



Verslag en aanbevelingen Werkgroep Transportleidingen

KLIMAATNEUTRAAL EN CIRCULAIR ASSETMANEGEMENT (KCAO)





Verlag en aanbevelingen Werkgroep Transportleidingen

Aveco de Bondt BV

Holten - Amstelveen - Breda - Eindhoven - Nieuwegein

Postbus 64, 7450 AB Holten

T +31 88 004 82 12

info@avecodebondt.nl

avecodebondt.nl

project Unie van waterschappen - Klimaatneutraal en Circulair
assetmanagement en opdrachtgeverschap KCAO


opdrachtgever Unie van Waterschappen

auteurs Aveco de Bondt: Bart Berlee, Floris van der Kleij, Guy
Henckens, Leonard Vischer

contactpersoon Floris van der Kleij

datum 30 november 2023

referentie 230099_AdB_MEM_000X_v

paraaf 

gecontroleerd Aveco de Bondt: Leonard Vischer
Extern: Stuurgroep werkgroep transportleidingen

Floris van der Kleij
Consultant Duurzaamheid
fvanderkleij@avecodebondt.nl
+31 6 206 71 008



Bart Berlee
Adviseur duurzaamheid
bberlee@avecodebondt.nl
+31 6 515 21 612



Inhoud

Inleiding traject verduurzaming transportleidingen	3
1 Afbakening	5
2 Korte samenvatting onderdelen rapport	7
2.1 Samenvatting Circulair ontwerp en de R-ladder	7
2.2 Samenvatting MKI	8
2.3 Samenvatting advies Trade-Off Matrix	9
3 Circulair ontwerp en de R-Ladder	12
3.1 Circulaire strategie - de R-Ladder en Cirkel van Sinek	12
3.2 SMART interpreteren van de R-Ladder, hoe doe je dat?	14
4 MKI als maatlat	15
4.1 Levenscyclus bouwwerk	15
4.2 Milieukostenindicator – toegelicht	15
4.3 Milieukostenindicator – toegepast	17
4.3.1 MKI per leidingmateriaal	17
4.3.2 CO ₂ -impact per leidingmateriaal	19
4.3.3 MKI Aanleg en onderhoud	20
5 Trade-Off Matrix – Duurzaamheid als afweging	23
Dankwoord samenwerking	26
3.01 werking van een Trade of Matrix (TOM)	
3.02 Schema TOM	

Inleiding traject verduurzaming transportleidingen

Waterschappen spelen een essentiële rol bij het beheren van waterbronnen, het voorkomen van overstromingen en het zuiveren van afvalwater. Transportleidingen zijn een belangrijk onderdeel van deze infrastructuur die waterschappen in staat stelt deze taken efficiënt uit te voeren. Het overgrote deel van deze assets bestaat uit persleidingen van diverse diameters en materialen, desalniettemin zijn er ook transportleidingen die op vrij verval werken. Bijvoorbeeld binnen een stedelijk rioleringsstelsel dat soms ook binnen de verantwoordelijkheid valt van een waterschap en niet van een gemeente. Het verduurzamen van alle transportleidingen in Nederland is een veelomvattende opgave die een grondig begrip van de vervangingsopgave van dit leidingwerk vereist, evenals samenwerking binnen de keten en de ontwikkeling van een instrumentarium om duurzame keuzes zowel in kwantitatieve als kwalitatieve termen te onderbouwen. In algemene zin is het hierbij van belang om op het gebied van duurzaamheid de visie, het beleid en maatregelen van een waterschap Specifiek, Meetbaar, Acceptabel, Realistisch en Tijdsgebonden (SMART) te vertalen naar de projectspecifieke situaties (zie H2.2) die spelen binnen een Waterschap. Dit rapport biedt concreet advies en handvatten die bijdragen aan de ontwikkeling van een duurzamere en milieuvriendelijkere transportinfrastructuur.

Leeswijzer rapport KCAO-Transportleidingen

Deze leeswijzer biedt een beknopt overzicht, zodat u gericht de voor u relevante informatie kunt verkennen.

In dit KCAO-rapport van de Unie van Waterschappen wordt in de verschillende onderdelen ingegaan op manieren om asset management van transportleidingen te verduurzamen. In de inleiding wordt het doel van het KCAO-traject beschreven en een korte samenvatting gegeven voor de bevindingen van de drie latere hoofdstukken. Het rapport behandelt drie kernonderdelen: ten eerste, een advies over circulair ontwerp met de R-ladder en gebruik van de cirkel van Sinek voor de transitie naar circulair asset management. Ten tweede, de toepassing van Milieukosten Indicator (MKI) om duurzaamheid te kwantificeren. Ten derde, de gebruikmaking van een trade-off matrix als afwegingskader voor duurzaamheid.

Doel rapport

Dit rapport richt zich op het leveren van inzicht over de milieu-impact van transportleidingen en geeft daarnaast handvatten voor de verdere verduurzaming van asset management in het algemeen en transportleidingen specifiek.

KCAO-traject Unie van Waterschappen

Het KCAO-traject is geïnitieerd door de Unie van Waterschappen, om waterschappen voldoende handvatten te geven om in hun werk op een doeltreffende en efficiënte manier circulariteit en klimaatdoelen mee te nemen. Dit om voor alle waterschappen richting en houvast te bieden bij de uitwerking van klimaatneutrale en circulaire doelstellingen in de dagelijkse werkzaamheden van de waterschappen. Hierbij sluiten we zoveel mogelijk aan bij de aanpak en opgeleverde roadmaps van de strategie klimaatneutrale en circulaire Infrastructuur van ministerie van I&W. Dit product vormt een concrete uitwerking van deze ambities voor het onderwerp transportleidingen. In landelijke kaders en beleidsstukken is veel geschreven over de richting en de doelen die we in Nederland op het gebied van duurzaamheid willen nastreven. Daarnaast geven de strategieën van de Unie van Waterschappen meer uitwerking aan de richting en uitwerking voor het werk van de waterschappen. Deze beleidsproducten van het Rijk en de unie bieden echter nog te weinig handvatten voor medewerkers van waterschappen om deze direct te vertalen in het assetmanagement, projectmanagement en dagelijks beheer en onderhoud van de assets. Regelmatig krijgt de Unie de vraag hoe dit concreet vorm gegeven moet worden. Dit rapport ondersteunt daarbij.





1 Afbakening

In onderstaand rapport leest u de uitkomsten van het KCAO-traject voor de verduurzaming van transportleidingen. Het opgestelde rapport geeft de lezer meer inzicht bij het verduurzamen van assets binnen het waterschap, met in het bijzonder transportleidingen. Omdat de verduurzaming van alle leidingen in Nederland een grote en complexe opgave is, hebben we een aantal zaken buiten de scope van ons rapport gehouden. Onderstaande punten omschrijven deze afbakening:

- Om een advies te geven over materiaalkeuze is ervoor gekozen om de focus te leggen op de MKI-berekening (Milieu Kosten Indicator) van de materialen en producten die worden gebruikt (zie hoofdstuk 3) bij assetmanagement van transportleidingen. We gebruiken hiervoor de data aangeleverd door Hoogheemraadschap Rijnland.
- Om het proces van het verduurzamen van leidingen te vereenvoudigen maken we gebruik van een afwegingskader: In een Trade-off Matrix (TOM) worden andere aspecten dan MKI meegenomen, zoals de financiën en risico's van werkzaamheden en producten. We stellen voor dit afwegingskader toe te passen als instrument voor het integreren van duurzaamheid. De gemaakte en ingevulde TOM fungeert als voorbeeld. De ingevulde TOM is niet bedoeld om te sturen op een keuze voor bepaalde materialen (zie hoofdstuk 4).
- Buiten de scope valt tevens duurzaamheidsanalyse voor een gespecificeerd, compleet transportsysteem, waarbij onder andere de weerstandsberekening van het leidingwerk als factor is meegenomen. Ook de benodigde drukklasse van leidingwerk is buiten de scope gehouden. (zie ook hoofdstuk 1.3).
- Het belang van aspecten zoals de invloed van specifieke ontwerpkeuzes voor transportleidingen op het energiegebruik in het systeem (incl. gemalen) wordt erkend, maar deze zijn niet meegenomen binnen de scope van dit onderzoek (zie ook hoofdstuk 1.3).





2 Korte samenvatting onderdelen rapport

2.1 Samenvatting Circulair ontwerp en de R-ladder

In dit deelhoofdstuk zijn begrippen en conclusies samengevat, die betrekking hebben op de R-ladder, circulair ontwerpen en het veranderen naar een circulair georiënteerde organisatie. Voor een volledig overzicht van onderwerp, wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

Verduurzaming binnen een systeem

Transportleidingen zijn een onderdeel van een groter watersysteem. Als men transportleidingen aanpast, bijvoorbeeld de dimensies, het materiaal of de manier van aanleggen, heeft dat niet alleen gevolgen voor de directe infrastructuur maar vooral ook de werking van het systeem. Hierbij kan gedacht worden aan de invloed van ontwerpkeuzes op de transportcapaciteit, onderhoudsvriendelijkheid of hoeveelheid energie die nodig is om water te transporteren. Dit rapport zien we als onderdeel van en aanvulling op de (proces)aanpak van het totale watersysteem.

R-ladder

De R-ladder is een model dat de mate van circulariteit aangeeft, geprioriteerd van R1 tot R6. De R-ladder kan gebruikt worden bij ontwerp-vraagstukken, met als doel om circulariteit aan te jagen. Er zijn bij gebruik twee benaderingen te onderscheiden met hetzelfde doel: het bevorderen van circulariteit. Dit is de lerende strategie of de cognitieve strategie.

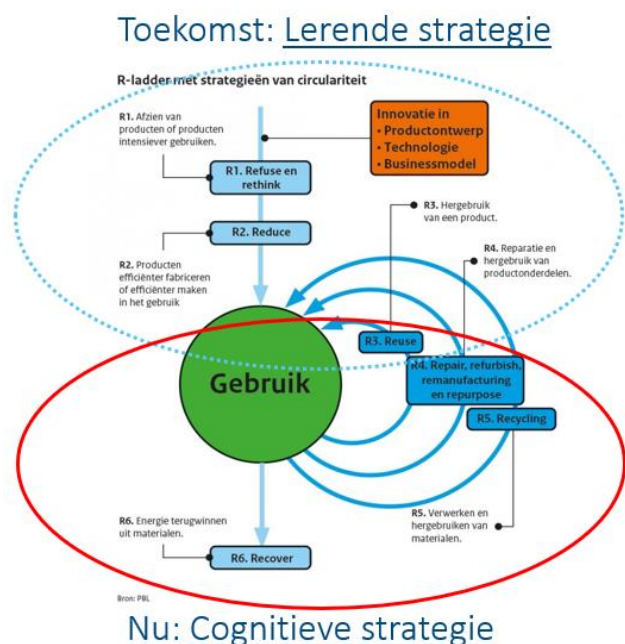
De lerende strategie, die bij ontwerp-vraagstukken strategische beslissingen ondersteunt vanuit 'een waarom-benadering'.

Dus meer 'waarom' worden bepaalde keuzes gemaakt, dan 'wat kunnen we doen' om een bepaalde ontwerpkeuze goed uit te voeren.

Wanneer deze benadering wordt toegepast binnen de R-ladder, dan werkt het team of organisatie op het niveau van R1 (Refuse/Rethink), R2 (Reduce) en kan het team of de organisatie de meeste impact maken.

Daarnaast bestaat de cognitieve strategie. Deze gaat uit van de vraag 'wat kunnen we doen' om een bepaalde ontwerpkeuze goed uit te voeren. De strategie speelt vooral in op R3 t/m R6. Organisaties werken vaak met deze cognitieve strategie. Hier valt bijvoorbeeld de aanpak van de MKI-berekening onder en de Trade Off Matrix.

Het is belangrijk om bewust te zijn van de impact die gemaakt kan worden binnen elke trede in de ladder en hiernaar te handelen. Het helpt om binnen ontwerpssessies, verschillende ideeën per trede SMART te maken. Op deze manier worden maatregelen/keuzes concreet. In hoofdstuk 3 is meer te lezen over deze strategieën en wordt een voorbeeld gegeven van 'hoe' ontwerpssessies vorm kunnen krijgen.





2.2 Samenvatting MKI

In dit deelhoofdstuk wordt MKI als concept kort toegelicht en worden de conclusies van een studie met MKI-berekeningen voor transportleidingen samengevat. Voor een compleet overzicht van de studie en achterliggende begrippen, wordt verwezen naar hoofdstuk 4.

Milieukosten Indicator (MKI)

MKI-berekeningen geven op kwantitatieve wijze weer wat de impact is van materiaal gebonden emissies van producten, zoals bijvoorbeeld transportleidingen, teruggerekend naar euro's. Dit speelt over de hele levenscyclus van het materiaal vanaf de winning van grondstoffen en het gebruik van de materialen tot aan het einde van levensduur. Marktpartijen die voor hun product(en) een specifieke levenscyclusanalyse (LCA) hebben opgesteld, vallen in Nederland binnen de Nationale Milieudatabase (NMD) onder categorie 1 milieuprofielen. Hiermee kunnen ze zich onderscheiden van branche-gerelateerde milieuprofielen voor soortgelijke producten. Deze vallen onder de generieke categorie 3 milieuprofielen en krijgen daardoor een 30% toeslag op de MKI-score. Voor verdere toelichting, zie hoofdstuk 4.

Bevindingen

Binnen het KCAO-traject voor transportleidingen is een kwantitatief onderzoek opgesteld om de waarde van MKI als bepalingstechniek voor milieuscore te verkennen. Binnen dit onderzoek is een variantenstudie toegepast, waarin verschillende materialen voor transportleidingen en verschillende uitvoeringsmethodes zijn getoetst. Het gebruik van de milieukostenindicator (MKI) als maatstaf voor het bepalen van de duurzaamheid van producten vereenvoudigt de afweging tussen verschillende duurzaamheidsaspecten. Dit omvat bijvoorbeeld de mogelijkheid tot afwegen van besparingen in energieverbruik voor een transportsysteem tegenover het extra gebruik van materiaal.

Met betrekking tot het toepassen van MKI bij transportleidingen zijn zowel een aantal algemene bevindingen als specifieke conclusies geformuleerd:

Algemeen

- Om een goed inzicht te krijgen van de milieu impact per project, zijn project-specifieke MKI-berekeningen nodig. Het advies is daarom ook, dat bij projecten vanaf een bepaalde schaal (gebaseerd op bijv. prijs of schaalgrootte), standaard MKI-berekeningen worden uitgevraagd. Binnen het waterschap zal hiervoor intern besloten moeten worden vanaf welke orde grootte een project standaard met MKI getoetst wordt. Hierbij is het verstandig om op basis van een variantenstudie tussen een basisreferentie project en een of meerdere alternatieven te toetsen welke ontwerpvariant tot de laagste MKI-score zal leiden.
- Het grootste deel van de milieu impact van een product wordt gecreëerd in de eerste fase van de levenscyclus. Namelijk tijdens de winning van grondstoffen, productieprocessen, transport en aanleg. Dit wordt fase A genoemd in de LCA-methodiek – zie voor het overzicht van de fases figuur 3-1.
- Het advies aan producenten van transportleidingen is daarom om product specifieke milieuprofielen op te stellen voor de producten, zodat er beter en kwantitatief onderbouwd kan worden geconcurrereerd op duurzaamheid.
- De aansluitende aanbeveling aan de Unie Van Waterschappen is: stimuleer waterschappen om in gesprek te gaan met leveranciers over het laten opstellen van LCA's voor hun producten.

Conclusies MKI-onderzoek

- Het overwegen van verschillende materialen speelt een cruciale rol in het succes van elk project. In dit verband blijkt uit de berekeningen dat het gebruik van PP of HDPE de meest gunstige MKI-score oplevert, waardoor het een aantrekkelijke keuze is.



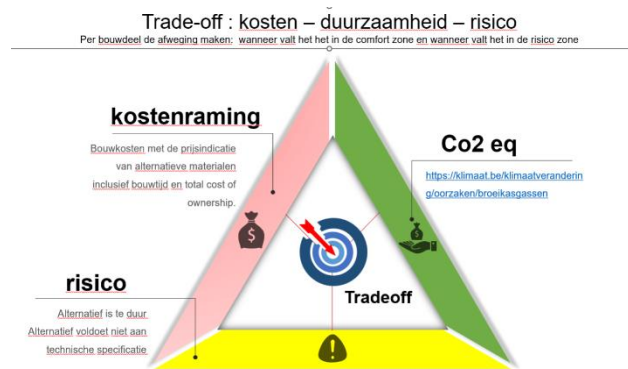
- Bij de uitvoering en het onderhoud van projecten rond leidingwerk komt naar voren dat de sleufmethode de voorkeur verdient *op basis van de huidige berekeningen*. Bovendien blijkt dat groene, elektriciteit, bijvoorbeeld gewonnen uit rioolwaterzuiveringen, het best voor aandrijving van materieel kan worden gebruikt – uitgedrukt in MKI.
- Een vraag die opkwam, betreft de afweging tussen relinen van bestaande leidingen ten opzichte van het nieuw aanleggen van leidingen. Over het algemeen blijkt uit de MKI-scores dat het verlengen van de levensduur van bestaande leidingen een gunstiger resultaat oplevert dan volledige vervanging. Hierbij dient de opmerking geplaatst te worden dat in de levenscyclus die daarop volgt, de materialen gebruikt bij relinen, niet meer te scheiden zijn van het oorspronkelijke leidingmateriaal. Dit is niet opgenomen in de MKI-berekeningen.

2.3 Samenvatting advies Trade-Off Matrix

In dit deelhoofdstuk wordt de Trade-Off Matrix (TOM) als concept kort toegelicht en wordt samengevat hoe het gebruik hiervan de transitie naar een duurzamer asset management van transportleidingen kan ondersteunen. Voor een compleet overzicht van de studie en achterliggende begrippen, wordt verwezen naar hoofdstuk 4.

TOM-toegelicht

De trade-off matrix fungeert als een waardevolle aanvulling voor het maken van ontwerpkeuzes. Dit hulpmiddel is bruikbaar als een kader voor weging tussen duurzaamheid en andere ontwerpcriteria, zoals risico's of kosten. De TOM kan worden aangepast aan de specifieke criteria van de opdrachtgever en als kader beoordeeld worden door experts uit verschillende disciplines, waardoor het ontwerpproces op een gestructureerde en gefundeerde manier kan worden benaderd.



Bevindingen

Het ontwerp van een systeem kent meerdere afwegingen dan duurzaamheid alleen. Een TOM kan effectief worden ingezet als een hulpmiddel om duurzaamheid integraal af te wegen tegen andere ontwerpcriteria, met de beste resultaten wanneer het wordt opgesteld door diverse experts binnen de organisatie.

Sommige ontwerpkeuzes zullen daarnaast niet, of slechts ten dele in de TOM meegewogen kunnen worden. Hieronder vallen de volgende punten:

1. Een aspect om duurzaamheid van leidingwerk te evalueren, is het verminderen van het energiegebruik door weerstandsverlies te beperken. Deze besparing kan onder andere worden bereikt door het gebruik van een grotere leidingdiameter, hoewel dit risico's met zich meebrengt, zoals luchtophopping bij lage waterstroomsnelheden en een toegenomen materiaalgebruik.
2. Het overwegen van relining als een duurzaam alternatief voor volledige vervanging moet zorgvuldig gebeuren, omdat dit kan leiden tot een iets lagere capaciteit (paar %) bij grotere leidingen en een verhoogde leiding weerstand, wat resulteert in een groter energieverbruik en een kortere levensduur na toepassing.
3. Het is belangrijk om risico's, zoals waterslag bij het afsluiten van ontluchtingspunten mee te nemen.
4. Het afwegingskader voor design dient ook rekening te houden met afvalwaterprognoses, veranderende capaciteit belasting op de infrastructuur in de toekomst, en het behouden van overcapaciteit voor onverwachte situaties, zoals die veroorzaakt kunnen worden door nieuwe grote industriële lozers.





3 Circulair ontwerp en de R-Ladder

3.1 Circulaire strategie - de R-Ladder en Cirkel van Sinek

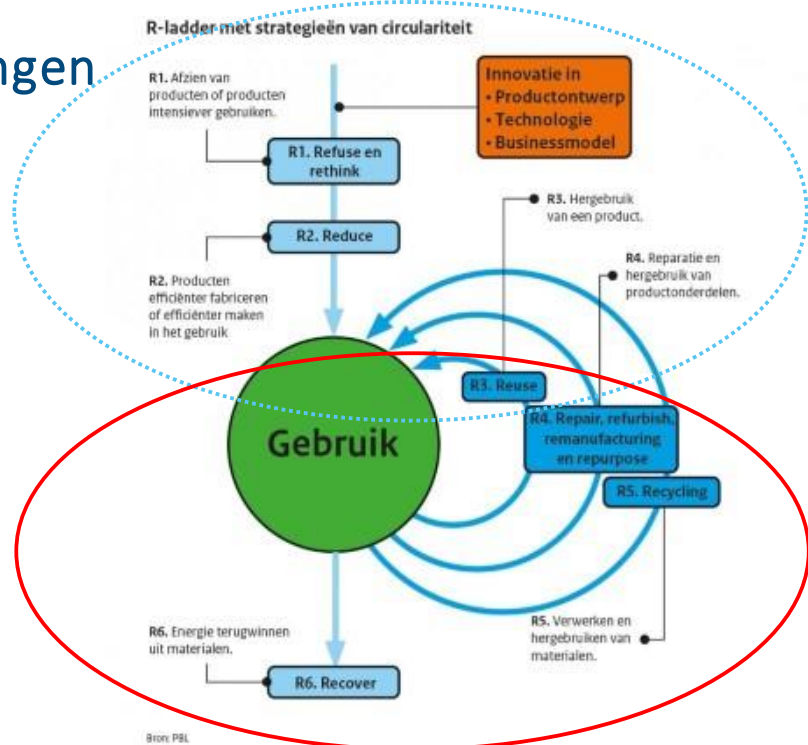
Binnen het KCAO-traject worden belangrijke stappen gezet om naar een circulair en klimaatneutraal assetmanagement te gaan. Het doel is om in 2050 volledig circulair te zijn. Dit is een complexe opgave omdat de vraagstukken die er spelen in stand worden gehouden door het systeem waarbinnen ze zijn ontstaan. De oplossingen die het meeste impact maken zijn daarbij meestal niet technisch van aard, maar vragen om een systeemverandering. Waarbij wat er binnen deze transitie moet gebeuren buiten de invloedsfeer valt van een organisatie. Kortom; deze transitie naar circulair en klimaatneutraal assetmanagement vraagt om een fundamentele verandering in hoe we denken, organiseren en handelen. De gang naar een andere benadering kan bijvoorbeeld mogelijk worden gemaakt door de toepassing van 'gamification', waarbij men spelenderwijs tot nieuwe inzichten komt en het geven van workshops in veranderaanpak. Er zal nog heel wat geëxperimenteerd moeten worden om een concreet handelingsperspectief uit te werken. Hieronder staan twee modellen die inzicht geven hoe het proces van een andere benadering eruitziet. Het advies is daarbij dat de organisatie tijd en middelen reserveert om in samenspraak met een inhoudelijk ervaren verandermanager 'rethink' sessies te houden.

Het meest bekende model is de "R-ladder", een conceptuele trap met 6 treden (R1 tot en met R6) die ons de mate van circulariteit aangeeft (zie figuur 2-1). Een trede van de ladder vertegenwoordigt verschillende (ontwerp)strategieën om grondstoffen te besparen en onze impact op het milieu te minimaliseren. Hoe hoger je op de R-ladder staat, hoe meer circulair de strategie is. R1 is de hoogste trede.

Materiaal Transportleidingen

Toekomst
Lerende strategie

Huidige analyse
Cognitieve strategie

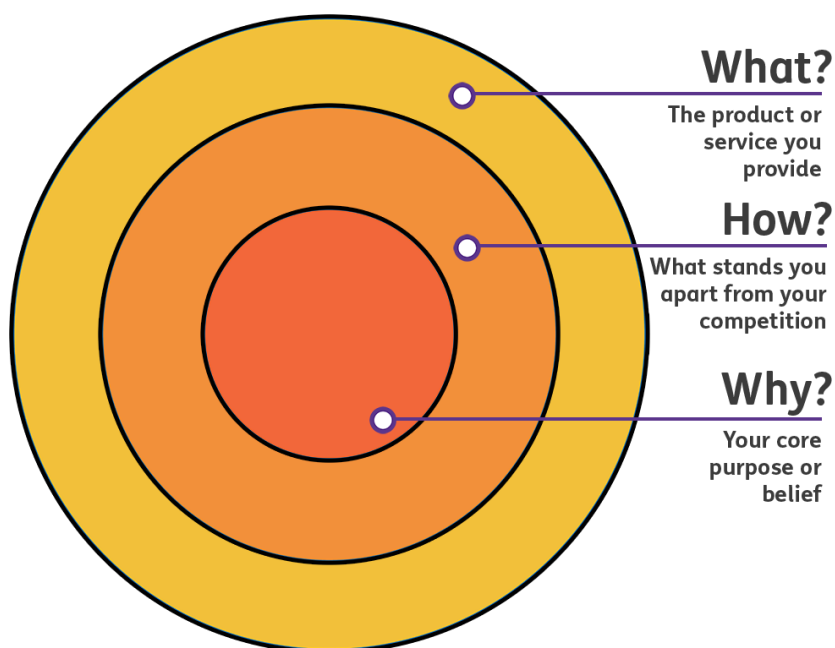


Figuur 3-1: De R-ladder, met daarbij de lerende versus de cognitieve strategie toegevoegd. Bron: Aveco de Bondt/Floris van der Kleij



Als we streven naar R1, betekent dat we producten en diensten gaan benaderen door anders na te denken over de vraag. Wat is het nut en de noodzaak van een bepaalde functie en hoe zouden we meer waarde gestuurd de problematiek kunnen benaderen. Waarom willen we deze leiding hier leggen? Kunnen we ook voorkomen dat een leiding nodig is en wat levert dat op? En als het niet anders kan, (R2) kan het ook slimmer, beter, efficiënter etc. Deze manier van bevragen per trede van de ladder helpt op de mogelijkheden van circulariteit te onderzoeken. R3 en R4 gaan daarbij meer richting technische innovatie, kan het gemaakt worden van herbruikbare materialen en als we toch iets gaan uitvoeren, welke materialen belasten het milieu meer dan anderen. Hiervoor maken we gebruik van een kwantitatieve benadering van de Milieu Kosten Indicator (MKI) berekeningen.

Het tweede model dat we kort willen toelichten is "De Cirkel van Sinek." Dit model, gebaseerd op Simon Sinek's *'start with why'-theorie*, benadrukt het belang van beginnen met de "waarom" in onze communicatie en acties. Het model leert ons om eerst af te vragen waarom we een circulair ontwerp nastreven, wat ons drijft. Als de overheid de eis stelt dat organisaties in 2030 voor 50% circulair zijn, welke stappen zijn dan voor een waterschap relevant richting 2030? Niemand weet precies hoe we dit moeten bereiken want het is niet zo concreet als bij een handeling die al jaren wordt uitgevoerd. Oplossingen liggen niet voor de hand binnen het maken van een nieuwe circulaire beweging, die verknoopt zit in systeemdenken en stakeholders met uiteenlopende belangen. Toch wordt van de waterschappen verlangd hun steentje bij te dragen aan assetmanagement waarin circulariteit de norm is. Het vraagt om experimenteren om zo een nieuw handelingsperspectief samen op te stellen.



Figuur 3-2: Cirkel van Sinek. (Bron: professionalacademy.com)



3.2 SMART interpreteren van de R-Ladder, hoe doe je dat?

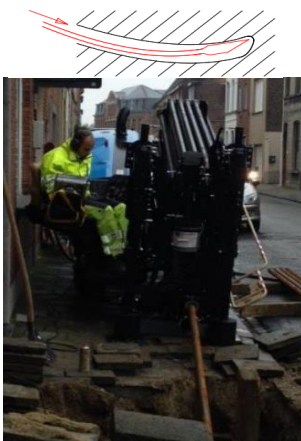
SMART staat voor Specifiek, Meetbaar, Aanpasbaar, Realistisch en Tijdgebonden. De R-ladder stuurt op circulaire ontwerpprincipes. Het is van belang om per trede concrete stappen te maken waarin circulair gebruik van middelen wordt bevorderd. Bijvoorbeeld door lokaal water te bufferen, lokaal te zuiveren en minder lengte persleidingen toe te passen. Er bestaan meestal geen 'one-size-fits-all-oplossingen' voor het verduurzamen van leidingwerk, maar wel project specifieke kansen om lokaal maatregelen te treffen die houtsnijden. Het is daarbij van belang om per onderdeel of thema in een project de R-ladder SMART af te pellen.

Rechts staat een invuloefening, die bijvoorbeeld gebruikt kan worden tijdens workshops 'veranderen', door met een groep op grote flipovers onderdelen SMART worden uitgeschreven. Op die manier kan er concreet invulling worden gegeven aan een andere benadering.

		Specifiek	Meetbaar	Aantoonbaar	Realistisch	Tijdgebonden
Plaats hier het onderwerp of thema (bijv: Materiaal gebonden emissies)						
R1	Heroverwegen					
R2	Reduceren					
R3	Hergebruik					
R4	<u>Refurbishen</u>					
R5	Recycling					
R6	Verbranden					

Figuur 3-3: Invuloefening R-ladder & SMART bron: Aveco de Bondt/Floris van der Kleij

Om circulariteit binnen verduurzamingsopgaves voor leidingwerk concreet te maken helpt het om per project de R-ladder Specifiek, Meetbaar, Aantoonbaar Realistisch en tijdsgebonden (SMART) in te vullen. Elk project kent andere omstandigheden, andere ontwerpkeuzes die gemaakt worden. Uitvoerders binnen het waterschap kennen de verschillende project specifieke technische en maatschappelijke afwegingen als geen ander. Zie als voorbeeld van de variëteit aan projecten onderstaande foto's.



In bebouwde omgeving: horizontale gestuurde boring voor nieuwe leiding



In bebouwde omgeving: Relining



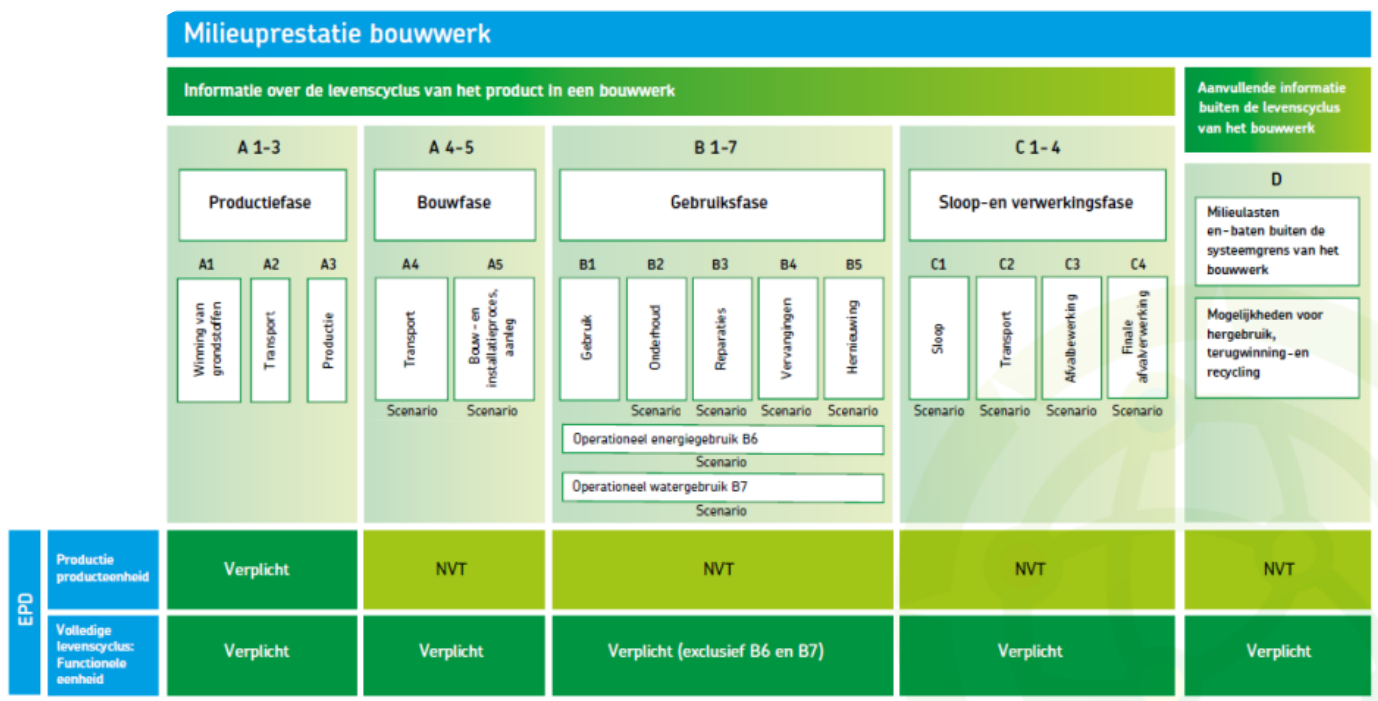
In de open ruimte een geul graven

4 MKI als maatlat

4.1 Levenscyclus bouwwerk

Bij het beoordelen van de duurzaamheid en milieubelasting van bouwwerken is een complete benadering van de volledige levenscyclus belangrijk. Dit houdt in dat de complete levenscyclus van elk onderdeel, van begin tot het einde – ook wel cradle-to-grave genoemd, wordt meegenomen in de berekeningsmethodiek. Een belangrijk aspect bij deze benadering is het in rekening brengen van de milieubelasting per fase in de levenscyclus. Zie voor een volledig overzicht van de verschillende bouwfases A t/m D figuur 3-1.

Hierbij worden schaduwkosten geformuleerd om de verborgen milieu-impact in een alternatieve financiële vorm uit te drukken. Dit betekent dat milieueffecten worden omgezet in euro's schaduwkosten.



Figuur 4-1 - Levenscyclus product opgedeeld in verschillende fasen (bron: milieudatabase.nl)

4.2 Milieukostenindicator – toegelicht

Om materialen en processen met elkaar te kunnen vergelijken, drukken we de opgetelde milieueffecten uit tot één score: de MKI. Zo'n analyse richt zich op materialen en onderdelen in alle fasen van de levensduur van een bouwwerk, product of materiaal, waarbij op dit moment 11 en binnenkort 19 indicatoren worden gecombineerd tot één indicator over de levensduur – zie figuur 3-2. Het maakt gebruik van de NMD-database en drukt de kosten uit in Euro per eenheid (streckende meter, volume, etc.) gedurende de levenscyclus. Een hoge MKI-score representeert een hoge milieuschade. Veelgebruikte eenheden zijn €/m³ en €/kg. Logischerwijs zal de milieu-impact uitgedrukt in MKI per jaar kleiner worden bij verlenging van de levensduur.



Impact category	Unit	Weighting of results
Climate change – total	kg CO2-eq.	Single-score indicator
Climate change – fossil	kg CO2-eq.	
Climate change – biogenic	kg CO2-eq.	
Climate change – land use and change to land use	kg CO2-eq.	
Ozone layer depletion	kg CFC11-eq.	
Acidification	mol H+-eq.	
Freshwater eutrophication	kg PO4-eq.	
Seawater eutrophication	kg N-eq.	
Land eutrophication	mol N-eq.	
Photochemical ozone formation	kg NMVOC-eq.	
Depletion of abiotic raw materials, minerals, and metals	kg Sb-eq.	
Depletion of abiotic raw materials	MJ, net cal. val.	
Fossil fuels		
Water use	m3 world eq.	
Fine particulate emissions	Illness incidence	
Ionizing radiation	kBq U235-eq.	
Ecotoxicity (freshwater)	CTUe	
Human toxicity, carcinogenic	CTUh	
Human toxicity, non-carcinogenic	CTUh	
Land-use related impact/soil quality	Dimensionless	

Figuur 4-2: 18 Milieu-indicatoren gebruikt bij Nederlandse MKI-berekening (bron: milieudatabase.nl)

Bij het berekenen van de schaduwkosten in MKI wordt de volledige levenscyclus van een materiaal of onderdeel in overweging genomen, zoals weergegeven in figuur 3-1.

Voor de MKI-berekening wordt gebruik gemaakt van data uit de Nationale Milieudatabase (NMD). De berekening wordt ondersteund door gebruik te maken van milieuprofielen van materialen. Deze milieuprofielen zijn opgesteld in levenscyclusanalyses (LCA's), die zijn getoetst door onafhankelijke en gekwalificeerde derde partijen.

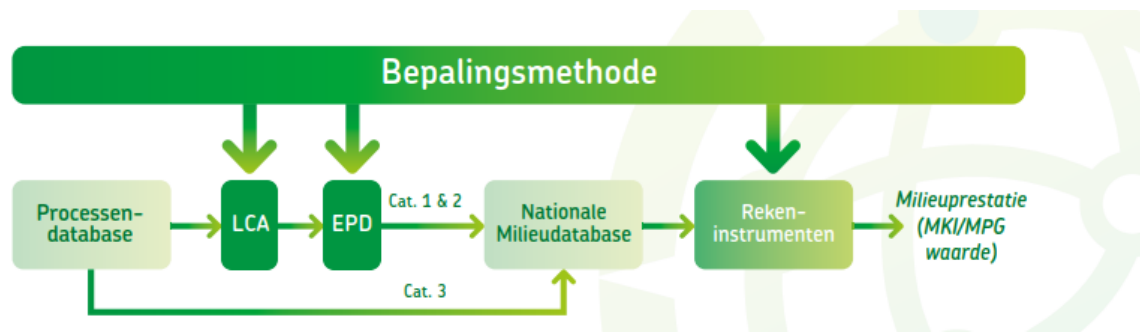
Voor een vergelijking tussen materialen is het belangrijk om te beseffen hoe specifiek de achterliggende LCA van een materiaal is. Zo zijn er generieke milieuprofielen voor materialen, zoals een type gewapend beton. Binnen de NMD wordt dit een categorie 3 milieuprofiel genoemd. Gewapend beton kan door verschillende producenten echter op verschillende manieren gemaakt worden. Misschien gebruikt producent A. fossielvrije warmte-opwekking in het productieproces en producent B niet. Zo zullen er ook binnen een materiaal- of producttype, afhankelijk van de producent verschillende scores op duurzaamheid ontstaan.

Om dit soort detaillering aan te brengen per materiaal- of producttype zijn er naast generieke LCA's voor materiaal (zoals beton) ook specifieke LCA's opgesteld voor individuele producenten. Binnen de NMD worden dit soort profielen als categorie 1 bestempeld. Verschillen tussen categorie 1, 2 en 3 profielen zijn:

- Categorie 1 profielen zijn merkgebonden, specifiek voor één product, met bijpassend productieproces.
 - Categorie 1 profielen maken gebruik van gedetailleerde inzichten en data van producenten en toeleveranciers en scores hierdoor vaak lager in MKI dan categorie 3 profielen.
- Categorie 2 profielen zijn specifiek voor de branche. Deze stelt op basis van aangeleverde informatie van de brancheleden een representatief profiel op.



- Categorie 3 profielen zijn generiek. Ze representeren een 'common-practice' variant van een producttype waarin conservatieve aannames worden. Omdat ze een marktgemiddeld, common-practice product vertegenwoordigen, is bepaald dat deze een 30%-toeslag op hun MKI-score toegekend krijgen. Hierdoor vallen ze vaak hoger uit dan de MKI-score van categorie 1 profielen.



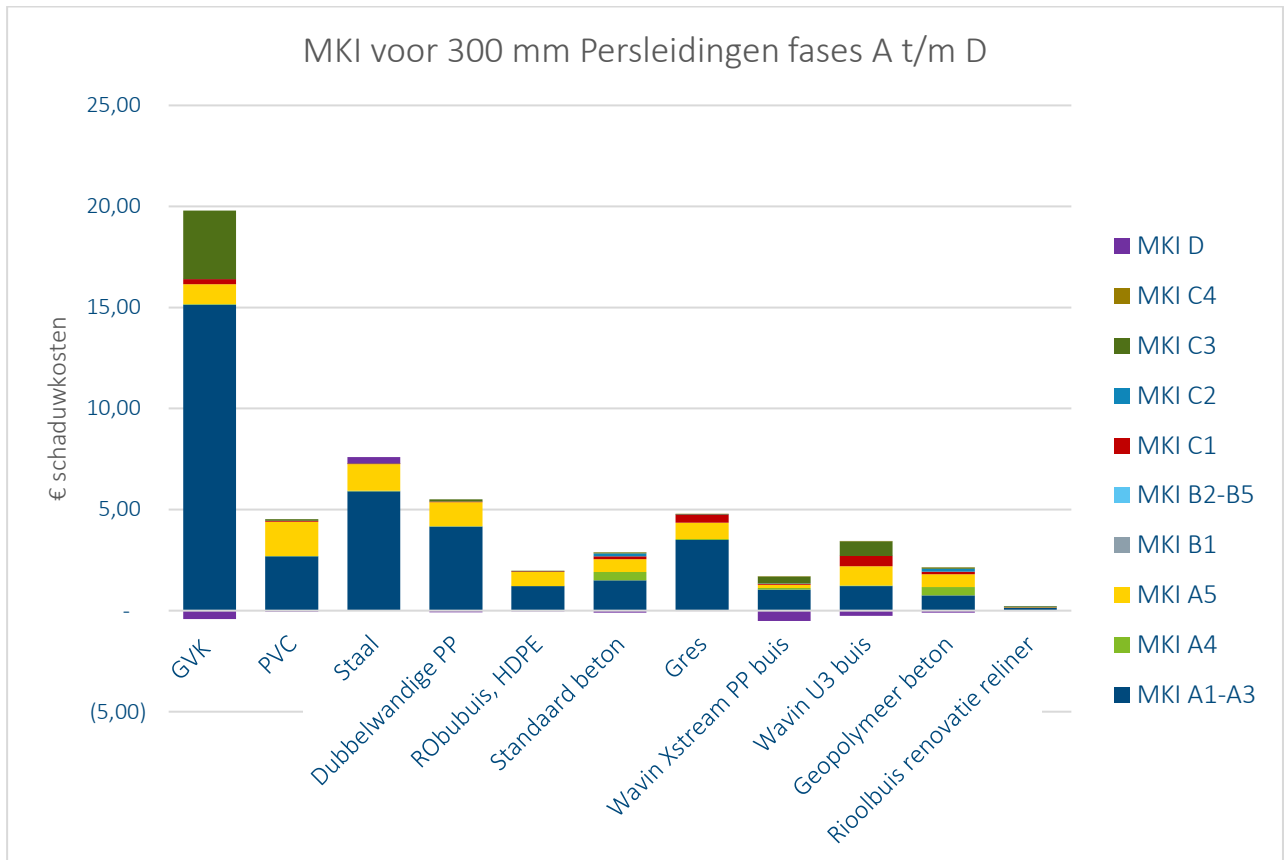
4-3: Visualisatie van de samenhang tussen de twee databases in beheer van Stichting NMD en de Milieuprestatie, met de onderdelen waarvoor de bepalingmethode eisen voorschrijft. bron: (milieudatabase.nl)

4.3 Milieukostenindicator – toegepast

Voor de werkgroep transportleidingen zijn MKI-berekeningen gemaakt om verschillende materialen en bouwmethodes te vergelijken. Het zijn generalistische berekeningen die gemaakt zijn en die het doel hebben om algemene inzichten over verschillende materialen en bouwmethoden te verkrijgen. Om een goed inzicht te krijgen van de milieu-impact per project, zijn project specifieke MKI-berekeningen nodig. Het advies is daarom ook, dat bij projecten vanaf een bepaalde schaal (gebaseerd op bijvoorbeeld prijs of schaalgrootte), standaard MKI-berekeningen worden uitgevraagd. Binnen het waterschap zal hiervoor intern besloten moeten worden, vanaf welke orde grootte een project standaard met MKI getoetst wordt. Hierbij is het verstandig om op basis van een variantenstudie tussen een basisreferentie project en een of meerdere alternatieven te toetsen welke ontwerpkeuze tot de laagste MKI-score zal leiden. Verder is het belangrijk om te bepalen welke gunningskorting wordt gekoppeld aan een goede MKI-score en welke impact

4.3.1 MKI per leidingmateriaal

De inputgegevens met betrekking tot data over transportleidingen (hoeveelheden, typen, materialen) voor de berekening zijn afkomstig van HH Rijnland. Uit de data blijkt dat de meest gebruikte diameter voor persleidingen 300-400 mm is en er vooral kunststof leidingen zijn geplaatst. Ook is er een grote variatie aan materialen die bruikbaar zijn voor leidingen, waaronder de volgende worden uitgelicht: beton, geopolymeer beton, gres, staal, glasvezelversterkte kunststof (GVK), polyethyleen (PE), polypropyleen (PP) polyvinylchloride (PVC) en High-Density-polyethyleen (HDPE). Voor deze materialen is daarom een MKI-berekening gemaakt om een duurzaamheidsafweging bij het nieuw aanleggen ervan te kunnen maken. Bij de berekeningen is uitgegaan van een levensduur van 50 jaar voor de transportleidingen en worden enkel 300 mm leidingen vergeleken. Ook is de optie tot relinen in plaats van volledige vervanging bij de MKI-berekening meegenomen. De resultaten van deze berekening ziet u hieronder.



Figuur 4-4: Vergelijking tussen gebruik van verschillende materialen in leidingwerk

Uit deze vergelijking komt naar voren dat de verscheidene kunststoffen relatief goed scoren op MKI. Qua materialen komen de Wavin Xstream PP-buis en de RObubuis van HDPE het best naar voren.

De bevindingen die vanuit dit onderzoek naar voren komen zijn:

- Kunststoffen doen het goed voor MKI (milieukostenindex);
- Wavin Xstream PP-buis en RObubuis van HDPE scoren in de berekening als meest duurzame materialen;
- PP en HDPE veroorzaken per meter de minste milieuschade.
- Glasvezelversterkt kunststof veroorzaakt significant meer milieuschade dan alternatieve producten.
- De lage MKI-score van relinen toont het positieve effect van levensduurverlenging op milieu-impact.

Bij deze conclusies dient in overweging genomen te worden dat de MKI-berekening voor PP en HDPE is gebaseerd op specifieke categorie 1 milieuprofielen (zie toelichting bij 3.2). Milieuprofielen van specifieke producenten, zoals Wavin of RObubuis scoren mede door de specifieke LCA meestal beter op MKI dan generieke milieuprofielen. In de MKI-analyse konden we geen LCA's met categorie 1 profielen van andere leidingfabrikanten gebruiken. Als alle producenten van leidingwerk LCA's laten opstellen is er een eerlijke vergelijking mogelijk.

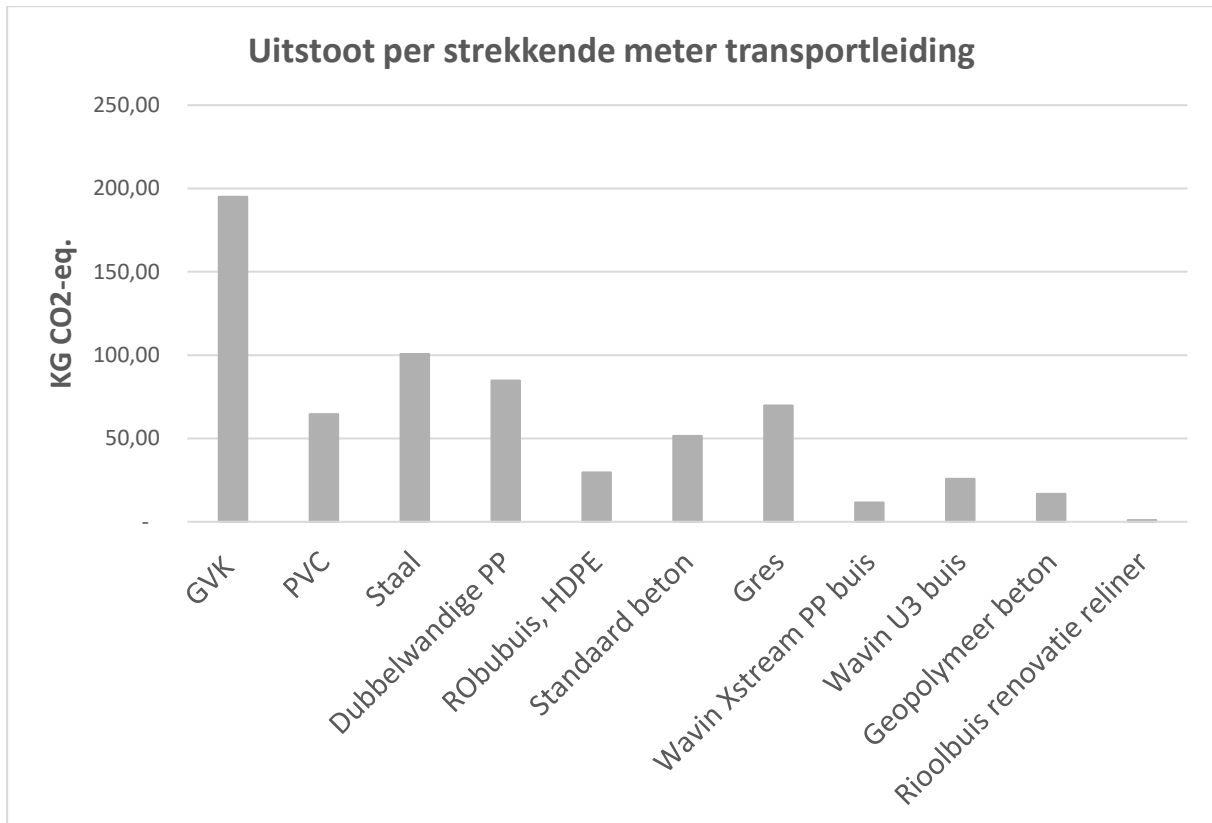
Het advies aan producenten is daarom: laat categorie 1 milieuprofielen opstellen voor uw transportleidingen, zodat u beter en kwantitatief onderbouwd kunt concurreren op duurzaamheid. De aansluitende aanbeveling aan de Unie Van Waterschappen is: moedig waterschappen aan om in gesprek te gaan met leveranciers over het uitvoeren van LCA's voor hun productlijnen.

Desondanks is MKI ook nu al nuttig voor algemene vergelijkingen tussen materialen. Het kan dienen als maatstaf om op hoofdlijnen te sturen op duurzame materialen (met een lage milieu-impact).



4.3.2 CO₂-impact per leidingmateriaal

Binnen MKI omvat de milieubelasting van broeikasgassen (CO₂equivalent) – gemeten in de eenheid Global Warming Impact - circa 50% van de totale score.



Figuur 4-5: CO₂-uitstoot per strekkende meter transportleiding

Uit figuur 3-5 blijkt dat impact op klimaat van materialen voor transportleidingen grotendeels dezelfde trend volgt als die van MKI. Ook hier heeft glasvezelkunststof de hoogste MKI-score en PP of relinen de laagste MKI-score. In het geval een benadering voor de impact op het klimaat wenselijk is, dan is MKI, door de weging van GWP als 50% van de schaduwkosten, een nuttige duidingsfactor.



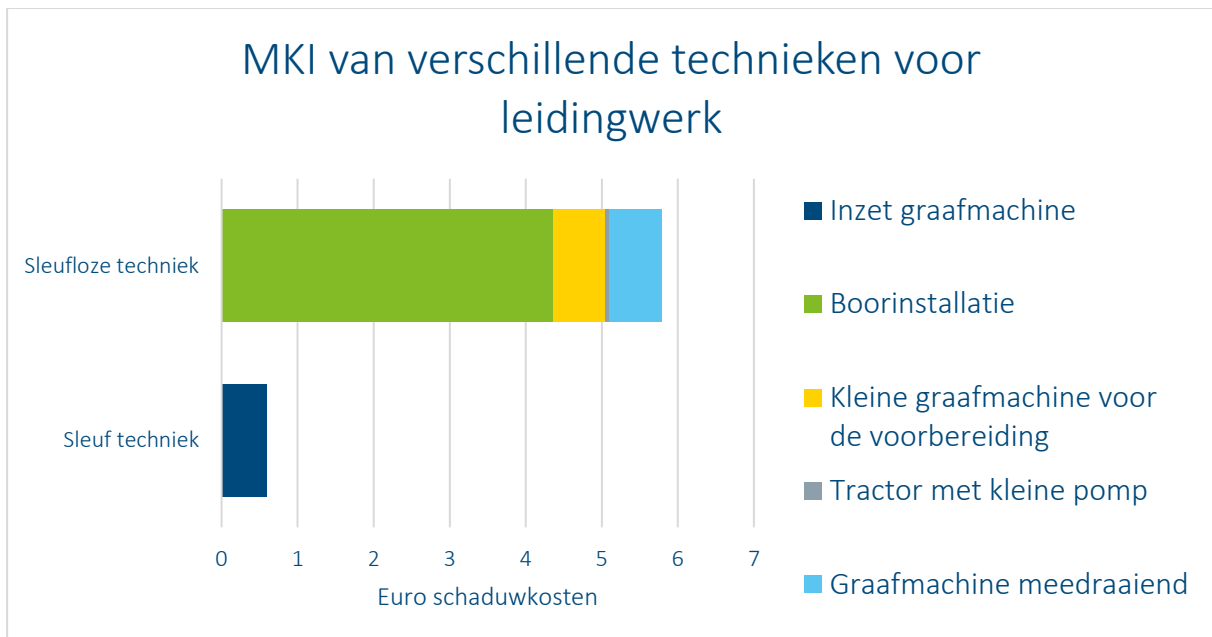
4.3.3 MKI Aanleg en onderhoud

In de berekening is het verschil geëvalueerd tussen het aanleggen van infrastructuur zonder het graven van een sleuf (sleufloos/boren) en het aanleggen met het graven van een sleuf.

De aannames en uitgangspunten voor deze berekening omvatten:

1. **Situatie onbebouwd terrein:** De berekening is gebaseerd op een onbebouwd terrein. Dit betekent dat er geen bestaande structuren of belemmeringen aanwezig zijn.
2. **Eén gelijk soort grondtype:** Het resultaat kan variëren afhankelijk van het type grond waarin de aanleg plaatsvindt. Diverse grondsoorten kunnen verschillende effecten hebben op het proces. Ondergrond is echter niet beschikbaar als variabele in de Nationale Milieudatabase. Verschillen in grondsoorten zullen, indien ze kunnen worden meegewogen de output van de berekening beïnvloeden.
3. **Eenzelfde brandstof.** In de vergelijking maken alle machines gebruik van hetzelfde brandstoftype.

Bij sleufloze aanleg worden binnen deze evaluatie een boorinstallatie en een graafmachine met roterende eigenschappen gebruikt. In het geval van aanleg met het graven van een sleuf wordt alleen een graafmachine ingezet. Zulke variaties in de gebruikte apparatuur en methoden kunnen aanzienlijke verschillen teweegbrengen in de milieu-impact van het aanlegproces. De MKI-waarde gerelateerd aan specifieke projecten is sterk afhankelijk van de specifieke omstandigheden, keuze voor materieel, brandstof en grondsoorten. De output van de indicatieve studie is weergegeven in figuur 3-5.

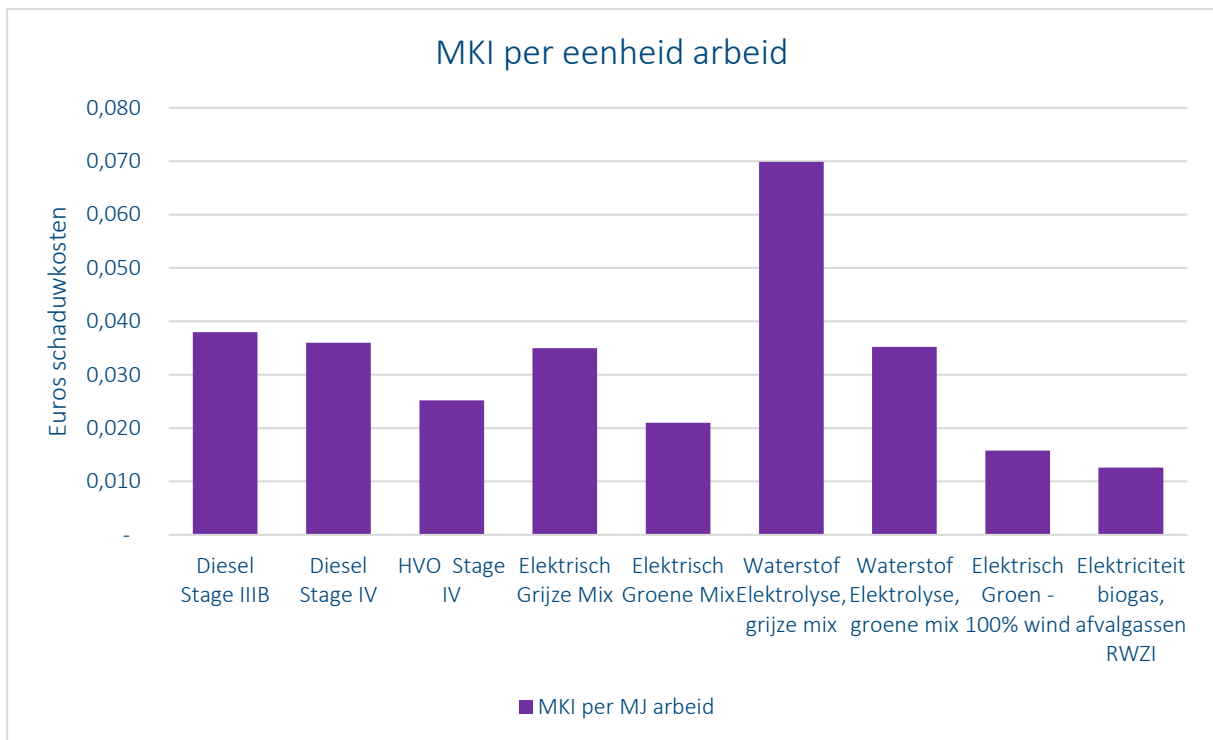


Figuur 4-6: Output MKI-studie sleuf v.s. sleufloze aanbreng leidingwerk

De hoofdzakelijke conclusie hierbij is dat het minimaliseren van materieelgebruik, grondverzet en brandstof doorslaggevend is om tot een lage MKI-score te komen.



Zo is tevens het verschil in impact tussen brandstoftypen voor materieel in onderstaand figuur 3-6 weergegeven in de eenheid MKI per input arbeid – uitgedrukt in Megajoule. Hieruit blijkt dat elektrificatie van materieel het meest positief is. Groene stroom uit wind of uit een rioolwaterzuivering (via de vergisting van rioolslib) geven de laagste MKI-score.



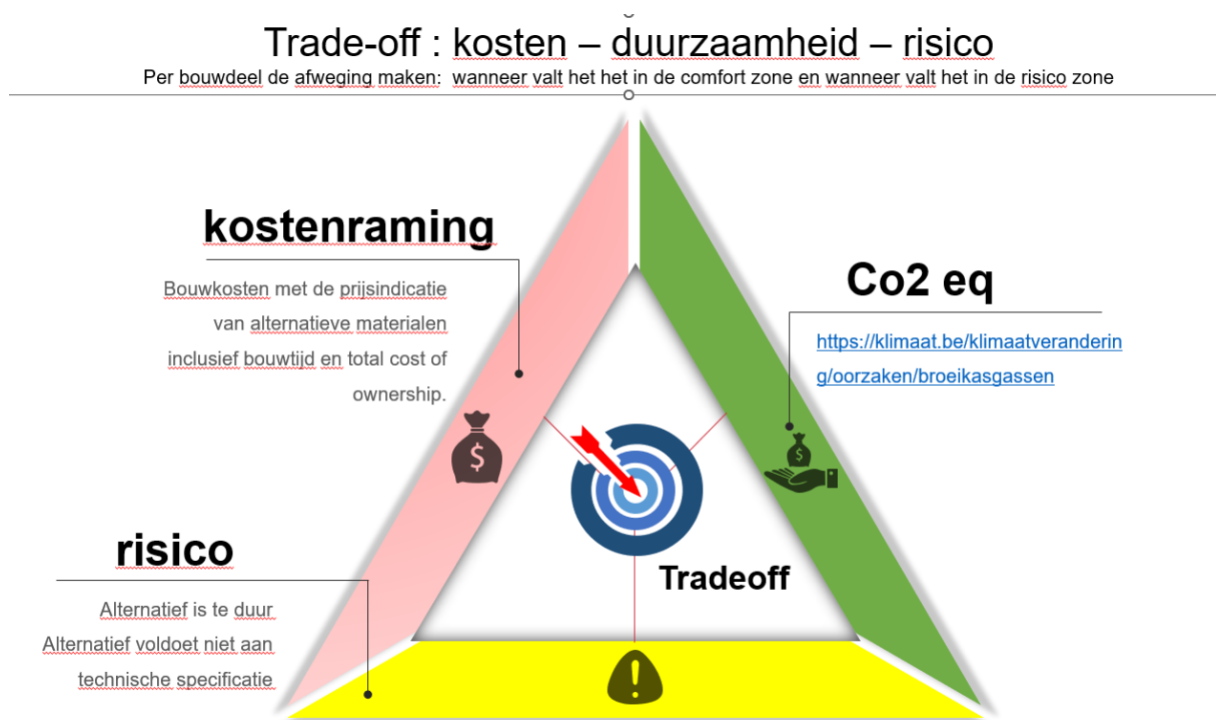
Figuur 4-7: MKI per arbeidseenheid van materieel tussen verschillende brandstoftypen



5 Trade-Off Matrix – Duurzaamheid als afweging

Een Trade-off matrix (TOM) is nuttig om de verhouding tussen kosten, risico's of mogelijkheden en duurzaamheid inzichtelijk te maken. Wanneer is het comfortabel en wanneer wordt het risico te groot?

De Trade-Off-matrix is een waardevol instrument voor het nemen van ontwerpbeslissingen en strategische planning door een waterschap. Het kan verder worden verfijnd door samen te werken met experts uit verschillende vakgebieden. Onder Risico's en kansen vallen bijvoorbeeld: beschikbaarheid van materialen en producenten, veiligheid, robuustheid van het systeem, materiaaleigenschappen, reactiviteit van materialen, krachtklasse, flexibiliteit, opschaling, kosten. Bij kostenraming de kosten van de uitvoering (arbeid), de total cost of ownership (TCO) - inclusief aanschaf- en beheerskosten – Bij CO₂ eq. De impact op het Milieu, met inbegrip van vastgelegde Key Performance Indicators (KPI's) als CO₂, MKI of bijv. schade aan de natuur/ biodiversiteit.



Figuur 5-1: Conceptueel model Trade-off Matrix/ Bron Aveco de Bondt- Floris van der Kleij



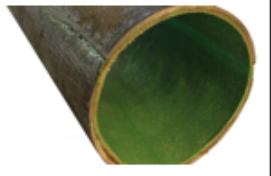


Het juiste evenwicht tussen deze factoren is essentieel voor succesvolle ontwerpbeslissingen en strategische planning. Een voorbeeld van een opgezette en uitgewerkte Trade-Off Matrix ziet u in onderstaand figuren 4-2 en 4-3.

De uitkomsten in figuur 4-3 fungeren als voorbeeld van hoe een ingevulde TOM toegepast kan worden. We wijzen erop dat een TOM een bruikbaar middel is om duurzaamheid integraal af te wegen ten opzichte van andere ontwerpcriteria. De TOM kan als tool het best gebruikt worden als hij binnen de organisatie in weging door verschillende experts wordt opgesteld. We willen benadrukken dat we enkel een methode adviseren. De onderstaande weging in figuren 4-2 en 4-3 zijn gebaseerd op een voorbeeld van hoe de TOM in de praktijk kan worden opgezet. Het is dus niet bedoeld om algemene conclusies te trekken over materiaalkeuze.



Score	1	2	3	4	5
Duurzaamheidsscore					
Klimaatontwrichting (CO2)	Geen reductie	CO2 reductie van 20% op worst-case oplossing	CO2 reductie van 40% op worst-case oplossing	CO2 reductie van 60% op worst-case oplossing	CO2 reductie van 80% op worst-case oplossing
MKI	Geen reductie	MKI reductie van 10% op referentie	MKI reductie van 20% op referentie	MKI reductie van 30% op referentie	MKI reductie van 40% op referentie
Circulairiteitsscore	Niet circulair <i>Gelijk of meer primaire grondstof en toekomstig hergebruik niet mogelijk</i>	Mogelijk circulair <i>gelijk primaire grondstof, toekomstig hergebruik onzeker</i>	Gedeeltelijk circulair <i>ofwel minder primaire grondstof ofwel herbruikbaar in toekomst</i>	Grotendeels circulair <i>minder primaire grondstof, herbruikbaar in toekomst</i>	Volledig circulair <i>geen primaire grondstof nodig, herbruikbaar in toekomst</i>
Ecologische meerwaarde	Geen besparing	Toename footprint met 2,5% tov referentie	Toename footprint met 5% tov referentie	Toename footprint met 7,5% tov referentie	Toename footprint met 10% tov referentie
Zichtbaarheid	Geen PR-waarde <i>(maatregel sluit niet herkenbaar aan bij maatschappelijke thema's en/of is onmogelijk te communiceren)</i>	Geringe PR-waarde <i>(we verwachten weinig belangstelling van publiek voor deze maatregel)</i>	Redelijke PR-waarde <i>(enige belangstelling bij publiek is te verwachten, bv bij specifieke belangstellenden of binnen regio)</i>	Goede PR-waarde <i>(brede belangstelling is te verwachten)</i>	Uitstekende PR-waarde <i>(idee dat sterk aansluit bij maatschappelijk relevante thema's, goed aan project toe te rekenen valt, eenvoudig te communiceren is)</i>
Kosten	1	2	3	4	5
Investeringskosten	Grote investering nodig (>+20%)	Investering nodig (+0-20%)	Kostenneutraal	Besparing op investeringskosten (-0-20%)	Grote besparing op investeringskosten (>20%)
Total Cost of Ownership	Grote toename life cycle costs (>+20%)	Toename life cycle costs (+0-20%)	Kostenneutraal	Besparing op life cycle costs (-0-20%)	Grote besparing op life cycle costs (>20%)
beheerkosten	grote kosten toename beheer (>+20%)	toename kosten beheer (+0-20%)	Kostenneutraal	Besparing op beheerskosten (-0-20%)	Grote besparing op beheerskosten(>20%)
Risico's en Kansen	1	2	3	4	5
Risico's op planning	Opleverdatum project niet haalbaar	Project tussenmijlpaal niet haalbaar	Geen effect op (tussen)mijlpalen	Versnelling van activiteiten in planning	Opleverdatum project kan vervroegd.
Risico's op leverbaarheid	sterkte afhankelijkheid van 1 leverancier/grondstof	redelijke afhankelijkheid van een leverancier of regio	geen effect op de leverbaarheid	reductie van het leversrisico (lokaal, of door meerdere leveranciers levering mogelijk)	Grote reductie van het leversrisico (lokaal, of door meerdere leveranciers levering mogelijk)
Risico's veiligheid	niet volledig te beheersen toename van veiligheidsrisico's	Aanvullende beheersmaatregelen nodig voor veiligheid	neutraal	lichte verbetering van veiligheid	serieuze verbetering van veiligheid
Maakbaarheid	Maakbaarheid onzeker, we hebben benodigde beheersmaatregelen niet scherp.	Aanvullende beheersmaatregelen nodig t.b.v. maakbaarheid	Geen maakbaarheidsissues	Beter maakbaar dan zonder deze innovatie <i>(uitvoering heeft lager risicoprofiel dan gebruikelijk)</i>	Veel beter maakbaar dan zonder deze innovatie <i>(vrijwel risicovrij)</i>
Kansen voor opschaling	Niet breder toepasbaar <i>(heel projectspecifieke toepassing)</i>	Gering breder toepasbaar <i>Route naar opschaling is nog niet geheel duidelijk</i>	Redelijk opschaalbaar <i>De maatregel is voor specifieke situaties (smal) toepasbaar binnen 2 jaar na dit project of De maatregel is breed toepasbaar maar niet in deze hoedanigheid en dus pas na verdere innovatie activiteiten buiten dit project</i>	Breed toepasbaar <i>De maatregel heeft de potentie met kleine aanpassingen binnen 2 jaar breed toepasbaar te zijn op infra projecten in NL.</i>	Snel opschaalbaar <i>maatregel is - in deze hoedanigheid en direct na dit project - breed toepasbaar op infra projecten in NL.</i>
Overige onderdelen trade of:	1	2	3	4	5
Impact op omgeving: weg en verkeer	Veel overlast	redelijke overlast	neutraal t.o.v. van referentie	reductie t.o.v. referentie	geen overlast/positieve impact
Impact op omgeving: bouwverkeer	Veel overlast	redelijke overlast	neutraal t.o.v. van referentie	reductie t.o.v. referentie	geen overlast/positieve impact
Impact op omgeving: geluidsoverlast	Veel overlast	redelijke overlast	neutraal t.o.v. van referentie	reductie t.o.v. referentie	geen overlast/positieve impact
Impact op omgeving: trillingen	Veel overlast	redelijke overlast	neutraal t.o.v. van referentie	reductie t.o.v. referentie	geen overlast/positieve impact
Impact op omgeving: stikstofdepositie	Veel overlast	redelijke overlast	neutraal t.o.v. van referentie	reductie t.o.v. referentie	geen overlast/positieve impact

Figuur 4-5-2: Opzet van wegingskader in Trade-Off Matrix

OMSCHRIJVING / DIMENSIES	Variant 1	Variant 2	Variant 4	Variant 5	Variant 3
Naam	traditioneel beton	Geopolymeer beton	Renovatie d.m.v. Reliner	HDPE buis	Polypropolgeen
Omschrijving variant	Rioolbuis met standaard betonmengsel zonder duurzaamheidsmaatregelen.	Rioolbuis van geopolymeer betonmengsel.	Renovatie van riool o.b.v. Riolversterking Relining techniek o.b.v. Glass fibre reinforced plastic (GFRP), polyester resin (PEF). O.b.v. van eigen		van Polypropolgeen PP.
Atbeelding variant					
Duurzaamheidsscore	score	score	score	score	score
Klimaatontwrichting (in kg CO2eq)	93,1	38,1	1,352	29,63	114,7
Milieukosten indicator (MKI)	8,22	5,5	0,181701	1,95	9,477
Circulariteitsscore	Mogelijk circulair <i>geëlijk primaire grondstof, toekomstig hergebruik mogelijk</i>	Mogelijk circulair <i>geëlijk primaire grondstof, toekomstig hergebruik mogelijk</i>	Gedeeltelijk circulair <i>afval minder primaire grondstof afval herbruikbaar in toekomst</i>	Grotendeels circulair <i>minder primaire grondstof, herbruikbaar in toekomst</i>	Grotendeels circulair <i>minder primaire grondstof, herbruikbaar in toekomst</i>
Ecologische meerwaarde	Geen besparing	Geen besparing	Geen besparing	Geen besparing	Geen besparing
Zichtbaarheid	Geen PR-waarde <i>(voortschrijdend niet herkenbaar aan bij maatschappelijke thema's zodat is onmogelijk te communiceren)</i>	Redelijke PR-waarde <i>(voortschrijdend niet herkenbaar aan bij maatschappelijke thema's zodat is onmogelijk te communiceren)</i>	Geringe PR-waarde <i>(voortschrijdend niet herkenbaar aan bij maatschappelijke thema's zodat is onmogelijk te communiceren)</i>	Geen PR-waarde <i>(voortschrijdend niet herkenbaar aan bij maatschappelijke thema's zodat is onmogelijk te communiceren)</i>	Geen PR-waarde <i>(voortschrijdend niet herkenbaar aan bij maatschappelijke thema's zodat is onmogelijk te communiceren)</i>
Totaal duurzaamheidsscore	6	13	16	15	8
Kosten					
Investeringskosten	Kostenneutraal	Investering nodig (+0-20%)	Besparing op investeringskosten (-0-20%)	Besparing op investeringskosten (-0-20%)	Besparing op investeringskosten (-0-20%)
Total Cost of Ownership	Kostenneutraal	Toename life cycle costs (+0-20%)	Besparing op life cycle costs (-0-20%)	Besparing op life cycle costs (-0-20%)	Besparing op life cycle costs (-0-20%)
beheerkosten	Kostenneutraal	Kostenneutraal	Besparing op beheerskosten (-0-20%)	Besparing op beheerskosten (-0-20%)	Besparing op beheerskosten (-0-20%)
Risico's en Kansen					
Risico's op planning	Geen effect op (tussen)mijlpalen	Geen effect op (tussen)mijlpalen	Geen effect op (tussen)mijlpalen	Geen effect op (tussen)mijlpalen	Geen effect op (tussen)mijlpalen
Risico's op leverbaarheid	geen effect op de leverbaarheid	geen effect op de leverbaarheid	geen effect op de leverbaarheid	geen effect op de leverbaarheid	geen effect op de leverbaarheid
Risico's veiligheid	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal
Maakbaarheid	Geen maakbaarheidsissues	Geen maakbaarheidsissues	Geen maakbaarheidsissues	Geen maakbaarheidsissues	Geen maakbaarheidsissues
Kansen voor opschaling	Snel opschaalbaar	Snel opschaalbaar	Snel opschaalbaar	Snel opschaalbaar	Snel opschaalbaar
Overige onderdelen trade of:					
Impact op omgeving: weg en verkeer	neutraal t.o.v. van referentie	neutraal t.o.v. van referentie	neutraal t.o.v. van referentie	neutraal t.o.v. van referentie	neutraal t.o.v. van referentie
Impact op omgeving: bouwverkeer	neutraal t.o.v. van referentie	neutraal t.o.v. van referentie	reductie t.o.v. referentie	reductie t.o.v. referentie	reductie t.o.v. referentie
Impact op omgeving:	neutraal t.o.v. van referentie	neutraal t.o.v. van referentie	reductie t.o.v. referentie	reductie t.o.v. referentie	reductie t.o.v. referentie
Impact op omgeving: trillingen	neutraal t.o.v. van referentie	neutraal t.o.v. van referentie	reductie t.o.v. referentie	reductie t.o.v. referentie	reductie t.o.v. referentie
Impact op omgeving:	neutraal t.o.v. van referentie	neutraal t.o.v. van referentie	reductie t.o.v. referentie	reductie t.o.v. referentie	reductie t.o.v. referentie
Overige onderdelen zonder score					
Mate van innovatie (TRL level)	TRL level 10	TRL level 8	TRL level 10	TRL level 10	TRL level 10
Opmerkingen					
Totaalscore					
Totaalscore	47	52	16	63	56

Figuur 5-3: Voorbeeld van ingevulde TOM voor verschillende materialen. Een hoge score is positief op duurzaamheid. De uitkomsten zullen verschillen zodra meerdere experts het weginkader aanscherpen.

Dankwoord samenwerking

Dit rapport had niet tot stand kunnen komen zonder de verschillende bijdrages van onderstaande personen binnen het KCAO-traject.

Meinke Schouten	Unie van Waterschappen	mschouten@uvw.nl	Coördinator KCAO traject	
Bas Nanninga	Unie van Waterschappen	bnanninga@uvw.nl	Opdrachtgever KCAO traject	
Henkjan van Meer	Unie van Waterschappen	hmeer@uvw.nl	Opdrachtgever KCAO traject	
Loes van der Linden	Rijnland	Loes.Linden@rijnland.net	Strategie & Omgeving, Adviseur Waterketen	Stuurgroep
Paula Dobbelaar	Rivierenland	P.Dobbelaar@wsrl.nl	Afdelingshoofd Technische Projecten	Stuurgroep
Anne-Simone Meddens	Rivierenland	A.Meddens@wsrl.nl	Contractmanager	Werkgroep
Folmer van Schooneveld	Delfland	fvanschooneveld@hhdelfland.nl		Werkgroep
Gerard Kiriwenno	Rivierenland	G.Kiriwenno@wsrl.nl		Werkgroep
Jean Rene van Dijk	Stichtse Rijnlanden	jean-rene.van.dijk@hdsr.nl	Technisch Specialist, Civiele techniek	Werkgroep
Maarten Groenen	Vallei en Veluwe	mgroenen@vallei-veluwe.nl	Beleidsadviseur planvorming-strategisch leiding beheerder	Werkgroep
Marc Korse	HHNK	m.korse@hhnk.nl	Projectleider waterketen	Werkgroep
Marleen Arntz	Stichting Rioned	marleen.arntz@rioned.org	Projectmanager - Stichting RIONED	Werkgroep
Mart van den Hoek	WDO Delta	martvandenhoek@wdodelta.nl	Uitvoering	Werkgroep
Paul van Wetten	Rijnland	Paul.Wetten@rijnland.net	Uitvoering	Werkgroep
Popke Hoekstra	Noorderzijvest	P.hoekstra@noorderzijvest.nl	Senior medewerker Leidingenbeheer	Werkgroep
Rik Lam	Rijnland	Rik.Lam@rijnland.net	Projecten	Werkgroep
Ronald Koets	Scheldestromen	Ronald.Koets@Scheldestromen.nl	Projectleider	Werkgroep

