). Het transport van projectlocatie naar verwerking (C2) is 100 km, voor bestorting per schip en voor het rijswerk per as. Conform forfaitaire NMD scenario's wordt 90 % van de toplaag bestorting hergebruikt waar de overige 10 % als stort gerekend wordt. Van het rijswerk blijft 50 % op locatie achter, 25 % wordt verbrand en 25 % gestort.

**Milieulasten en -baten buiten systeemgrenzen (D)**
Conform forfaitaire NMD scenario's wordt 90 % van de toplaag bestorting hergebruikt. Hiervoor is (afwijkend van forfaitair) hetzelfde proces als de aanleg aangehouden (Basalt), zodat lasten in A1 - A3 overeenkomen met baten van hergebruik.
De baten van verbanding van rijshout zijn bepaald op basis van een energetische waarde van 13,99 MJ/kg en 25 % van de originele massa van het rijswerk.

Tabel 5.4 MKI klassiek rijswerk filter

| Fase | Onderdeel | SimaPro proces | Hoeveelheid | Eenheid | MKI | Opmerking |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 - A3 | toplaag (stenen) | basalt {GLO}\| market for \| Cut-off, U | 9.100.000 | kg | 18.909 | meest accurate proces gebaseerd op expert judgement |
| A1 - A3 | wiepen en matten | 0201-fab&Hout, rijshout, bleeslatten, staken, wiepen (alleen energieverbruik; o.b.v. zeer oude bronnen) | 102.986 | kg | 662 | NMD proces; specifiek, maar oud |
| A4 | toplaag (stenen) | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | 2.275.000 | tkm | 12.630 | 250 km (Ardennen), per schip |
| A4 | wiepen en matten | transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}\| market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 \| Cut-off, U | 18.023 | tkm | 194 | 175 km, per as |
| A5 | toplaag (stenen) | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | 2.200 | l | 657 | 50 $m^2$/h, 11l/h |
| A5 | wiepen en matten | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | 1.100 | l | 329 | 100 $m^2$/h, 11l/h |
| B | vervanging en | rijswerk volledig en 10 % A1 - 4, 100 % A5 en 90 % C1 - 4 bestorting (toplaag stenen) | 4 | keer | 5840 | een volledig nieuw rijswerk wordt geplaatst en 10 % van de toplaag wordt aangevuld met nieuwe bestorting |
| C1 | toplaag (stenen) | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | 2.200 | l | 657 | 50 $m^2$/h, 11l/h |
| C1 | wiepen en matten | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | 1.100 | l | 329 | 100 $m^2$/h, 11l/h |
| C2 | toplaag (stenen) | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | 819.000 | tkm | 4.547 | |
| C2 | wiepen en matten | transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}\| market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 \| Cut-off, U | 10.299 | tkm | 111 | |
| C3 | wiepen en matten verbranden | 0262-avC&Verbranden hout, 'schoon' (13,99 MJ/kg) (o.b.v. Waste wood, untreated {CH}\| treatment of, municipal incineration \| Cut-off, U) | 25.746,6 | kg | 108 | 25 % verbrand, conform forfaitair |
| C4 | wiepen en matten | 0245-sto&Stort hout, 'schoon' (o.b.v. Waste wood, untreated {Europe without Switzerland}\| treatment of waste wood, | 25.746,6 | kg | 129 | 25 % stort, conform forfaitair |

| Fase | Onderdeel | SimaPro proces | Hoeveelheid | Eenheid | MKI | Opmerking |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | untreated, sanitary landfill \| Cut-off, U) | | | | |
| C4 | toplaag (stenen) | 0247-sto&Stort inert afval (o.b.v. Inert waste, for final disposal {RoW}\| treatment of inert waste, inert material landfill \| Cut-off, U) fijn-/grofkeramisch, grind, kalkzandsteen, schelpen, zand | 910.000 | kg | 664 | 10 % massa toplaag |
| D | toplaag (stenen) | Basalt {GLO}\| market for \| Cut-off, U | 8190.000 | kg | -17.018 | afwijkend van forfaitair voor Basalt gekozen. Het forfaitaire recyclingproces is identiek aan productieproces waterbouwsteen *-1 |
| D | wiepen en matten | 0268-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. HERNIEUWBARE grondstoffen, 18 % elektrisch en 31 % thermisch (per MJ LHV) | 360.194,934 | MJ | -556 | 13,99 MJ/kg, conform H52 kust en oeverwerken NMD |

### 5.2.4 Biobased biodegradable geotextiel filter

Tabel 5.5 beschrijft de gebruikte processen voor het biobased biodegradable (jute) geotextiel filter.

**Productie (A1 - A3)**
De toplaag steenbestorting is in alle gevallen hetzelfde globale marktproces voor basalt stenen. Voor het jute textiel is gebruik gemaakt van een globaal marktproces voor jute textiel. Volgens uitgangspunten is hier 10 % overlap aangehouden inde hoeveelheden.

**Transport en aanleg (A4 - A5)**
Transport van productie naar projectlocatie (A4) van het jute textiel gaat per as 175 km (van de leverancier naar de projectlocatie). Voor de bestorting gaat transport per schip over 250 km (Ardennen). Aanleg gaat voor bestorting (50 $m^2$/h) en textiel (100 $m^2$/h) uit van een graafmachine, met ingeschat gemiddeld verbruik van 11l/h.

**Gebruik (B)**
Er vinden over de projectlevensduur van 50 jaar, met een technische levensduur van de jute van 5 jaar, 9 vervangingen plaats. Dit houdt in dat in gebruiksfase (B4) de gehele levensduur van het textiel en aanvullen, aanleg en verwijdering van bestorting en textiel nog 9 keer zijn meegenomen.

**Einde levensduur (C1 - C4)**
Verwijdering (C1) van bestorting vindt plaats op dezelfde wijze als aanleg (A5). Het transport van projectlocatie naar verwerking (C2) is 100 km, per as. Conform forfaitaire NMD scenario's wordt 90 % van de toplaag bestorting hergebruikt waar de overige 10 % als stort gerekend wordt.
Van het jute textiel wordt aangenomen dat dit volledig vergaan is, waardoor geen verwijdering plaatsvindt.

**Milieulasten en -baten buiten systeemgrenzen (D)**
Conform forfaitaire NMD scenario's wordt 90 % van de toplaag bestorting hergebruikt. Hiervoor is (afwijkend van forfaitair) hetzelfde proces als de aanleg aangehouden (Basalt), zodat lasten in A1 - A3 overeenkomen met baten van hergebruik.

Doordat geen verwijdering plaatsvindt van jute textiel zijn er geen baten bij einde levensduur.

Tabel 5.5. MKI Biobased biodegradable geotextiel filter

| Fase | Onderdeel | SimaPro proces | Hoeveelheid | Eenheid | MKI | Opmerking |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 - A3 | toplaag (stenen) | basalt {GLO}\| market for \| Cut-off, U | 9.100.000 | kg | 18.909 | meest accurate proces gebaseerd op expert judgement |
| A1 - A3 | jute | textile, jute {GLO}\| market for \| Cut-off, U | 4.675 | kg | 12.863 | 1 m overlap per 10 m, dus 10 % extra |
| A4 | toplaag (stenen) | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | 2.275.000 | tkm | 12.630 | 250 km (Ardennen), per schip |
| A4 | jute | transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}\| market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 \| Cut-off, U | 818 | tkm | 9 | 175 km, per as |
| A5 | toplaag (stenen) | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | 2.200 | l | 657 | 50 $m^2$/h, 11l/h |
| A5 | jute | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | 1.100 | l | 329 | 100 $m^2$/h, 11l/h |
| B | vervanging | jute A1 - A5 en 10 % A1 - 4, 100 % A5 en 90 % C1 - 4 bestorting (toplaag stenen) | 9 | keer | 17.735 | een volledig nieuw jute textiel wordt geplaatst en 10 % van de toplaag wordt aangevuld met nieuwe bestorting |
| C1 | toplaag (stenen) | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | 2.200 | l | 657 | 50 $m^2$/h, 11l/h |
| C1 | jute | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | 0 | l | 0 | wordt niet verwijderd, afgebroken bij einde levensduur. |
| C2 | toplaag (stenen) | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | 819.000 | tkm | 4.547 | |
| C2 | jute | - | 0 | tkm | 0 | wordt niet verwijderd, afgebroken bij einde levensduur |
| C3 | jute | - | 0 | kg | 0 | wordt niet verwijderd, afgebroken bij einde levensduur |
| C4 | toplaag (stenen) | 0247-sto&Stort inert afval (o.b.v. Inert waste, for final disposal {RoW}\| treatment | 910.000 | | 664 | 10 % massa toplaag |

| Fase | Onderdeel | SimaPro proces | Hoeveelheid | Eenheid | MKI | Opmerking |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | of inert waste, inert material landfill \| Cut-off, U) fijn-/grofkeramisch, grind, kalkzandsteen, schelpen, zand | | | | |
| C4 | jute | - | 0 | | 0 | wordt niet verwijderd, afgebroken bij einde levensduur |
| D | toplaag (stenen) | basalt {GLO}\| market for \| Cut-off, U | 8.190.000 | kg | -17.018 | afwijkend van forfaitair voor Basalt gekozen. Het forfaitaire recyclingproces is identiek aan productieproces waterbouwsteen *-1 |
| D | jute | - | 0 | kg | 0 | wordt niet verwijderd, afgebroken bij einde levensduur |

## 5.3 Interpretatie en vergelijking MKI

### 5.3.1 Algemeen

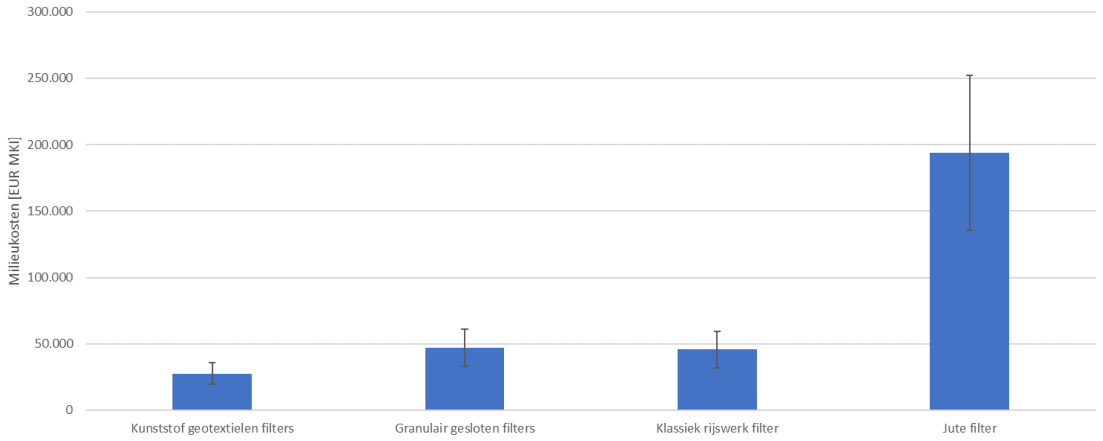
Om duiding te geven aan de resultaten uit paragraaf 5.2 wordt in deze paragraaf de interpretatie toegelicht en gelijktijdig de vergelijking gemaakt tussen varianten.

Afbeelding 5.2 geeft de MKI per oeverbeschermingsconstructie. De getoonde waarden zijn inclusief de toplaag. De afbeelding laat zien dat de MKI van de jute filter variant meermaals hoger is dan de overige varianten. Dit is het gevolg van de meerdere vervangingen die over de levensduur van de oeverbeschermingsconstructie plaatsvinden, zoals goed te zien in afbeelding 5.4.

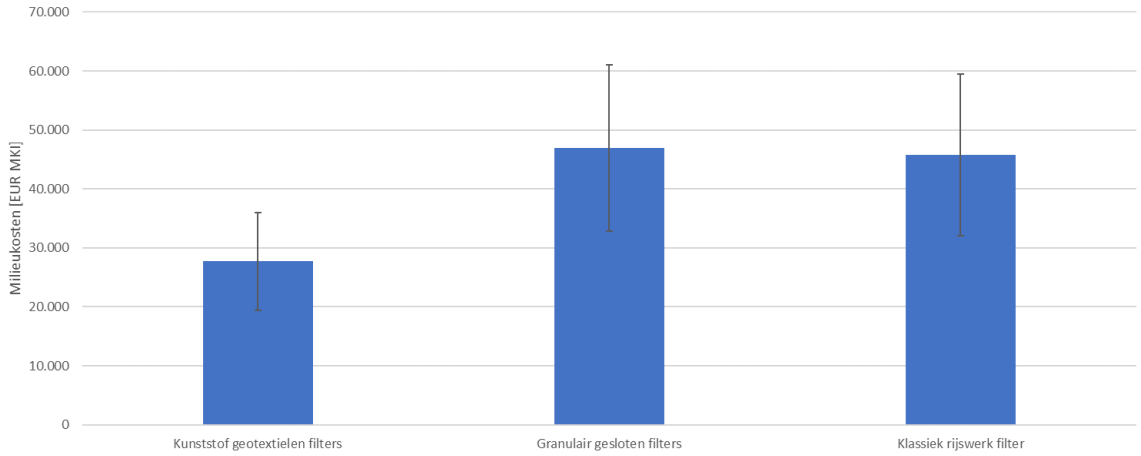
De marges die per variant zijn aangegeven laten een waarde van ± 30 % zien. Gezien de ruimte voor variaties in de ontwerpen en onzekerheid, zijn dergelijke afwijkingen mogelijk. De verschillen vallen grotendeels binnen deze bandbreedte, er zit daardoor geen onderscheidend verschil tussen de varianten; granulair gesloten en rijswerk. De kunststof geotextiel oeverconstructie heeft een onderscheidend lagere MKI, waarbij aangehouden bandbreedtes minimaal overlappen met granulair gesloten en rijswerk varianten.

Voor een beter beeld van de overige varianten; kunststof, granulair gesloten en rijswerk, geeft afbeelding 5.3 een vergelijking weer.

Afbeelding 5.2 MKI per 10.000 $m^2$ oeverbeschermingsconstructie



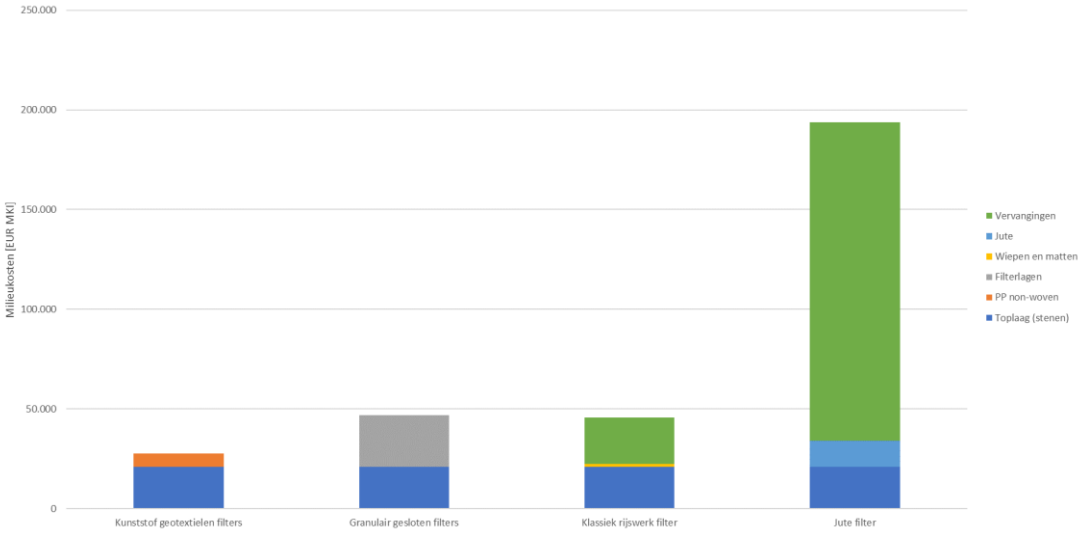

Afbeelding 5.3 MKI per 10.000 $m^2$ oeverbeschermingsconstructie (zonder jute filter)




### 5.3.2 Milieu-impact per onderdeel

Afbeelding 5.4 geeft de milieu-impact per onderdeel weer. De toplaag is in alle gevallen hetzelfde en meestal een groot aandeel in de milieu-impact. Het PP non-woven heeft in totaliteit de laagste milieu-impact. De impact van granulaire filterlagen is vergelijkbaar met de toplaag. De hoeveelheid granulair materiaal is lager dan de toplaag, maar de filterlagen worden niet hergebruikt waardoor geen baten bij einde levensduur optreden. Het rijswerk (wiepen en matten) heeft initieel een lagere milieu-impact, maar door meerdere vervangingen een hogere impact. De jute textiel variant heeft een significant hogere milieu-impact door het grote aantal vervangingen. De vervanging heeft tevens betrekking op de toplaag die eerst verwijderd dient te worden en daarna weer wordt teruggeplaatst, waarbij ook 10 % nieuw waterbouwsteen moet worden aangebracht. De milieu-impact van jute wordt op de volgende pagina nader toegelicht.

Afbeelding 5.4 Milieu-impact oeverbeschermingsconstructie per onderdeel




Tabel 5.6 geeft een overzicht van de MKI van de totale oeverbeschermingsconstructie en de filterlaag in de tweede en derde kolom in de twee rechter kolommen staan in percentages het aandeel van de filterlaag bij aanleg en wanneer ook vervangingen worden meegenomen. Deze tabel laat duidelijk zien dat het aandeel van het filter op de MKI bij aanleg varieert tussen circa 3 % en 55 % en dat door vervangingen de totale MKI toe kan nemen tot 89 %. Deze toename zit vooral bij het jute filter en het klassiek rijswerk filter. Bij het kunststof geotextiel en het granulair gesloten filter zijn de percentages aanzienlijk met circa 24 % en 55 %.

Tabel 5.6 bijdrage van filter op MKI

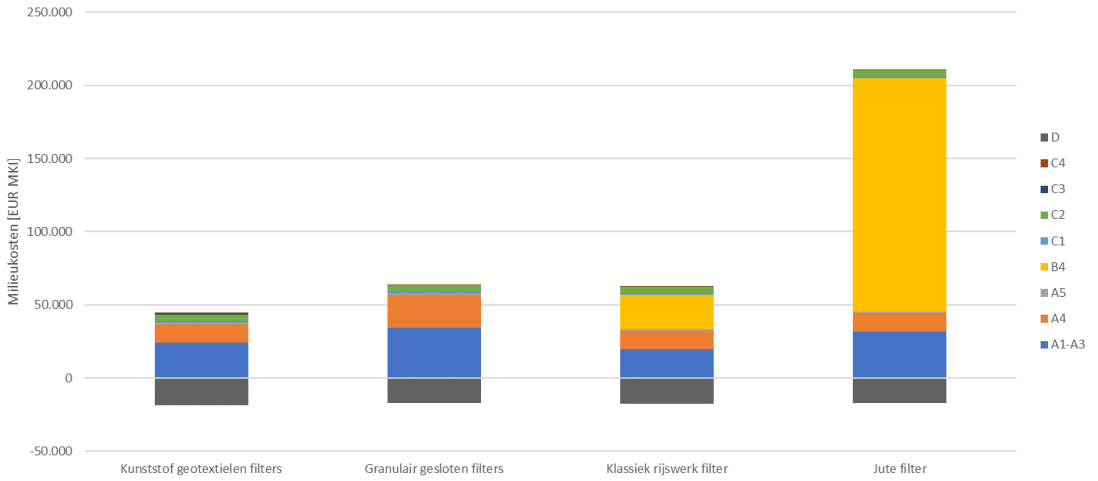
| | Totaal MKI | Filter MKI | % filter totaal | % filter incl. vervangingen filter |
|---|---|---|---|---|
| kunststof geotextielen filters | 27.698 | $6{,}65^{E}+03$ | 24 % | 24 % |
| granulair gesloten filters | 46.935 | $2{,}59^{E}+04$ | 55 % | 55 % |
| klassiek rijswerk filter | 45.712 | $1{,}31^{E}+03$ | 3 % | 54 % |
| jute filter | 193.864 | $1{,}32^{E}+04$ | 7 % | 89 % |

### 5.3.3 Milieu-impact per fase

Afbeelding 5.5 geeft de milieu-impact per fase weer. Hierin is wederom duidelijk te zien dat fase B, door vervangingen (vervangen rijswerk en jute geotextiel en het weghalen en opnieuw aanbrengen van de stenen), bij jute relatief hoog is en bij het rijswerk ook significant bijdraagt.

Hierbij is tevens te zien wat de baten zijn bij de verschillende varianten. De baten worden grotendeels veroorzaakt door hergebruik van de toplaag, maar bevat bij kunststof geotextielen en rijswerk varianten nog een deel energieproductie door verbranding.

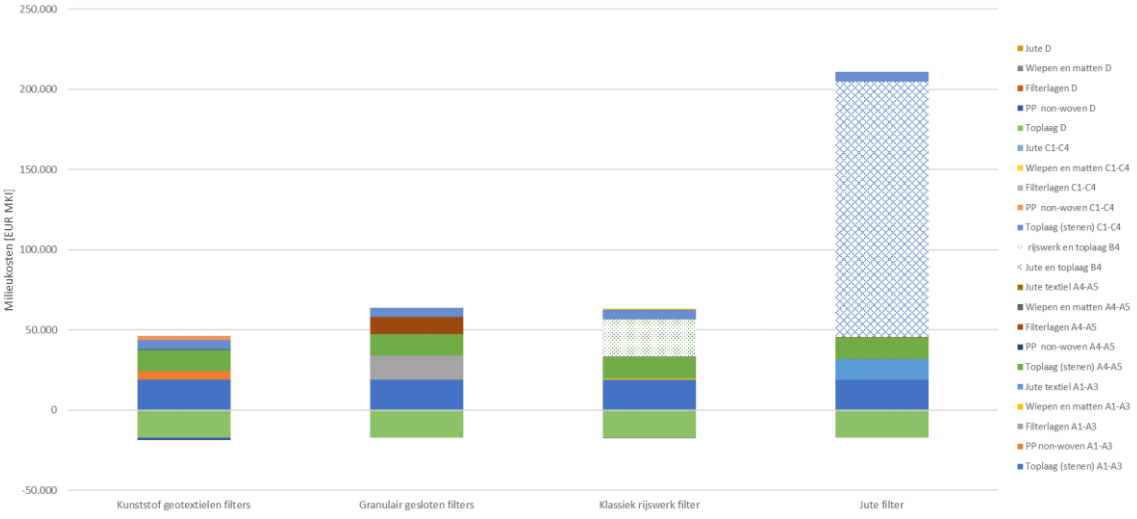
Afbeelding 5.5 Milieu-impact oeverbeschermingsconstructie per levenscyclus fase




## 5.3.4 Milieu-impact per onderdeel, per fase

Een totaaloverzicht per onderdeel, per fase kan verkregen worden met behulp van afbeelding 5.6.

Afbeelding 5.6 Milieu-impact oeverbeschermingsconstructie per onderdeel per fase



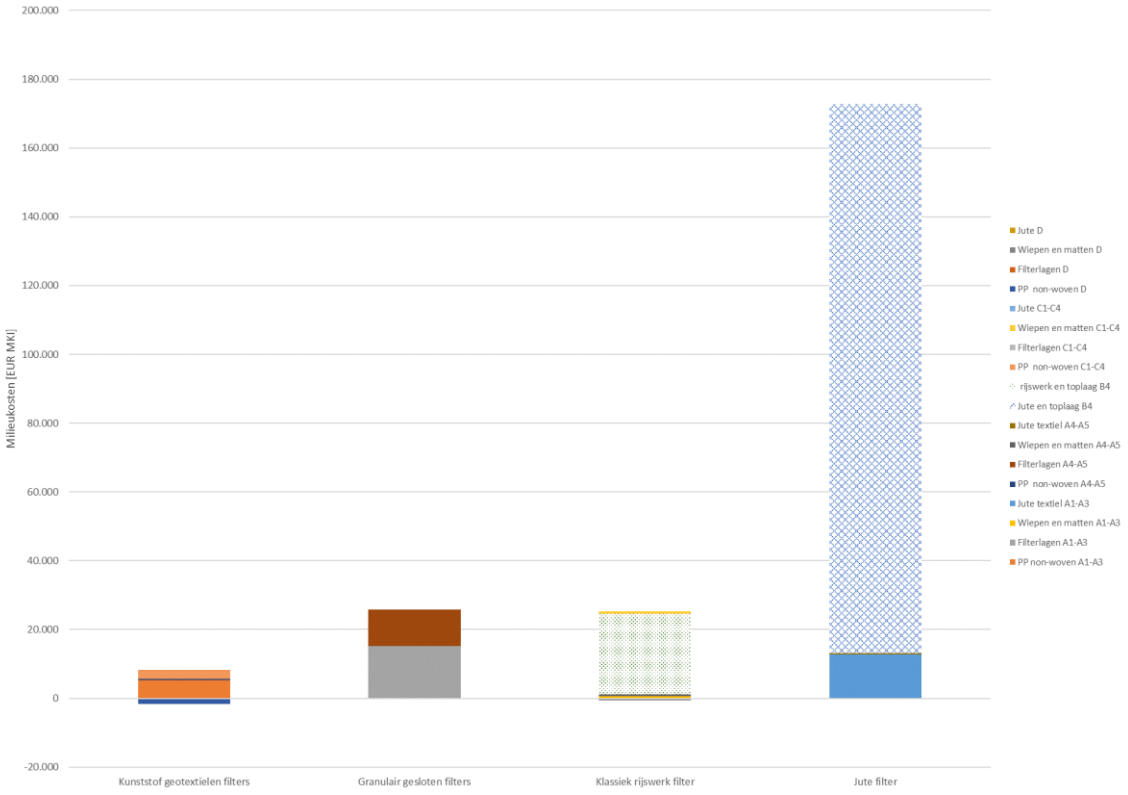

## 5.3.5 Impact filterlaag

Afbeelding 5.7 geeft enkel de filterlaag (het textiel, rijswerk of filterlagen) weer, zonder de toplaag (de steenbestorting). De milieu-impact hiervan is ook te zien in afbeelding 5.4 en laat wederom zien dat de het jute filter de hoogste milieu-impact heeft door hoge bijdrage van het jute textiel A1 - A3 (toelichting in 5.3.6) en vervangingen (negen keer). De aangenomen levensduur van 5 jaar is daardoor een gevoelige parameter.

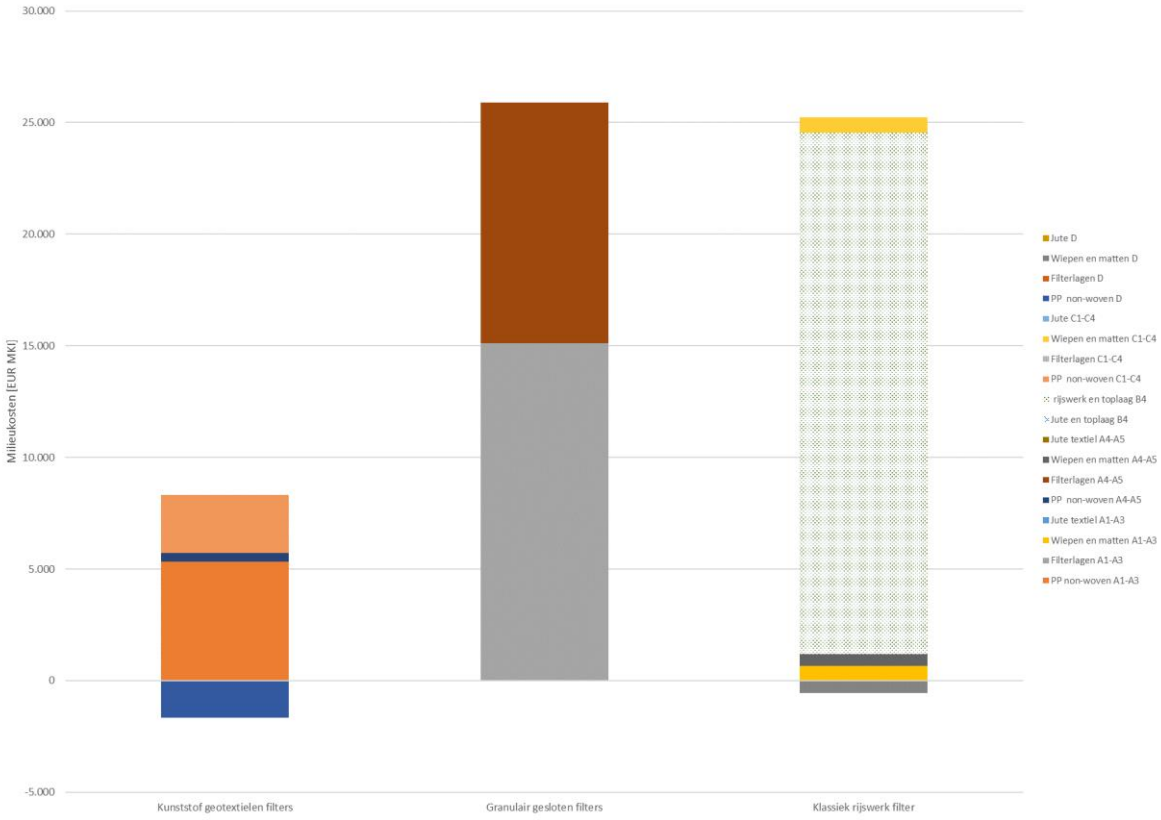
Voor een beter beeld van de overige varianten is in afbeelding 5.8 alleen kunststof, granulair gesloten en klassiek rijswerk weergegeven. Hieruit komt naar voren dat de totale milieu-impact voor de scheidingslagen onderscheidend is. Het kunststof geotextiel heeft de laagste MKI, met relatief hoge bijdragen uit de productie van het materiaal en einde levensduurverwerking. Het granulair gesloten filter heeft de hoogste MKI, waarbij benoemd moet worden dat er geen terugwinning plaatsvindt. Als granulaire filterlagen wel teruggewonnen zouden worden, zouden baten overeenkomen met 90 % van A1 - A3 en de MKI sterk verlagen. Bij het klassiek rijswerk is een groot deel van de milieu-impact afkomstig uit vervangingen, de

bijdrage van wiepen en matten is beperkt. Dit betekent dat bij een langere levensduur voor het klassiek Rijswerk (> tien jaar), deze variant een lagere milieu-impact zou kunnen krijgen dan de overige varianten.

Afbeelding 5.7 Milieu-impact scheidingslaag per fase



Afbeelding 5.8 Milieu-impact scheidingslaag per fase, exclusief jute filter



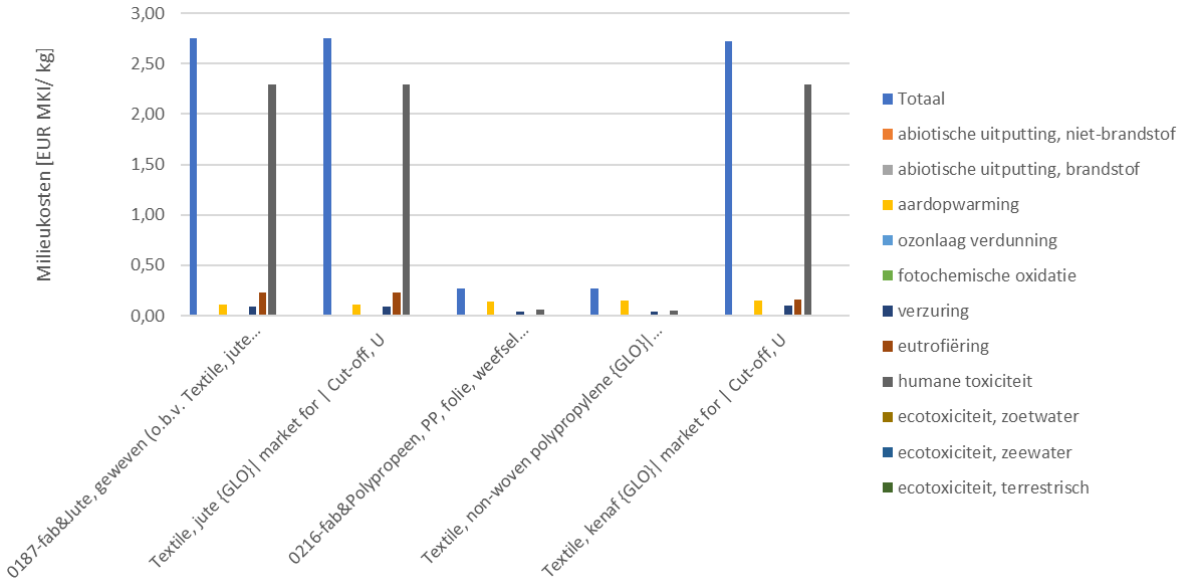

### 5.3.6 Jute textiel

Opvallend is dat de oeverbescherming die gebruik maakt van een jute textiel, een zeer hoge MKI heeft. Door de korte levensduur vindt negenmaal een vervanging plaats van de gehele oeverbeschermingsconstructie, waardoor de totale MKI toeneemt. De hoogste bijdrage hierin is het jute textiel zelf.

Afbeelding 5.9 laat zien dat de milieu-impact van jute (twee processen) per kilogram materiaal een orde grootte hoger is dan die van een polypropyleen weefsel (twee processen). De milieu-impact wordt met name door humane toxiciteit veroorzaakt, mogelijk door gebruik van pesticiden tijdens het verbouwen van de vezel[1]. Kenaf textiel, een vergelijkbaar materiaal, is ook toegevoegd aan afbeelding 5.7 en laat een vergelijkbare opbouw van milieu-impact zien. De invloed van de natuurvezel textielen op aardopwarming [$CO_2$-eq] (geel) is wel lager dan PP weefsel. Het wordt aangeraden om te kijken naar de milieu-impact van het verbouwen van natuurlijke materialen, mogelijk kan deze waarde lager worden wanneer bij het verbouwen minder belastende materialen worden gebruikt.

[1] https://www.researchgate.net/publication/337261671_Comparative_Life_Cycle_Assessment_of_Cotton_and_Other_Natural_Fibers_for_Textile_Applications.

Afbeelding 5.9 Milieu-impact natuurvezel textielen




### 5.3.7 Gevoeligheid uitgangspunten

De in deze paragraaf gepresenteerde resultaten zijn bijzonder gevoelig voor gekozen uitgangspunten. Hieronder worden enkele relevante aspecten uitgelicht.

#### Technische levensduur jute en rijswerk varianten

De technische levensduur van biologisch afbreekbare materialen is sterk afhankelijk van omgevingsfactoren. Het is daarom waarschijnlijk dat deze voor jute en rijswerk in de praktijk afwijken van de aangenomen 5 en 10 jaar. De invloed van deze aanname weegt zwaar mee voor het rijswerk (afbeelding 5.8) en zeer zwaar voor jute (afbeelding 5.7).

#### Proceskeuzes

Voor de eindelevensduur (C1 - C4) en milieulasten en -baten buiten systeemgrenzen (D) zijn grotendeels forfaitaire NMD scenario's aangehouden. Hierbij worden verwerkingsscenario's beschreven die kunnen afwijken van de praktijk. Dit is deels ondervangen door op basis van expert judgement in sommige gevallen af te wijken van forfaitair. Voor granulaire filterlagen is deze keuze gevoelig, omdat we hier uitgaan van geen verwijdering van de filterlaag in plaats van 90 % verwijdering (forfaitair). Als uitgegaan wordt van forfaitair zouden circa 90 % van de milieulasten in A1 - A3 gecompenseerd worden door D.

#### Toplaag steengradering van 10 - 60 kg

In paragraaf 3.2 is toegelicht dat bij een granulair filter de benodigde steendiameter van de toplaag mogelijk kleiner kan waardoor in sommige gevallen een kleinere steengradering zou kunnen volstaan. In een specifieke situatie is het bijvoorbeeld mogelijk dat een steengradering 10 - 60 kg op een granulair filter nog juist voldoet, maar dat bij de keuze voor één van de andere drie beschouwde filterconstructies een grotere gradering benodigd is. Het toepassen van een niet granulair filter zou dan kunnen leiden tot 40 % tot 100 % toename in het benodigd granulair materiaal ten opzichte van de granulaire filterconstructie. In de MKI-berekening heeft de toplaag het grootste aandeel in de milieu-impact (zie afbeelding 5.4). In het specifieke geval (waarbij 10 - 60 kg op een granulair filter nog juist voldoet, maar bij de overige filterconstructies een grotere gradering in de toplaag nodig is) valt de granulaire filterconstructie dan ook veel gunstiger uit dan de overige beschouwde filterconstructies.

#### Transportafstanden

Er zijn algemene aannames gedaan voor transportafstanden. In werkelijkheid kan de transportafstand per individueel project significant verschillen. Er zullen projecten zijn waar materialen dichterbij beschikbaar zijn

dan wel verder weg. Afbeelding 5.5 laat goed zien dat het transport (A4) een significante bijdrage levert aan de totale MKI. Voor individuele projecten kan de totale MKI dan ook anders uitvallen.

**Elektrisch materieel aanleg (A5)**
Wanneer (eventueel in de toekomst) er gewerkt zou worden met elektrisch (emissieloos) materieel bij installatie zou de milieu-impact verlaagd kunnen worden. Het aandeel van A5 is zoals te zien in afbeelding 5.5. echter gering, waardoor emissiereductie van materieel met name in andere levensfasen van belang zal zijn. Bij vervangingen zal het effect voor rijswerk en jute varianten respectievelijk viermaal en negenmaal groter zijn, echter door geringe bijdrage van aanleg zal dit naar verwachting niet leiden tot onderscheidende verschillen.

## 5.4 Kwalitatieve beschouwing van de milieu-impact van het vrijkomen van kunststoffen

Een kwalitatieve beschouwing wordt gegeven van de milieu-impact van het vrijkomen van kunststoffen, zoals micro- en macroplastics. Dit is gedaan op basis van een beknopte bureaustudie. Hierbij wordt aangegeven hoe dit zich verhoudt tot de MKI-systematiek.

Met kunststofvervuiling wordt hier bedoeld het onbedoeld vrijkomen van microplastics in gebruiksfase, waardoor milieu- en gezondheidsrisico's ontstaan.

### 5.4.1 Degradatie mechanismen

Onder beoogd gebruik van kunststof geotextielen kunnen in principe geen kunststoffen vrijkomen in het milieu in de gebruiksfase, omdat deze onder steenbestorting liggen en hierdoor niet degraderen[1] door blootstelling aan stroming, warmte, UV, vegetatie, fauna of andere effecten. Bij bijvoorbeeld slecht onderhoud of zwaardere belasting, kan geotextiel los kan komen te liggen en aan omgevingsfactoren wordt blootgesteld waar het niet voor ontworpen is. Afbeelding 5.10 laat een situatie zien waarin geotextiel kan degraderen en in het milieu terecht kan komen.

[1] Volgens specificaties leveranciers.

Afbeelding 5.10 Losliggend geotextiel als gevolg van een bezweken oeverbeschermingsconstructie.
Bron: https://www.plasticsoupfoundation.org/2021/03/minister-is-duidelijk-niet-functioneel-geotextiel-moet-worden-opgeruimd/



Losliggend geotextiel kan door omgevingsfactoren degraderen en vervolgens terecht komen in het milieu. De mechanismen die hiervoor bestaan zijn fragmenteren, uitloging en absorberen[1]. Uit fragmentatie kunnen vervolgens macro- (> 5 mm), micro- (< 5 mm) en nanoplastics (0.001 – 0.1 µm) ontstaan die diverse negatieve effecten op het milieu en gezondheid kunnen hebben (zie ook paragraaf 5.4.3.). Uitloging en absorptie treden mogelijk ook op bij losliggend geotextiel en kunnen tevens direct leiden tot negatieve effecten op het milieu (zie ook paragraaf 5.4.3.) en gezondheid.

### 5.4.2 Verspreiding in het milieu

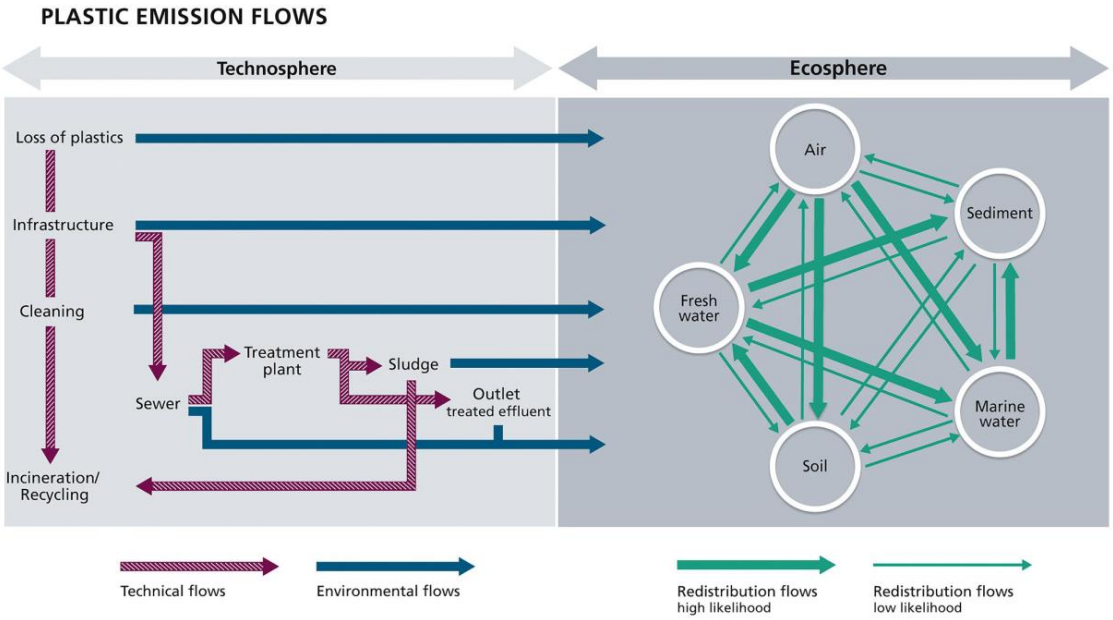
**Bron kunststofvervuiling**
Kunststofvervuiling door oeverbeschermingsconstructies met geotextiel is afkomstig uit losliggend geotextiel uit diverse oeverbeschermingsconstructies. Het is onbekend hoeveel kunststoffen hierdoor in het milieu terecht komt. Technisch gezien is het vrijkomen van kunststoffen uit geotextielen enkel mogelijk als afgeweken wordt van geldende ISO Normen voor aanleg en onderhoud, waardoor sprake is van een situatie waarvoor het geotextiel niet is ontworpen.

**Verspreiding kunststoffen**
Verdere verspreiding van de kunststoffen kan plaatsvinden door stroming of door opname in planten en dieren (zie ook 5.4.3.). Afbeelding 5.11 geeft de voor kunststofemissies de mogelijke stromen tussen technosphere (menselijke systemen) en ecosphere (milieu). De kunststoffen kunnen direct in het milieu terecht komen door directe verliezen, daarnaast kan kunststofmiddels infrastructuur (e.g. riolering, wegen) verplaatsen, waarna het direct of via het riool in het milieu terecht kan komen. Verdere verspreiding in het milieu kan fysiek (stroming, wind, etc.) of biologisch (zie ook 5.4.3.) plaatsvinden.

**Accumulatie kunststoffen**
De plek waar de kunststof ‘uiteindelijk’ belandt, of beter gezegd, voor problemen zorgt, kan in de vorm van de bekende plastic soep in oceanen of in binnenwateren zijn. Vervolgens en op weg naar deze ‘bestemmingen’ kan de kunststof opgenomen worden door organismen en door de keten heen tot bioaccumulatie leiden. Via met name visserij kan de kunststof ook in de mens terecht komen.

[1] Deltares Flyer Zero-pollution en circulariteit - Onderzoek naar duurzaamheid, impact op milieu en gezondheid van Geokunststoffen.

Afbeelding 5.11 Kunststofverspreiding in het milieu Maga et al. (2022) Methodology to address potential impacts of plastic emissions in lifecycle assessment




## 5.4.3 Invloed op het milieu: ecologisch

Onder de ecologische effecten van kunststoffen in het milieu verstaan we hier de gevolgen van de deeltjes kunststof inclusief de chemische stoffen die in of aan deze deeltjes zitten, voor de levende natuur. Hierbij leggen we de nadruk op waterdieren en micro-organismen, omdat de kans dat het oeververdedigingsmateriaal (uiteindelijk) in het water terecht komt groter is dan op land. De gevolgen van kunststoffen voor het waterleven die hier beschreven worden zijn echter (deels) ook van toepassing op bijvoorbeeld landdieren. Bovendien is het zo dat organismen zoals vogels zich in beide milieus bewegen en foerageren.

De laatste jaren is er steeds meer onderzoek gedaan naar de ecologische effecten van kunststoffen die in het milieu zijn terecht gekomen en daar afgebroken worden in steeds kleiner deeltjes. Het meeste wetenschappelijke onderzoek heeft zich geconcentreerd op mariene (zoutwater) milieus, maar ook de effecten op zoetwater milieus worden vaker onderzocht. Voor het vrijkomen van kunststoffen uit oeververdedigingsmaterialen zijn bevindingen uit beide soorten onderzoeken van belang, omdat de principes overdraagbaar zijn, zoals het verstrikken of consumeren van kunststoffen door dieren, en omdat een groot deel van de kunststoffen via de rivier ook eindigt in het mariene milieu. Kunststoffen en de (chemische) stoffen die erin aangehecht worden hebben een breed spectrum aan gevolgen voor de levende natuur, variërend van beperkingen in het functioneren van het organismen tot sterfte. Daarom worden plasticvervuiling over het algemeen als groot ecologisch bezwaar erkend (Ma et al., 2019; Castro-Castellon et al., 2022). Het ecosysteem en alle organismen die erin leven kunnen op verschillende manieren gevolgen ondervinden wanneer zij in aanraking komen met kunststoffen: effecten van (het consumeren van) deeltjes kunststoffen, bijvoorbeeld als kunststofdeeltjes vast komen te zitten in het maagdarmkanaal van een dier; van de chemische stoffen die in kunststoffen verwerkt zitten; van stoffen die kunnen hechten aan kunststofdeeltjes. Daarnaast is het van belang om ook oog te hebben voor de stapeling van effecten voor het ecosysteem. Deze vier verschillende ecologische effecten worden hieronder nader toegelicht.

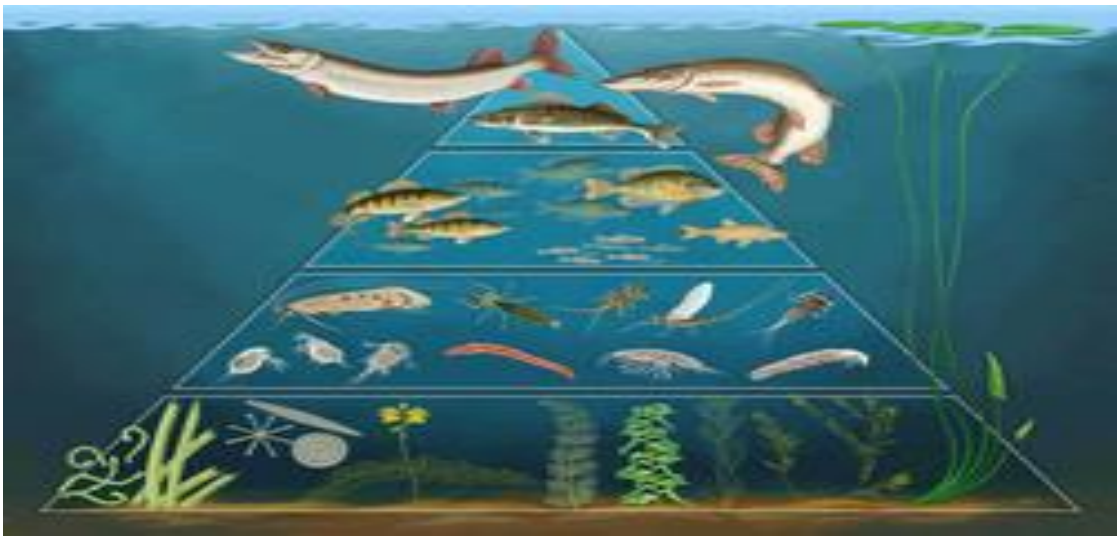
### Ecologische effecten van deeltjes kunststof

Welke gevolgen een organismen ondervindt als deze in aanraking komt met kunststoffen is mede afhankelijk van de grootte van de kunststofdeeltjes. Wellicht het duidelijkst zichtbaar is verstikking van

organismen in grote stukken kunststoffen. In marine milieus gaat het daarbij vaak om dieren die verstrikt raken in touw of vistuig, maar als er stukken oeververdedigingsmateriaal loskomen zouden dieren in zoetwatermilieus daar ook in kunnen vastraken. Als een dier verstrikt raakt kan het zich daardoor moeilijker bewegen en eten, en ook de ademhaling kan worden verstoord met mogelijk fatale gevolgen. Een organisme kan een stuk kunststof makkelijk verwarren met andere dingen die het normaalgesproken eet, maar ook per ongeluk opeten. Kunststoffen zijn onverteerbaar en kunnen slechts uiteenvallen in nog kleinere deeltjes kunststof. Wanneer een stuk kunststof al dan niet per ongeluk geconsumeerd wordt door een organisme, kan het ophopen in bijvoorbeeld de maag. Ook dit kan dodelijke gevolgen hebben, direct of na langere tijd, en bovendien gezondheidsproblemen en nadelen voor voortplanting voor het dier veroorzaken. Zie ook Kühn et al., 2015, en referenties daarin voor een uitgebreide discussie over de ecologische effecten van macroplastics.

Sinds de jaren 2000 is uit wetenschappelijk onderzoek duidelijk geworden dat niet alleen grote stukken kunststoffen (macroplastics) van invloed zijn op organismen, maar ook kleinere deeltjes, de micro- en nanoplastics (Ryan, 2015). Vooral organismen die zich voeden met plankton en zwevende deeltjes, zoals filtereraars, kunnen makkelijk microplastics binnenkrijgen bij het eten, maar microplastics kunnen ook via kieuwen een organisme binnen komen. Als een organisme vervolgens weer opgegeten wordt door andere organismen hoger in de voedselketen, hopen de microplastics zich verder op in de hogere organismen, zoals vissen, vogels, amfibieën en zoogdieren.

Afbeelding 5.12 Het voedselweb van een zoetwatersysteem met verschillende trofische niveaus: onderin staan de primaire producenten, vervolgens het tweede trofische niveau van onder andere zoöplankton en macrofauna. Het derde trofische niveau behelst voornamelijk vissen, en boven in de piramide staan roofvissen op het vierde trofische niveau. Deze piramide is een voorbeeld, waarop bijvoorbeeld vogels nog niet vermeld staan. (bron afbeelding: Peyton, Janel en Evan - freshwater biology)



De gevolgen van deze kleinere kunststoffen voor verschillende soorten aquatische organismen (onder andere algen, macrofauna en vissen) omvatten onder meer aantasting van de ademhaling, voedsel inname, voortplanting, groei en productie van biomassa, gedrag; schade aan het maag-darmkanaal; weefselschade en verplaatsing naar andere weefsels in een organisme; en op cellulair niveau ook aantasting van de stofwisseling, cellulaire stress, DNA schade en verandering in de genexpressie; en sterfte (Rist & Bloch Hartmann, 2015; Ma et al., 2019; Castro-Castellon et al, 2022), waarbij de effecten op cellulair en gen niveau minder wijdverbreid onderzocht zijn, dan op het organisme als geheel (Ma et al., 2021).

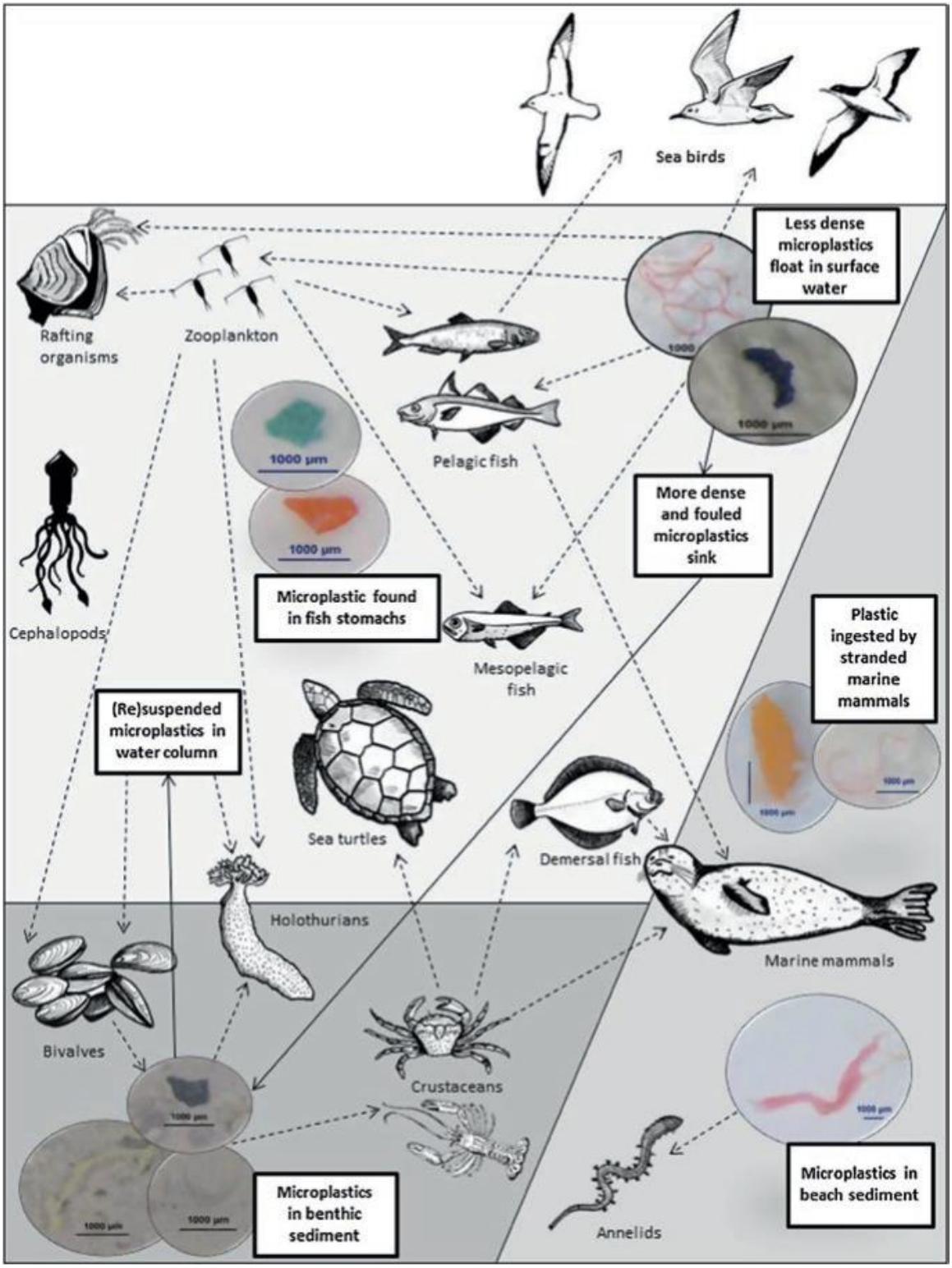
In tegenstelling tot macroplastics kunnen kleinere kunststofdeeltjes (microplastics) soms wel uitgescheiden worden nadat ze opgegeten zijn door organismen. Of en hoe makkelijk plasticdeeltjes kunnen worden uitgescheiden hangt daarbij af van de grootte van het deeltje en van het organisme, het levensstadium, en

het soort organisme (Castro-Castellon et al., 2022). Microplastics zijn aangetroffen in de maag van vissen en ongewervelde dieren. Laboratorium studies onder mariene soorten laten bijvoorbeeld zien dat borstelwormen microplastics kunnen uitscheiden, terwijl de zeepier wel last had van opgegeten microplastics (Lusher, 2015). Deze studies geven een indicatie van de verschillen per soort die ook in de praktijk kunnen optreden. Vissen scheiden microplastics over het algemeen makkelijker uit dan grotere plasticdeeltjes. Vogels kunnen microplastics uitscheiden via regurgitatie, maar omdat zij daarmee ook hun jongen voeden, komen de deeltjes alsnog in een (ander) organisme terecht.

Eenmaal geconsumeerd kunnen microplasticdeeltjes verplaatsen naar andere weefsels binnen een organisme. Hier zijn voorbeelden bekend van intern transport van microplastics naar het hemolymfe systeem (de lichaamsvloeistof) van arthropoden en mollusken, of naar het lysosomaal systeem (onderdeel van de celstofwisseling). Welk effect de microplastics in weefsels hebben is nog niet altijd duidelijk of goed onderzocht, maar er zijn wel ontstekingsreacties aangetroffen. Voor de allerkleinste deeltjes (nanoplastics) geldt dat deze zich nog makkelijker door het weefsel kunnen bewegen en zelfs door celmembranen. In de cel kunnen nanoplastics vervolgens de celfunctie verstoren via interacties met membraaneiwitten en de membraanstructuur (Lusher, 2015 en referenties daarin). Als nanoplastics terechtkomen op micro-organismen zoals algen, kunnen ze de fotosynthese en daarmee het algemeen functioneren van deze organismen verhinderen (Ma et al., 2019).

Naast de individuele effecten van een organisme dat in contact kan komen met kunststoffen, zijn er mogelijk ook gevolgen voor het ecosysteem. Als kunststoffen ophopen in het milieu, bijvoorbeeld op de bodem of aan het wateroppervlak van een rivier of de zee, kan dit ook verstikkende gevolgen hebben voor het milieu. De natuurlijke interactie tussen organismen en nutriëntenuitwisseling in bodem en water kan zo verhinderd worden, kwetsbare planten kunnen beschadigd raken en aan het wateroppervlak kan ophoping leiden tot een veranderd lichtklimaat, met mogelijk ongewenste algengroei en achteruitgang van de waterkwaliteit tot gevolg. Wanneer (micro)plastics in de bodem terecht komen, kan dit de doorlatendheid van het substraat veranderen. Dit kan gevolgen hebben voor onder meer de temperatuurhuishouding en daarmee voor biologische en biochemische processen (Kühn et al., 2015). Dergelijke ophoping van microplastics van alleen oeververdedigingsmateriaal zijn minder waarschijnlijk, maar dit is niet het enige kunststofmateriaal dat in het watersysteem terecht komt, en daarom is het effect hier voor de volledigheid wel vermeld.

Afbeelding 5.13 De interacties van microplastics in mariene milieus. Dergelijke interacties vinden ook plaats in vergelijkbare organismen in zoetwatermilieus (Kühn et al., 2015)




## Ecologische effecten van (chemische) stoffen in kunststoffen

Naast de hierboven beschreven fysiologische effecten van de kunststofdeeltjes, zijn er ook toxicologische effecten van deze hulpstoffen op organismen. Kunststoffen bevatten vaak chemische hulpstoffen zoals bisphenol A (BPA), ftalaten, UV stabilisatoren, koolwaterstoffen etc, maar ook sporen van metalen zoals aluminium, chroom, koper en zink (Ma et al., 2019; Cormier et al., 2021). Bovendien kunnen andere stoffen

zoals pesticiden en andere (organische) verbindingen zich hechten aan microplastic deeltjes en daarmee een gevaar vormen voor organismen. Ook hier geldt dat deze chemische stoffen via consumptie door kleinere organismen die vervolgens zelf opgegeten worden, op deze wijze hogerop in de voedselketen kunnen terechtkomen en accumuleren. Dit noemen we bio-accumulatie.

De toxicologische effecten van chemische hulpstoffen en metalen op aquatische organismen verschillen per stof, per soort organisme en levensstadium. Zo is bijvoorbeeld in wetenschappelijk onderzoeken aangetoond dat ftalaten en bisfenol A negatieve gezondheidseffecten hebben op de voortplanting en ontwikkeling hebben, en genetische afwijkingen kunnen veroorzaken. Soortgroepen zoals mollusken, schaaldieren en amfibieën zijn al gevoelig voor deze stoffen als zij in aanraking komen met lage concentraties (Oehlmann et al., 2009). In onderzoek naar acute toxiciteit zijn negatieve gezondheidseffecten gevonden op de vroege levensstadia van onder meer kwallen (Cormier et al., 2021). De onderzoeken naar de toxicologische effecten van hulpstoffen laten zich over het algemeen goed doorvertalen naar de milieucondities in de praktijk (Oehlmann et al., 2009), maar het is nog steeds onduidelijk wat de lange termijn effecten van deze stoffen zijn, de gevolgen van combinaties van stoffen en accumulatie in de voedselketen. Het is echter wel van belang om hier zicht op te krijgen, zeker gezien de negatieve effecten die al gevonden zijn bij de kortere termijn studies.

Onderzoek naar de toxicologische effecten van aangehechte stoffen is nog volop in ontwikkeling (Ma et al., 2019). Er zijn experimenten uitgevoerd op 'model-organismen', maar het is vaak nog onduidelijk hoe deze resultaten zich laten doorvertalen naar de praktijk van het milieu in een watersysteem. Sommige onderzoeken rapporteren enig bewijs voor gezondheidseffecten van de combinatie van pesticiden en microplastics/nanoplastics. Anderen hebben zich vooral gericht op acute toxicologische effecten en zien daar weinig verschil in een gecombineerd effect, dan wanneer de pesticiden en micro- en nanoplastics afzonderlijk onderzocht worden. Wat wel duidelijk is, is dat er meer onderzoek nodig is naar vooral de praktijk van watersystemen ten opzichte van laboratoriumonderzoek, en ook naar de effecten in verschillende levensstadia van organismen (Ma et al., 2021; Castro-Castellon et al., 2022).

### Ecologische effecten van aan kunststof gehechte stoffen

Naast de aanhechting van (chemische stoffen), kunnen ook andere organismen zich hechten aan kunststofdeeltjes. Hiermee kunnen de kunststoffen een nieuwe habitat vormen voor organismen die anders wellicht niet in een bepaald milieu zouden kunnen verblijven. Vooral kleine organismen kunnen aangehecht meegevoerd worden naar nieuwe leefgebieden. Hier bestaat het risico dat de 'lift' die het organisme krijgt van het moeilijk afbreekbare kunststofdeeltje, het organisme op plekken brengt waar het uit zichzelf niet zou zijn aangeland, waardoor het organisme mogelijk als invasieve exoot een ander ecosysteem kan verstoren (Kühn et al., 2015).

Een onderbelicht onderwerp in wetenschappelijk onderzoek naar de ecologische effecten van kunststoffen op biofilms. Biofilms worden gevormd door micro-organismen en wanneer dit op kunststofdeeltjes gebeurt, kan dit gevolgen hebben voor de manier waarop kunststof zich in het milieu verspreid (zowel transport als afbraak van kunststoffen in nog kleinere deeltjes). Wanneer de biofilms gevormd worden door schadelijke micro-organismen, spelen de kunststofdeeltjes een rol in de verspreiding van pathogenen en de overdracht van antimicrobiële genen. Dit laatste is met name relevant als de aanhechting van antibiota op microplastics een zogenoemd 'biocide reservoir' vormt. Als de weerstand en samenstelling van gemeenschappen van micro-organismen veranderd, en dit via bijvoorbeeld consumptie hoger in de voedselketen doorwerkt, kan dit grote gevolgen hebben voor de resistentie en gezondheid van het hele ecosysteem (zie ook de ecotoxicologische review van Castro-Castellon et al., 2022, en referenties daarin).

### Stapeling van belastingen in een ecosysteem

Verder is het van belang om de gestapelde effecten van de verschillende belastingen beter in beeld te krijgen. Organismen hebben in het watersysteem waarin ze leven niet alleen te maken met kunststoffen, in welk formaat of met welke chemische componenten dan ook, maar ook met andere soorten vervuiling en belasting, zoals lozing van toxische stoffen, pesticiden, belasting met nutriënten, verzuring, droogteproblematiek, veranderingen in temperatuur etc. Daar waar een belasting met één aspect, zoals kunststoffen, door een gemeenschap van organismen of door het ecosysteem misschien nog opgevangen kan worden, kunnen de gecombineerde effecten van verschillende belastingen de spreekwoordelijke druppel

zijn, met achteruitgang van de ecologische toestand van een watersysteem tot gevolg. Daarbij speelt ook dat een gezond ecosysteem leunt op een intact voedselweb. Als deze wordt doorbroken doordat enkele soorten organismen nadeel ondervinden van (gecombineerde effecten van) kunststofbelasting en andere stressoren, dan komt het natuurlijke evenwicht van het gehele ecosysteem in gevaar. Naar stapeling van belastingen is nog weinig onderzoek gedaan, maar het belang wordt steeds vaker erkend (onder andere Ma et al., 2021; Castro-Castellon et al. 2022).

### 5.4.4 Conclusie

De kwalitatieve beschouwing van kunststofvervuiling laat zien dat bij beoogd gebruik kunststofvervuiling niet- of zeer beperkt op kan treden.
Echter blijkt in de praktijk dat er losliggend kunststof geotextiel is. De mate waarin dit voorkomt en dit bijdraagt aan de kunststofvervuiling is nog onbekend en dient in beeld te worden gebracht. Daarnaast is het te minimaliseren door voldoende inspecties en goed onderhoud uit te voeren, maar is het nooit compleet uit te sluiten. Losliggend kunststof kan in theorie degraderen en diverse nadelige milieu effecten tot gevolg kan hebben. Dit aspect komt niet terug in de MKI en is onderwerp van onderzoek en discussie (zie volgende paragraaf). Het kunststof geotextiel filter is de enige variant met kans op kunststofvervuiling, doordat de overige varianten geen kunststoffen gebruiken.

## 5.5 Beperkingen MKI-systematiek

Onzekerheden over het vrijkomen van kunststoffen bij kunststof geotextiel filters maken dat dit niet met zekerheid meegenomen kan worden in een LCA model. Het uitgangspunt is dat de filter gebruikt wordt in een situatie waarvoor het is ontworpen, waardoor in principe geen kunststof in het milieu terecht kan komen. Het vrijkomen van kunststoffen komt daarom ook niet terug in het LCA model.

Naast onzekerheden over het vrijkomen van kunststoffen zijn er nog twee beperkingen in de MKI systematiek; MKI impact categorieën en LCA karakterisatie.

**MKI impact categorieën**
De milieu-impact categorieën, zoals beschreven in tabel 5.1 zijn een selectie van relevante milieu-effecten die voldoende onderzocht zijn om te kwantificeren. De effecten van kunststofvervuiling zijn hierin niet opgenomen omdat mechanismen en invloed op milieu-impact categorieën nog niet voldoende bekend zijn.

**Karakterisatie LCA**
De meeste gebruikte LCA databases zoals Ecoinvent brengen in de levenscyclus inventarisatie niet in beeld of en in welke hoeveelheden microplastics vrijkomen. Deze inventarisatie ontbreekt, omdat ze in de gangbare LCA methodes ook niet kan worden gekarakteriseerd. De eerste methodes om kunststofvervuiling als impactcategorie op te nemen in LCA zijn reeds ontwikkeld. Maga et al. (2022) hebben karakterisatiefactoren ontwikkeld om de kunststofvervuiling uit te drukken in kunststofvervuiling equivalenten. Dit is te vergelijken met het uitdrukken van de verschillende broeikasgassen die bijdragen aan aardopwarming in $CO_2$-equivalenten. Onderliggend aan deze factoren is een model ontwikkeld die beschrijft welke weg kunststof aflegt wanneer het in het milieu terecht komt.

Om een beter beeld te krijgen van de ernst van kunststofvervuiling wordt vaak nog een extra stap gezet om de kunststofvervuiling te vertalen naar de impact op menselijke gezondheid of biodiversiteit. Een aantal specifieke modellen hiervoor bestaan. Bijvoorbeeld door Sailing et al. (2020), die een methode ontwikkelden voor de ecologische impact van microplastics in oceanen. Høiberg et al. (2022) hebben onderzocht in hoeverre organismen verstrikt raken in macroplastic. Dit onderzoek maakt deel uit van het MariLCA project (Boulay et al., 2021), waarin gewerkt wordt aan de dekking van verschillende milieu compartimenten (grond, zoetwater of lucht).

Voordat de microplastics in de LCA kunnen worden opgenomen zijn er nog verschillende stappen nodig. De boven benoemde modellen moeten worden geharmoniseerd en opgenomen in de zogeheten impact categorieën families zoals ReCiPe en LC-IMPACT. Vervolgens moet de methode moet landen in de EN15804[1]. En vervolgens dienen de LCI databases uitgebreid worden met gegevens die dan ook gekarakteriseerd kunnen worden door de methodes.

### Conclusie

Momenteel is onderzoek naar de effecten van kunststofvervuiling nog in volle gang en is er geen eenduidige methode beschikbaar in de LCA methodiek.

Er is gebruik gemaakt van onderstaande bronnen:


- Boulay, A. M., Verones, F. & Vázquez-Rowe, I. (2021). Marine plastics in LCA: current status and MarILCA's contributions. The International Journal of Life Cycle Assessment, 26. 10.1007/s11367-021-01975-1;
- Maga, D., Galafton, C., Blömer, J., Thonemann, N., Özdamar, A., & Bertling, J. (2022). Methodology to address potential impacts of plastic emissions in life cycle assessment. The International Journal of Life Cycle Assessment, 27(3), 469-491;
- Lavoie, J., Boulay, A.M., Bulle, C. (2021). Aquatic micro- and nano-plastics in life cycle assessment: development of an effect factor for the quantification of their physical impact on biota. Journal of Industrial Ecology. https://doi. Org/10.1111/jiec.13140;
- Saling, P., Gyuzeleva, L., Wittstock, K., Wessolowski, V. & Griesshammer, R. (2020). Life cycle impact assessment of microplastics as one component of marine plastic debris. International Journal of Life Cycle Assessment. https://doi.org/10.1007/s11367-020-01802-z;
- Høiberg, M.A., Woods, J.S. & Verones, F. (2022) Global distribution of potential impact hotspots for marine plastic debris entanglement. Ecological Indicators, 135:108509. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108509.


[1] De EN15804 is de Europese methode voor LCA's van bouwproducten, en voor Nederland uitgewerkt tot de bepalingsmethode, welke de methode is om de MKI te berekenen.

# 6

## KOSTEN VAN DE VERSCHILLENDE VARIANTEN

Dit hoofdstuk toont de kosten van de verschillende varianten middels de SSK-methode voor een levensduur van 50 jaar (de kosten worden netto contant gemaakt). De kosten zijn onderverdeeld in twee delen. De investeringskosten om de oeverbescherming aan te leggen en de instandhoudingskosten die nodig zijn om de oever 50 jaar te handhaven.

Dit betreft een kostenraming ter vergelijking van de varianten. Kostentechnische verschillen van de varianten worden met deze ramingen inzichtelijk gemaakt. Deze vergelijking is nadrukkelijk **niet geschikt** voor een budgetaanvraag.

### 6.1 Kosten methodiek

De kosten voor de filters is bepaald op basis van de interviews met de leveranciers en beschikbare informatie binnen Witteveen+Bos. In de raming is onderscheid gemaakt tussen het aanschaffen van het materiaal en de verwerking op de locatie.

Voor de levering van de materialen en inschatting van de verwerkingssnelheid is contact geweest met de verschillende leveranciers.

### 6.2 Uitvoering

Voor de uitvoering van de werkzaamheden is uit gegaan dat het filter kan worden aangelegd met een standaard hydraulische graafmachine ondersteund door 2 GWW arbeiders. Dit geldt niet voor het plaatsen van het klassieke rijswerk filter wat niet op rol wordt geleverd, maar drijvend vanaf het water het land op wordt getrokken.

In de uitvoering is nu uit gegaan dat de aanvoer van materiaal en voortgang vol continu kan plaats vinden en er gewerkt kan worden in grote volumes. Als referentie is nu een oppervlak van 10.000 $m^2$ gerekend.

### 6.3 Resultaat

Tabel 6.1 toont het overzicht van de kosten per variant. Daarbij zijn de investeringskosten de kosten voor initiële aanleg en de instandhoudingskosten de kosten voor de vervanging gedurende een levensduur van 50 jaar, waarbij de waarde contant is gemaakt. De levensduur kosten zijn de kosten gedurende de levensduur van 50 jaar, bestaande uit de investerings- en instandhoudingskosten. Een uitgebreidere onderbouwing is op genomen in bijlage III.

Tabel 6.1 Kosten per variant voor een referentievlak van 10.000 $m^2$ exclusief omzet belasting

| Variant | Investeringskosten | Instandhoudingskosten* | Levensduur kosten* |
|---|---|---|---|
| filter van standaard kunststof geotextiel (vlies) | 288.500 | 0 | 288.500 |
| granulair gesloten filter | 442.000 | 0 | 442.000 |
| klassiek zinkstuk | 642.500 | 1.500.855 | 2.143.355 |
| filter van Biobased biodegradable geotextiel | 296.200 | 650.590 | 946.790 |

* Contante waarde.

## 6.4 Interpretatie en vergelijking

Uitgaande dat de bestaande kunststof geotextiel filters een levensduur hebben van 50 jaar en in die periode geen onderhoud nodig hebben anders dan de regulier inspectie, wordt dit geacht voordeliger te zijn dan de biobased biodegradable variant.

De biobased biodegradable variant heeft een korte levensduur en wordt na circa 5 jaar vervangen en is altijd duurder. De kunststof geotextiel filters zijn voordeliger omdat de stortkosten van enkele EUR cent per $m^2$, ruim geschat, vele malen lager zijn dan de kosten voor het meermaals aanschaffen van de biobased biodegradable geotextiel filter en het tijdelijk wegnemen en terugplaatsen van de steenbestorting.

Enkel als de biobased biodegradable geotextiel filter ook een levensduur heeft van 50 jaar is dit financieel een concurrent, anders is dit meer dan tweemaal zo duur.

# 7

# CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.

## 7.1 Conclusies

Het doel van dit project is om de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:
- welke varianten van filter in oeverbeschermingsconstructie zijn er beschikbaar?
- welke variant is het meest duurzaam op basis van de Milieu Kosten Indicator (MKI)-systematiek?
- wat zijn de kosten van de varianten?

In dit hoofdstuk worden de verschillende varianten van de oeverbeschermingen onderling vergeleken op basis van de totale MKI-score, de kosten en functionele eisen (zoals levensduur).

### Varianten voor filter in oeverbeschermingsconstructie

Als filter kan een granulaire of een niet-granulair filter worden toegepast. Granulaire filters kunnen geometrisch gesloten of geometrisch open zijn. De niet-granulaire filters zijn onderverdeeld in geotextiel filters en klassiek rijshout filters. De geotextiel filters worden uitgesplitst naar grondstof, namelijk:
- kunststof geotextielen, deze zijn gemaakt van (deels) fossiele grondstoffen;
- bioplastic geotextielen, die hernieuwbaar (biobased) zijn en/of biologisch afbreekbaar (biodegradable).

Van dit laatste type zijn er verschillende producttypen op de markt beschikbaar, onder ander geweven PLA gronddoek Duracover, Ökocover (mais/suikerbieten/hennep), jutedoek, hennepdoek, Kokos erosiemat/grid, Bentoniet en Biomatten.

In de voorliggende rapportage zijn niet alle mogelijke varianten beschouwd. Er is een selectie van 4 varianten van filterconstructies gemaakt en deze zijn nader beschouwd:
- kunststof geotextiel filter;
- granulair geometrisch gesloten filter;
- klassiek rijswerk filter;
- biobased biodegradable geotextiel filter: jutedoek.

### Typische doorsnede

Er is uitgegaan van één typische doorsnede voor de oeverconstructie. Dit is een vereenvoudigde weergave van een oever en deze constructie zal niet overal langs de Nederlandse rivieren toepasbaar zijn. Deze dient dan ook om een goede vergelijking te kunnen maken tussen de filterconstructievarianten.

### Kwantitatieve inschatting milieu-impact (MKI)

Een kwantitatieve inschatting van milieu-impact is gemaakt middels de MKI-systematiek voor 10.000 $m^2$ oeverbescherming over de gehele levensduur. Daarbij moet in acht worden genomen dat de onzekerheden in de onderliggende uitgangspunten groot zijn, gecombineerd kan de bandbreedte 30 % tot 40 % zijn. Het wordt aangeraden om een nadere gevoeligheidsanalyse uit te voeren om te duiden of er onderscheid is in milieu-impact.

De kunststof geotextiel oeverconstructie heeft een onderscheidend lagere MKI, waarbij aangehouden bandbreedtes minimaal overlappen met de twee varianten granulair gesloten en klassiek rijswerk. Bij deze twee varianten is er geen onderscheidend verschil bij de vastgestelde uitgangspunten en bandbreedtes.

Voor de varianten zou verandering van uitgangspunten voor respectievelijk einde levensduur vervangingen de resultaten sterk kunnen beïnvloeden. De totale MKI van de jute filter oeverconstructie is meermaals hoger is dan de overige varianten. Dit is het gevolg van de meerdere vervangingen die over de levensduur van de oeverbeschermingsconstructie plaatsvinden.

### Kwalitatieve beschouwing kunststofvervuiling

De kwalitatieve beschouwing van kunststofvervuiling laat zien dat bij beoogd gebruik kunststofvervuiling niet- of zeer beperkt op kan treden. Echter blijkt in de praktijk dat er losliggend kunststof geotextiel is, dit kan in theorie degraderen en diverse nadelige milieu effecten tot gevolg kan hebben. Dit aspect komt niet terug in de MKI en is onderwerp van discussie. Het kunststof geotextiel filter is de enige variant met kans op kunststofvervuiling, doordat de overige varianten geen kunststoffen gebruiken. De kans op een bijdrage aan de kunststofvervuiling is onbekend en dient in beeld te worden gebracht.

### Afweging

Tabel 7.1 geeft een vergelijking van de varianten weer. Hierbij is voor de MKI, kosten, functioneren en kans op kunststofvervuiling een beoordeling gegeven waarbij oranje het minst gunstig is en groen het meest gunstig.

Er is geen variant die het beste scoort op alle aspecten; kosten, MKI en kans op plasticvervuiling. De MKI is gevoelig voor diverse verandering van diverse uitgangspunten. Op basis van besproken uitgangspunten is een kunststof geotextiel het best (groen) en een jute geotextiel het slechtst (oranje) op milieu-impact. Het granulair gesloten filter en klassiek rijswerk zijn onderling niet onderscheidend binnen de onzekerheidsmarge (geel).
Bij de levensduurkosten zijn het kunststof geotextiel filter en het granulair geometrisch gesloten filter in dezelfde orde grootte en zijn daarom beide groen. De levensduur kosten van het jute filter is circa een factor 3 hoger en is geel beoordeeld. Het klassiek rijswerk filter is een factor 7 hoger en daarom oranje beoordeeld.

Bij de kans op kunststof vervuiling is het kunststof geotextiel filter geel gemarkeerd en de andere groen, omdat dit de enige filter is waar kunststof in voorkomt met de in 5.4.3. beschreven effecten op het milieu. De kans van kunststof vervuiling is onbekend en dat is de reden dat het markering geel is.

Tabel 7.1 Vergelijking van de varianten met onzekerheden met bandbreedtes van 30 % tot 40 %

| Criterium | Kunststof geotextiel filter | Granulair geometrisch gesloten filter | Klassiek rijswerk | Jute filter |
|---|---|---|---|---|
| totale MKI-score | EUR 27.698 MKI | EUR 46.935 MKI | EUR 45.712 MKI | EUR 193.864 MKI |
| kosten levensduur (excl. BTW) | EUR 288.500 | EUR 442.000 | EUR 2.143.355 | EUR 946.790 |
| kans op kunststofvervuiling | ja | nee | nee | nee |

### Milieu-impact van filterlaag

De invloed van de filterlaag binnen de milieu-impact van oeverbeschermingsconstructies kan aanzienlijk zijn. In de MKI berekening kan dit 3 % tot 55 % zijn bij aanleg en als vervanging wordt meegenomen kan dit toenemen tot 89 %.

### Gevoeligheid voor gehanteerde uitgangspunten

De beschouwing is gemaakt voor een typische doorsnede. Hierbij zijn algemene uitgangspunten gehanteerd voor bijvoorbeeld de transportafstand en ondergrond. Hier worden enkele uitgangspunten uitgelicht:

- als toplaag op de oeverconstructie is voor alle filterconstructies uitgegaan van dezelfde standaard gradering 10 - 60 kg. Er kunnen specifieke situaties zijn waar bij een granulair filter een kleinere

benodigde steendiameter van de toplaag zou kunnen volstaan ten opzichte van de overige filterconstructies. In specifieke gevallen zou dat kunnen leiden tot 40 - 100 % toename in het benodigd granulair materiaal bij de andere filterconstructies ten opzichte van de granulaire filterconstructie. In het specifieke geval (waarbij 10-60 kg op een granulair filter nog juist voldoet, maar bij de overige filterconstructies een grotere gradering in de toplaag nodig is) valt de granulaire filterconstructie dan ook veel gunstiger uit dan de overige beschouwde filterconstructies;
- er zijn algemene aannames gedaan voor transportafstanden. In werkelijkheid kan de transportafstand per individueel project significant verschillen. Voor individuele projecten kan de totale MKI dan ook anders uitvallen;
- het verbruik van het materieel dat afhankelijk is van het benodigde vermogen dat gebaseerd is op het gewicht, de versnelling, de afstand en de duur. In deze studie is niet op dit detail niveau gekeken;
- de varianten met de kortere levensduur worden elke 5 jaar (jute) tot 10 jaar (klassiek rijswerk filter) vervangen, waarbij de stenen toplaag opzij wordt gezet, een nieuwe filter wordt geplaatst en de stenen toplaag wordt teruggezet. Hierbij wordt de volledige filter vervangen. Dit is een conservatief uitgangspunt, want het deel dat continu onder water ligt en langzamer degradeert, zou langer kunnen blijven liggen. De impact van niet volledig vervangen kan in een nadere studie worden beschouwd, aangezien dit kan betekenen dat er nauwkeuriger moet worden gewerkt, wat meer kosten met zich meebrengt;
- de technische levensduur van biologisch afbreekbare materialen is sterk afhankelijk van omgevingsfactoren. Het is daarom waarschijnlijk dat deze voor jute en rijswerk in de praktijk afwijken van de aangenomen 5 en 10 jaar. De invloed van deze aanname weegt zwaar mee voor het rijswerk (afbeelding 5.8) en zeer zwaar voor jute (afbeelding 5.7);
- Voor de eindelevensduur (C1 - C4) en milieulasten en -baten buiten systeemgrenzen (D) zijn grotendeels forfaitaire NMD scenario's aangehouden. Hierbij worden verwerkingsscenario's beschreven die kunnen afwijken van de praktijk. Dit is deels ondervangen door op basis van expert judgement in sommige gevallen af te wijken van forfaitair. Voor granulaire filterlagen is deze keuze gevoelig, omdat hier wordt uitgegaan van geen verwijdering van de filterlaag in plaats van 90 % verwijdering (forfaitair). Als uitgegaan wordt van forfaitair zouden circa 90 % van de milieulasten in A1 - A3 gecompenseerd worden door D.

## 7.2 Aanbevelingen

Dit was een verkennend onderzoek en daar zijn veel aanbevelingen uitgekomen. Deze staan hieronder benoemd:

**Oevers en oeverbeschermingsconstructies**
- bestaande oevers dienen regelmatig geïnspecteerd en onderhouden te worden, conform beoogd gebruik, zodat het geotextiel niet los kan komen te liggen en aan omgevingsfactoren wordt blootgesteld waar het niet voor ontworpen is zoals stroming, warmte, UV, vegetatie, fauna of andere effecten. Bij goede inspectie en onderhoud wordt kans op plasticvervuiling van het geotextiel verkleind;
- bestaande oeverbeschermingsconstructies die goed functioneren, en niet aan vervanging toe zijn, moeten ook niet worden vervangen, aangezien er een reële kans is dat bij vervanging meer vervuiling optreedt dan bij instandhouding van de huidige situatie;
- aandacht voor de oever en oeverbeschermingsconstructie bij einde levensduur, dit betreft onder meer het slopen, verwijderen en verwerken van de verschillende onderdelen. Hierdoor is de milieu-impact in module C en D minder;
- de eis die wordt gesteld aan de levensduur van (tijdelijke) oeverbeschermingsconstructie is een gevoelig uitgangspunt en heeft veel invloed op de resultaten. Voor filterconstructies met kortere levensduureisen kunnen de resultaten voor de MKI en de levensduurkosten anders uitvallen, waardoor er wellicht wel alternatieven op alle vlakken het beste scoren;
- de eis die wordt gesteld aan de functionaliteit van de oeverbeschermingsconstructie, hoeveel mag een oever bijvoorbeeld bewegen;
- aandacht voor het;

- neem bij de bepaling van de milieu-impact van oeverbeschermingsconstructies altijd de filterlaag mee, omdat dit een aanzienlijke bijdrage kan leveren aan de MKI.

### Afwegingskader

- het opstellen van een afwegingskader voor filterconstructies om de analyse beter uit te voeren:
  - op korte termijn waarbij de kwalitatieve risico's (kansen en bedreigingen) worden geduid, waaronder kosten, MKI en de kans op plastic vervuiling;
  - op lange termijn plastic vervuiling mee te nemen in de MKI-beoordeling. Het proces duurt lang (tientallen jaren) en moet in gang worden gezet en ondersteund. Dit betekent onder meer:
    - het inzichtelijk maken van geotextiel dat los komt te liggen en aan omgevingsfactoren wordt blootgesteld waar het niet voor ontworpen is zoals stroming, warmte, UV, vegetatie, fauna of andere effecten;
    - het inzichtelijk maken in welke mate dit losliggende geotextiel bijdraagt aan de kunststofvervuiling;
    - het afleiden en kwantitatief maken van de kwalitatieve criteria voor de milieu-impact van het vrijkomen van kunststoffen, zoals micro-plastics;
    - het uitbreiden van de levenscyclus inventarisatie van veel gebruikte LCA databases zoals Ecoinvent met LCI gegevens voor het vrijkomen van plastic vervuiling;
    - het opnemen van karakterisatiemethoden voor plasticvervuiling in zogeheten impact categorieën in impact assessment methodes zoals ReCiPe en LC-Impact, opdat de nieuwe methodes uitontwikkeld kunnen worden;
    - het uitbreiden van de PEF en de EN15804 en de bepalingsmethode met een verplicht te bepalen impact voor plastic vervuiling, welke de basis vormen voor de MKI berekeningen van de bouwproducten, inclusief de vaststelling van de weegfactor;
    - het herberekening van alle GWW milieuprofielen voor bouwproducten inclusief microplastics.

- de uitkomst van de MKI en kosten hangt erg af van de gekozen uitgangspunten. Belangrijke uitgangspunten zijn i) transportafstand, ii) het niet meenemen van uitvoeringstoleranties, iii) toplaag gradering 10 - 60 kg, iv) einde levensduur scenario's, v) vervangingen, zoals de levensduur van materialen en verliezen bij verplaatsen, vi) levensduur eisen, vii) milieu-impact van verschillende processen voor producten, zoals het verbouwen van natuurlijke materialen, en viii) gebruikte data, zoals categorie 1, 2 of 3. Nu is in de rapportage kwalitatief beschreven dat de effecten op de resultaten hiervan groot zijn. Aanbeveling is om dit nader uit te werken en i) per uitgangspunt een bandbreedte te geven, ii) voor de uitersten van deze bandbreedte de MKI-resultaten te geven en iii) een afweging te maken op basis van risico's (kansen en bedreigingen). Dit past goed in een gevoeligheidsanalyse;
- nadere beschouwing van de milieulasten en baten buiten systeemgrenzen (module D). De standaard sloop- en verwerkingsprocedure conform forfaitaire NMD scenario's Kust- en oeverwerken houdt in dat verbranding van kunststof geotextielen en natuurlijk materiaal energie oplevert. Daarbij is de vraag of dit positief is of minder negatief.

### Alternatieve filterconstructies

- voor alternatieve filterconstructies met een korte levensduur en die zich continu onder water bevinden, zal de levensduur mogelijk positiever uitvallen omdat die continue onder water is en de degradatie langzamer gaat. Daardoor veranderen de resultaten voor MKI en levensduurkosten en kunnen wellicht alternatieven op alle vlakken het beste scoren;
- het granulaire filter kan een goed alternatief zijn voor kunststof geotextielen onder specifieke omstandigheden, bijvoorbeeld bij korte transportafstanden en hergebruik. Daarbij wordt aanbevolen om dit nader uit te werken: i) ten aanzien van de uitvoering, welke complexer is en ii) de granulaire open filter;
- voordat klassiek rijswerk filters op grotere schaal worden toegepast, nader onderzoeken van de zanddichtheid, waterdoorlatendheid, de levensduur en het ontwerp van de toplaag;
- voor filters, zoals jute, zoeken naar materialen met een lagere milieu-impact, bijvoorbeeld doordat ze op een duurzamere wijze worden verbouwd en daarmee bijvoorbeeld een lagere humane toxiciteit hebben;

- de biobased biodegradable filter hebben nog een te korte levensduur en daarnaast zijn er veel gegevens nog onbekend. De aanbevelingen hieromtrent zijn:
  - de ontwikkeling van de biobased biodegradable materialen bij te houden ten aanzien van levensduur, milieu-impact (humane toxiciteit) en toepasbaarheid en wanneer meer informatie bekend is dit te bundelen en te delen;
  - ontwikkeling van biobased biodegradable materialen te stimuleren, zodat dit een volwaardiger alternatief wordt voor kunststof geotextielen met concurrerende milieu-impact;
  - nader onderzoeken van materialen en de toepassing daarvan die in natuurlijke omstandigheden degraderen, omdat het materiaal minder wordt blootgesteld aan UV en zuurstof en aerobe schimmels en bacteriën;
- in de voorliggende rapportage zijn niet alle mogelijke alternatieve filterconstructies onderzocht. Voor het volledige overzicht wordt aanbevolen om meer alternatieven in de vergelijking op te nemen;
- het volgen van de ontwikkeling van andere type oeverbeschermingen die mogelijk in de toekomst kansrijk zijn, zoals structuren die hun sterkte ontlenen aan grondankers;
- als keten de verantwoordelijkheid nemen om tot duurzame oeverconstructies te komen. Voor elke partner is dat anders en kan variëren van ontwikkelen van producten, stimuleren van ontwikkeling en controle van resultaten.

### Andere oeverconstructies

- het bepalen van de duurzaamheid van andere oeverbeschermingen (langs kusten, verticale wanden) als ook andere type constructies zoals natuurvriendelijke oevers.

# 8

## REFERENTIES


1 Tweede Kamer, vergaderjaar 2020-2021, 32 852 Grondstoffenvoorzieningszekerheid, nr. 148 Motie van het lid Grinwis - voorgesteld 20 april 2021.
2 CUR (2017). Ontwerprichtlijn voor geotextielen onder steenbekledingen, CUR rapport C205.
3 Terzaghi, K. and R.B. Peck (1948). Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley and Sons, New York.
4 CIRIA, CUR, CETMEF (2007). The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition). C683, CIRIA, London.
5 Pilarczyk, K.W. (editor), (1998). Dikes and revetments: design, maintenance and safety assessment. AA Balkema, Rotterdam.
6 CUR (1993). Filters in de waterbouw, CUR rapport161.
7 CUR (1996). Biologisch afbreekbare geotextielen, CUR rapport 187.
8 T&F product data sheet TF40/40 JuteBB.
9 Izadi, E. (2018). A laboratory investigation on the impact resistance of a woven geotextile.
10 Bouwdienst Rijkswaterstaat (2000). Ontwerpen van Schutsluizen.
11 J.W. van Westen, Rijkswaterstaat (1969), Ontwerp en uitvoering van zinkwerken.

Verslagen van de interviews met leveranciers van filters:
12 Natural Plastics.
13 Solmax.
14 Tribute.
15 T&F.
16 Van Aalsburg.

# Bijlage(n)

# BIJLAGE: STANDAARD STEENSORTERINGEN

# Appendix 16.1: **Standaard steensorteringen**

Karakteristieke korreldiameter standaardsorteringen breuksteen:

| Sortering | $D_{50}$ [m] | $M_{50}$ [kg] | $D_n$ [m] | $D_{85}$ [m] | $D_{15}$ [m] | $D_{85}/D_{15}$ (gem.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 30/80 mm | 0,045 - 0,065 | 0,15 - 0,45 | 0,038 - 0,055 | 0,085 - 0,064 | 0,048 - 0,024 | 2,22 |
| 40/100 mm | 0,063 - 0,090 | 0,4 - 1,2 | 0,053 - 0,075 | 0,118 - 0,086 | 0,067 - 0,038 | 2,01 |
| 50/150 mm | 0,090 - 0,125 | 1,2 - 3,1 | 0,075 - 0,110 | 0,173 - 0,125 | 0,096 - 0,054 | 2,06 |
| 80/200 mm | 0,125 - 0,180 | 3,1 - 9,3 | 0,11 - 0,15 | 0,226 - 0,169 | 0,136 - 0,075 | 1,96 |
| 5 - 40 kg | 0,20 - 0,25 | 13 - 26 | 0,17 - 0,21 | 0,33 - 0,28 | 0,20 - 0,16 | 1,70 |
| 10 - 60 kg | 0,25 - 0,31 | 26 - 46 | 0,21 - 0,26 | 0,36 - 0,32 | 0,25 - 0,20 | 1,52 |
| 40 - 200 kg | 0,38 - 0,44 | 90 - 140 | 0,32 - 0,37 | 0,54 - 0,48 | 0,37 - 0,31 | 1,50 |
| 60 - 300 kg | 0,45 - 0,52 | 150 - 220 | 0,38 - 0,43 | 0,61 - 0,55 | 0,43 - 0,36 | 1,47 |
| 300 - 1000 kg | 0,72 - 0,78 | 595 - 760 | 0,60 - 0,66 | 0,92 - 0,83 | 0,66 - 0,60 | 1,39 |
| 1000 - 3000 kg | 1,04 - 1,11 | 1800 - 2200 | 0,87 - 0,93 | 1,31 - 1,20 | 0,97 - 0,88 | 1,36 |
| 3000 - 6000 kg | 1,40 - 1,47 | 4400 - 5050 | 1,18 - 1,23 | 1,64 - 1,51 | 1,32 - 1,26 | 1,22 |
| 6000 - 10000 kg | 1,70 - 1,77 | 7850 - 8900 | 1,43 - 1,49 | 1,95 - 1,80 | 1,63 - 1,57 | 1,17 |

Overzicht handelssorteringen grind, steenslag en LD-fosforslakken, incl. karakteristieke korreldiameters:

| Materiaalsoort | Karateristieke korreldiameter in mm | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $D_{15}$ | $D_{50}$ | $D_n$ | $D_{85}$ |
| Grind | | | | |
| 2/6 mm | 2,1 - 2,5 | 3,5 - 3,9 | 2,9 - 3,3 | 4,9 - 5,2 |
| 4/11 mm | 4,3 - 5,1 | 7,2 - 7,8 | 6,1 - 6,6 | 10,0 - 10,5 |
| 4/16 mm | 4,0 - 5,6 | 6,0 - 9,8 | 5,0 - 8,2 | 10,5 - 15,4 |
| 4/32 mm | 4,3 - 8,2 | 6,6 - 19,0 | 5,5 - 16,0 | 14,5 - 28,3 |
| 20/40 mm | 17,5 - 25,0 | 22,5 - 31,5 | 18,9 - 26,5 | 29,0 - 31,5 |
| Steenslag | | | | |
| 2/6 mm | 1,6 - 2,4 | 2,5 - 3,7 | 2,1 - 3,1 | 4,0 - 5,2 |
| 2/11 mm | 2,0 - 4,0 | 5,6 - 7,1 | 4,7 - 6,0 | 9,0 - 10,4 |
| 4/8 mm | 4,3 - 5,6 | 5,8 - 6,7 | 4,9 - 5,6 | 7,3 - 7,7 |
| 6/22 mm | 5,7 - 9,0 | 10,5 - 14,5 | 8,8 - 12,2 | 18,0 - 21,0 |
| 8/11 mm | 7,0 - 8,5 | 9,2 - 9,6 | 7,7 - 8,3 | 10,5 - 10,8 |
| 8/22 mm | 8,6 - 9,9 | 11,8 - 14,5 | 9,9 - 12,2 | 18,0 - 21,0 |
| 11/16 mm | 10,0 - 12,0 | 13,0 - 13,8 | 10,9 - 11,6 | 15,2 - 15,6 |
| 11/32 mm | 11,6 - 14,1 | 17,1 - 20,9 | 14,4 - 17,6 | 25,0 - 28,8 |
| 16/22 mm | 14,0 - 17,0 | 18,4 - 19,5 | 15,5 - 16,4 | 21,1 - 21,8 |
| 20/40 mm | 17,5 - 25,0 | 22,0 - 31,5 | 18,5 - 26,5 | 28,5 - 31,5 |
| 22/32 mm | 20,0 - 23,7 | 25,5 - 27,0 | 21,4 - 22,7 | 29,6 - 30,4 |
| LD-fosforslak | | | | |
| 40/160 mm | 35,0 - 66,0 | 56,0 - 108,0 | 47,0 - 90,8 | 86,0 - 170,0 |

# BIJLAGE: LCA RESULTATEN

1 Kunststof geotextiel
2 Granulair gesloten filter
3 Rijswerk
4 Juten

Tabel I.1 LCA resultaten (ongewogen) Kunststof geotextiel

| | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| onderdeel | toplaag (stenen) | non-woven pp | toplaag (stenen) | non-woven pp | toplaag (stenen) | non-woven pp | toplaag (stenen) | non-woven pp | toplaag (stenen) | non-woven pp | toplaag (stenen) | non-woven pp |
| proces | basalt {GLO}\| market for \| Cut-off, U | textile, non-woven polypropylene {GLO}\| market for textile, nonwoven polypropylene \| Cut-off, U | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}\| market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 \| Cut-off, U | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | transport, freight, lorry > 32 metric ton, euro5 {RER}\| market for transport, freight, lorry > 32 metric ton, EURO5 \| Cut-off, U | - | waste polypropylene {RoW}\| treatment of waste polypropylene, municipal incineration \| Cut-off, U |
| 001. abiotic depletion, nonfuel (AD) | 1,82E+00 | 7,71E-01 | 8,93E-01 | 5,37E-03 | 3,86E-03 | 1,93E-03 | 3,86E-03 | 1,93E-03 | 3,57E-01 | 3,07E-03 | - | 7,76E-03 |
| 002. abiotic depletion, fuel (AD) | 9,96E+02 | 8,28E+02 | 6,49E+02 | 2,33E+00 | 5,23E+01 | 2,62E+01 | 5,23E+01 | 2,62E+01 | 2,59E+02 | 1,33E+00 | - | 2,54E+00 |
| 004. global warming (GWP) | 1,43E+05 | 5,77E+04 | 1,06E+05 | 3,12E+02 | 7,63E+03 | 3,82E+03 | 7,63E+03 | 3,82E+03 | 4,22E+04 | 1,78E+02 | - | 5,05E+04 |
| 005. ozone layer depletion (ODP) | 1,94E-02 | 2,47E-03 | 1,56E-02 | 5,90E-05 | 1,33E-03 | 6,64E-04 | 1,33E-03 | 6,64E-04 | 6,25E-03 | 3,37E-05 | - | 4,02E-05 |
| 006. photochemical oxidation (POCP) | 1,21E+02 | 4,02E+01 | 6,29E+01 | 1,96E-01 | 2,51E+00 | 1,26E+00 | 2,51E+00 | 1,26E+00 | 2,51E+01 | 1,12E-01 | - | 1,76E-01 |
| 007. acidification (AP) | 1,02E+03 | 2,21E+02 | 7,65E+02 | 1,02E+00 | 1,46E+01 | 7,32E+00 | 1,46E+01 | 7,32E+00 | 3,06E+02 | 5,86E-01 | - | 4,65E+00 |
| 008. eutrophication (EP) | 1,92E+02 | 2,50E+01 | 1,72E+02 | 1,89E-01 | 2,25E+00 | 1,12E+00 | 2,25E+00 | 1,12E+00 | 6,88E+01 | 1,08E-01 | - | 1,88E+00 |
| 009. human toxicity (HT) | 5,62E+04 | 1,13E+04 | 2,54E+04 | 1,48E+02 | 1,88E+03 | 9,40E+02 | 1,88E+03 | 9,40E+02 | 1,02E+04 | 8,47E+01 | - | 1,38E+03 |
| 010. ecotoxicity, fresh water (FAETP) | 1,23E+03 | 2,87E+02 | 6,27E+02 | 4,03E+00 | 3,75E+01 | 1,88E+01 | 3,75E+01 | 1,88E+01 | 2,51E+02 | 2,30E+00 | - | 5,73E+02 |
| 012. ecotoxcity, marine water (MAETP) | 4,62E+06 | 1,04E+06 | 1,96E+06 | 1,58E+04 | 1,26E+05 | 6,31E+04 | 1,26E+05 | 6,31E+04 | 7,85E+05 | 9,03E+03 | - | 8,34E+05 |
| 014. ecotoxicity, terrestric (TETP) | 2,23E+02 | 9,10E+01 | 1,20E+02 | 4,77E-01 | 6,76E+00 | 3,38E+00 | 6,76E+00 | 3,38E+00 | 4,81E+01 | 2,73E-01 | - | 1,41E+00 |

| | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 111. energy, primary, renewable, excludi | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 113. energy, primary, renewable, materia | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 101. energy, primary, renewable (MJ) | 8,93E+04 | 4,32E+04 | 3,52E+04 | 6,17E+01 | 8,67E+02 | 4,34E+02 | 8,67E+02 | 4,34E+02 | 1,41E+04 | 3,52E+01 | - | 1,00E+02 |
| 112. energy, primary, non-renewable, exc | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 114. energy, primary, non-renewable, mat | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 102. energy, primary, non-renewable (MJ) | 2,15E+06 | 1,81E+06 | 1,46E+06 | 5,20E+03 | 1,17E+05 | 5,84E+04 | 1,17E+05 | 5,84E+04 | 5,83E+05 | 2,97E+03 | - | 5,12E+03 |
| 108. secondary material (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 109. secondary fuel, renewable (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 110. secondary fuel, non-renewable (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 104. water, freshwater use (m3) | 5,28E+02 | 5,68E+02 | 2,53E+02 | 5,58E-01 | 1,10E+01 | 5,52E+00 | 1,10E+01 | 5,52E+00 | 1,01E+02 | 3,19E-01 | - | 3,23E+00 |
| 106. waste, hazardous (kg) | 8,06E+00 | 6,50E-01 | 3,59E+00 | 1,19E-02 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,44E+00 | 6,79E-03 | - | 5,11E-02 |
| 105. waste, non | 5,01E+04 | 5,65E+03 | 6,20E+03 | 4,26E+02 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 2,48E+03 | 2,43E+02 | - | 4,87E+02 |

| | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| hazardous (kg) | | | | | | | | | | | | |
| 107. waste, radioactive (kg) | 1,19E+01 | 1,56E+00 | 9,22E+00 | 3,34E-02 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 3,69E+00 | 1,91E-02 | - | 9,61E-03 |
| 120. components for re-use (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 121. materials for recycling (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 122. materials for energy recovery (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 123. exported energy, electric (MJ) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 124. exported energy, thermal (MJ) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |

Tabel 8.2 LCA resultaten gewogen MKI Kunststof geotextiel

| MKI | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 | Totaal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | toplaag (stenen) | non-woven pp | toplaag (stenen) | non-woven pp | toplaag (stenen) | non-woven pp | toplaag (stenen) | non-woven pp | toplaag (stenen) | non-woven pp | toplaag (stenen) | non-woven pp | |
| | basalt {GLO}\| market for \| Cut-off, U | textile, non-woven polypropylene {GLO}\| market for textile, nonwoven polypropylene \| Cut-off, U | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}\| market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 \| Cut-off, U | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}\| market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 \| Cut-off, U | - | waste polypropylene {RoW}\| treatment of waste polypropylene, municipal incineration \| Cut-off, U | |
| 001. abiotic depletion, nonfuel (AD) | 2,92E-01 | 1,23E-01 | 1,43E-01 | 8,60E-04 | 6,18E-04 | 3,09E-04 | 6,18E-04 | 3,09E-04 | 5,71E-02 | 4,91E-04 | | 1,24E-03 | |
| 002. abiotic depletion, fuel (AD) | 1,59E+02 | 1,33E+02 | 1,04E+02 | 3,72E-01 | 8,37E+00 | 4,18E+00 | 8,37E+00 | 4,18E+00 | 4,15E+01 | 2,13E-01 | | 4,07E-01 | |
| 004. global warming (GWP) | 7,14E+03 | 2,88E+03 | 5,28E+03 | 1,56E+01 | 3,82E+02 | 1,91E+02 | 3,82E+02 | 1,91E+02 | 2,11E+03 | 8,92E+00 | | 2,53E+03 | |
| 005. ozone layer depletion (ODP) | 5,82E-01 | 7,41E-02 | 4,69E-01 | 1,77E-03 | 3,99E-02 | 1,99E-02 | 3,99E-02 | 1,99E-02 | 1,88E-01 | 1,01E-03 | | 1,20E-03 | |
| 006. photochemical oxidation (POCP) | 2,42E+02 | 8,03E+01 | 1,26E+02 | 3,91E-01 | 5,02E+00 | 2,51E+00 | 5,02E+00 | 2,51E+00 | 5,03E+01 | 2,24E-01 | | 3,52E-01 | |
| 007. acidification (AP) | 4,06E+03 | 8,84E+02 | 3,06E+03 | 4,10E+00 | 5,85E+01 | 2,93E+01 | 5,85E+01 | 2,93E+01 | 1,22E+03 | 2,34E+00 | | 1,86E+01 | |
| 008. eutrophication (EP) | 1,73E+03 | 2,25E+02 | 1,55E+03 | 1,70E+00 | 2,02E+01 | 1,01E+01 | 2,02E+01 | 1,01E+01 | 6,19E+02 | 9,74E-01 | | 1,69E+01 | |
| 009. human toxicity (HT) | 5,06E+03 | 1,02E+03 | 2,29E+03 | 1,33E+01 | 1,69E+02 | 8,46E+01 | 1,69E+02 | 8,46E+01 | 9,15E+02 | 7,62E+00 | | 1,25E+02 | |
| 010. ecotoxicity, fresh water (FAETP) | 3,70E+01 | 8,60E+00 | 1,88E+01 | 1,21E-01 | 1,13E+00 | 5,63E-01 | 1,13E+00 | 5,63E-01 | 7,53E+00 | 6,91E-02 | | 1,72E+01 | |
| 012. ecotoxcity, marine water (MAETP) | 4,62E+02 | 1,04E+02 | 1,96E+02 | 1,58E+00 | 1,26E+01 | 6,31E+00 | 1,26E+01 | 6,31E+00 | 7,85E+01 | 9,03E-01 | | 8,34E+01 | |

| MKI | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 | Totaal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 014. ecotoxicity, terrestric (TETP) | 1,34E+01 | 5,46E+00 | 7,21E+00 | 2,86E-02 | 4,05E-01 | 2,03E-01 | 4,05E-01 | 2,03E-01 | 2,88E+00 | 1,64E-02 | 8,45E-02 | | |
| **Totaal** | **1,89E+04** | **5,34E+03** | **1,26E+04** | **3,72E+01** | **6,57E+02** | **3,29E+02** | **6,57E+02** | **3,29E+02** | **5,05E+03** | **2,13E+01** | **2,79E+03** | | **4,68E+04** |

Tabel 8.3 LCA resultaten (ongewogen) granulair gesloten filter

| | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | toplaag (stenen) | filterlagen | toplaag (stenen) | filterlagen | toplaag (stenen) | filterlagen | toplaag (stenen) | filterlagen | toplaag (stenen) | filterlagen | toplaag (stenen) | filterlagen |
| | basalt {GLO}\| market for \| Cut-off, U | grind 4-32, in en nabij Nederland geproduceerd door Cascade-leden, c2 | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | - | - |
| 001. abiotic depletion, nonfuel (AD) | 1,82E+00 | 1,12E-02 | 8,93E-01 | 7,14E-01 | 3,86E-03 | 3,86E-03 | 3,86E-03 | 3,86E-03 | 3,57E-01 | 2,86E-01 | - | - |
| 002. abiotic depletion, fuel (AD) | 9,96E+02 | 9,97E+01 | 6,49E+02 | 5,19E+02 | 5,23E+01 | 5,23E+01 | 5,23E+01 | 5,23E+01 | 2,59E+02 | 2,08E+02 | - | - |
| 004. global warming (GWP) | 1,43E+05 | 1,38E+04 | 1,06E+05 | 8,45E+04 | 7,63E+03 | 7,63E+03 | 7,63E+03 | 7,63E+03 | 4,22E+04 | 3,38E+04 | - | - |
| 005. ozone layer depletion (ODP) | 1,94E-02 | 1,09E-03 | 1,56E-02 | 1,25E-02 | 1,33E-03 | 1,33E-03 | 1,33E-03 | 1,33E-03 | 6,25E-03 | 5,00E-03 | - | - |
| 006. photochemical oxidation (POCP) | 1,21E+02 | 7,35E+00 | 6,29E+01 | 5,03E+01 | 2,51E+00 | 2,51E+00 | 2,51E+00 | 2,51E+00 | 2,51E+01 | 2,01E+01 | - | - |
| 007. acidification (AP) | 1,02E+03 | 6,10E+01 | 7,65E+02 | 6,12E+02 | 1,46E+01 | 1,46E+01 | 1,46E+01 | 1,46E+01 | 3,06E+02 | 2,45E+02 | - | - |
| 008. eutrophication (EP) | 1,92E+02 | 1,42E+01 | 1,72E+02 | 1,38E+02 | 2,25E+00 | 2,25E+00 | 2,25E+00 | 2,25E+00 | 6,88E+01 | 5,51E+01 | - | - |
| 009. human toxicity (HT) | 5,62E+04 | 6,72E+03 | 2,54E+04 | 2,03E+04 | 1,88E+03 | 1,88E+03 | 1,88E+03 | 1,88E+03 | 1,02E+04 | 8,14E+03 | - | - |
| 010. ecotoxicity, fresh water (FAETP) | 1,23E+03 | 1,06E+02 | 6,27E+02 | 5,02E+02 | 3,75E+01 | 3,75E+01 | 3,75E+01 | 3,75E+01 | 2,51E+02 | 2,01E+02 | - | - |
| 012. ecotoxcity, marine water (MAETP) | 4,62E+06 | 8,95E+05 | 1,96E+06 | 1,57E+06 | 1,26E+05 | 1,26E+05 | 1,26E+05 | 1,26E+05 | 7,85E+05 | 6,28E+05 | - | - |
| 014. ecotoxicity, terrestric (TETP) | 2,23E+02 | 1,10E+02 | 1,20E+02 | 9,62E+01 | 6,76E+00 | 6,76E+00 | 6,76E+00 | 6,76E+00 | 4,81E+01 | 3,85E+01 | - | - |
| 111. energy, primary, renewable, excludi | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |
| 113. energy, primary, | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |

| | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| renewable, materia | | | | | | | | | | | | |
| 101. energy, primary, renewable (MJ) | 8,93E+04 | 8,59E+03 | 3,52E+04 | 2,82E+04 | 8,67E+02 | 8,67E+02 | 8,67E+02 | 8,67E+02 | 1,41E+04 | 1,13E+04 | - | - |
| 112. energy, primary, non-renewable, exc | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |
| 114. energy, primary, non-renewable, mat | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |
| 102. energy, primary, non-renewable (MJ) | 2,15E+06 | 2,15E+05 | 1,46E+06 | 1,17E+06 | 1,17E+05 | 1,17E+05 | 1,17E+05 | 1,17E+05 | 5,83E+05 | 4,66E+05 | - | - |
| 108. secondary material (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |
| 109. secondary fuel, renewable (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |
| 110. secondary fuel, non-renewable (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |
| 104. water, freshwater use (m3) | 5,28E+02 | 2,47E+04 | 2,53E+02 | 2,02E+02 | 1,10E+01 | 1,10E+01 | 1,10E+01 | 1,10E+01 | 1,01E+02 | 8,08E+01 | - | - |
| 106. waste, hazardous (kg) | 8,06E+00 | 0,00E+00 | 3,59E+00 | 2,87E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,44E+00 | 1,15E+00 | - | - |
| 105. waste, non hazardous (kg) | 5,01E+04 | 0,00E+00 | 6,20E+03 | 4,96E+03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 2,48E+03 | 1,98E+03 | - | - |
| 107. waste, radioactive (kg) | 1,19E+01 | 0,00E+00 | 9,22E+00 | 7,38E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 3,69E+00 | 2,95E+00 | - | - |
| 120. components for re-use (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |
| 121. materials for | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |

| | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| recycling (kg) | | | | | | | | | | | | |
| 122. materials for energy recovery (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |
| 123. exported energy, electric (MJ) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |
| 124. exported energy, thermal (MJ) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |

Tabel 8.4 LCA resultaten gewogen MKI granulair gesloten filter

| MKI | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | toplaag (stenen) | filterlagen | toplaag (stenen) | filterlagen | toplaag (stenen) | filterlagen | toplaag (stenen) | filterlagen | toplaag (stenen) | filterlagen | toplaag (stenen) | filterlagen | |
| | easalt {GLO}\| market for \| Cut-off, U | grind 4-32, in en nabij Nederland geproduceerd door Cascade-leden, c2 | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | - | - | |
| 001. abiotic depletion, nonfuel (AD) | 2,92E-01 | 1,79E-03 | 1,43E-01 | 1,14E-01 | 6,18E-04 | 6,18E-04 | 6,18E-04 | 6,18E-04 | 5,71E-02 | 4,57E-02 | - | - | |
| 002. abiotic depletion, fuel (AD) | 1,59E+02 | 1,60E+01 | 1,04E+02 | 8,30E+01 | 8,37E+00 | 8,37E+00 | 8,37E+00 | 8,37E+00 | 4,15E+01 | 3,32E+01 | - | - | |
| 004. global warming (GWP) | 7,14E+03 | 6,92E+02 | 5,28E+03 | 4,22E+03 | 3,82E+02 | 3,82E+02 | 3,82E+02 | 3,82E+02 | 2,11E+03 | 1,69E+03 | - | - | |
| 005. ozone layer depletion (ODP) | 5,82E-01 | 3,28E-02 | 4,69E-01 | 3,75E-01 | 3,99E-02 | 3,99E-02 | 3,99E-02 | 3,99E-02 | 1,88E-01 | 1,50E-01 | - | - | |
| 006. photochemical oxidation (POCP) | 2,42E+02 | 1,47E+01 | 1,26E+02 | 1,01E+02 | 5,02E+00 | 5,02E+00 | 5,02E+00 | 5,02E+00 | 5,03E+01 | 4,02E+01 | - | - | |
| 007. acidification (AP) | 4,06E+03 | 2,44E+02 | 3,06E+03 | 2,45E+03 | 5,85E+01 | 5,85E+01 | 5,85E+01 | 5,85E+01 | 1,22E+03 | 9,80E+02 | - | - | |
| 008. eutrophication (EP) | 1,73E+03 | 1,28E+02 | 1,55E+03 | 1,24E+03 | 2,02E+01 | 2,02E+01 | 2,02E+01 | 2,02E+01 | 6,19E+02 | 4,96E+02 | - | - | |
| 009. human toxicity (HT) | 5,06E+03 | 6,05E+02 | 2,29E+03 | 1,83E+03 | 1,69E+02 | 1,69E+02 | 1,69E+02 | 1,69E+02 | 9,15E+02 | 7,32E+02 | - | - | |
| 010. ecotoxicity, fresh water (FAETP) | 3,70E+01 | 3,19E+00 | 1,88E+01 | 1,51E+01 | 1,13E+00 | 1,13E+00 | 1,13E+00 | 1,13E+00 | 7,53E+00 | 6,02E+00 | - | - | |
| 012. ecotoxcity, marine water (MAETP) | 4,62E+02 | 8,95E+01 | 1,96E+02 | 1,57E+02 | 1,26E+01 | 1,26E+01 | 1,26E+01 | 1,26E+01 | 7,85E+01 | 6,28E+01 | - | - | |
| 014. ecotoxicity, terrestric (TETP) | 1,34E+01 | 6,60E+00 | 7,21E+00 | 5,77E+00 | 4,05E-01 | 4,05E-01 | 4,05E-01 | 4,05E-01 | 2,88E+00 | 2,31E+00 | - | - | |

| MKI | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | - | - | |
| Total | 1,89E+04 | 1,80E+03 | 1,26E+04 | 1,01E+04 | 6,57E+02 | 6,57E+02 | 6,57E+02 | 6,57E+02 | 5,05E+03 | 4,04E+03 | - | - | 55.165 |

Tabel 8.5 LCA resultaten (ongewogen) klassiek rijswerk filter

| | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | B | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | toplaag (stenen) | wiepen en matten | toplaag (stenen) | wiepen en matten | toplaag (stenen) | wiepen en matten | | toplaag (stenen) | wiepen en matten | toplaag (stenen) | wiepen en matten | toplaag (stenen) | wiepen en matten |
| | basalt {GLO}\| market for \| Cut-off, U | 0201-fab&Hout, rijshout, bleeslatten, staken, wiepen (alleen energieverbruik; o.b.v. zeer oude bronnen) | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | transport, freight, lorry > 32 metric ton, euro5 {RER}\| market for transport, freight, lorry > 32 metric ton, EURO5 \| Cut-off, U | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}\| market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 \| Cut-off, U | - | waste wood, untreated {RoW}\| treatment of waste wood, untreated, municipal incineration \| Cut-off, U |
| 001. abiotic depletion, nonfuel (AD) | 1,82E+00 | 2,76E-02 | 8,93E-01 | 2,79E-02 | 3,86E-03 | 1,93E-03 | 4,10E-01 | 3,86E-03 | 1,93E-03 | 3,57E-01 | 1,60E-02 | - | 1,93E-02 |
| 002. abiotic depletion, fuel (AD) | 9,96E+02 | 3,38E+01 | 6,49E+02 | 1,21E+01 | 5,23E+01 | 2,62E+01 | 8,67E+02 | 5,23E+01 | 2,62E+01 | 2,59E+02 | 6,91E+00 | - | 7,17E+00 |
| 004. global warming (GWP) | 1,43E+05 | 5,03E+03 | 1,06E+05 | 1,62E+03 | 7,63E+03 | 3,82E+03 | 1,28E+05 | 7,63E+03 | 3,82E+03 | 4,22E+04 | 9,28E+02 | - | 1,43E+03 |
| 005. ozone layer depletion (ODP) | 1,94E-02 | 8,74E-04 | 1,56E-02 | 3,07E-04 | 1,33E-03 | 6,64E-04 | 2,18E-02 | 1,33E-03 | 6,64E-04 | 6,25E-03 | 1,75E-04 | - | 1,04E-04 |
| 006. photochemical oxidation (POCP) | 1,21E+02 | 4,77E+00 | 6,29E+01 | 1,02E+00 | 2,51E+00 | 1,26E+00 | 5,88E+01 | 2,51E+00 | 1,26E+00 | 2,51E+01 | 5,82E-01 | - | 7,92E-01 |
| 007. acidification (AP) | 1,02E+03 | 3,53E+01 | 7,65E+02 | 5,33E+00 | 1,46E+01 | 7,32E+00 | 3,98E+02 | 1,46E+01 | 7,32E+00 | 3,06E+02 | 3,05E+00 | - | 1,19E+01 |
| 008. eutrophication (EP) | 1,92E+02 | 7,91E+00 | 1,72E+02 | 9,85E-01 | 2,25E+00 | 1,12E+00 | 8,63E+01 | 2,25E+00 | 1,12E+00 | 6,88E+01 | 5,63E-01 | - | 5,39E+00 |
| 009. human toxicity (HT) | 5,62E+04 | 1,90E+03 | 2,54E+04 | 7,71E+02 | 1,88E+03 | 9,40E+02 | 3,85E+04 | 1,88E+03 | 9,40E+02 | 1,02E+04 | 4,41E+02 | - | 8,66E+02 |
| 010. ecotoxicity, fresh water (FAETP) | 1,23E+03 | 3,18E+01 | 6,27E+02 | 2,10E+01 | 3,75E+01 | 1,88E+01 | 8,26E+02 | 3,75E+01 | 1,88E+01 | 2,51E+02 | 1,20E+01 | - | 2,92E+01 |
| 012. ecotoxcity, marine water (MAETP) | 4,62E+06 | 1,12E+05 | 1,96E+06 | 8,22E+04 | 1,26E+05 | 6,31E+04 | 2,85E+06 | 1,26E+05 | 6,31E+04 | 7,85E+05 | 4,70E+04 | - | 9,21E+04 |

| | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | B | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 014. ecotoxicity, terrestric (TETP) | 2,23E+02 | 3,79E+00 | 1,20E+02 | 2,48E+00 | 6,76E+00 | 3,38E+00 | 2,27E+02 | 6,76E+00 | 3,38E+00 | 4,81E+01 | 1,42E+00 | - | 2,88E+01 |
| 111. energy, primary, renewable, excludi | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 113. energy, primary, renewable, materia | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 101. energy, primary, renewable (MJ) | 8,93E+04 | 4,73E+02 | 3,52E+04 | 3,21E+02 | 8,67E+02 | 4,34E+02 | 1,55E+04 | 8,67E+02 | 4,34E+02 | 1,41E+04 | 1,83E+02 | - | 3,00E+02 |
| 112. energy, primary, non-renewable, exc | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 114. energy, primary, non-renewable, mat | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 102. energy, primary, non-renewable (MJ) | 2,15E+06 | 7,54E+04 | 1,46E+06 | 2,70E+04 | 1,17E+05 | 5,84E+04 | 1,93E+06 | 1,17E+05 | 5,84E+04 | 5,83E+05 | 1,55E+04 | - | 1,43E+04 |
| 108. secondary material (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 109. secondary fuel, renewable (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 110. secondary fuel, non-renewable (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 104. Water, freshwater use (m3) | 5,28E+02 | 4,54E+00 | 2,53E+02 | 2,90E+00 | 1,10E+01 | 5,52E+00 | 8,14E+01 | 1,10E+01 | 5,52E+00 | 1,01E+02 | 1,66E+00 | - | -2,19E+01 |

| | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | B | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 106. waste, hazardous (kg) | 8,06E+00 | 1,91E-01 | 3,59E+00 | 6,18E-02 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,27E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,44E+00 | 3,53E-02 | - | 3,04E-02 |
| 105. waste, non hazardous (kg) | 5,01E+04 | 8,67E+02 | 6,20E+03 | 2,22E+03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 2,22E+04 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 2,48E+03 | 1,27E+03 | - | 1,19E+03 |
| 107. waste, radioactive (kg) | 1,19E+01 | 4,88E-01 | 9,22E+00 | 1,74E-01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 3,16E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 3,69E+00 | 9,94E-02 | - | 2,91E-02 |
| 120. components for re-use (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 121. materials for recycling (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 122. materials for energy recovery (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 123. exported energy, electric (MJ) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |
| 124. exported energy, thermal (MJ) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | 0,00E+00 |

Tabel 8.6 LCA resultaten gewogen MKI klassiek rijswerk filter

| MKI | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | B | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | toplaag (stenen) | wiepen en matten | toplaag (stenen) | wiepen en matten | toplaag (stenen) | wiepen en matten | | toplaag (stenen) | wiepen en matten | toplaag (stenen) | wiepen en matten | toplaag (stenen) | wiepen en matten | |
| | basalt {GLO}\| market for \| Cut-off, U | 0201-fab&Hout, rijshout, bleeslatten, staken, wiepen (alleen energieverbruik; o.b.v. zeer oude bronnen) | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}\| market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 \| Cut-off, U | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | fraafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | transport, freight, lorry > 32 metric ton, euro5 {RER}\| market for transport, freight, lorry > 32 metric ton, EURO5 \| Cut-off, U | - | waste wood, untreated {RoW}\| treatment of waste wood, untreated, municipal incineration \| Cut-off, U | |
| 001. abiotic depletion, nonfuel (AD) | 2,92E-01 | 4,42E-03 | 1,43E-01 | 4,47E-03 | 6,18E-04 | 3,09E-04 | 6,56E-02 | 6,18E-04 | 3,09E-04 | 5,71E-02 | 2,55E-03 | | 3,09E-03 | |
| 002. abiotic depletion, fuel (AD) | 1,59E+02 | 5,41E+00 | 1,04E+02 | 1,94E+00 | 8,37E+00 | 4,18E+00 | 1,39E+02 | 8,37E+00 | 4,18E+00 | 4,15E+01 | 1,11E+00 | | 1,15E+00 | |
| 004. global warming (GWP) | 7,14E+03 | 2,51E+02 | 5,28E+03 | 8,12E+01 | 3,82E+02 | 1,91E+02 | 6,38E+03 | 3,82E+02 | 1,91E+02 | 2,11E+03 | 4,64E+01 | | 7,13E+01 | |
| 005. ozone layer depletion (ODP) | 5,82E-01 | 2,62E-02 | 4,69E-01 | 9,21E-03 | 3,99E-02 | 1,99E-02 | 6,53E-01 | 3,99E-02 | 1,99E-02 | 1,88E-01 | 5,26E-03 | | 3,11E-03 | |
| 006. photochemical oxidation (POCP) | 2,42E+02 | 9,55E+00 | 1,26E+02 | 2,04E+00 | 5,02E+00 | 2,51E+00 | 1,18E+02 | 5,02E+00 | 2,51E+00 | 5,03E+01 | 1,16E+00 | | 1,58E+00 | |
| 007. acidification (AP) | 4,06E+03 | 1,41E+02 | 3,06E+03 | 2,13E+01 | 5,85E+01 | 2,93E+01 | 1,59E+03 | 5,85E+01 | 2,93E+01 | 1,22E+03 | 1,22E+01 | | 4,74E+01 | |
| 008. eutrophication (EP) | 1,73E+03 | 7,12E+01 | 1,55E+03 | 8,86E+00 | 2,02E+01 | 1,01E+01 | 7,77E+02 | 2,02E+01 | 1,01E+01 | 6,19E+02 | 5,06E+00 | | 4,85E+01 | |
| 009. human toxicity (HT) | 5,06E+03 | 1,71E+02 | 2,29E+03 | 6,94E+01 | 1,69E+02 | 8,46E+01 | 3,46E+03 | 1,69E+02 | 8,46E+01 | 9,15E+02 | 3,97E+01 | | 7,80E+01 | |
| 010. ecotoxicity, fresh water (FAETP) | 3,70E+01 | 9,54E-01 | 1,88E+01 | 6,29E-01 | 1,13E+00 | 5,63E-01 | 2,48E+01 | 1,13E+00 | 5,63E-01 | 7,53E+00 | 3,60E-01 | | 8,77E-01 | |
| 012. ecotoxcity, marine water (MAETP) | 4,62E+02 | 1,12E+01 | 1,96E+02 | 8,22E+00 | 1,26E+01 | 6,31E+00 | 2,85E+02 | 1,26E+01 | 6,31E+00 | 7,85E+01 | 4,70E+00 | | 9,21E+00 | |

| MKI | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | B | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 014. ecotoxicity, terrestric (TETP) | 1,34E+01 | 2,27E-01 | 7,21E+00 | 1,49E-01 | 4,05E-01 | 2,03E-01 | 1,36E+01 | 4,05E-01 | 2,03E-01 | 2,88E+00 | 8,51E-02 | | 1,73E+00 | |
| **Total** | **1,89E+04** | **6,62E+02** | **1,26E+04** | **1,94E+02** | **6,57E+02** | **3,29E+02** | **12.793** | **6,57E+02** | **3,29E+02** | **5,05E+03** | **1,11E+02** | | **2,60E+02** | **52.583** |

Tabel 8.7 LCA resultaten (ongewogen) biobased biodegradable (jute) filter

| | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | B | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | toplaag (stenen) | jute | toplaag (stenen) | jute | toplaag (stenen) | jute | | toplaag (stenen) | jute | toplaag (stenen) | jute | toplaag (stenen) | jute |
| | basalt {GLO}\| market for \| Cut-off, U | textile, jute {GLO}\| market for \| Cut-off, U | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}\| market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 \| Cut-off, U | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}\| market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 \| Cut-off, U | - | - |
| 001. abiotic depletion, nonfuel (AD) | 1,82E+00 | 3,92E-01 | 8,93E-01 | 1,27E-03 | 3,86E-03 | 1,93E-03 | 3,64E+00 | 3,86E-03 | 1,93E-03 | 3,57E-01 | 7,25E-04 | - | - |
| 002. abiotic depletion, fuel (AD) | 9,96E+02 | 6,69E+01 | 6,49E+02 | 5,49E-01 | 5,23E+01 | 2,62E+01 | 2,02E+03 | 5,23E+01 | 2,62E+01 | 2,59E+02 | 3,14E-01 | - | - |
| 004. global warming (GWP) | 1,43E+05 | 1,06E+04 | 1,06E+05 | 7,37E+01 | 7,63E+03 | 3,82E+03 | 3,02E+05 | 7,63E+03 | 3,82E+03 | 4,22E+04 | 4,21E+01 | - | - |
| 005. ozone layer depletion (ODP) | 1,94E-02 | 7,18E-04 | 1,56E-02 | 1,39E-05 | 1,33E-03 | 6,64E-04 | 4,25E-02 | 1,33E-03 | 6,64E-04 | 6,25E-03 | 7,96E-06 | - | - |
| 006. photochemical oxidation (POCP) | 1,21E+02 | 1,00E+01 | 6,29E+01 | 4,62E-02 | 2,51E+00 | 1,26E+00 | 1,58E+02 | 2,51E+00 | 1,26E+00 | 2,51E+01 | 2,64E-02 | - | - |
| 007. acidification (AP) | 1,02E+03 | 1,00E+02 | 7,65E+02 | 2,42E-01 | 1,46E+01 | 7,32E+00 | 1,30E+03 | 1,46E+01 | 7,32E+00 | 3,06E+02 | 1,38E-01 | - | - |
| 008. eutrophication (EP) | 1,92E+02 | 1,20E+02 | 1,72E+02 | 4,47E-02 | 2,25E+00 | 1,12E+00 | 1,14E+03 | 2,25E+00 | 1,12E+00 | 6,88E+01 | 2,55E-02 | - | - |
| 009. human toxicity (HT) | 5,62E+04 | 1,19E+05 | 2,54E+04 | 3,50E+01 | 1,88E+03 | 9,40E+02 | 1,12E+06 | 1,88E+03 | 9,40E+02 | 1,02E+04 | 2,00E+01 | - | - |
| 010. ecotoxicity, fresh water (FAETP) | 1,23E+03 | 2,38E+03 | 6,27E+02 | 9,52E-01 | 3,75E+01 | 1,88E+01 | 2,25E+04 | 3,75E+01 | 1,88E+01 | 2,51E+02 | 5,44E-01 | - | - |
| 012. ecotoxcity, marine water (MAETP) | 4,62E+06 | 5,01E+05 | 1,96E+06 | 3,73E+03 | 1,26E+05 | 6,31E+04 | 7,95E+06 | 1,26E+05 | 6,31E+04 | 7,85E+05 | 2,13E+03 | - | - |
| 014. ecotoxicity, terrestric (TETP) | 2,23E+02 | 4,86E+00 | 1,20E+02 | 1,13E-01 | 6,76E+00 | 3,38E+00 | 2,27E+02 | 6,76E+00 | 3,38E+00 | 4,81E+01 | 6,44E-02 | - | - |
| 111. energy, primary, renewable, excludi | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |

| | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | B | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 113. energy, primary, renewable, materia | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |
| 101. energy, primary, renewable (MJ) | 8,93E+04 | 4,47E+05 | 3,52E+04 | 1,46E+01 | 8,67E+02 | 4,34E+02 | 4,04E+06 | 8,67E+02 | 4,34E+02 | 1,41E+04 | 8,32E+00 | - | - |
| 112. energy, primary, non-renewable, exc | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |
| 114. energy, primary, non-renewable, mat | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |
| 102. energy, primary, non-renewable (MJ) | 2,15E+06 | 1,27E+05 | 1,46E+06 | 1,23E+03 | 1,17E+05 | 5,84E+04 | 4,31E+06 | 1,17E+05 | 5,84E+04 | 5,83E+05 | 7,02E+02 | - | - |
| 108. secondary material (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |
| 109. secondary fuel, renewable (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |
| 110. secondary fuel, non-renewable (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |
| 104. water, freshwater use (m3) | 5,28E+02 | 2,14E+03 | 2,53E+02 | 1,32E-01 | 1,10E+01 | 5,52E+00 | 1,95E+04 | 1,10E+01 | 5,52E+00 | 1,01E+02 | 7,53E-02 | - | - |
| 106. waste, hazardous (kg) | 8,06E+00 | 4,48E-01 | 3,59E+00 | 2,80E-03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 4,06E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,44E+00 | 1,60E-03 | - | - |
| 105. waste, non hazardous (kg) | 5,01E+04 | 2,21E+03 | 6,20E+03 | 1,01E+02 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 2,08E+04 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 2,48E+03 | 5,75E+01 | - | - |
| 107. waste, radioactive (kg) | 1,19E+01 | 3,95E-01 | 9,22E+00 | 7,90E-03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 3,63E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 3,69E+00 | 4,51E-03 | - | - |
| 120. components for re-use (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |

| | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | B | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 121. materials for recycling (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |
| 122. materials for energy recovery (kg) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |
| 123. exported energy, electric (MJ) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |
| 124. exported energy, thermal (MJ) | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | - | - |

Tabel 8.8 LCA resultaten gewogen MKI biobased biodegradable (jute) filter

| MKI | A1 - A3 | A1 - A3 | A4 | A4 | A5 | A5 | B | C1 | C1 | C2 | C2 | C3 | C3 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | toplaag (stenen) | jute | toplaag (stenen) | jute | toplaag (stenen) | jute | | toplaag (stenen) | jute | toplaag (stenen) | jute | toplaag (stenen) | jute | |
| | basalt {GLO}\| market for \| Cut-off, U | textile, jute {GLO}\| market for \| Cut-off, U | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}\| market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 \| Cut-off, U | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | graafmachine, categorie V, diesel, per liter, c2 | transport, freight, inland waterways, barge {RER}\| market for transport, freight, inland waterways, barge \| Cut-off, U | transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER}\| market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 \| Cut-off, U | - | - | |
| 001. abiotic depletion, nonfuel (AD) | 2,92E-01 | 6,27E-02 | 0,00E+00 | 1,43E-01 | 2,03E-04 | 6,18E-04 | 5,83E-01 | 6,18E-04 | 3,09E-04 | 5,71E-02 | 1,16E-04 | - | - | |
| 002. abiotic depletion, fuel (AD) | 1,59E+02 | 1,07E+01 | 0,00E+00 | 1,04E+02 | 8,78E-02 | 8,37E+00 | 3,23E+02 | 8,37E+00 | 4,18E+00 | 4,15E+01 | 5,02E-02 | - | - | |
| 004. global warming (GWP) | 7,14E+03 | 5,29E+02 | 0,00E+00 | 5,28E+03 | 3,69E+00 | 3,82E+02 | 1,51E+04 | 3,82E+02 | 1,91E+02 | 2,11E+03 | 2,11E+00 | - | - | |
| 005. ozone layer depletion (ODP) | 5,82E-01 | 2,15E-02 | 0,00E+00 | 4,69E-01 | 4,18E-04 | 3,99E-02 | 1,27E+00 | 3,99E-02 | 1,99E-02 | 1,88E-01 | 2,39E-04 | - | - | |
| 006. photochemical oxidation (POCP) | 2,42E+02 | 2,00E+01 | 0,00E+00 | 1,26E+02 | 9,24E-02 | 5,02E+00 | 3,17E+02 | 5,02E+00 | 2,51E+00 | 5,03E+01 | 5,28E-02 | - | - | |
| 007. acidification (AP) | 4,06E+03 | 4,01E+02 | 0,00E+00 | 3,06E+03 | 9,68E-01 | 5,85E+01 | 5,20E+03 | 5,85E+01 | 2,93E+01 | 1,22E+03 | 5,53E-01 | - | - | |
| 008. eutrophication (EP) | 1,73E+03 | 1,08E+03 | 0,00E+00 | 1,55E+03 | 4,02E-01 | 2,02E+01 | 1,02E+04 | 2,02E+01 | 1,01E+01 | 6,19E+02 | 2,30E-01 | - | - | |
| 009. human toxicity (HT) | 5,06E+03 | 1,07E+04 | 0,00E+00 | 2,29E+03 | 3,15E+00 | 1,69E+02 | 1,01E+05 | 1,69E+02 | 8,46E+01 | 9,15E+02 | 1,80E+00 | - | - | |
| 010. ecotoxicity, fresh water (FAETP) | 3,70E+01 | 7,15E+01 | 0,00E+00 | 1,88E+01 | 2,86E-02 | 1,13E+00 | 6,74E+02 | 1,13E+00 | 5,63E-01 | 7,53E+00 | 1,63E-02 | - | - | |
| 012. ecotoxcity, marine water (MAETP) | 4,62E+02 | 5,01E+01 | 0,00E+00 | 1,96E+02 | 3,73E-01 | 1,26E+01 | 7,95E+02 | 1,26E+01 | 6,31E+00 | 7,85E+01 | 2,13E-01 | - | - | |
| 014. ecotoxicity, terrestric (TETP) | 1,34E+01 | 2,91E-01 | 0,00E+00 | 7,21E+00 | 6,76E-03 | 4,05E-01 | 1,36E+01 | 4,05E-01 | 2,03E-01 | 2,88E+00 | 3,86E-03 | - | - | |
| **Total** | **1,89E+04** | **1,29E+04** | **0,00E+00** | **1,26E+04** | **8,79E+00** | **6,57E+02** | **1,34E+05** | **6,57E+02** | **3,29E+02** | **5,05E+03** | **5,03E+00** | | **0,00E+00** | **1,85E+05** |

# III

## BIJLAGE: KOSTENONDERBOUWING

**PROJECT:** DUURZAAMHEID FILTERLAGEN IN OEVERBESCHERMINSCONSTRUCTIES

**PROJECTFASE** VOORLOPIG ONTWERP

Dit betreft een raming ter vergelijking van de varianten. Kostentechnische verschillen van de varianten worden met deze ramingen inzichtelijk gemaakt. Deze vergelijking is nadrukkelijk **niet geschikt** voor een budgetaanvraag.

## Scopebeschrijving en/of uitgangspunten

### Uitgegaan van:

- Deterministische directe bouwkosten
- Prijspeil Q1 2022
- Tekening 132744-12-0001-DIB_1-Doorsnedes oeverbescherming
- Voor het vergelijk is een oever van 1000 meter lengte en 10 meter talud (1:3) uitgewerkt
- Alle voorbereidende werkzaamheden worden niet mee genomen (plaatsing basis materiaal). De lokale situatie is dus dat de dijk al geprofileerd en zo nodig verdicht dan wel dat dit buiten de scope van de raming ligt.
- Op de dijk is voldoende ruimte om met het materieel te staan en aan te voeren.
- De folies hoeven niet onderling verbonden te worden maar worden met een overlap van ca. 1 meter aangebracht
- Alle werkzaamheden, met uitzondering van de aanvoer van het zinkstuk vindt plaats van af land
- Steen bestorting op het folie dient voorzichtig gestort te worden door een graaf machine (geen handwerk)
- Er wordt gewerkt met grote hoeveelheden. Dit schaal voordeel wordt ook aangehouden in de productie en inkoopsprijs.

### Instandhouding

- Duur van de instandhoudings termijn 50 jaar
- Geen kosten opgenomen bij einde levensduur
- Discontovoet: 1,6%

### Scope:

- Leverantie van de materialen
- Aanbrengen van de materialen
- Alle overige activiteiten ter voorbereiding of die hier op volgen zijn niet opgenomen in de raming

### Risico's:

- Er zijn kosten opgenomen voor het afdekken van risico's

### Niet inbegrepen zijn alle niet genoemde kosten voor o.a.:

- Engineering en contract voor bereiding
- Vatsgoedkosten
- Instandhoudingskosten
- Overige bijkomende kosten
- Overige scope uitsluitingen
- BTW

| Overzicht directe benoemde bouwkosten per variant (10.000 $m^2$) | | Instandhoudingskosten 50 jaar | |
|---|---|---|---|
| - Filter van standaard kunststof geotextiel (vlies) | € 288.500,00 | € | - |
| - Granulair gesloten filter | € 442.000,00 | € | - |
| - Klassiek zinkstuk | € 642.500,00 | € | 1.500.855,28 |
| - Filter van Biobased biodegradable geotextiel filter | € 296.200,00 | € | 650.590,05 |
| Bedragen zijn excl. omzet belasting | | Contante waarde excl. omzet belasting | |

**Colofon**

| | |
|---|---|
| Projectleider: | ir. T. Wilms |
| Projectdirecteur: | ir. R. Bouw |
| Versie SSK: | CROW Publicatie SSK2018 |
| Versie ramingmodel: | W+B SSK-2018 Rekenmodel 1.04 (1-7-2022) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Opdrachtgever: | Rijkswaterstaat | Prijspeil: | Q1-2022 | Datum: | 04-10-2022 |
| Project: | Duurzaamheid filterlagen in oeverbeschermingsconstructies | Versie: | 03 | Projectcode: | 132744 |
| (Deel)raming: | Filter van standaard kunststof geotextiel (vlies) | Status: | Definitief | Auteur: | ing. O.C. Kerssens |

| code post | omschrijving post | hoev. | eenh. | prijs | totaal |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | |
| | **INVESTERINGSKOSTEN** | | | | |
| 10 | **Leveren materialen** | | | | |
| 100120 | Leveren kunststof geotextiel non woven 2mm (1m overlap per 10 m) | 11.000,00 | $m^2$ | € 2,00 | € 22.000,00 |
| 100220 | Leveren bestortingsmateriaal 10-60 kg | 9.100,00 | ton | € 22,50 | € 204.750,00 |
| 100230 | Overslaan breuksteen uit schip en transport naar plaats verwerking | 9.100,00 | ton | € 2,50 | € 22.750,00 |
| | **Totaal leveren materialen** | | | **€ 249.500,00** | |
| 20 | **Aanbrengen oeverbescherming** | | | | |
| 200120 | Aanbrengen folie/geotextiel (graafmachine + 2 GWW) - 100 $m^2$/h | 10.000,00 | $m^2$ | € 1,95 | € 19.500,00 |
| 200140 | Aanbrengen bestortingsmateriaal op doek - 50 $m^2$/h | 10.000,00 | $m^2$ | € 1,95 | € 19.500,00 |
| | **Totaal aanbrengen oeverbescherming** | | | **€ 39.000,00** | |
| | **Benoemde directe bouwkosten** | | | | **€ 288.500** |
| **INV01** | **Totaal bouwkostenFilter van standaard kunststof geotextiel (vlies)** | | | | **€ 288.500** |

| | INSTANDHOUDINGSKOSTEN | Hoeveelheid | eenheid | kosten/keer | Totaal |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Grote vervangingen (10.000 $m^2$)** | | | | |
| LK0116 | Geen vervanging binnen 50 jaar | - | keer | € - | € - |
| | **Totaal Grote vervangingen (10.000 $m^2$)** | | | **€ -** | |
| | **Benoemde directe instandhoudingskosten** | | | | **€ -** |
| **LEV01** | **Totaal (reële waarde) Filter van standaard kunststof geotextiel (vlies)** | | | | **€ -** |
| **LEV01** | **Totaal (contante waarde) Filter van standaard kunststof geotextiel (vlies)** | | | | **€ -** |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Opdrachtgever: | Rijkswaterstaat | Prijspeil: | Q1-2022 | Datum: | 04-10-2022 |
| Project: | Duurzaamheid filterlagen in oeverbeschermingsconstructies | Versie: | 03 | Projectcode: | 132744 |
| (Deel)raming: | Granulair gesloten filter | Status: | Definitief | Auteur: | ing. O.C. Kerssens |

| code post | omschrijving post | hoev. | eenh. | prijs | totaal |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | | | | | |
| | **INVESTERINGSKOSTEN** | | | | |
| 10 | **Leveren materialen** | | | | |
| 100260 | Leveren filterlaag 1 - bestortingmateriaal 30/80 mm dik 0,2 m | 3.640,00 | ton | € 25,00 | € 91.000,00 |
| 100270 | Leveren filterlaag 2 - bestortingmateriaal 4/11 mm dik 0,2 m | 3.640,00 | ton | € 25,00 | € 91.000,00 |
| 100320 | Leveren bestortingsmateriaal 10-60 kg | 9.100,00 | ton | € 22,50 | € 204.750,00 |
| 100330 | Overslaan breuksteen uit schip en transport naar plaats verwerking | 9.100,00 | ton | € 2,50 | € 22.750,00 |
| | **Totaal leveren materialen** | | | **€ 409.500,00** | |
| 20 | **Aanbrengen oeverbescherming** | | | | |
| 200230 | Aanbrengen 2 filterlagen (graafmachine + 75% GWW) - 75 $m^2$/h | 10.000,00 | $m^2$ | € 1,75 | € 17.500,00 |
| 200250 | Aanbrengen bestortingsmateriaal op filterlaag - 65 $m^2$/h | 10.000,00 | $m^2$ | € 1,50 | € 15.000,00 |
| | **Totaal aanbrengen oeverbescherming** | | | **€ 32.500,00** | |
| | **Benoemde directe bouwkosten** | | | | **€ 442.000** |
| **INV02** | **Totaal bouwkostenGranulair gesloten filter** | | | | **€ 442.000** |

| | INSTANDHOUDINGSKOSTEN | Hoeveelheid | eenheid | kosten/keer | Totaal |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Grote vervangingen (10.000 $m^2$)** | | | | |
| LK0216 | Geen vervanging binnen 50 jaar | | | € - | € - |
| | **Totaal Grote vervangingen (10.000 $m^2$)** | | | **€ -** | |
| | **Benoemde directe instandhoudingskosten** | | | | **€ -** |
| **LEV02** | **Totaal (reële waarde) Granulair gesloten filter** | | | | **€ -** |
| **LEV02** | **Totaal (contante waarde) Granulair gesloten filter** | | | | **€ -** |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Opdrachtgever: | Rijkswaterstaat | Prijspeil: | Q1-2022 | Datum: | 04-10-2022 |
| Project: | Duurzaamheid filterlagen in oeverbeschermingsconstructies | Versie: | 03 | Projectcode: | 132744 |
| (Deel)raming: | Klassiek zinkstuk | Status: | Definitief | Auteur: | ing. O.C. Kerssens |

| code post | omschrijving post | hoev. | eenh. | prijs | totaal |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 | | | | | |
| | **INVESTERINGSKOSTEN** | | | | |
| 10 | **Leveren materialen** | | | | |
| 100390 | Leveren zinkstuk (mat van wilgentenen en wiepen), incl. zinksteen | 10.000,00 | m² | € 25,00 | € 250.000,00 |
| 100420 | Leveren bestortingsmateriaal 10-60 kg | 9.100,00 | ton | € 22,50 | € 204.750,00 |
| 100430 | Overslaan breuksteen uit schip en transport naar plaats verwerking | 9.100,00 | ton | € 2,50 | € 22.750,00 |
| | **Totaal leveren materialen** | | | **€ 477.500,00** | |
| 20 | **Aanbrengen oeverbescherming** | | | | |
| 200310 | Aanbrengen zinkstuk | 10.000,00 | m² | € 15,00 | € 150.000,00 |
| 200350 | Aanbrengen bestortingsmateriaal op filterlaag - 65 m²/h | 10.000,00 | m² | € 1,50 | € 15.000,00 |
| | **Totaal aanbrengen oeverbescherming** | | | **€ 165.000,00** | |
| | **Benoemde directe bouwkosten** | | | | **€ 642.500** |
| **INV03** | **Totaal bouwkostenKlassiek zinkstuk** | | | | **€ 642.500** |

| | INSTANDHOUDINGSKOSTEN | Hoeveelheid | eenheid | kosten/keer | Totaal |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Grote vervangingen (10.000 m²)** | | | | |
| LK032 | Opnemen bestaande bestortingmateriaal (1x 10jr) | 4 | keer | € 15.835,00 | € 63.340 |
| LK036 | Verwijderen bestaand zinkstuk incl. afvoeren | 4 | keer | € 100.000,00 | € 400.000 |
| LK037 | Leveren en aanbrengen zinkstuk | 4 | keer | € 400.000,00 | € 1.600.000 |
| LK0312 | Terug aanbrengen bestortingsmateriaal (1x 10jr) | 4 | keer | € 19.500,00 | € 78.000 |
| LK0314 | Leveren 10% nieuw bestortingsmateriaal | 4 | keer | € 22.750,00 | € 91.000 |
| | **Totaal Grote vervangingen (10.000 m²)** | | | **€ 2.232.340** | |
| | **Benoemde directe instandhoudingskosten** | | | | **€ 2.232.340** |
| **LEV03** | **Totaal (reële waarde) Klassiek zinkstuk** | | | | **€ 2.232.340** |
| **LEV03** | **Totaal (contante waarde) Klassiek zinkstuk** | | | | **€ 1.500.855** |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Opdrachtgever: | Rijkswaterstaat | Prijspeil: | Q1-2022 | Datum: | 04-10-2022 |
| Project: | Duurzaamheid filterlagen in oeverbeschermingsconstructies | Versie: | 03 | Projectcode: | 132744 |
| (Deel)raming: | Filter van Biobased biodegradable geotextiel filter | Status: | Definitief | Auteur: | ing. O.C. Kerssens |

| code post | omschrijving post | hoev. | eenh. | prijs | totaal |
|---|---|---|---|---|---|
| 4 | | | | | |
| | **INVESTERINGSKOSTEN** | | | | |
| 10 | **Leveren materialen** | | | | |
| 100430 | Leveren Biobased biodegradable geotextiel filter: jute (1m overlap per 10 m) | 11.000,00 | $m^2$ | € 2,70 | € 29.700,00 |
| 100520 | Leveren bestortingsmateriaal 10-60 kg | 9.100,00 | ton | € 22,50 | € 204.750,00 |
| 100530 | Overslaan breuksteen uit schip en transport naar plaats verwerking | 9.100,00 | ton | € 2,50 | € 22.750,00 |
| | **Totaal leveren materialen** | | | **€ 257.200,00** | |
| 20 | **Aanbrengen oeverbescherming** | | | | |
| 200420 | Aanbrengen folie/geotextiel (graafmachine + 2 GWW) - 100 $m^2$/h | 10.000,00 | $m^2$ | € 1,95 | € 19.500,00 |
| 200440 | Aanbrengen bestortingsmateriaal op doek - 50 $m^2$/h | 10.000,00 | $m^2$ | € 1,95 | € 19.500,00 |
| | **Totaal aanbrengen oeverbescherming** | | | **€ 39.000,00** | |
| | **Benoemde directe bouwkosten** | | | | **€ 296.200** |
| **INV04** | **Totaal bouwkostenFilter van Biobased biodegradable geotextiel filter** | | | | **€ 296.200** |

| | INSTANDHOUDINGSKOSTEN | Hoeveelheid | eenheid | kosten/keer | Totaal |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Grote vervangingen (10.000 $m^2$)** | | | | |
| LK043 | Opnemen bestaande bestortingmateriaal (1x 5jr) | 9 | keer | € 15.835,00 | € 142.515 |
| LK049 | Leveren en aanbrengen Biobased biodegradable geotextiel | 9 | keer | € 51.150,00 | € 460.350 |
| LK0413 | Terug aanbrengen bestortingsmateriaal (1x 5jr) | 9 | keer | € 19.500,00 | € 175.500 |
| LK0413 | Leveren 10% nieuw bestortingsmateriaal | 9 | keer | € 20.475,00 | € 184.275 |
| | **Totaal Grote vervangingen (10.000 $m^2$)** | | | **€ 962.640** | |
| | **Benoemde directe instandhoudingskosten** | | | | **€ 962.640** |
| **LEV04** | **Totaal (reële waarde) Filter van Biobased biodegradable geotextiel filter** | | | | **€ 962.640** |
| **LEV04** | **Totaal (contante waarde) Filter van Biobased biodegradable geotextiel filter** | | | | **€ 650.590** |