



STRATELLIGENCE

decision support



Asphalt Recycling Train

Een maatschappelijke kosten-batenanalyse

December 2024

Asphalt Recycling Train

Een maatschappelijke kosten-batenanalyse

Stratelligence

Leiden, december 2024

Opgesteld in opdracht van
Rijkswaterstaat

Colofon:

Samenstelling, tekst en redactie: Stratelligence, december 2024.

Illustraties: Stratelligence tenzij anders vermeld

Foto voorblad: eigen foto pilot Ruurlo juni 2024

Voor meer informatie over de inhoud:

Gigi van Rhee
Stratelligence
Rijnsburgerweg 161
2334 BP Leiden
Nederland
+31 71 573 08 20
info@stratelligence.nl

INHOUDSOPGAVE

Inhoudsopgave	iii
HOOFDSTUK 1 Inleiding.....	1
1.1 Aanleiding.....	1
1.2 Doel	2
1.3 Aanpak.....	2
HOOFDSTUK 2 Probleemanalyse en definitie alternatieven	4
2.1 Mogelijke inzet ART voor twee cases	4
2.2 Vergelijkingsbasis.....	5
2.3 Definitie alternatieven.....	9
HOOFDSTUK 3 Kosten en effecten	15
3.1 Kosten	16
3.2 Effecten	22
HOOFDSTUK 4 Resultaten en gevoeligheidsanalyses	31
4.1 Kosten-batenoverzicht Case 1: RWS.....	31
4.2 Kosten-batenoverzicht Case 2: provincie	32
4.3 Resultaten.....	34
4.4 Scenario's.....	35
4.5 Conclusies en aanbevelingen	38
Afkortingen	41
Literatuurlijst	42
Bijlage A: Verschil in materiaaltransport.....	44
Bijlage B: Gebruikte kentallen.....	46
Bijlage C: Verdeling effecten materiaaltransport en omrijden Case 2	48

1.1 AANLEIDING

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Rijkswaterstaat, ProRail, provincies en waterschappen werken samen aan een sectorbrede uitvoering van de strategie Klimaatneutrale en Circulaire Infraprojecten (KCI). Dit gebeurt vanuit de ambitie van het ministerie om uiterlijk in 2030 klimaatneutraal, circulair, schoon en emissieloos te werken.

De focus van de aanpak ligt bij de werkerreinen met de meeste klimaatimpact. Dit zijn:

- Wegverharding
- Kunstwerken
- Spoor
- Kustlijnzorg en vaargeulonderhoud
- Weg-, Dijk- en Spoomaterieel

Rijkswaterstaat wil voor het invullen van de ambitie criteria opnemen voor klimaatneutraliteit, circulariteit en emissies (stikstof, fijnstof, geluid) in projectopdrachten. Het gaat dan over aanleg, onderhoud en vernieuwing van infrastructuur. Daarnaast treedt de overheid op als *'launching customer'* door ruimte te geven aan duurzame innovaties, zodat die in de praktijk getest en opgeschaald kunnen worden als deze succesvol zijn.

Op het gebied van Wegverharding overweegt Rijkswaterstaat als launching customer op te treden voor een herontdekte technologie: de *Asphalt Recycling Train* (ART).

Deze ART is ontwikkeld (en buiten Nederland in gebruik) voor dichte asfalt deklagen, maar de eerste tests (2022 en 2024) met ZOAB - zoals overwegend toegepast op Nederlandse rijkswegen – bieden perspectief. Rijkswaterstaat schat de bijdrage van deze technologie aan de KCI-doelen hoog in (100% van materiaal in de weg wordt immers direct, op locatie, hergebruikt) en ziet daarnaast potentiële meerwaarde op een aantal andere relevante aspecten, zoals de externe effecten van transport. Als de beloftes worden ingelost, zou de technologie zich als nieuwe standaard in het palet aan onderhoudsmethoden kunnen bewijzen, niet alleen voor Rijkswaterstaat maar ook voor decentrale wegbeheerders.

De ART zal in dat geval niet alleen een grote impact maken in het realiseren van de duurzaamheidsambities, het zal ook een nieuwe manier van denken en (samen)werken vragen van de sector. Zo moeten Rijkswaterstaat en de medeoverheden werken aan het creëren van de juiste condities om de ART mogelijk en beschikbaar te maken voor de sector. Daarvoor wordt een integrale validatie uitgevoerd. Onderdeel van deze validatie is een goede onderbouwing van de verwachte kosten en baten van de inzet van de ART ten opzichte van de conventionele methode.

1.2 DOEL

Het doel van deze studie is het verschaffen van inzicht in de verschillende kosten en baten van de ART. Rijkswaterstaat wil hiervoor een maatschappelijk kosten-batenanalyse (MKBA) laten uitvoeren.

De keuze voor inzet van de ART als duurzame onderhoudsstrategie (het beleidsalternatief) moet worden afgewogen ten opzichte van de conventionele praktijk (het nulalternatief).

Het belangrijkste verschil tussen het nulalternatief (conventioneel) en het ART-proces is dat het nulalternatief het asfalt vervangt met nieuw asfalt en de ART het asfalt dat er ligt ter plekke opnieuw gebruikt. Hierdoor liggen niet alleen de materiaalkosten bij de ART lager, maar zijn er ook veel minder ketenactiviteiten nodig (winning, asfaltproductie, aan- en afvoer materiaal etc.). De milieubelasting, CO₂-uitstoot en externe effecten van transport vallen hierdoor bij de ART lager uit. Daartegenover staat dat het materieel van de ART inclusief personeel en energie relatief wat duurder lijkt in gebruik, ondanks het feit dat er minder personeel nodig is. De ART-combinatie legt per minuut minder meters asfalt, maar kan eerder starten door het ontbreken van freeswerkzaamheden. De MKBA maakt inzichtelijk hoe de balans hiertussen uitvalt.

De vergelijking tussen de huidige onderhoudspraktijk en de mogelijkheden van de ART maken we zonder de inzet te optimaliseren voor de ART. Geoptimaliseerde inzet voor de ART zal de resultaten waarschijnlijk verbeteren.

1.3 AANPAK

De uitvoering van een MKBA volgt een aantal vastgestelde stappen/onderdelen zoals beschreven in de leidraad MKBA¹, zie Figuur 1.

Aandachtspunt in deze MKBA is het vinden van de juiste vergelijkingsbasis van het nulalternatief en het beleidsalternatief. Dit geldt bijvoorbeeld voor de jaarlijkse productie en het type onderhoud en de veronderstelde innovaties in zowel het nulalternatief en het beleidsalternatief. Het is niet goed mogelijk om alle ontwikkelingen en mogelijkheden mee te nemen, bijvoorbeeld de verduurzaming van asfaltcentrales in het nulalternatief en de mogelijke elektrificering van de ART. We veronderstellen dat er in beide alternatieven geen aanpassingen in het onderhoudsregime plaatsvinden noch verduurzamingsstappen ten opzichte van de huidige situatie. In hoofdstuk 2 wordt hierop ingegaan naast de beschrijving van stap 1 tot en met 3 uit Figuur 1. Het wel meenemen van deze verduurzamingsmogelijkheden en van aanpassingen in het onderhoudsregime zou tot andere uitkomsten en conclusies kunnen leiden.

De inventarisatie van de kosten en effecten tussen het beleidsalternatief en het nulalternatief (stap 4 en 5) en de concretisering hiervan komen in hoofdstuk 3 aan bod. Hoofdstuk 4 gaat in op stap 6 tot en met 8: de resultaten inclusief varianten en risicoanalyse.

¹ PBL/CPB, Leidraad

1	Probleemanalyse	<ul style="list-style-type: none"> Welk knelpunt of welke kans doet zich voor en hoe ontwikkelt deze zich? Welke beleidsdoelstelling volgt daaruit? Welke oplossingsrichtingen zijn kansrijk?
2	Vaststellen nulalternatief	<ul style="list-style-type: none"> Meest waarschijnlijke ontwikkeling zonder beleid (ZOAB) Effect = beleidsalternatief – nulalternatief
3	Definitie beleidsalternatieven	<ul style="list-style-type: none"> Beschrijf de mogelijke alternatieven (ART) Definieer meerdere alternatieven en varianten
4	Bepalen effecten en baten	<ul style="list-style-type: none"> Identificeer effecten Kwantificeer effecten Waardeer (monetariseer) effecten
5	Bepalen kosten	<ul style="list-style-type: none"> Opgeofferde middelen om de oplossing te implementeren Kosten kunnen eenmalig of periodiek zijn, vast of variabel Alleen de extra kosten ten opzichte van het nulalternatief
6	Varianten- en risicoanalyse	<ul style="list-style-type: none"> Identificeer de belangrijkste onzekerheden en risico's Analyseer de gevolgen voor de uitkomsten
7	Opstellen overzicht van kosten en baten	<ul style="list-style-type: none"> Reken alle kosten en baten naar hetzelfde basisjaar en bepaal het saldo Breng alle effecten in beeld, ook niet-gekwalificeerde en/of niet-gemonetariseerde
8	Resultaten presenteren	<ul style="list-style-type: none"> Relevant, toegankelijk en duidelijk Verantwoorden: transparantie en reproduceerbaarheid Interpreteren: wat kan de besluitvormer uit de MKBA leren?

Figuur 1: Onderdelen MKBA

Deze MKBA is tot stand gekomen in samenwerking met een begeleidingsgroep. De begeleidingsgroep bestaat uit vertegenwoordigers van Rijkswaterstaat, Dura Vermeer en de provincie Gelderland. Dura Vermeer is de uitvoerder van de pilots met de ART. Rijkswaterstaat en de provincie Gelderland zijn beheerders van areaal waar pilots hebben plaatsgevonden. Tevens is de ART b.v. in het proces gekend en meegenomen.

Disclaimer

Deze MKBA is gebaseerd op algemene kentallen, marktinformatie en informatie die Stratelligence van betrokken partijen voor dit onderzoek heeft ontvangen zoals uit de pilots uitgevoerd vanaf 2022. De informatie van de pilotwerkvakken is opgehaald in verschillende periodes van het jaar, met name in 2024. Op een aantal onderdelen is naar beste inzicht samen met ervaringsdeskundigen een inschatting gemaakt.

De resultaten moeten met de nodige voorzichtigheid gebruikt worden. Er zijn immers veel onzekere aannames en versimpelingen nodig geweest om deze analyse te kunnen doen, omdat het om een onderhoudsaanpak gaat die zich nog in de pilotfase bevindt. Bij andere uitgangspunten en aannames en bij uitvoering van andere cases zouden de conclusies kunnen verschillen.

HOOFDSTUK 2 PROBLEEMANALYSE EN DEFINITIE ALTERNATIE- VEN

Dit hoofdstuk beschrijft de mogelijke inzet van de ART, de vergelijkingsbasis voor de MKBA en definieert de te vergelijken alternatieven.

2.1 MOGELIJKE INZET ART VOOR TWEE CASES

Door de opdrachtgever is de wens geuit om een case te onderzoeken die niet alleen voor Rijkswaterstaat interessant is maar ook voor provincies en mogelijk voor gemeenten.

Het zou dan interessant kunnen zijn om de ART in te zetten bij vervanging van een type asfalt dat ook door provincie en gemeenten wordt gebruikt, zoals steenmestiek (SMA), dichtasfaltbeton (DAB), en andere dichte deklagen, in plaats van zeer open asfaltbeton (ZOAB), een type asfalt vooral in gebruik bij RWS.

Ook is aangegeven dat het de voorkeur heeft om uit te gaan van de huidige situatie en de inzet zoals die nu mogelijk zou zijn en niet vooruit te lopen op toekomstige toepassingen qua asfalt² of nieuwe specificaties van de ART zoals elektrificering of verdergaande automatisering. Hoewel de ART, in het kader van verduurzaming en emissiereductie, vanaf 2025 als eerste stap voor de heaters zal overschakelen op biogas³ (groen gas), gaan de huidige berekeningen nog uit van propaan-gas als brandstof.

Relevant is dat de potentiële inzet van de ART bij de provincie en RWS in de huidige praktijk sterk verschilt, zie Tabel 1. Als de resultaten bruikbaar moeten zijn voor zowel RWS als de provincie moeten de resultaten gebaseerd zijn op een representatieve inzet. Dat is lastig bij één case; of de inzet komt overeen met die van de provincie of die van RWS of geen van beiden.

Daarom is deze MKBA uitgevoerd voor twee cases:

- 1) Case A: Inzetscenario voor RWS met ZOAB,
- 2) Case B: Inzetscenario voor provincie Gelderland met SMA.

We kijken in deze MKBA dus naar de vervanging van SMA als dichte deklaag en naar open ZOAB-deklagen. Op deze deklagen zijn reeds pilots uitgevoerd of gepland. Volgens Dura Vermeer is de vervanging van andere asfaltmengsels en zelfs twee-laags ZOAB mogelijk; Rijkswaterstaat wil daar mee gaan experimenteren als ZOAB en SMA zijn gevalideerd.

² Zoals verduurzamingsmogelijkheden van asfaltcentrales uit CE Delft & TNO, *Kostencurves asfalt 2019, Update*, februari 2020 en hogere recyclaatpercentages.

³ Op termijn wordt ook waterstof (voor heater) of elektrificatie van aandrijving overwogen. Combinatie van propaan en waterstof is een realistische kortetermijnverandering.

Tabel 1: Verschillen huidige inzet Rijkswaterstaat en provincie Gelderland (bron interviews)

	RWS	Gelderland
Asfalt	ZOAB (en beperkt SMA en wellicht op termijn 2-laags ZOAB)	SMA (en dunne geluid reducerende deklagen - DGD)
Type weg	2x3 (of meer rijstroken)	Vooral 2x1
Type onderhoud waarvoor ART nu wordt overwogen. Op termijn (bij meer capaciteit en ervaring) kan dit worden uitgebreid.	Levensduur verlengend onderhoud (LVO) rechterstrook (nog niet groot onderhoud)	Groot (niet-integraal) onderhoud
Onderhoudsblokken	Alleen inzet 's nachts (9 uur 's nachts – 7 dagen) Voor LVO worden geen weekeindafsluitingen benut.	Alleen inzet overdag (9 uur – 5 dagen per week).
Afsluiting of niet	Alleen rechterrijstrook afgesloten; verkeer kan met lagere snelheid passeren. Bij een 2x2 of 2x1 weg zou verkeer om moeten rijden.	Rijbaan volledig afgesloten; verkeer moet omrijden zolang onderhoud niet is afgerond.
Lengte te vervangen deklaag	Lengte onderhoudsvakken gebaseerd op wat in een nacht kan worden uitgevoerd, soms kortere stukken met afstand ertussen.	Lengte onderhoudsvakken 1 km tot 10 km, gelijke verdeling over afstanden.

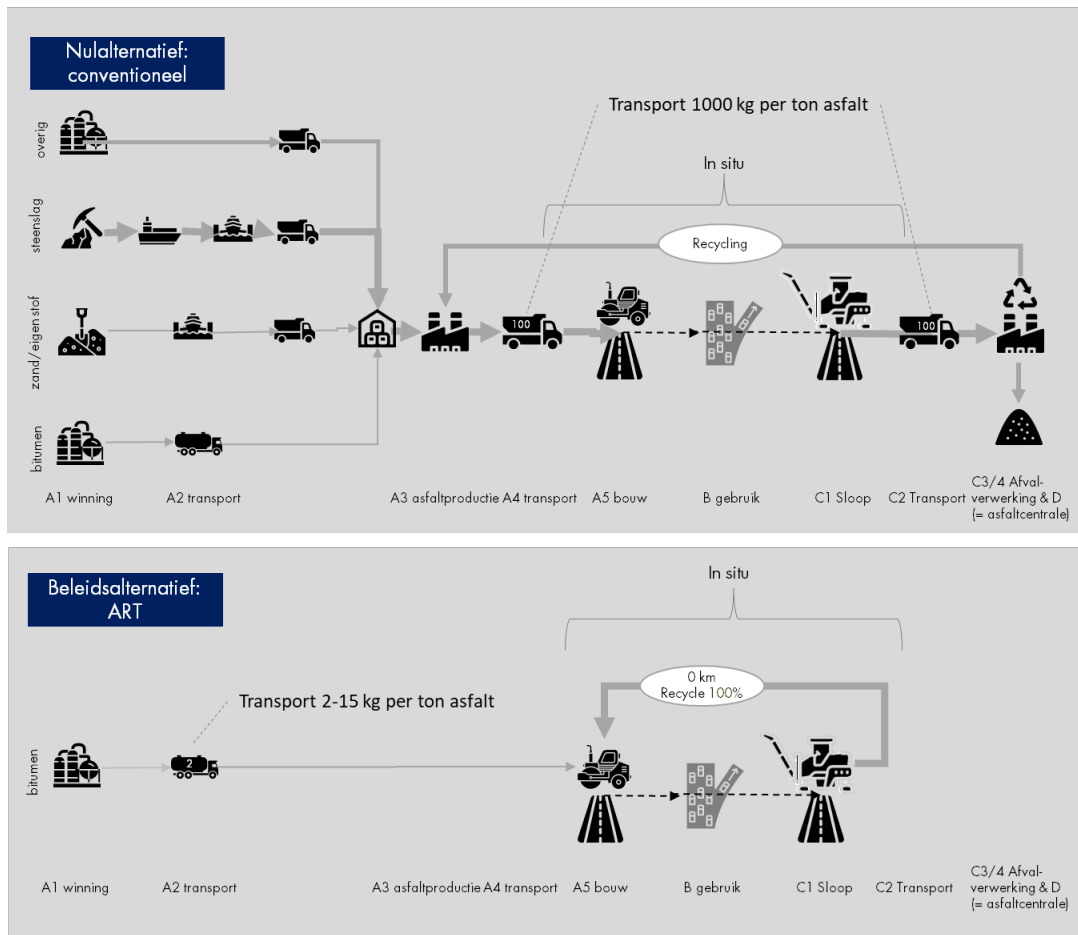
In beide cases moet rekening gehouden worden met het feit dat de ART niet geschikt is voor alle situaties waar een SMA- of ZOAB-deklaag moet worden vervangen, zie Tabel 2. In het geval van niet-homogene asfaltlagen, waarin verschillende asfaltmengsels door elkaar zijn toegepast (reparatievakken), kan de ART deze wel herstellen, maar is er aandacht noodzakelijk voor het toepassen van specifieke bitumenmengsels.

Tabel 2: Beperking toepassing ART voor onderhoud

Niet geschikt	Minder kansrijk
<ul style="list-style-type: none"> Delen met veel rotondes, kleine bochtstralen, verkeersheuvels, detectielussen (bijv. integrale provinciale projecten). Delen waar onderlaag beschadigd is. Locaties waar de onderconstructie einde levensduur is. 	<ul style="list-style-type: none"> Korte onderhoudslengten: mobilisatie en demobilisatie zijn relatief te duur. Korte resterende gebruiksduur tot volgende onderhoudsmaatregel; dan beter 'oil of olaz' of scheuren vullen, bakjes.

2.2 VERGELIJKINGSBASIS

Door het hergebruik van het asfalt ter plekke heeft de ART een voordeel op het gebied van circulariteit; er is nauwelijks primair materiaal nodig. Het merendeel van de transportbewegingen nodig voor bouwstoffen en de externe effecten daarvan kunnen worden voorkomen, zie Figuur 2.



Figuur 2: Vergelijking totale keten conventioneel en ART

De ART heeft ook nadelen. De ART is een relatief duurdere machine qua afschrijving en onderhoud per inzetdag, er moet nog worden aangetoond of de levensduur van het nieuwe asfalt gelijk is aan of korter is dan bij conventionele vervanging en de maximale productie (per jaar in strekkende meter asfalt) ligt meestal iets lager dan voor een conventionele asfaltset. Dit komt door:

- 1) Een iets lagere asfalteersnelheid - hierdoor ligt de jaarproductie in kilometers lager;
- 2) Mogelijk iets vaker niet-inzetbaarheid door weersomstandigheden – een conventionele set is ongeveer 185 dagen inzetbaar, de ART naar schatting⁴ 10% minder.

Een verschil in investering telt in een vergelijking zwaarder bij een lagere productie. Ook een mogelijke kortere (of langere) technische levensduur van het geproduceerde asfalt moet worden

⁴ Eerste schatting Dura Vermeer; 166 dagen of nachten per jaar, bij inzet 7 dagen/nachten per week. Ook bij conventioneel asfalteren is het beter om onderhoud buiten de natte en koude periodes uit te voeren en mindere kwaliteit van het asfalt te voorkomen. We rekenen daarom met 185 dagen of nachten per jaar.

meegewogen, als dit ervoor zorgt dat een volgende vervanging eerder (of later) nodig is.⁵ De maatschappelijke kosten per jaar dat het asfalt meegaat, vallen dan ongunstiger (of gunstiger) uit.

Zuivere vergelijking lastig

Vanwege deze (mogelijke) verschillen in eigenschappen is een zuivere vergelijking lastig:

- Vergelijking van de kosten en baten op *één vaste onderhoudslengte* is niet terecht. De optimale lengte van het te vervangen asfalt per tijdvak (avond, weekend, dag) verschilt tussen de ART en een conventionele set.
- Vergelijking van de kosten en baten *per vierkante meter* asfalt is niet terecht omdat de levensduur van het asfalt kan verschillen. Er is correctie nodig voor het verschil in levensduur.
- Vergelijking van de kosten en baten voor de *jaarproductie van de ART vs. jaarproductie van een conventionele set* is niet zuiver. We kunnen het verschil in asfaltproductie niet goed waarderen en de toevoeging van één ART-set leidt niet tot het verminderen van de aanschaf van één conventionele set.

Hoe dan wel?

Deze MKBA gaat over een besluit om te ‘investeren’ in de ART; niet om te beoordelen of de ART op een specifiek traject of voor een bepaald type onderhoud interessant is. Deze afwegingen hangen wel samen. Zonder de beschikbaarheid van de ART is een analyse of een specifiek type onderhoud of klus kansrijk is, niet mogelijk. Zonder onderhoudsprojecten waarvoor de ART maatschappelijk aantrekkelijk is, is er geen positieve maatschappelijke business case voor de ART.

Omdat het gaat om een besluit om te investeren in de ART is een realistische jaarproductie van de ART met de bijbehorende kosten en effecten de basis voor een zuivere MKBA-vergelijking. We nemen daarbij aan dat er voldoende kansrijke baanvakken zijn om *één* ART in te zetten. Pas als de jaarproductie van de beschikbare ART's in de buurt komt van de totale marktomvang van het onderhoud waarvoor een ART kan worden ingezet, is het nodig rekening te houden met een beperking door gebrek aan marktvolume. Dit is voornamelijk niet het geval.⁶

De realistische jaarproductie/mix (tijdstippen, lengtes, type onderhoud) voor de ART kan verschillen per (type) inzet en beheerder. We bouwen de realistische jaarproductie daarom per case op in een aantal stappen.

Stap 1: maximaal aantal uren inzet per jaar

Eerst bepalen we de maximale omvang in uren per jaar van alle potentiële onderhoudsblokken en deze uren corrigeren we voor de verwachte uitval door weersomstandigheden. Zo worden er in de winter geen asfalteeuwzaamheden uitgevoerd en voor de ART vallen ook momenten met

⁵ Als het asfalt van ART en conventioneel eerder wordt vervangen dan de technische levensduur maakt dit geen verschil. Bij conventioneel wordt er dan meer restlevensduur afgeschreven.

⁶ Het jaarvolume aan asfalt voor onderhoud bij RWS en bij de provincie is veel hoger dan wat een ART per jaar kan wegzetten. De volumes die in de cases zijn berekend vormen 3-4% van het jaarlijks volume dat volgt uit M. Tieleman 2022, *De invloed van een succesvolle ART op de asfaltmarkt*.

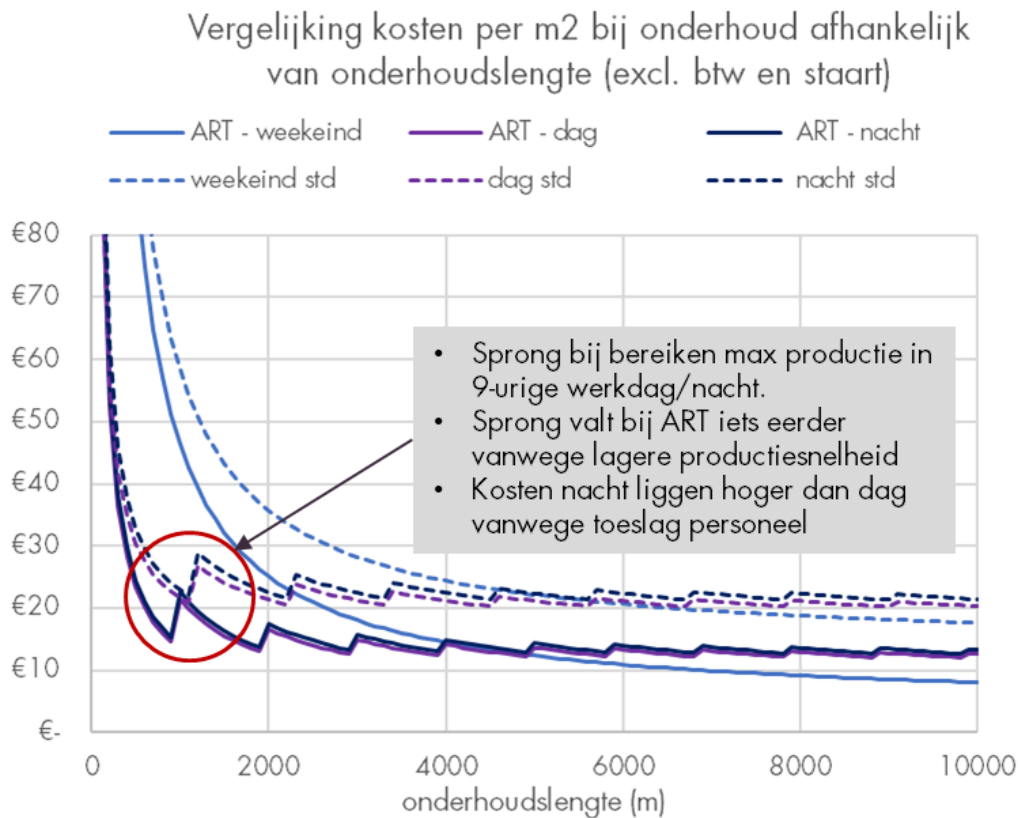
zeer veel regen af.⁷ Het resultaat is het maximaal aantal uren per jaar dat de ART verhuurd en ingezet kan worden en waarover de vaste kosten⁸ terugverdiend moeten worden.

Stap 2: kosten inzet als functie van lengte vervanging deklaag en onderhoudsmomenten

Om te komen op een realistische productie voor de ART, bepalen we eerst de totale kosten per m² voor het gebruik van de ART als functie van de lengte van de deklaag die moet worden vervangen en de lengte van de onderhoudsblokken.

Totale kosten inzet per m² (nacht/dag/weekend) = (vaste kosten per tijdvak (nacht/dag/weekend) x aantal tijdvakken nodig + vaste kosten per werk)/(lengte te vervangen deklaag x breedte te vervangen deklaag) + variabele kosten per m².

De variabele kosten per vierkante meter asphalt bevatten kosten voor grondstoffen en het transport daarvan en voor energie en enkele overige werkzaamheden. Dit levert een grafiek op zoals Figuur 3. De figuur laat zien dat wanneer de lengte van de te vervangen deklaag klein is, de kosten erg hoog uitpakken door de inefficiënte inzet.



Figuur 3: Voorbeeld verloop kosten per vierkante meter vanwege vaste kosten per mobilisatie (let op verloop varieert per case)

⁷ Bij kou en regen vraagt het opwarmen van de asphalt deklaag, zeker bij ZOAB waarin de holtes zich vullen met regenwater, (veel) meer energie.

⁸ Onder vaste kosten per onderhoudstijdvak vallen de huur ter dekking van kapitaalslasten, de vaste beheer & onderhoudskosten per jaar en kosten van personeel.

Ook is zichtbaar dat er ‘sprongetjes’ zijn in de kosten per vierkante meter. Dat zijn momenten waarop het tijdvak voor onderhoud onvoldoende is om het werk af te ronden. Er is dan een extra tijdvak nodig. Als er maar een uur extra nodig is voor een iets langere vervanging liggen de gemiddelde kosten hoger dan voor een korter stuk deklaag dat vervangen moet worden. Dit lijkt in eerste instantie niet logisch omdat je schaalvoordelen verwacht. Echter, omdat er bijvoorbeeld een extra nacht moet worden gewerkt en een extra nacht huur en mobilisatie en demobilisatie nodig zijn, vallen de kosten hoger uit.⁹

Op basis van deze verdeling kan een logisch inzetscenario worden bepaald. Inzet op werkzaamheden van slechts 300 meter per locatie ligt op basis van de voorlopige cijfers in Figuur 3 niet voor de hand.

Stap 3: productie ART per jaar (in vierkante meter)

Per case (provincie of RWS) bepalen we een realistische jaarproductie in vierkante meter aan te vervangen deklagen. Hierbij houden we rekening met:

- Hoeveel onderhoudsuren er beschikbaar zijn (zie stap 1).
- De onderhoudstijdvakken, bijv. alleen nacht/weekend, alleen overdag en passendheid met te vervangen lengte deklaag.
- Hoe vaak er gemobiliseerd moet worden. Dit hangt af van onderhoudstijdvakken en lengte onderhoud (gebaseerd op logische inzet uit stap 2).
- Hoe vaak er transport nodig is, of op hoeveel locaties er onderhoudsprojecten zijn.
- Verdeling van verschillende onderhoudslengtes, bijv. alle projecten hebben onderhoudslengtes tussen 1 en 10 km, en de lengtes zijn gelijk verdeeld (op basis van informatie stap 2).

Stap 4: productie ART per jaar gecorrigeerd voor levensduur asfalt

Omdat de levensduur van het asfalt dat door de ART wordt geproduceerd mogelijk minder lang is dan van een conventionele deklaagvervanging, bepalen we de productie uitgedrukt in ‘asfalt’-jaren. Bij vergelijking van het ART-alternatief en het conventionele alternatief op basis van dezelfde jaarproductie in m²-asfaltjaren van de ART is de MKBA-vergelijking zo zuiver mogelijk. Dit is dus de vergelijkingsbasis voor de alternatieven.

2.3 DEFINITIE ALTERNATIEVEN

Doordat we twee cases willen uitwerken hebben we ook twee verschillende nulalternatieven: één voor RWS en één voor de provincie Gelderland. Het gaat om vervanging van de deklaag ((D)ZOAB of SMA) op conventionele wijze.

Op locatie start het nulalternatief (conventioneel – zie Figuur 4) met het afzetten van de weg en het aanvoeren van freesmaterieel en frezen van de deklaag, het met vrachtwagens afvoeren van het gebroken freesmateriaal naar een verwerkingslocatie, en het storten van het freesmateriaal op een locatie derden. Het freesmateriaal wordt elders opnieuw gebroken of gezeefd op de juiste korrelgrootte als het materiaal ten behoeve van recycling wordt aangeboden aan de asfaltcentrale. De

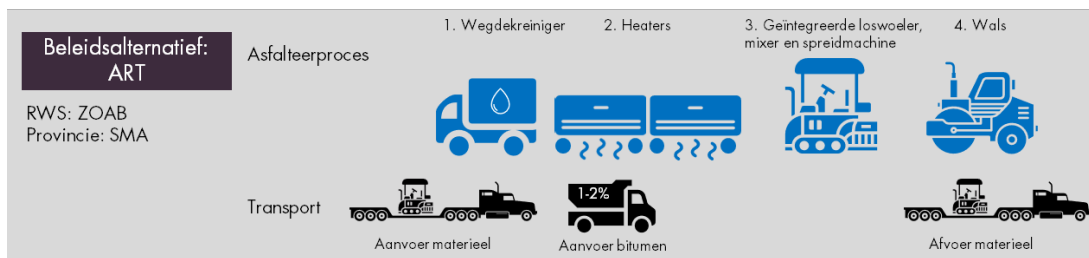
⁹ Dit speelt zowel bij ART als bij conventionele asfaltering. Ook bij conventionele asfalteerwerkzaamheden is sprake van extra ‘mobilisatie’-tijd. Het spreiden van het asfalt kan pas beginnen nadat de freeswerkzaamheden, het schoonmaken en het aanbrengen van de kleeflaag hebben plaatsgevonden.

volgende stap bestaat uit het schoonmaken van het gefreesd wegoppervlak en behandelen van de randen van het wegdek. Vervolgens wordt het benodigde materieel aangevoerd, inclusief kleefmaterieel en walsen en wordt met vrachtwagens het asfalt vanaf de centrales geleverd op locatie. Er wordt een kleeflaag aangebracht en de asfaltermachine spreidt het asfalt tot deklaag. Tenslotte wordt de deklaag afgestrooid en gewalst, wegmarkering aangebracht, het gebruikte materieel afgevoerd en de weg of rijbaan vrijgegeven.



Figuur 4: Illustratie in situ situatie nulalternatief (deel C1 en A5 life cycle keten)

Voor de ART (zie Figuur 5) start het proces met het afzetten van de weg en het aanvoeren van de remixer, de twee heaters en overig materieel. De volgende stap bestaat uit het schoonmaken van het wegoppervlak. Vervolgens verwarmen de heaters de oude asfaltlaag die aansluitend wordt losgewoeld door de remixer. In de remixer wordt het mengsel gemixt met wat nieuw bitumen en vervolgens spreidt de remixer het tot deklaag. Daarna wordt het afgestrooid en gewalst, en wegmarkering aangebracht. Voor de ART is behalve het bitumen en wat startmateriaal geen primair materiaal nodig. Dit betekent dat er ook geen materiaal- en afvaltransporten, en evenmin stortkosten nodig zijn. Tenslotte wordt het gebruikte materieel afgevoerd en de weg of rijbaan vrijgegeven.



Figuur 5: Illustratie in situ situatie beleidsalternatief (deel C1 en A5 life cycle keten)

Het proces heeft ook impact op de keten. In Figuur 11 (case RWS) en Figuur 12 (case provincie) in Bijlage A zijn de tonkilometers materiaaltransport voor de verschillende alternatieven per ketenstap gekwantificeerd.

2.3.1 Kenmerken rijstroken per case

We hebben standaardwaarden gebruikt zoals het soortelijk gewicht van het asfalt en specifieke data zoals verzameld voor de case RWS en de case provincie om het volume asfalt per strekkende meter, de oppervlakken van de deklaag, kosten en effecten te kunnen berekenen. Deze zijn vermeld in Tabel 3.

Tabel 3: Aannames kenmerken cases

	Case RWS	Case provincie	Bron
Asfalt	DZOAB 16 vervangen door ZOAB	SMA NL8 vervangen door SMA NL8	
Streefdichtheid	2000 kg / m ³	2350 kg / m ³	PCR 2.0
Dikte deklaag (te vervangen)	5 cm (+10%)	3,5 tot 4 cm: 3,75 cm	Interviews en OBR geeft aan 10%
Breedte te vervangen strook asfalt	4,00 m (rij- en vluchtstrook in 1 gang)	2,75 m + 0,5 m	Aanname breedte rijstrook plus verharding zijkant. RWS OBR QAN0129
Capaciteit	6300 voertuigen per uur	1750 voertuigen per uur	Aanname, ongeveer 2100 per rijstrook snelweg; 1700-1800 voor provinciale weg
Restcapaciteit bij werkzaamheden	66%	0%	aanname
Verkeersintensiteit dag (6-22)	n.v.t.	627 voertuigen per uur	Opgave provincie
Verkeersintensiteit nacht (21-6)	500 voertuigen per uur	78 voertuigen per uur	Opgave provincie, RWS grove schatting
Verkeersintensiteit weekeinde (vr 21:00 tot ma 6:00)	n.v.t.	307 voertuigen per uur	Opgave provincie
Snelheid gem.	90 km per uur	70 km per uur (niet relevant)	aanname
Snelheid gem. bij werkzaamheden	70 km per uur	0 want altijd afsluiting	aanname
Extra omrijdtijd	10 minuten	10 minuten	aanname
Gemiddelde lengte onderhoud per project (op 1 locatie)	3450 m	5500 m	Bij gelijke verdeling; RWS 900-6000 m, provincie 1000-10.000 m
Gemiddelde lengte afzetting of afsluiting	3950 m	6000 m	RWS: 500 m langer dan gem. lengte onderhoud, niet relevant bij afsluiting

2.3.2 Productie per jaar per case

De berekening van de representatieve jaarproductie voor de ART en de conventionele set per case baseren we op de kenmerken van het onderhoud (zie vorige paragrafen) en de productiesnelheden van de ART en een conventionele asfaltset zoals vermeld in Tabel 4.

We veronderstellen dat de ART geen last heeft van het feit dat er maar één ART in Oss gestationeerd is. De initiële jaarproductie zou dan gemiddeld lager kunnen zijn dan bij de aanwezigheid van meer ART's op verschillende locaties. Omdat deze situatie in principe alleen in de aanloopperiode speelt, passen we hiervoor geen correctie toe.

Tabel 4: Aannames verschillen in productie tussen ART en conventioneel

	ART	conventioneel	Bron
Productietempo aanbrengen nieuw asfalt ¹⁰	3,5 m per minuut	5,5 m per minuut ¹¹	ART - A6, conventioneel RWS OBR ¹²
Benodigde tijd voor frezen en kleeflaag aanbrengen	Dit is geïntegreerd in tijd ART	3 uur	Dura/begeleidingscommissie
Afsluiten weg	10 minuten	10 minuten	Dura Vermeer/ Chung et.al, TU Delft 2020
Mobiliseren	2 uur (Dura)	0,75 uur (0,5-1)	
Walsen	30 min	30 min	
Wegmarkeringen aanbrengen	30 min	30 min	
Demobiliseren	1 uur	30 min	
Vrijgeven weg	10 min	10 min	
Totaal verlies per tijdvak	Ong. 4,3 uur	Ong. 5,6 uur	
Levensduur nieuw ZOAB rechterrijstrook RWS	Aanname baseline 10 jaar	Theoretisch 10 jaar	RWS – OBR ZOAB, in praktijk gemiddeld na 7 jaar vervanging
Levensduur nieuw SMA provincie	Aanname baseline 15 jaar	Theoretisch 15 jaar	Provincie schatting, in praktijk vaak al eerder vervangen

Doordat de ART sneller kan beginnen met asfalteren (door het ontbreken van freeswerk), maar een lagere productiesnelheid heeft dan de conventionele methode, haalt een conventionele aanpak de ART na een aantal uren in qua productie (7,8 uur bij veronderstelde aannames). Dit omslagpunt ligt op zo'n 720 m.

Voor een eerlijke vergelijking is het belangrijk om de verschillen in de jaarproductie tussen de ART en de conventionele set te corrigeren. De representatieve jaarproductie (kosten en effecten voor dezelfde productie per jaar als in het beleidsalternatief, uitgedrukt in m²-asfaltjaren) baseren we op de productie van de ART ofwel het beleidsalternatief *per case*. De kosten en effecten van het nulalternatief zullen gecorrigeerd worden, zodat ze gelden bij dezelfde jaarproductie als de ART.

Het beleidsalternatief voor RWS is inzet van de ART om een (D)ZOAB¹³-deklaag te vervangen met ZOAB en voor de provincie om met de ART een SMA-deklaag te vervangen. Omdat RWS de ART wil inzetten voor levensduur verlengend onderhoud van de rechterrijstrook is vervanging

¹⁰ Inschattingen qua tempi lopen flink uiteen; van 2-4 m/min voor ART tot 4-6 m/min voor conventioneel

¹¹ Mits 2 frezen worden ingezet. Anders bepaalt de frees de maximale snelheid.

¹² OBR staat voor de Beheer- en onderhoudsstrategie Objectbeheerregime Verhardingen van RWS. Dit is een uitgebreide toelichting op het beheer en onderhoud bij Verhardingen, inclusief normen en richtlijnen, interventieniveaus en stuurmogelijkheden.

¹³ DZOAB is duurzaam ZOAB dat iets langer meegaat dan regulier ZOAB door toevoeging 2% extra bitumen.

met DZOAB¹⁴ niet nodig. Voor het bereiken van het einde van de levensduur (11 jaar DZOAB in plaats van 10 jaar ZOAB) wordt de nieuwe deklaag al vervangen bij gepland groot onderhoud van de hele rijbaan. Gemiddeld is dat na 7 jaar. Het resultaat staat in Tabel 5.

Tabel 5: Aannames standaard productie ART en conventioneel case RWS (productie per jaar)

Case RWS	ART	Conventioneel
Onderhoudstijdvakken (berekend na correctie weer)	166 nachten van 9 uur (90% van conventioneel)	185 nachten van 9 uur
Uren inzet (maximaal)	1494 uur	1665 uur
Uren productie (maximaal)	775 uur (na aftrek (de)mobilisatie)	632 uur (na aftrek (de)mobilisatie)
Uren daadwerkelijke productie (afhankelijk van onderhoudslengten) ¹⁵	663 uur (na aftrek efficiëntieverlies planning 86%)	535 uur (na aftrek efficiëntieverlies planning 85%)
Productie in m ² per jaar	557.271 m ²	705.656 m ²
Productie in m ² -asfaltjaar per jaar (=vergelijkingsbasis)	5.572.705 m ² -asfaltjaar	7.056.564 m ² -asfaltjaar
Factor correctie voor nulalternatief		79% (5.572.705/7.056.564)

Het beleidsalternatief voor de provincie is inzet van de ART bij het vervangen van een SMA-deklaag wanneer het gaat om een groot project (vanaf 1000 meter vervanging) waar alleen de deklaag vervangen moet worden (geen integraal project). Kleine reparaties van scheurtjes en kleine gaatjes worden via een seal maatregel gedaan. Na een dergelijke vervanging moet het wegdek zo'n 15 jaar meegaan. In de praktijk wordt asfalt vaak al eerder vervangen. Het resultaat qua productie per jaar staat in Tabel 6.

Door de verschillende wijzen van inzet van de ART en de verschillende onderhoudsregimes bij RWS en bij de provincie verschillen de productie, de kosten en de effecten per jaar per case. De productie van een conventionele asfaltset ligt in beide cases hoger. Dit komt door de iets hogere asfalteesnelheid en het hogere aantal werkbare dagen en nachten.

¹⁴ Bron interview expert onderhoudsplanung RWS.

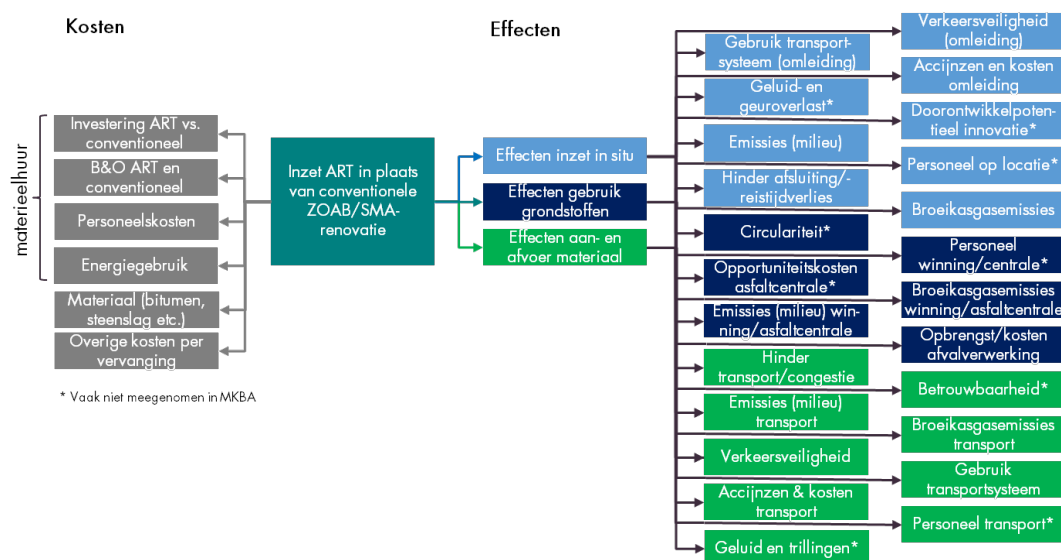
¹⁵ Doordat de verschillende onderhoudsafstanden nooit precies een dag of nacht aan werkzaamheden vragen, ontstaat er planningsverlies. Het materieel en het personeel zal doorgaans niet de resterende tijd van de dag/nacht op een andere locatie werkzaamheden verrichten. Dit planningsverlies is afhankelijk van de keuze en mix in lengtes van de onderhoudswerkvlakken, de duur van de onderhoudstijdvakken en de productiesnelheden.

Tabel 6: Aannames standaard productie ART en conventioneel case provincie (productie per jaar)

Case provincie	ART	Conventioneel
Onderhoudstijdvakken (berekend na correctie weer)	119 dagen van 9 uur (alleen weekdays)	132 dagen van 9 uur (alleen weekdays)
Uren inzet (maximaal)	1071 uur	1188 uur
Uren daadwerkelijke productie (maximaal)	555 uur (na aftrek (de)mobilisatie)	451 uur (na aftrek (de)mobilisatie)
Uren daadwerkelijke productie (afhankelijk van onderhoudslengten) ¹⁵	497 uur (na aftrek efficiëntieverlies planning 89%)	400 uur (na aftrek efficiëntieverlies planning 89%)
Productie in m ² per jaar	338.884 m ²	428.580 m ²
Productie in m ² -asfaltjaar per jaar (=vergelijkingsbasis)	5.083.263 m ² -asfaltjaar	6.428.697 m ² -asfaltjaar
Factor correctie voor nulalternatief		79% (5.083.263/6.428.697)

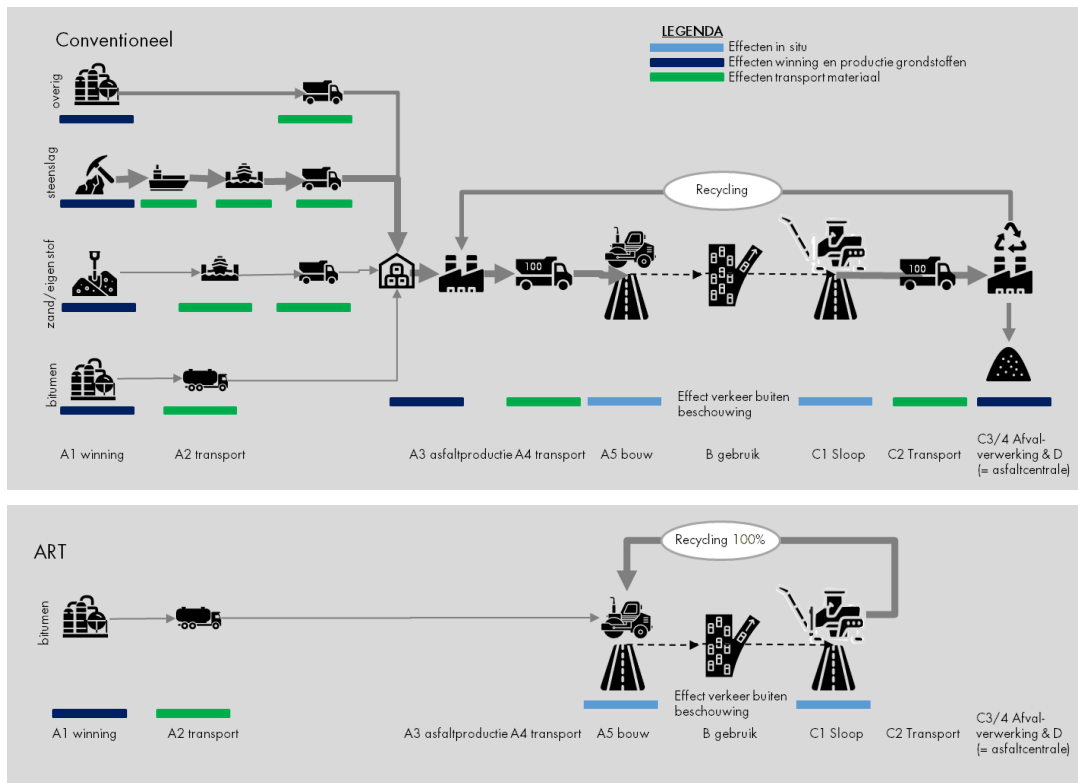
HOOFDSTUK 3 KOSTEN EN EFFECTEN

Dit hoofdstuk gaat in op mogelijke verschillen in kosten en effecten tussen de nulalternatieven en beleidalternatieven voor beide cases en de wijze van concretisering voor de MKBA. Het overzicht met deze kosten en effecten in Figuur 6 is samengesteld op basis van algemeen literatuuronderzoek en specifieke documenten en gesprekken over de ART. De effecten treden op in verschillende delen van de keten, zie Figuur 7. Tussen het beleidalternatief ART en de conventionele wijze van asfaltvervanging verschillen kosten en effecten, die soms positief en soms negatief voor de ART uitpakken.



Figuur 6: Overzicht kosten en effecten

De effecten kunnen worden verdeeld tussen effecten van het transport van nieuw en oud asfalt/materiaal (groene blokken in Figuur 7 en Figuur 6), van winning van primaire grondstoffen en productie in de asfaltcentrales (donkerblauw in Figuur 7 en Figuur 6), en effecten van de werkzaamheden op locatie (lichtblauw in Figuur 7 en Figuur 6). Het gaat hierbij niet alleen om externe effecten maar ook om potentiële waardecreatie, bijvoorbeeld in geval van een hogere arbeidsproductiviteit, opportunitetskosten van vrijkomende ruimte en minder afhankelijkheid van het gebruik van schaars materiaal.



Figuur 7: Verdeling effecten per ketenstap

De genoemde kosten en effecten worden gecorrigeerd bij een verschil in levensduur van het nieuwe asfalt. Bij een kortere levensduur zal sneller nieuwe onderhoud nodig zijn. Hierdoor nemen de kosten en effecten per vierkante meter asfalt over de evaluatieperiode toe.

3.1 KOSTEN

De verschillende kosten in de MKBA lichten we hieronder toe, verdeeld over directe kosten materieel (incl. energie) en personeel, directe materiaalkosten en directe overige kosten. Alle kosten worden in principe inclusief btw vermeld, omdat kosten inclusief btw gebruikelijk zijn in een MKBA. Voor een juiste vergelijking wordt bovenop de directe kosten in de resultaat tabellen in Hoofdstuk 4 een toeslag van 20% (de 'staatkosten') gezet om de indirecte algemene kosten, winst en risico mee te nemen.

Kosten materieel en personeel

Kapitaalslasten, onderhoud, personeel en energiegebruik van conventionele machines, zijn alle verwerkt in de reguliere huurtarieven. In deze vergelijking splitsen we deze posten daarom niet uit voor conventionele machines, zodat de genoemde huurtarieven voor een reguliere dag inzet (standaard 9 uur) herkenbaar zijn. De kapitaalslasten, onderhoud, personeel en energiegebruik van de asfaltcentrale zijn verwerkt in de prijs van het materiaal.

Voor de ART wijkt de situatie af omdat er nog geen reguliere inzet is en geen bijbehorende huurtarieven. De jaarlijkse kosten voor de ART bouwen we daarom op uit een vast bedrag per jaar ter dekking van de kosten voor aanschaf, beheer en onderhoud van een ART-set (inclusief heaters), kosten voor personeel dat de ART en de heaters bedient en de kosten voor het energiegebruik van de ART en de heaters. Daarbovenop komen huurkosten voor reguliere machines zoals walsen.

Huurtarieven materieel

De benodigde materieel en huurtarieven voor de ART-inzet en de conventionele asfaltvervangings zijn vermeld in Tabel 7.

Tabel 7: Huurtarieven materieel per dag van 9 uur (kosten inclusief 21 % BTW, exclusief staartkosten/indirecte kosten)

	ART	Conventioneel	Bron/toelichting
FreemACHINE (1 x 2,2 m en 1 x 1,8 m) ¹⁶	€ -	€ 13.310 ((6.500+4.500)x 1,21)	Kosten- en asfaltdeskundigen RWS
ZOAB-reiniger	€ 3.104 (2.565 x 1,21)	-	Kosten- en asfaltdeskundigen RWS
Veegzuigwagen/wegdekreiniger	-	€ 1.906 (1.575 x 1,21)	Kosten- en asfaltdeskundigen RWS
Waterwagen	€ 1.271 (1.050 x 1,21)	€ 1.271 (1.050 x 1,21)	Kosten- en asfaltdeskundigen RWS
Kleefwagen	€ -	€ 1.634 (1.350 x 1,21)	Kosten- en asfaltdeskundigen RWS
Asfaltmachine	€ -	€ 9.075 (7.500 x 1,21)	Kosten- en asfaltdeskundigen RWS
3 walsen (verschillend in grootte)	€ 6.534 (5.400 x 1,21)	€ 6.534 (5.400 x 1,21)	Kosten en asfaltdeskundigen RWS
Totaal incl. personeel en energie	€ 10.908 (9.015 x 1,21)	€ 33.729 (27.875 x 1,21)	
ART materieel (huur per jaar)	€ 2.722.500 (2.250.000 x 1,21)	In huur, zie hierboven	DURA Vermeer

Aanvullende personeelskosten

We nemen aan dat de aanvullende kosten voor personeel tijdens inhuur en 'inzet' van de ART (en de vergelijkbare conventionele set) voor 9 uur per dag of nacht worden berekend, ook als sprake is van wachttijd of de werkzaamheden minder dan 9 uur bedragen.

Bij inzet van de ART bestaat de bezetting uit 10 personen. Deze 10 personen zijn opgebouwd uit 5 personen voor de heaters en remixer (incl. 2 afwerkers), 3 walsmachinisten, een chauffeur voor de ZOAB-reiniger en een uitvoerder. Omdat de walsmachinisten en chauffeur van de ZOAB-reiniger al in de huurprijs zijn meegenomen, bedragen de aanvullende personeelskosten de kosten voor 6 personen á 9 uur per dag. Het gemiddelde tarief dat we hanteren is 90 euro per uur exclusief btw. Gedurende de nacht en het weekeinde kan sprake zijn van een toeslag op dit basistarief.

¹⁶ Voor beide cases zijn dezelfde freeskosten gebruikt. Vanwege de te vervangen rijstrookbreedte in case 2, hadden de werkzaamheden ook met 2 frezen van 1,80 m breed kunnen worden uitgevoerd. Deze vragen een lagere huur.

Voor de case RWS waarbij in de nacht wordt gewerkt gaan we uit van 30% toeslag op het aandeel van personeel in de kosten.

Tabel 8: Aannames personeelskosten

Kosten in MKBA	ART	Conventioneel	Bron
Minimaal aantal uur per inzet	9	9	
Tarief per uur	€ 108,90 (€ 90 x 1,21)	€ 108,90 (€ 90 x 1,21)	Dura Vermeer
Uitvoerder	1	1	
Frezen	-	2	
Wegdek/ZOAB-reiniging	1	1	
Kleefwagen	-	1	
Heaters	2	-	
Remixer + afwerkers	3	-	
Asfaltspreidmachine + afwerkers	-	5	1 machinist, 2x bij balk, 2x afwerker
Walsen	3	3	
Chauffeurs aanvoer/afvoer materiaal	-	5 provincie 7 RWS	
Geen apart personeel nodig voor neerzetten waterwagens, bitumentank, en materielevering	-	-	
Totaal personen (excl. chauffeurs transport)	10	13 + (5-7 chauffeurs)	Dura Vermeer / RWS
Personeel waarvan kosten in materieelhuur	4	12 + (5-7)	
Personeel waarvoor kosten moeten worden toegevoegd	6	1	Uitvoerder, personeel heater en remixer
Extra kosten personeel per dag	€ 5.881	€ 980	9 uur per dag
Nachtopslag (case RWS)	10 personen: € 2.940	20 personen: € 5.881	Toeslag per nacht

Voor de conventionele asfaltset gaat het om in totaal 13 personen plus 5 tot 7 chauffeurs voor de vrachtwagens.¹⁷ De 13 personen zijn opgebouwd uit 5 personen voor de asfaltset (incl. 2 afwerkers), 3 walsmachinisten, 2 freesmachinisten, 1 persoon op de veegzuigwagen en 1 op de

¹⁷ Inschatting van het aantal chauffeurs is gedaan door berekende productie van een nacht/dag in tonnen te delen door de laadcapaciteit van een asfaltwagen (30 ton). Dit geeft het aantal ritten (heen en terug) dat nodig is voor levering van het materiaal. Eenzelfde aantal ritten is nodig voor afvoer van het freesafval. Aannemende dat een cyclus (heen en terug, laden/lossen) 2 uur kost, dan kan een vrachtwagen 4 ritten uitvoeren per nacht. Voor de RWS case zijn dan 7 wagens nodig en voor provincie 5 wagens. Doordat een SMA-deklaag dunner is en de rijstrook in case 2 minder breed, is er minder materiaal per dag nodig.

kleefwagen en een uitvoerder. In dit geval zijn de kosten van al het personeel behalve de uitvoerder al opgenomen in de huur en transportkosten. Bij nachtzet wordt wel een toeslag voor al het personeel doorberekend, zie Tabel 8.

Aanvullende kosten energie

Voor het verwarmen, loswoelen en mixen en spreiden van het asfalt door de remixer en heaters is veel energie nodig. Voor het verwarmen van het asfalt is 439,22 MJ propaan per ton asfalt nodig en voor het remixen en aanbrengen 140,41 MJ propaan per ton asfalt. Ook voor de overige stappen is gebruik van diesel nodig door walsen, reinigingsmachines etc. Dit energiegebruik laten we hier buiten beschouwing omdat het is opgenomen in de huurtarieven.

In de conventionele keten vindt het grootste deel van het energiegebruik in de asfaltcentrale plaats. Naar schatting gaat het om gemiddeld tien kubieke meter aardgas (á 35,17 MJ/m³) per ton asfalt. Dit komt overeen met 352 MJ per ton asfalt. Dit energiegebruik hoeft evenmin te worden toegevoegd omdat het is verwerkt in de prijs van het materiaal.

Energiekosten (propaan) per ton asfalt ART in situ= (Energievraag in MJ per ton asfalt / energie-inhoud in MJ/liter x kosten in euro per liter.

In geval dat het propaan begin 2025 wordt vervangen door biogas nemen de kosten toe. Per ton asfalt liggen de kosten van propaan zo'n 10 euro lager (excl. staartkosten) dan bij het gebruik van biogas. Deze optie nemen we nu nog niet mee omdat we uitgaan van de huidige inzetmogelijkheden. Zie voor de gebruikte aannames Tabel 9.

Tabel 9: Aannames energievrage in situ voor verhitting en mixen (kosten inclusief btw)

Kosten in MKBA	ART	Conventioneel	Bron
Propaangebruik in situ per ton SMA en ZOAB	579,63 MJ/ton	-	Dura Vermeer
Energie-inhoud propaan	25,1 MJ/liter	-	Dura Vermeer / Wikipedia
Kosten propaan per liter	€ 1,02 per liter (€ 0,84 x 1,21)	-	Inkoopfactuur 2024 leverancier propaan
Biogasgebruik in situ per ton SMA en ZOAB (vanaf 2025)	43,6 l/ton	-	Dura Vermeer inschatting
Kosten biogas per liter	€ 0,73 per liter (€ 0,60 x 1,21)	-	Dura Vermeer inschatting gemiddeld tarief gebaseerd op opgave van biogasproducenten
Dieselgebruik overige machines freemachine, walsen, machines voor reiniging- en kleefaanbrengen	Walsen en reinigen p.m.	Alle machines p.m.	Deze kosten zijn meegenomen in huur machines en worden daarom niet toegevoegd

Kosten materiaal en grondstoffen

Een groot verschil tussen beide alternatieven zit in het materiaalgebruik. Voor conventionele vervanging zijn grote hoeveelheden SMA of ZOAB nodig. Voor de ART is 0,2%-1,5% van het asfaltgewicht aan bitumen nodig. De kosten voor materiaal en materiaaltransport zijn daarom lager, zie de gebruikte aannames in Tabel 10.

Materiaalkosten per ton asfalt ART = Aandeel bitumen (%) x kosten in euro per ton bitumen

Materiaalkosten per ton asfalt conventioneel = kosten in euro per ton asfalt + transportkosten in euro per ton (levering en afvoer) + stortkosten in euro per ton.

De levering van bitumen is inclusief transportkosten. Voor de levering van asfaltmengsels en voor de afvoer van freesmateriaal gebruiken we de een kental van 7 euro per ton (excl. btw en staartkosten). Voor de verwerking van ZOAB-freesafval moet worden betaald, SMA-freesafval levert wat opbrengsten per ton op, zie overige circulaire effecten. Deze opbrengsten liggen lager dan de transportkosten.

In eerdere studies werd uitgegaan van het gebruik van water en extra steenslag voor de ART. Dit is niet meer nodig. Doordat de verwarming van het oude asfalt met infrarood gebeurt, is geen water voor de stoomproductie nodig. Ook wordt geen aanvulling met extra steenslag verondersteld, omdat de ART de kwaliteit van de steenslag niet blijkt te verminderen.

Tabel 10: Aannames materiaal en grondstoffen (kosten inclusief BTW)

Kosten in MKBA (incl. btw)	ART	Conventioneel	Bron
Kosten per ton bitumen (incl. transport)	€ 847	-	A6 spreadsheet
Aandeel bitumen / toevoeging per ton SMA	0,2% (€ 1,69 per ton SMA)	-	UMS
Aandeel bitumen / toevoeging per ton ZOAB	1,5% (€ 12,71 per ton ZOAB)	-	UMS
Kosten per ton SMA (excl. transport)	-	€ 137 (113 x 1,21)	Cijfers provincie Gelderland
Kosten per ton ZOAB (excl. transport)	-	€ 119 (98 x 1,21)	Cijfers RWS
Kosten levering per ton SMA/ZOAB	-	€ 8,47 (7 x 1,21)	A6 spreadsheet
Kosten afvoer per ton gefreesd SMA	-	€ 8,47 (7 x 1,21)	A6 spreadsheet
Kosten afvoer per ton gefreesd ZOAB incl. kosten acceptatie	-	€ 11,37 ((7 + 2,4) x 1,21)	A6 spreadsheet

Overige kosten

Overige kosten bestaan uit extra kosten bovenop de materieel- en materiaalkosten, zie Tabel 11. Deze kosten variëren per dag, per vierkante meter of per project of werk. Onder een project of werk verstaan we de vervanging van het wegdek op één locatie. Als er op vijf ver uit elkaar gelegen locaties 300 meter asfalt vervangen moet worden, is sprake van vijf keer materieeltransport. Bij

vervanging van een stuk asfalt op één locatie, ook al zijn het kleinere stukjes verdeeld over meerdere dagen, worden er eenmalig kosten voor transport van materieel berekend. De installaties blijven op de locatie tot de volgende inzet.

Per werk

Per werk moeten de remixer en heaters, de freesmachines en de walsen naar de werklocatie worden gebracht en na afloop weer teruggebracht. Deze kosten zijn een vast bedrag per project. Gedurende de werkzaamheden blijven de machines op locatie staan. Vanwege de omvang en het gewicht van de remixer en heaters (de ART) en de gemiddeld langere transportafstand liggen de kosten van het transport hoger dan bij een conventionele set. Als de weg die wordt onderhouden tussentijds niet vrijgegeven wordt, zijn ook de kosten voor het plaatsen van wegafzetting vast per werk. In deze MKBA is dat het geval in case 2 voor de provincie.

Per mobilisatie

Als een wegafzetting elke dag wordt verwijderd en een dag later weer teruggezet variëren de kosten van de wegafzetting per mobilisatie of per onderhoudstijdvak. . Kosten die evenmin in de huurkosten per dag zijn begrepen zijn de kosten van nabehandeling van lasnaden bij het conventionele alternatief. Voor de ART is een post toegevoegd voor kleine werkzaamheden en materiaal om de ART mee te kunnen starten (een kleine hoeveelheid asfalt).

Tabel 11: Aannames overige kosten (kosten inclusief BTW)

Kosten in MKBA (incl. btw)	ART	Conventioneel	Bron
Vast per project/werk			
Afsluiten weg/maatregelen/rijstrookafzetting, bebording omleidroute	€ 2.296 (1.898 x 1,21)	€ 2.296 (1.898 x 1,21)	A6; geldt voor case 2 provincie
Aan/afvoer van materieel (vrachtwagen/dieplader voor ART, frees, wals)	€ 9.075 (7.500 x 1,21)	€ 3.388 (2.800 x 1,21)	heen en terug
Vast per mobilisatie			
Afsluiten DVM maatregelen/rijstrookafzetting	€ 2.296 (1.898 x 1,21)	€ 2.296 (1.898 x 1,21)	A6; geldt voor case 1 RWS
Naden controleren	€ -	€ 1.363 (1.127 x 1,21)	A6 & naden controleren niet nodig bij ART; Dura Vermeer
Kleine freeswerkzaamheden en startmateriaal asfalt	€ 2.662 (2.200 x 1,21)	-	Dura Vermeer
Variabel per m ²			
Markeringen aanbrengen	€ 0,58	€ 0,58	A6 per m ²
Afstrooien	€ 0,04	€ 0,04	A6 per m ²

Per vierkante meter wegdek

Onder overige kosten nemen we ook kosten mee voor het afstrooien van het asfalt voordat de walsen het asfalt verdichten en voor het weer aanbrengen van wegmarkeringen. Het afstrooien is om te voorkomen dat het asfalt aan de walsen kleeft. Deze kosten variëren met het oppervlak van de te vervangen deklaag.

3.2 EFFECTEN

Per alternatief zijn de effecten bij het vervangen van de deklaag niet gelijk. Effecten die we mee nemen in de MKBA en die mogelijk verschillen tussen de alternatieven lichten we hieronder toe.

Externe effecten gerelateerd aan de aanvoer en afvoer van materiaal

Het transport van het freesmateriaal en het nieuwe asfalt in de conventionele aanpak zorgt voor een groot aantal transportbewegingen, terwijl bij de ART alleen bitumen (0,2-1,5%) hoeft te worden aangevoerd. Deze transportbewegingen veroorzaken diverse externe effecten:

- Geluidsoverlast
- Veiligheidskosten door verkeersongevallen en materiele schade
- Congestie
- Kosten van het gebruik van de infrastructuur
- Emissies (NO_x, fijnstof) en broeikasgassen (zie volgende kopje emissies)
- Bijdrage accijnzen (via brandstofgebruik)

De meeste effecten zijn negatief. Ze vormen een maatschappelijke kostenpost die niet in de prijs is verdisconteerd. Het wegvallen van dit transport levert dan een maatschappelijke baat op. In de kosten van het brandstofgebruik zit een bijdrage aan de schatkist in de vorm van accijnzen. Het wegvallen van transport levert op dit punt een maatschappelijk nadeel op.

Het maatschappelijk voordeel of nadeel kan gemonetariseerd worden doordat standaard kostenkentalen voor de verschillende effecten bekend zijn die zijn uitgedrukt in euro per tonkm.

Effect verandering transport materialen/grondstoffen = verschil in tonkms transport x kental in euro per tonkm.

Het verschil in de te transportereren tonkms = massa te transportereren asfalt x gemiddelde afstand transport.

In de conventionele keten is sprake van asfalttransport tussen de asfaltcentrale en werk en van freesafval tussen werk en recycling of stortlocatie. Ook zal de asfaltcentrale minimaal hetzelfde gewicht aan materiaal (primaire grondstoffen plus recyclaat) moeten ontvangen om asfalt te produceren. De kosten van het transport zijn meegenomen in de prijs van het asfalt, en de milieu- en klimaateffecten in de MKI (zie volgende kopje emissies) maar de overige externe effecten van de aanvoer niet. Het transport veroorzaakt veiligheidskosten, geluidsoverlast etc.

De afstand tussen asfaltcentrale en werk en tussen werk en recyclelocatie is 50 km. Omdat de recyclelocatie vaak samenvalt met de locatie van de asfaltcentrale is er geen transportafstand verondersteld tussen de recycle/sorteerlocatie en de asfaltcentrale. Materiaal dat niet wordt recycled door de asfaltcentrale zal dan mogelijk wel aanvullend getransporteerd worden. Omdat RWS en

de provincie niet standaard een topklaag met recycalaat accepteren, veronderstellen we gebruik van 100% primair materiaal in de cases en eenmaal een transportafstand van het freesafval van gemiddeld 50 km.¹⁸ Het dan resulterende aantal tonkilometers per alternatief en modaliteit is vermeld in Tabel 12. In de praktijk van RWS wordt wel al tot 30% recycalaat toegepast.¹⁹

De externe effecten van het transport van de asfaltset naar de werklocatie hebben we niet meegenomen in de analyse. Voor de ART set zou dit een nadeel kunnen opleveren. De omvang van het effect is naar verwachting klein ten opzichte van de andere posten.

Tabel 12: Resulterende tonkilometers per ton materiaal per keten en modaliteit (zie voor gebruikte achtergronddata bijlage A)

In tonkm	ZOAB-regulier	ZOAB ART	SMA 8-11	SMA ART
Voor asfaltcentrale				
Tonkms vrachtauto	40,90	3,75 (15 kg x 250 km)	42,31	0,5 (2 kg x 250 km)
Tonkms binnenvaart	73,96	-	520,26	-
Tonkms zeeschip	802,38	-	0,00	-
Tussen asfaltcentrale en werk				
Tonkms vrachtauto	50,00 (1 ton x 50 km)	-	50,00 (1 ton x 50 km)	-
Tussen werk en asfaltcentrale				
Tonkms vrachtauto	50,00 (1 ton x 50 km)	-	50,00 (1 ton x 50 km)	-
Totaal tonkilometers				
Tonkms vrachtauto	140,90	3,75	142,31	0,50
Tonkms binnenvaart	73,96	-	520,26	-
Tonkms zeeschip	802,38	-	-	-
Totaal tonkilometers	1017,24	3,75	662,57	0,50

Emissies (milieu, broeikasgas)

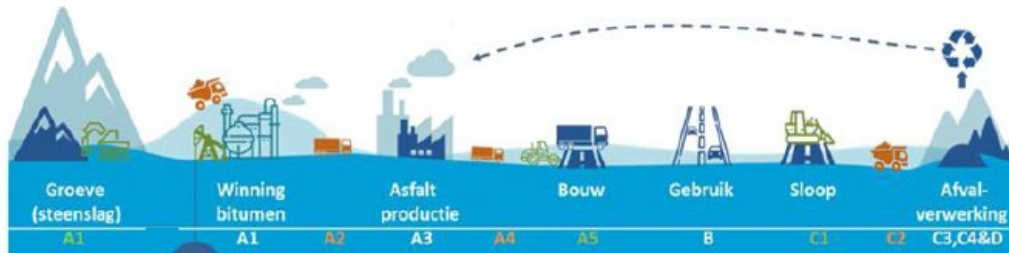
Bij de winning van grondstoffen, de productie van asfalt, het transport hiervan en het vervangen van asfaltlagen treden emissies op. Het gaat bijvoorbeeld om CO₂, NO_x, benzeen en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's).

Deze emissies en de andere milieubelasting worden meegenomen in de milieukostenindicator (MKI) door de uitstoot per stap in de keten te (laten) monetariseren. Voor de ART en de conventionele asfaltvervanging zijn MKI-berekeningen gemaakt, die we hebben gebruikt om het verschil in de milieu-uitstoot en de broeikasgasuitstoot in de MKBA mee te nemen.

¹⁸ Bron MKI-berekening Dura Vermeer.

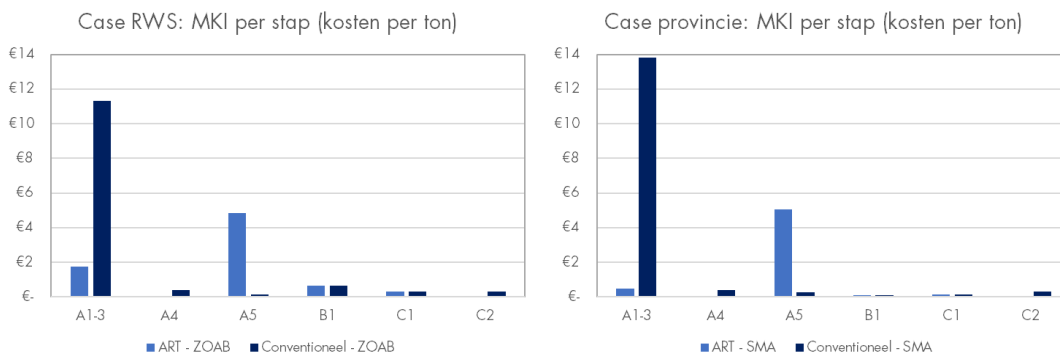
¹⁹ Een voorlopige analyse is uitgevoerd met 30% recycling voor case 1: RWS

Omdat we aannemen dat er 0% recycelaat in de toplaag mag worden meegenomen, baseren we de analyse alleen op de MKI van stap A1 tot en met C2, zie Figuur 8.



Figuur 8: Bron schema: Romée de Blois et al., TUDelft, Op weg naar een klimaatneutrale infrasector in Nederland

In de MKI-berekening zijn de milieueffecten per ton materiaal/asfalt bepaald en gemonetariseerd. Hierdoor is het milieueffect van het transport van de asfaltset naar de werklocatie niet meegenomen. Hiervan zouden de transportemissies (CO₂, NO_x en fijnstof) apart kunnen worden bepaald. Omdat het maar om een kleine bijdrage gaat verwaarlozen we dit effect. De MKI-bijdragen van de verschillende transportstappen (A2 (niet apart zichtbaar), A4, C2) is in verhouding ook klein ten opzichte van de bijdrage van de winning (A1) en asfaltproductie (A3) voor de conventionele werkwijze, en de bouw/aanleg fase (A5) voor de ART, zie Figuur 9.



Figuur 9: Verdeling MKI-score per ketenstap

De CO₂-uitstoot is onderdeel van de MKI-score. De MKI score hanteert een schaduwprijs van 5 ct. per kg CO₂. Dit is lager dan in een MKBA zou moeten worden gebruikt. In het hoge WLO-scenario is de prijs in 2025 6,8 ct. per kg. Bovendien neemt de waarde van de schaduwprijs elk jaar met 3,5% toe wanneer gewerkt wordt met de efficiënte CO₂-prijzen zoals PBL en CPB voorschrijven. De MKI-scores die bekend zijn voor ZOAB en SMA voor de branchereferentiemengsels zijn daarom ook bepaald exclusief de bijdrage van CO₂-uitstoot, zie Tabel 13. De waarde van de CO₂-uitstoot hebben we apart berekend en laten we oplopen tot 2050, zoals is voorgeschreven.

Tabel 13: Aannames milieu- en broeikasgaseffecten (ketenonderdelen A1 t/m C2)

Effecten in MKBA	ART	Conventioneel	Bron
CO ₂ -uitstoot ZOAB in kg	71,5 kg per ton	107,7 kg per ton	ART Dura, conventioneel branche referentiemengsel
Totale MKI-score per ton (asfalt, bitumen, water, steenslag) ZOAB	€ 7,63 (opgave Dura)	€ 13,13 (referentie)	ART Dura, conventioneel branche referentiemengsel ²⁰
MKI-score per ton (asfalt, bitumen, water, steenslag) ZOAB excl. CO ₂	€ 4,05	€ 7,74	Berekend
CO ₂ -uitstoot SMA in kg	61,4 kg per ton	128,4 kg per ton	ART Dura, conventioneel branche referentiemengsel
Totale MKI-score per ton (asfalt, bitumen, water, steenslag) SMA	€ 5,79 (opgave Dura)	€ 15,03 (referentie)	ART Dura, conventioneel branche referentiemengsel
MKI-score per ton (asfalt, bitumen, water, steenslag) SMA, excl. CO ₂	€ 2,72	€ 8,61	Berekend

Reistijdverliezen

Bij wegwerkzaamheden zal altijd sprake zijn van meer of minder overlast doordat er rijstroken enige tijd niet beschikbaar zijn. Het verkeer moet omrijden als de weg afgesloten wordt of met een lagere snelheid langs de werkzaamheden rijden. In beide gevallen kunnen ook files optreden omdat de capaciteit van de omrijdroute onvoldoende is of omdat de resterende capaciteit van de weg onvoldoende is voor het verkeersaanbod.

Deze overlast door omrijden of als gevolg van afsluiting kan geschat worden via het bepalen van de totale reistijdverliezen (voertuigverliesuren - VVU) en het moneteriseren van deze reistijdverliezen.

Effect hinder door werkzaamheden = (voertuigverliesuren door omrijden + voertuigverliesuren door langzaam rijden + voertuigverliesuren door file) x Value of Time (euro per VVU)

We nemen aan dat in de case van de provincie wordt gekozen voor afsluiting en omrijden. Bij omrijden is bovendien sprake van extra vervoerskilometers, die net als bij het transport van asfalt verschillende externe effecten veroorzaken. Naast deze effecten beschreven bij de aan- en afvoer van materiaal gaat het om kosten van extra kilometers (brandstof/afschrijving) en kosten van luchtvervuiling en CO₂-uitstoot.

Effect extra voertuigkilometers = extra voertuigkilometers door omrijden x kental in euro per vtkm. (zie bijlage B voor gebruikte kentallen)

²⁰ In de praktijk liggen de waardes bijna altijd lager dan van de referentiemengsels.

Voertuigverliesuren door omrijden = verkeersintensiteit (in # voertuigen per uur) x duur werkzaamheden x extra omrijdtijd.

In de case voor RWS waarbij alleen gedurende de nacht levensduur verlengend onderhoud wordt uitgevoerd, nemen we aan dat het verkeer met een iets lagere snelheid passeert, met 70 km/h in plaats van 90 km/h.

Voertuigverliesuren door langzaam rijden = Lengte afzetting x (1/70 km/h – 1/90 km/h) x verkeersintensiteit x duur werkzaamheden

Doordat de productiesnelheid van de ART en het nulalternatief niet gelijk zijn, zal de duur van de werkzaamheden en daardoor de hinder verschillen.

Ook tussen de cases verschillen de effecten. Dit komt door de andere verkeersmaatregelen, snelheden en intensiteiten. De kans op file hangt niet zozeer af van of er conventioneel of met de ART gewerkt wordt. Voorlopig laten we dit buiten beschouwing. Een schatting zou gemaakt kunnen worden via de formule zoals in onderstaand kader, maar in deze analyse hebben we dit niet nodig gehad, omdat de opgegeven capaciteit en verkeersintensiteit niet tot file lijken te leiden in de case RWS en al gerekend is met een kental voor congestiekosten per voertuigkilometer in geval van omrijden in de case voor de provincie.

Kader 1: formule berekening filekosten bij gedeeltelijke stremming

$$\text{Voertuigverliesuren door file} = \frac{(T^2) \cdot (R-1) \cdot (RC-I)}{2 \cdot (1-\frac{I}{C})}$$

R = restcapaciteit weg bij werkzaamheden in procenten; bij case RWS 66%, bij case provincie 0%

C = capaciteit van de weg (aantal voertuigen per uur)

I = gemiddelde verkeersintensiteit (aantal voertuigen per uur)

T = duur (gedeeltelijke) stremming (in uren)

Betrouwbaarheid

Door de verminderde afhankelijkheid van materialen is het risico op verstoringen in de keten voor de ART kleiner. Bij het conventionele asfaltvervangingsproces kan de productie tijdelijk stil vallen bij problemen in de asfaltcentrale of verstoringen en files op de weg. De ART is echter een complexere machine die ook zelf stil zou kunnen vallen. In dat geval kan het lastig zijn om snel een alternatief te vinden, bijvoorbeeld conventionele vervanging. Daar staat tegenover dat bij een conventioneel proces ook de frezen stuk kunnen gaan. Al met al heeft de ART op basis van expert judgement een klein plusje ten opzichte van de conventionele werkwijze gekregen, zie Tabel 14. Dit kunnen we niet monetariseren.

Tabel 14: Aannames betrouwbaarheid productie

Effecten in MKBA	ART	Conventioneel	Bron
Expert judgement percentage onbetrouwbaarheid productie en aanvoer problemen	Kleine plus ten opzichte van referentie	referentie	Dura Vermeer

Personeelseffecten

De personeelsaantallen betrokken in de verschillende ketens verschillen. Naar verwachting ligt de personeelsinzet voor de ART lager. Voor het vervangen van asfalt via de ART zijn iets minder fte's nodig (10 i.p.v. 13) omdat een aantal werkzaamheden gecombineerd wordt uitgevoerd. Hierdoor is minder personeel nodig dan conventioneel. De productie en winning van materialen (grondstoffen) vraagt minder medewerkers bij inzet van de ART omdat er minder materiaal nodig is. Voor het transport van materialen (grondstoffen) zijn minder vrachtwagenchauffeurs nodig bij inzet van de ART, omdat er minder materiaal moet worden vervoerd.

Dit arbeidspotentieel kan ingezet worden voor andere werkzaamheden. Bij een verwacht verschil in arbeidsproductiviteit ontstaat een effect dat kan worden meegewogen in de MKBA. Dit is echter lastig aannemelijk te maken. Medewerkers die niet meer nodig zijn, zullen bij de huidige lage werkloosheidscijfers wel een andere baan vinden, maar zolang die baan dezelfde arbeidsproductiviteit oplevert, betekent dit geen maatschappelijk effect. De kosten van personeel zijn in de kosten verwerkt en kunnen niet als aanvullend effect worden meegeteld (dubbeltelling voorkomen).

De kleinere personeelsinzet kan wel het tekort aan personeel iets verminderen. Een mogelijk effect is dan de minder (te) hoge werkdruk bij het personeel. De gevolgen daarvan kunnen niet eenvoudig gemonetariseerd worden. Dit kunnen we alleen kwalitatief meenemen. Bovendien wordt dit mogelijke voordeel deels gecompenseerd doordat de productie in vierkante meter asfalt per jaar lager ligt voor de ART dan conventioneel.

De arbeidsomstandigheden voor medewerkers (m.n. winning en asfaltcentrales) zouden kunnen verbeteren. Dit is onzeker en hangt af van de alternatieve werkomstandigheden. Ook dit aspect kan niet gemonetariseerd worden.

Innovatiepotentieel

Additionele investeringen en duurzame innovaties op terreinen waar Nederland tot de koplopers behoort of daartoe kan uitgroeien, kunnen de concurrentiekracht versterken en voor meer export zorgen. Dit indirecte effect en het effect op het verdienvermogen en de kennisspillover zijn echter lastig te moneteriseren.

Bij een succesvolle ontwikkeling van de ART zijn er mogelijk (kennis)export kansen op het gebied van de productie van ART-systemen. Tot nu toe worden de systemen echter nog niet door de Nederlandse maakindustrie geproduceerd. Doordat dit potentieel erg onzeker is, kunnen we hiervoor geen onderbouwde schatting doen en gaat het om een onzekere niet te moneteriseren plus voor de ART. De huidige eigenaar van de ART (UMS) heeft aangegeven dat er in het buitenland ART's geproduceerd worden en dat ze van plan zijn minimaal met één machine en mogelijk meer uit te breiden. Voor uitbreiding zijn twee opties: het overnemen van goed bestaand ART-materiaal of het produceren van nieuwe machines met innovatieve toevoegingen in samenwerking met partners (zoals elektrische aandrijving en heaters met alternatieve verwarmingsmethoden: waterstof en biogas). De innovatiekans ontstaat wanneer sprake is van innovatieve toevoegingen.

Geluid, trillingen en geuroverlast ter plekke

Tijdens de asfalteringswerkzaamheden kan de omgeving last hebben van geur, trillingen en geluid. Voor deze effecten hebben we geen standaard kentallen gevonden waarmee we deze effecten kunnen moneteriseren. Bovendien verwachten we dat er geen grote verschillen zullen zijn tussen de ART en de conventionele asfalteringsmethoden. Wel zal de directe omgeving bij de conventionele

wijze van asfalteren meer last hebben van het aan- en afrijden van zware vrachtwagens met asfalt. Het frezen zal mogelijk meer geluid produceren dan het omwoelen bij de ART, maar over kortere tijd. In totaal levert dit een kleine plus op voor de ART.

Opportunitetskosten asfaltcentrales

Door de vermindering van de behoefte aan asfalt in geval van de ART kunnen er mogelijk extra opportunitetskosten zijn wanneer een asfaltcentrale kan sluiten. Opportunitetskosten zitten standaard al in de alternatieven. Bij inzet van de ART worden de kosten (materiaal, personeel, energie, afschrijving etc.) van de asfaltcentrale bespaard. Dat scheelt 119 euro per ton asfalt voor ZOAB en 137 euro per ton voor SMA.

Door de toenemende druk op ruimte en het feit dat sommige asfaltcentrales al lange tijd op de huidige locatie staan, zou er sprake kunnen zijn van additionele opportunitetskosten, als het ruimtebeslag inmiddels een hogere waarde heeft gekregen dan de waarde die wordt gebruikt in de kosten van asfalt. Dit is bijvoorbeeld het geval als de asfaltcentrale de ontwikkelingsmogelijkheden van de omgeving voor woningbouw beperkt. Bij sluiting van de asfaltcentrale, kan de vrijgekomen grond van de centrale en van de omgeving voor doeleinden met een hogere maatschappelijke waarde worden gebruikt. Eenmaal gesloten zou een asfaltcentrale ook de ontwikkelingsmogelijkheden rondom het terrein kunnen vergroten bij aanpassing van de milieu- en veiligheidscontouren.

De waarde (eenmalig) kan eventueel worden gemonetariseerd door het gemiddelde ruimtebeslag per ton geproduceerd asfalt van een asfaltcentrale te vermenigvuldigen met de industriële grondprijs (€ 300 per m² voor bouwrijpe grond). Kanttekening hierbij is dat de grond wellicht gesaneerd moet worden en dat het niet direct voor de hand ligt om een asfaltcentrale te sluiten. Er moet ook een goede verdeling over Nederland blijven bestaan om asfalt te produceren voor projecten waar de ART niet geschikt voor is. We nemen deze post daarom alleen mee in het optimistische circulaire scenario voor de ART als grove indicatie.

Opportunitetskosten (eenmalig) = Vermeden productie asfaltcentrales in ton per jaar x ruimtebeslag in m² per ton asfaltproductie x industriële grondprijs in euro per m²

Tabel 15: Aannames ruimtebeslag

Effecten in MKBA	ART	Conventioneel	Bron
Ruimtebeslag (in m ²) per ton asfalt	0,23 m ² per ton asfalt	Geen vermindering asfaltcentrales	Schatting via google maps centrale Nijkerk

Dit is een onzeker effect dat we niet standaard maar alleen in een van de scenario's meenemen.

Overige effecten circulariteit

Het voordeel van circulariteit komt in principe terug in de vermeden kosten van de aankoop en bewerking van nieuwe materialen, de vermeden externe effecten van transport en de (nu nog) opbrengsten van SMA-freesafval. Daarbovenop is het lastig substantiële te monetariseren voordelen te vinden.

De ART is niet de enige manier om de circulariteitsdoelen in te vullen. Dit maakt het lastig om aan dit punt een concrete waarde te hangen. Het halen van de circulariteitsdoelen kan wel lastiger zijn zonder inzet van de ART. Bij conventionele asfaltvervanging kan asfalt (deels) recycled

worden in een asfaltcentrale. Het maximum recyclepercentage van freesasfalt in nieuw asfalt is veel lager dan 100% omdat de afmetingen van de steenslag verkleind worden. Bij ZOAB-asfaltgranulaat gaat maximaal 55% terug de deklaag in. Er is dus nieuw primair materiaal nodig om dit aan de bovenkant aan te vullen, zo'n 45% grove steenslag voor conventionele ZOAB vervanging.²¹

Het resterende freesafval wordt indien mogelijk als grondstof in andere asfaltlagen gebruikt, maar ook vaak als ophoogmateriaal en niet als grondstof. Gebruik als ophoogmateriaal is hergebruik met een lagere kwaliteit en waarde (downcycling in plaats van recycling). De waarde van ophoogmateriaal ligt lager dan van materiaal dat kan worden gebruikt voor de deklaag.

Toenemende schaarste van materialen kan leiden tot een snelle stijging van de materiaalkosten voor het nulalternatief. Bij een volgende vervanging van de asfaltlaag zal de ART zich gunstiger verhouden tot de conventionele werkwijze. Dit zullen we in een apart scenario als gevoeligheidsanalyse meenemen door de kosten van materiaal harder te laten stijgen dan de veronderstelde inflatie, bijvoorbeeld 1% per jaar extra.

De aandacht voor circulariteit kan ervoor zorgen dat er steeds meer gefreesd asfalt en vergelijkbare materialen aangeboden worden, en dat tegelijkertijd de kwaliteit van het freesafval daalt door herhaalde wegfreen waardoor de prijzen dalen. Op dit moment levert het gefreesde SMA-asfalt inkomsten op bij recycling, een voordeel voor de conventionele wijze van asfaltvervanging, zie Tabel 16. Gefreesd ZOAB-afval levert geen opbrengsten op. De afvalverwerking is juist een kostenpost (zie kosten). Een gevoeligheidsanalyse waarin de afvalstromen steeds lagere opbrengsten hebben, is onderdeel van een van de scenario's.

Tabel 16: Aannames opbrengst freesafval

Effecten in MKBA	ART	Conventioneel	Bron
Opbrengst verkoop afval/oud asfalt SMA	n.v.t.	4 euro per ton	Offereins et al, Windesheim 2020
Opbrengst verkoop afval/oud asfalt ZOAB	n.v.t.	n.v.t.	Steenslag niet meer homogeen

Overige effecten

Overige effecten die naar boven kwamen gedurende het onderzoek zijn dat bij de ART de naden tussen oude en nieuw aangebrachte rijstroken automatisch met de heaters worden verwarmd. De warme naad zorgt voor een betere aansluiting tussen de rijstroken. In de conventionele werkwijze is nabehandeling van de lasnaden nodig om het asfalt te laten aansluiten. Dit is verwerkt in de

²¹ Als ZOAB in het conventionele proces (koud) wordt gefreesd, worden de stenen verbrijzeld. Als dit ZOAB granulaat vervolgens wordt uitgezeefd in drie verschillende fracties 0/5, 5/8 en 8/16, blijven die fracties grofweg in de verhouding van 20/25/55 over. De fractie 8/16 gaat in het reguliere proces terug de ZOAB in maar de andere 45% (0/5 en 5/8) niet. De fractie 5/8 kan bijvoorbeeld wel de SMA 8 in. Vanzelfsprekend wordt geprobeerd zoveel als mogelijk te hergebruiken. Maar dit laat zien dat in het conventionele proces 45% nieuwe grove steenslag nodig is, landelijk gezien is dat een behoorlijk grote hoeveelheid. Bij de ART (warm frezen) wordt nauwelijks iets verbrijzeld, daarom kan het ter plekke 100% worden hergebruikt (en is geen aanvulling van grove steenslag nodig), bron Dura Vermeer.

overige kosten. De automatische verwarming van het asfalt in geval van de ART kan invloed hebben op de kwaliteit en levensduur van de topklaag.

Het is niet nodig dat er iemand naast de ART loopt, terwijl dit bij een conventionele spreidmachine wel nodig is. Dit heeft voordelen op het gebied van veiligheid voor wegwerkers.

Ook zijn er kansen in combinatie met een rijdende afzetting. Er is mogelijk minder tijd nodig om een werkvak af te zetten en weer vrij te geven. In combinatie met een rijdende afzetting (zoals de GO-barry²²) zou de ART binnen deze afzetting kunnen doorwerken en de hinder beperken. Dit geldt vooral voor het onderhoudsregime zoals in de case van RWS (meer dan 1 rijstrook).

Ten slotte is het mogelijk dat de ART-asfaltset eenvoudiger te elektrificeren is dan de conventionele set voertuigen, omdat er minder voertuigen bij betrokken zijn en de freesmachines een hoog piekvermogen vereisen. Het gebruik van biogas in plaats van propaan levert een flinke reductie op van de milieu- en klimaatkosten.²³ De kosten van het biogas liggen echter hoger. Ook werd genoemd dat de capaciteit van de asfaltcentrales nu soms beperkt wordt door de grote onderhoudsopgaven. Hierdoor neemt de beschikbaarheid van asfaltmengsels af.

Verduurzaming van de asfaltcentrale of gebruik van recyclelaar voor de topklaag in het conventionele proces kan een voordeel opleveren voor het nulalternatief. Deze genoemde punten zijn niet verder onderzocht.²⁴

²² [Minder aanrijdgevaar bouw en infra met innovatie Go-Barry \(gc-veiligheid.nl\)](https://www.gc-veiligheid.nl)

²³ Voor de ART ligt de MKI met biogas per ton 3,10 euro lager dan bij gebruik van propaan (ongeveer 40%). De extra kosten van het gebruik van biogas liggen echter hoger.

²⁴ Afgezien van een voorlopige check op ZOAB met 30% recyclelaar.

Dit hoofdstuk bevat voor beide cases de resultaten voor de baseline situatie en voor twee andere scenario's om de gevoeligheid van de resultaten te onderzoeken. Uit deze resultaten hebben we conclusies getrokken en dit hoofdstuk wordt afgesloten met enkele aanbevelingen.

4.1 KOSTEN-BATENOVERZICHT CASE 1: RWS

In een MKBA worden alle kosten en effecten (nominaal) bepaald en over een periode van minimaal 100 jaar meegenomen en verdisconteerd naar de netto contante waarde in het basisjaar, in dit geval 2024. Voor maatschappelijke investeringen geldt een discontovoet van 2,25% tenzij de kosten vast en verzonken zijn.²⁵ Hoewel de investeringen in de ART niet afhangen van de mate van gebruik (en dus vast zijn), zijn ze niet verzonken. De ART zou verkocht kunnen worden. We gebruiken daarom de standaard discontovoet van 2,25% voor zowel de kosten als de effecten.

Het resultaat staat in Tabel 17. Eerst zijn de berekende jaarbedragen getoond voor de case voor RWS, vervolgens de berekende netto contante waarden. De totalen zijn groen of rood gemaakt al naar gelang het bedrag een voordeel voor de ART betekent (groen) of een nadeel (rood). In een kosten-batenanalyse worden de kosten en positieve effecten meestal zonder minteken vermeld. De effecten zijn in deze MKBA meestal negatief (externe effecten). Ze hebben daarom een negatief teken, hoe negatiever, hoe groter de klimaat-, milieukosten en overige negatieve effecten.

Voor de case RWS scoort de ART zowel gunstiger dan conventioneel op kosten als op (nadelige) effecten en ook de kwalitatieve effecten, zoals betrouwbaarheid, werkomstandigheden, geluid en trillingen en mogelijk innovatie geven een voordeel. Het grootste voordeel ligt op het gebied van materiaalgebruik waarin de kosten van de asfaltcentrale verwerkt zijn, en daarna op broeikasgaseffecten en milieueffecten. Dit zijn allemaal directe voordelen van circulariteit. De materiaalvoordelen meer dan compenseren het kleine nadeel op materiekosten (incl. personeel en energie) en op de overige kosten. De overige kosten zijn voor de ART hoger dan voor een conventionele set, doordat het transport van het materieel naar het werk duurder is, er per mobilisatie wat startup materiaal nodig is voor de ART, en de ART door de lagere productievolumes per dag/nacht meer mobilisaties nodig heeft om dezelfde productie te draaien.²⁶ Dankzij het hergebruik op locatie zijn bovendien de externe effecten van transport lager. Deze externe effecten zijn in verhouding veel lager dan de daadwerkelijke kosten van materieel en materiaal.

Een opvallende post waarbij de ART minder goed scoort zijn de accijnsinkomsten voor de overheid. Door het wegvallen van materiaaltransport en transport van afval is er minder diesel

²⁵ In dat geval geldt een aangepaste discontovoet van 1,6%.

²⁶ Mits 2 freemachines worden ingezet conventioneel.

nodig en ontvangt de Staat minder inkomsten. Freesafval van ZOAB levert geen verkoopbrenngst op, maar stortkosten die zijn meegenomen in de materiaalkosten.

Tabel 17: Kosten-batenoverzicht nulalternatief* en ART case RWS (vergelijking productie van één ART)

Jaarbedragen in 2025 en NCW in mln. euro	Jaarbedragen			Netto contante waarden		
	nulalternatief*	ART	verschil	Nulalternatief*	ART	verschil
Inzet in nachten of dagen per jaar	146	166	20			
Inzet (uren per jaar)	1315	1494	179			
Productie, 100% efficiënte planning (uren/jaar)	499	775	275			
Productie uren praktijk (uren per jaar)	422	663	241			
Productie (1000 m ² per jaar)	557	557	0			
Productie (ton per jaar)	61300	61300	0			
Productie (kms per jaar)	139	139	0			
Kosten per jaar (mln. €)	€ 18,52	€ 11,69	-€ 6,82	€ 734,0	€ 463,6	-€ 270,4
Huur materieel incl.	€ 7,12	€ 8,92	€ 1,81	€ 282,09	€ 353,75	€ 71,65
<i>Afschrijving en onderhoud</i>	€ 5,91	€ 5,44	-€ 0,47	€ 234,41	€ 215,65	-€ 18,76
<i>Personeelskosten</i>	€ 1,20	€ 1,76	€ 0,55	€ 47,68	€ 69,66	€ 21,97
<i>Energiekosten</i>	€ 0,00	€ 1,73	€ 1,73	€ 0,00	€ 68,44	€ 68,44
Materiaalkosten (incl. aanvoer en afvoer)	€ 10,18	€ 0,93	-€ 9,25	€ 403,65	€ 37,05	-€ 366,60
Overige kosten	€ 1,22	€ 1,84	€ 0,62	€ 48,24	€ 72,78	€ 24,54
Effecten (mln. €)	-€ 1,10	-€ 0,73	€ 0,37	-€ 63,5	-€ 43,5	€ 19,9
Geluid	-€ 0,01	€ 0,00	€ 0,01	-€ 0,21	-€ 0,01	€ 0,20
Veiligheid	-€ 0,07	€ 0,00	€ 0,07	-€ 2,65	-€ 0,07	€ 2,58
Congestie	-€ 0,04	€ 0,00	€ 0,04	-€ 1,78	-€ 0,05	€ 1,73
Infrastructuurgebruik	-€ 0,08	€ 0,00	€ 0,08	-€ 3,12	-€ 0,07	€ 3,04
Accijnzen	€ 0,18	€ 0,00	-€ 0,18	€ 7,15	€ 0,19	-€ 6,96
Variabele reiskosten	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Klimaat effect (CO ₂)	-€ 0,45	-€ 0,30	€ 0,15	-€ 34,69	-€ 23,03	€ 11,66
Overig milieueffecten	-€ 0,47	-€ 0,25	€ 0,23	-€ 18,82	-€ 9,85	€ 8,97
Reistijdverliezen	-€ 0,17	-€ 0,19	-€ 0,02	-€ 9,38	-€ 10,66	-€ 1,28
Betrouwbaarheid		kleine +	kleine +		kleine +	kleine +
Personeel werkomstandigheden		+	+		+	+
Innovatiepotentieel		(+)	(+)		(+)	(+)
Geluid, trillingen en geuroverlast		+	+		+	+
Opportunitetskosten asfaltcentrale	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Opbrengst afval	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Saldo effecten – kosten (mln. €)	-€ 19,62	-€ 12,43	€ 7,19	-€ 797,5	-€ 507,1	€ 290,3
Kwalitatief		++/+++	++/+++		++/+++	++/+++

* Nulalternatief is gecorrigeerd zodat dezelfde productie als de ART wordt geleverd.

4.2 KOSTEN-BATENOVERZICHT CASE 2: PROVINCIE

Een vergelijkbaar overzicht is opgesteld voor de aannames en het onderhoudsregime van de provincie Gelderland. Het resultaat staat in Tabel 18. Links zijn de berekende jaarbedragen getoond en rechts de berekende netto contante waarden. De totalen zijn groen of rood gemaakt al naar gelang het bedrag een voordeel voor de ART betekent (groen) of een nadeel (rood).

De inzet van de ART bij de provincie zorgt voor een vergelijkingsbasis met een lagere jaarproductie dan in de case voor RWS omdat de ART nu alleen 9 uur per *weekdag* wordt ingezet in plaats van gedurende alle nachten. Dit levert minder uren inzet op maar ook relatief minder productie in tonnen omdat de vervangen deklaag smaller en minder dik is dan bij RWS.

Tabel 18: Kosten-batenoverzicht nulalternatief* en ART case provincie

Jaarbedragen in 2025 en NCW in mln. euro	Jaarbedragen			Netto contante waarden		
	nulalternatief*	ART	verschil	nulalternatief*	ART	verschil
Inzet in nachten of dagen per jaar	104	119	15			
Inzet (uren per jaar)	939	1071	132			
Productie, 100% efficiënte planning (uren/jaar)	357	555	199			
Productie uren praktijk (uren per jaar)	316	497	181			
Productie (1000 m ² per jaar)	339	339	0			
Productie(ton per jaar)	29864	29864	0			
Productie (kms per jaar)	104	104	0			
Kosten per jaar (mln. €)	€ 10,41	€ 7,46	-€ 2,95	€ 412,5	€ 295,6	-€ 116,9
Huur materieel incl.	€ 4,35	€ 6,51	€ 2,16	€ 172,33	€ 257,89	€ 85,56
<i>Afschrijving en onderhoud</i>	€ 4,22	€ 4,82	€ 0,60	€ 167,47	€ 191,26	€ 23,79
<i>Personeelskosten</i>	€ 0,12	€ 0,84	€ 0,72	€ 4,87	€ 33,29	€ 28,42
<i>Energiekosten</i>	€ 0,00	€ 0,84	€ 0,84	€ 0,00	€ 33,34	€ 33,34
Materiaalkosten (incl. aanvoer en afvoer)	€ 5,51	€ 0,06	-€ 5,45	€ 218,31	€ 2,41	-€ 215,90
Overige kosten	€ 0,55	€ 0,89	€ 0,34	€ 21,84	€ 35,27	€ 13,43
Effecten (mln. €)	-€ 9,93	-€ 11,05	-€ 1,11	-€ 526,7	-€ 583,0	-€ 56,3
Geluid	-€ 0,01	-€ 0,01	€ 0,00	-€ 0,34	-€ 0,28	€ 0,07
Veiligheid	-€ 0,84	-€ 0,92	-€ 0,07	-€ 33,34	-€ 36,30	-€ 2,96
Congestie	-€ 0,15	-€ 0,15	€ 0,00	-€ 6,09	-€ 5,95	€ 0,14
Infrastructuurgebruik	-€ 0,42	-€ 0,42	€ 0,00	-€ 16,77	-€ 16,77	€ 0,00
Accijnzen	€ 1,40	€ 1,50	€ 0,10	€ 55,56	€ 59,35	€ 3,79
Variabele reiskosten	-€ 2,86	-€ 3,26	-€ 0,40	-€ 113,27	-€ 129,14	-€ 15,87
Klimaat-effect (CO ₂)	-€ 1,03	-€ 1,01	€ 0,03	-€ 79,94	-€ 77,81	€ 2,13
Overig milieueffecten	-€ 0,59	-€ 0,46	€ 0,13	-€ 23,51	-€ 18,40	€ 5,11
Reistijdverliezen	-€ 5,54	-€ 6,32	-€ 0,78	-€ 313,76	-€ 357,72	-€ 43,97
Betrouwbaarheid		kleine +	kleine +		kleine +	kleine +
Personeel werkomstandigheden		+	+		+	+
Innovatiepotentieel		(+)	(+)		(+)	(+)
Geluid, trillingen en geuroverlast		+	+		+	+
Opportunitetskosten asfaltcentrale	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Opbrengst afval	€ 0,12	€ 0,00	-€ 0,12	€ 4,74	€ 0,00	-€ 4,74
Saldo effecten – kosten (mln. €)	-€ 20,34	-€ 18,50	€ 1,84	-€ 939,2	-€ 878,6	€ 60,6
Kwalitatief		++/+++	++/+++		++/+++	++/+++

* Nulalternatief is gecorrigeerd zodat dezelfde productie als de ART wordt geleverd.

Voor de provincie scoort de ART gunstiger als conventioneel op kosten maar minder goed op nadelige effecten. De kwalitatieve effecten geven een voordeel. De lagere score op de externe effecten komt doordat het omrijdende verkeer een langere afstand aflegt dan als het zou passeren en daardoor ook klimaat- en milieueffecten en externe effecten veroorzaakt. Bij de gemaakte aannames verminderen de hogere nadelige effecten van het omrijdende verkeer bij de ART door

de langere afsluitduur de voordelen ten opzichte van conventioneel als gevolg van het transport van grondstoffen (zie bijlage C).

De grootste voordelen ontstaan net als bij RWS op circulariteit die zich vertaalt in minder materiaalkosten, broeikasgaseffecten en milieueffecten. Daarnaast zijn er meer accijnsinkomsten doordat het omrijden meer brandstof kost.

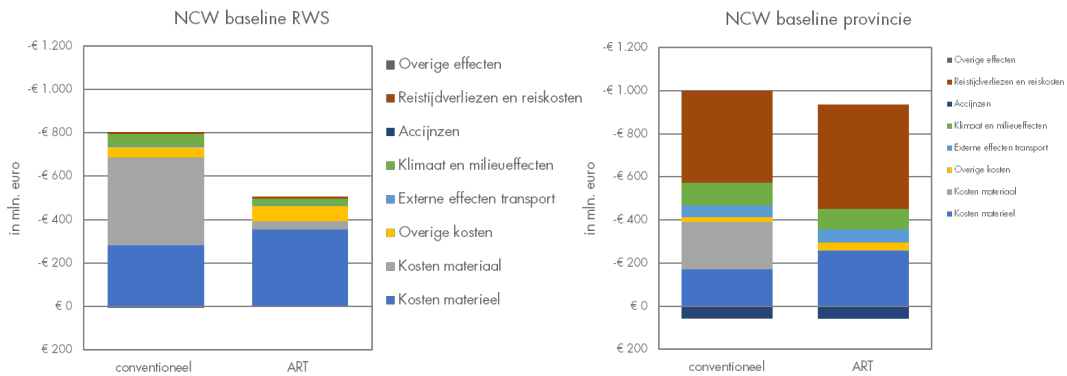
Omdat in de provinciale case sprake is van een permanente afsluiting (ook 's nachts en in weekeinde) gedurende de periode van werkzaamheden in plaats van het met een lagere snelheid passeren zoals in case 1 heeft de ART een substantieel nadeel op reistijdverliezen en ook extra reiskosten. Het verkeer moet gemiddeld langer omrijden dan de tijd die het vraagt om het onderhoud uit te voeren. Het omrijden zorgt wel voor meer accijnsinkomsten (op brandstofgebruik) waardoor dit nadeel enigszins wordt beperkt. In de case RWS is verondersteld dat het verkeer gedurende de nacht met een aangepaste snelheid kan passeren. Dit levert een veel kleiner reistijdnadeel op. Het voordeel voor de ART qua externe effecten als gevolg van het wegvallen van materiaaltransport wordt beperkt doordat het omrijden van het reguliere verkeer ook externe effecten veroorzaakt. Op het gebied van veiligheid slaat hierdoor het voordeel zelfs om in een klein nadeel. Desalniettemin is ook voor de provincie de ART bij de gemaakte aannames een positieve maatschappelijke keuze.

In tegenstelling tot de RWS-case levert de verkoop van SMA-freesafval in het provinciale nulalternatief een klein nadeel voor de ART op, aangezien er geen afval is om te verkopen.

4.3 RESULTATEN

In het kosten-batenoverzicht is te zien dat de ART bij de gemaakte baseline aannames gunstiger scoort dan de conventionele werkwijze. Dit komt vooral door de lagere kosten voor materiaal en in veel minder mate de besparing op de externe broeikasgaseffecten en de (overige) milieueffecten. Het gewicht van deze onderdelen is goed zichtbaar in Figuur 10. De ART ondervindt een kostennadeel ten opzichte van het nulalternatief op het gebied van de huur voor het materieel en overige kosten en in geval van omrijden (case provincie) reistijdverliezen.

Qua effecten heeft de ART in de RWS case voor de meeste posten een voordeel, maar niet qua reistijdverliezen en accijnzen. In de case voor de provincie waarbij moet worden omgereden, is niet alleen sprake van substantiële reistijdverliezen en nadelen qua accijnsinkomsten. Het omrijdende verkeer zorgt ook voor extra externe effecten die nadelig kunnen uitpakken, zie Bijlage C. De totale externe effecten vormen in de provinciale case een substantiële post qua omvang vergelijkbaar met de kosten (ongeveer 10 miljoen per jaar in 2025). In de case RWS zijn de externe effecten rond de 5 procent van de kosten in 2025.



Figuur 10: Vergelijking netto contante waarden; links case 1, rechts case 2

4.4 SCENARIO'S

Per beheerder is een beperkt aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. In totaal hebben we twee extra scenario's per case uitgewerkt. Per scenario laten we de levensduur van het asfalt dat door de ART is aangelegd variëren en we doen andere aannames over de prijsstijgingen van materialen en nemen onzekere effecten wel of niet mee, zie Tabel 19.

Tabel 19: Verschillen scenario's

Baseline	Scenario 80% levensduur	Scenario circulaire aannames
Levensduur asfalt ART en conventioneel gelijk	Levensduur asfalt ART is 80% van levensduur conventioneel	Levensduur asfalt ART en conventioneel gelijk
Kosten materiaal volgen inflatie	Kosten materiaal volgen inflatie	Kosten materiaal stijgen per jaar 1% bovenop inflatie
Opbrengsten freesafval conventioneel volgen inflatie	Opbrengsten freesafval conventioneel volgen inflatie	Opbrengsten freesafval nemen jaarlijks 1% af t.o.v. inflatie
Geen aanvullende opportuniteitsbaten	Geen aanvullende opportuniteitsbaten	Wel aanvullende opportuniteitsbaten

Vergelijking cases baselines

Qua kosten verschillen de resultaten tussen de RWS-case en de provinciale case. De kosten liggen in de provinciale case lager omdat er per jaar minder ton asfalt wordt vervangen. In beide cases liggen de totale kosten voor de ART lager dan voor de conventionele werkwijze vanwege de grote besparing op de materiaalkosten.

Qua effecten zijn meer verschillen. Zolang er niet omgereden moet worden bij een afsluiting, en het verkeer met een iets langzamere snelheid kan passeren zoals in de RWS-case heeft de ART minder grote externe effecten.²⁷ De ART heeft vooral een voordeel voor wat betreft de CO₂-uitstoot en de overige milieubelasting (MKI). Een maatschappelijk nadeel is het verlies aan

²⁷ Als wordt verondersteld dat er bij ART wel met een aangepaste snelheid kan worden gepasseerd en bij conventionele werkwijze niet dan wordt het voordeel voor ART groter.

accijnsinkomsten doordat er minder materiaal hoeft te worden getransporteerd. In de brandstofprijzen zit een deel accijns en dat vervalt.

Voor de provinciale case is het totaal van alle (negatieve) effecten van de ART groter dan voor de conventionele uitvoer, zie Tabel 20. Dit komt vooral door de extra reistijdverliezen. De afsluitingen duren langer bij de ART en omdat de weg wordt afgesloten zolang het onderhoud nog niet is afgerond, moet het verkeer langer omrijden. Als het werk langer dan een dag aan doorlooptijd kost (en dat doet het meestal gezien de lengte van gemiddelde onderhoudsvakken), dan zal het verkeer ook 's nachts en eventueel zelfs in het weekeinde om moeten rijden, terwijl er dan geen onderhoud wordt uitgevoerd. Wel wordt er bespaard op de kosten van wegafsluiting. De wegafzettingen kunnen blijven staan en hoeven niet elke avond zoals bij RWS geplaatst te worden en 's ochtends verwijderd.

Scenario kortere levensduur

Wanneer de levensduur van het asfalt gelegd door de ART lager is dan van asfalt dat op conventionele wijze vervangen is dan wordt het positieve saldo van de ART kleiner en slaat in case 2 om in een nadeel, zie Tabel 20. De ART heeft een kleiner voordeel qua kosten en maatschappelijke effecten in case 1, en een kleiner voordeel qua kosten en een groter nadeel op maatschappelijke effecten in case 2. Dit komt omdat het asfalt eerder opnieuw vervangen moet worden. Over de totale evaluatiehorizon zijn er dan meer vervangingsmomenten nodig om een gelijke hoeveelheid asfalt te onderhouden en dus meer kosten en negatieve effecten.

In de RWS-praktijk wordt bij LVO vaak al na zeven jaar het asfalt vervangen. Dan heeft de kortere levensduur geen effect op de vergelijking, omdat de kortere levensduur (8 jaar) pas na het verwachte vervangingsmoment valt. Voor de resultaten en vergelijking kan dan naar het baseline-scenario worden gekeken.

Voor de case van de provincie is de referentielevensduur 15 jaar, maar wordt het asfalt in de praktijk ook vaak eerder vervangen. Hierdoor is het nadeel in scenario 80% (12 jaar) in de praktijk kleiner (bijvoorbeeld 4% in plaats van 20% als na 12,5 jaar wordt vervangen). Bij een 4% kortere levensduur van het ART-asfalt valt het kosten-batensaldo voor case 2 positief uit.

Circulaire scenario

Voor het circulaire scenario komen de kosten van asfaltvervanging met de ART nog lager te liggen dan op conventionele wijze, zie Tabel 20. Dit komt omdat de kosten van materiaal sterk stijgen bij de conventionele werkwijze. De ART heeft weinig last van een stijging van de materiaalprijzen.

De effecten vallen in het circulaire scenario ook gunstiger uit. De toename van de milieueffecten vergroot het voordeel in de baseline van de ART ten opzichte van de conventionele werkwijze. Het kosten-batensaldo komt in beide cases hoger uit dan in de baseline. De impact van snellere toename van materiaal- en milieukosten, en afname van de opbrengsten van freesmateriaal vergroten het voordeel van de ART uitgedrukt in netto contante waarde fors. Juist de voordelen van de ART ten opzichte van het nulalternatief worden namelijk groter. De onzekere extra opportuniteitsbaten voor de ART zijn ook als ze meegerekend worden, beperkt en niet doorslaggevend.

Tabel 20: Kosten-batenoverzicht verschil NCW tussen ART en conventioneel

NCW in mln. euro (verschil ART - conventioneel)	RWS-case: nacht			provincie: onderhoud wekdagen		
	baseline	80% le- vensduur	circulaire aannames	baseline	80% le- vensduur	circulaire aannames
Jaar						
Inzet in nachten of dagen per jaar	166	166	166	119	119	119
Inzet (uren per jaar)	1494	1494	1494	1071	1071	1071
Productie, 100% efficiënte planning (uren/jaar)	775	775	775	555	555	555
Productie uren praktijk (uren per jaar)	663	663	663	497	497	497
Productie (1000 m ² per jaar)	557	557	557	339	339	339
Productie(ton per jaar)	61300	61300	61300	29864	29864	29864
Productie (kms per jaar)	139	139	139	104	104	104
NCW verschil kosten (mln. €)	-€ 270,4	-€ 123,6	-€ 427,4	-€ 116,9	-€ 34,4	-€ 209,4
Huur materieel incl.	€ 71,65	€ 128,07	€ 71,65	€ 85,56	€ 120,03	€ 85,56
<i>Afschrijving en onderhoud</i>	-€ 18,76	€ 28,12	-€ 18,76	€ 23,79	€ 57,29	€ 23,79
<i>Personeelskosten</i>	€ 21,97	€ 31,51	€ 21,97	€ 28,42	€ 29,40	€ 28,42
<i>Energiekosten</i>	€ 68,44	€ 68,44	€ 68,44	€ 33,34	€ 33,34	€ 33,34
Materiaalkosten (incl. aanvoer en afvoer)	-€ 366,60	-€ 285,87	-€ 523,59	-€ 215,90	-€ 172,24	-€ 308,36
Overige kosten	€ 24,54	€ 34,19	€ 24,54	€ 13,43	€ 17,80	€ 13,43
NCW verschil effecten (mln. €)	€ 19,9	€ 7,2	€ 28,0	-€ 56,3	-€ 161,6	-€ 50,8
Geluid	€ 0,20	€ 0,16	€ 0,20	€ 0,07	€ 0,00	€ 0,07
Veiligheid	€ 2,58	€ 2,05	€ 2,58	-€ 2,96	-€ 9,63	-€ 2,96
Congestie	€ 1,73	€ 1,38	€ 1,73	€ 0,14	-€ 1,08	€ 0,14
Infrastructuurgebruik	€ 3,04	€ 2,42	€ 3,04	€ 0,01	-€ 3,35	€ 0,01
Accijnzen	-€ 6,96	-€ 5,53	-€ 6,96	€ 3,79	€ 14,90	€ 3,79
Variabele reiskosten	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	-€ 15,87	-€ 38,53	-€ 15,87
Klimaatteffect (CO ₂)	€ 11,66	€ 4,72	€ 11,66	€ 2,13	-€ 13,86	€ 2,13
Overig milieueffecten	€ 8,97	€ 5,20	€ 12,80	€ 5,11	€ 0,41	€ 7,30
Reistijdverliezen	-€ 1,28	-€ 3,15	-€ 1,28	-€ 43,97	-€ 106,72	-€ 43,97
Betrouwbaarheid	kleine +	kleine +	kleine +	kleine +	kleine +	kleine +
Personeel werkomstandigheden	+	+	+	+	+	+
Innovatiepotentieel	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Geluid, trillingen en geuroverlast	+	+	+	+	+	+
Opportunitetskosten asfaltcentrale	€ 0,00	€ 0,00	€ 4,23	€ 0,00	€ 0,00	€ 2,06
Opbrengst afval	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	-€ 4,74	-€ 3,79	-€ 3,53
Saldo NCW verschil (mln. €)	€ 290,3	€ 130,9	€ 455,4	€ 60,6	-€ 127,2	€ 158,5
Kwalitatief	++/+++	++/+++	++/+++	++/+++	++/+++	++/+++

Voorbeelden van gunstige en ongunstigere aannames voor ART

Het resultaat voor de ART kan ook anders uitvallen dan in deze scenario's en cases. De uitkomst zal (nog) gunstiger zijn in de volgende gevallen:

1. Als er meer en duurder materiaal per strekkende meter vervangen wordt; nu is de breedte van de strook die vervangen wordt 4 meter in case 1 en 3,25 meter in case 2. De dikte van het asfalt is respectievelijk 5,5 centimeter en 3,75 centimeter. Als de deklaag breder en dikker is dan wordt het voordeel van de besparing op materiaal groter. Dit geldt ook als er duurder asfalt wordt vervangen, zoals het rode asfalt voor fietspaden.
2. Als de productiesnelheid van de ART toeneemt, bijvoorbeeld van 3,5 meter per minuut naar 4 meter per minuut.

3. Als het verkeer wel mag passeren bij gebruik van de ART en niet bij de conventionele werkwijze (in case 1) of als de omrijdtijden en/of verkeersintensiteit flink afnemen in case 2 voor provincie Gelderland of als de gemiddelde *value of time* lager wordt (of geen stijging per jaar, of minder vracht).
4. Als het effect van accijnzen niet meegenomen wordt. In dat geval wordt het voordeel van de ART op de maatschappelijke effecten groter. Hoewel de accijnzen onderdeel horen te zijn van een MKBA, zouden ze dat bij de beoordeling van de duurzaamheid en circulariteit niet moeten zijn.

De uitkomst zal minder gunstig zijn in de volgende gevallen:

1. Als er meer uren per dag/nacht wordt gewerkt (meer dan 9 uur). Dit komt omdat de conventionele werkwijze door de hogere asfalteursnelheid een steeds groter voordeel heeft, nadat de opstartverliezen door het frezen achter de rug zijn.
2. Als er in het conventionele proces meer recycled wordt en minder primair materiaal nodig is. Het verschil met de ART in de MKI-score en kosten van materiaal wordt dan kleiner. Doordat bij het frezen de gebruikte steenslag degradeert (kleiner wordt), is het maximale theoretische recyclingpercentage voor de toplaag minder dan 100% en op dit moment staan RWS en de provincie gebruik van recycleert voor de toplaag niet toe. Een voorlopige analyse naar de impact hiervan is uitgevoerd met 30% recycling voor case 1: RWS, waarbij de MKI-waarden zijn aangepast naar die voor ZOAB 30%PR, de materiaalkosten zijn aangepast naar 65 euro per ton (excl. btw, transport en staartkosten, gemiddelde kosten volgens kostenpool RWS) en de externe kosten van 70% primair materiaal in het nulalternatief zijn gebruikt in plaats van 100%. Dit levert een reductie op van het voordeel voor de ART qua kosten en effecten, maar op beide punten blijft de ART gunstiger dan conventioneel.

4.5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.5.1 Conclusies

De resultaten moeten met de nodige voorzichtigheid gebruikt worden voor het trekken van conclusies. Er zijn immers veel onzekere aannames en versimpelingen nodig geweest om deze analyse te kunnen doen. Bij andere uitgangspunten en aannames zouden de conclusies kunnen verschillen. Op basis van de uitgevoerde analyse en gemaakte aannames concluderen we het volgende:

- De case voor RWS en de case voor de provincie laten zien dat er grote verschillen in de kosten en effecten zijn afhankelijk van het onderhoudsregime (wanneer, wat voor soort onderhoud, lengte onderhoudsvak etc.).
- In de onderzochte cases is de ART maatschappelijk rendabel behalve in het 80% scenario voor case 2 provincie Gelderland. Deze situatie zal echter nauwelijks optreden omdat het wegdek meestal eerder vervangen wordt dan bij einde levensduur.
- De iets hogere materiaalkosten en overige kosten voor de ART worden in alle scenario's meer dan gecompenseerd door de besparing op materiaal. Dit betekent dat de ART bij voldoende inzet bedrijfsmatig een positief saldo heeft (een positieve business case).
- Het maatschappelijke saldo ligt hoger in case 1 RWS doordat ook de ART gunstig scoort op de maatschappelijke effecten. In de provinciale case scoort de ART ongunstiger op de maatschappelijke effecten. Dit is het gevolg van de aannames met betrekking tot

omrijden (duur, intensiteit, omrijdafstand en wijze van afsluiten) en de iets lagere productiesnelheid van de ART. De maatschappelijke effecten zijn wel gunstig als bijvoorbeeld na de werkzaamheden het wegvak weer vrijgegeven wordt en de extra omrijdtijd 5 minuten in plaats van 10 minuten bedraagt.

- Grote invloed op de uitkomst hebben de volgende factoren:
 1. Het *onderhoudsregime* ('s nachts in kortdurende perioden of langere tijd achter elkaar onderhoud uitvoeren, lange onderhoudsvakken of kleiner stukken, breedte en dikte van de deklaag die wordt vervangen, onderhoud rechterrijstrook met beperkte levensduur tot groot onderhoud of baanbreed). Gunstig voor de ART is het gebruik van meer en duurder asfalt per strekkende meter en een hogere productiesnelheid van de ART. Ongunstig voor de ART is wanneer er meer uren per dag/nacht achter elkaar wordt gewerkt (meer dan de nu veronderstelde 9 uur), omdat de benodigde tijd voor de werkzaamheden meer uit elkaar gaat lopen;
 2. *Verkeersmanagement*: afsluiting gedurende project, gedurende werkzaamheden of passeren van werkzaamheden. Het mogelijk door verkeer kunnen passeren van de ART en niet bij de conventionele werkwijze (in case 1) is gunstig, of kortere omrijdtijden en/of lagere verkeersintensiteit in case 2, en een lagere *value of time*;
 3. *Materiaal*: een positieve uitkomst op kwaliteit van het aangelegde asfalt en daarmee de levensduur, en stijging van materiaalkosten en milieukosten zijn gunstig voor de ART - een kleine toename boven inflatie laat het voordeel snel oplopen. Omgekeerd wordt het verschil weer kleiner, als er in het conventionele proces meer wordt gerecycled.
 4. *Materieel*: de jaarlijkse kapitaalslasten en beheer & onderhoud voor de ART die basis zijn voor huur zouden nog kunnen dalen, mede gezien de te realiseren technische ontwikkeling van de ART. De ART is nog niet uitontwikkeld terwijl het conventionele proces al geoptimaliseerd is (hoewel ook daar nog verder kan worden verduurzaamd). Ook een hogere inzet en het niet meewegen van accijnsinkomsten voor de Staat zijn gunstig voor de ART.

4.5.2 Aanbevelingen

Om de nauwkeurigheid van de resultaten te verbeteren, hebben we vier aanbevelingen.

Kwaliteit van aannames/input verbeteren

Voor verschillende cijfers in deze MKBA ontbreken uitgebreide ervaringscijfers en is gewerkt met soms grove aannames. Geadviseerd wordt de gebruikte aannames te valideren met informatie die beschikbaar komt uit de pilots. De pilots kunnen helpen informatie over de asfalteesnelheid, (de)mobilisatietijden en kwaliteit van het asfalt (in relatie tot de levensduur) te onderbouwen.

Ook de daadwerkelijk huurlasten, inzet en het energiegebruik van de ART zijn nog met grote onzekerheidsbandbreedten omgeven. Qua omvang van de kosten kunnen ze de conclusies van de kosten-batenanalyse veranderen.

Meer varianten onderzoeken

Elk onderhoudsproject en situatie is anders. We hebben in de MKBA een keuze gemaakt voor een representatieve situatie per case die in de bestaande onderhoudspraktijk voorkomt. Er is geen optimalisatie uitgevoerd van het onderhoudsregime, zodat het optimaal is voor de ART. Evenmin is de casus geoptimaliseerd voor de conventionele werkwijze. Uit de OBR van Rijkswaterstaat

concluderen we dat in de huidige LVO-praktijk het tijdverlies als gevolg van het frezen beperkt is doordat steeds kleine stukjes worden gefreesd (36 minuten frezen voordat wordt geasfalteerd en dan een volgend niet aaneengesloten stukje). Het freeswerk van het tweede stuk vindt plaats tijdens het verplaatsen van de asfaltermachine naar het tweede stuk rijstrook (45 minuten). Er is dan maar 1x sprake van tijdverlies en niet van de 3 uur per nacht die nu in overleg met de begeleidingscommissie is verondersteld. Hierdoor wordt het verschil in productie per nacht tussen de conventionele werkwijzen en de ART groter. Dit zou het voordeel voor ART kunnen beperken of zelfs doen omslaan. Het verdient daarom aanbeveling meer cases te onderzoeken.

Veiligheid en verkeersmanagement

In het onderzoek kwam in één van de gesprekken naar voren dat het met een aangepaste snelheid passeren van wegwerkzaamheden in verband met de veiligheid van wegwerkers lang niet altijd toegestaan is. Er moet voldoende ruimte zijn tussen de werkzaamheden en het langsrijdende verkeer. Dit lijkt relevanter voor het nulalternatief waar medewerkers daadwerkelijk naast de machines lopen om te controleren of de werkzaamheden goed worden uitgevoerd. Bij de ART is dit langslopen in principe niet nodig. Dit zou het verschil tussen het nulalternatief en de ART kunnen vergroten, nl. als in de RWS-case in het nulalternatief omgereden moet worden en bij de ART wel gepasseerd kan worden. Binnen de scope van dit onderzoek is dit niet verder onderzocht, maar gezien de impact van de reistijdverliezen kan dit een belangrijk aspect zijn dat nader onderzoek verdient.

Verduurzamingsscenario's alternatieven

In deze MKBA was het niet mogelijk om alle mogelijke ontwikkelingen op het gebied van verduurzaming en verbetering van het nulalternatief en van het beleidsalternatief te onderzoeken. Naar verwachting zal de klimaat- en milieu-impact van beide alternatieven verbeteren. Omdat een verschil in verbeterpotentieel invloed kan hebben op de uitkomsten en conclusies adviseren we deze scenario's verder te onderzoeken.

AFKORTINGEN

ART	Asphalt Recycling Train
B&O	Beheer en Onderhoud
CO ₂	Kooldioxide
DAB	Dicht asfaltbeton
DGD	Dunne geluidsreducerende deklaag
DZOAB	Duurzaam Zeer Open Asfalt Beton
IenW	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
KCI	Klimaatneutrale en Circulaire Infraprojecten
LVO	Levensduur verlengend onderhoud
MKBA	Maatschappelijke kosten-batenanalyse
MKI	Milieukostenindicator
NO _x	Stikstofoxiden
OBR	Objectbeheerregime
PAK's	Polycyclische aromatische koolwaterstoffen
PCR	Product Category Rules
RWS	Rijkswaterstaat
SMA	Steenmastiekasfalt
TtW	Tank-to-Wheel
VoT	Value of Time
Vtkm	Voertuigkilometer
VVU	Voertuigverliesuren
WLO	Welvaart- en Leefomgeving
WtT	Well-to-Tank
ZOAB	Zeer Open Asfalt Beton

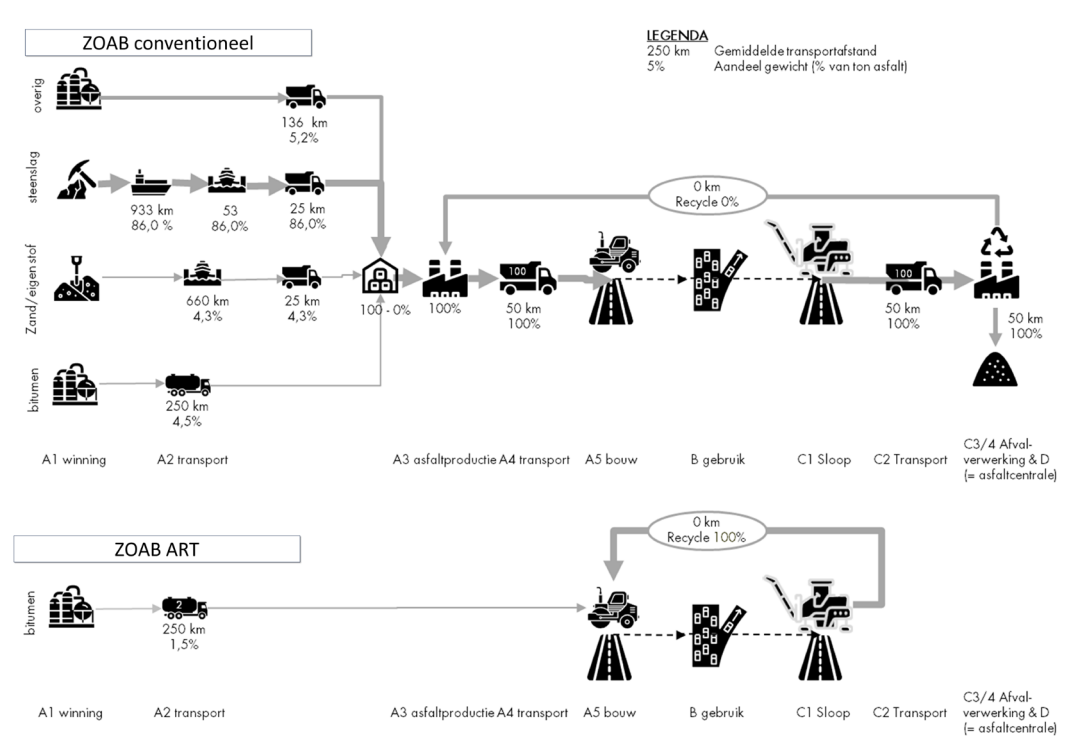
LITERATUURLIJST

- * Blois, R. de, TUDelft, *Op weg naar een klimaatneutrale infrasector in Nederland*, mei 2018.
- * CE Delft & TNO, *Kostencurves asfalt 2019, Update*, februari 2020.
- * CE Delft, *De prijs van een reis*, 2022.
- * Chung, E. en F.M. Hooft, P.J.A. Joon, B. van Leeuwen, M. van Poelgeest, *Developing a decision support tool to assess the feasibility of the Asphalt Recycling Train in the Netherlands*, TU Delft & Dura Vermeer, 7 april 2020
- * CPB, CPB Notitie. *De btw in kosten-batenanalyses*, 2011.
- * CPB/PBL, *Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyse*, 2013.
- * Dura Vermeer, *memo Circulaire weg A6 Maatregel 02. Asphalt Recycling Train*, 2024
- * Groot, P. en E. Kragt, S. van Meurs, *De markt voor freesasfalt tot 2030*, Economisch Instituut voor de Bouw (EIB), maart 2022
- * Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, *Kennisbasis Goederenvervoer*, februari 2023.
- * Kooij, J. van der, Voskuilen, J., et al., *Hergebruik ZOAB : dat gaat ZO!! : stand der techniek 1998 : hergebruik Zeer Open Asfalt Beton*, 1998.
- * Leffers, J., A. Moustafa, C. Vorstman, *Circular Infrastructure: the road towards a sustainable future*, januari 2022, van <https://circulairebouweconomie.nl/wp-content/uploads/2022/01/NL-Branding-Circular-Infrastructure.pdf>
- * Nieuwenhuijse, I. en G. Bergsma, *Mogelijkheden CO₂ reductie rijksinfraprojecten tot en met 2030*. CE Delft , oktober 2022, van https://www.klimaatweb.nl/wp-content/uploads/po_assets/777187.pdf
- * Offereins, R. en G. Meijerink, *Inzetbaarheid van de Asphalt Recycling Train in Nederland: De financiële haalbaarheid en praktische toepasbaarheid van de Asphalt Recycling Train in Nederland*, Hogeschool Windesheim & Dura Vermeer, 28 mei 2020.
- * Rebel, *Relatie productietijd en duurzaamheid wegverharding, eindrapport*, april 2024.
- * Rijkswaterstaat, *Bebeer- en onderhoudsstrategie Objectbeheerregime Verhardingen ("OBR")*, 1 maart 2023.
- * Rijkswaterstaat, *Protocol berekenen en aantonen MKI-waarde, 2.7.A Groot (variabel) onderhoud van wegen*, juli 2021.
- * Rijkswaterstaat, *Roadmap Transitiepad Wegverharding*, Rijkswaterstaat, 16 mei 2022, van <https://www.duurzameinfra.nl/Portals/0/adam/Content/M74VTn6OH0jWf0f6bZHMQ/Text/Roadmap%20Wegverharding.pdf>
- * Rijkswaterstaat, *Toelichting bij TRL proefvak tabel wegdek innovaties*, januari 2021.
- * Rijkswaterstaat, *Uitgangspuntenboek Asfalt, Documentatiebladen asfaltnormen 2023 vs 1.3*, september 2023, vertrouwelijk
- * Rijkswaterstaat, *Verdiepende handreiking, Circulaire Economie voor MIRT-projecten* (juli 2019)
- * Rijkswaterstaat, *Waarderingskennallen verkeersveiligheid*, 22 juni 2020.

- * Rijkswaterstaat, *Werkwijzer MKBA bij MIRT Verkenningen*, juni 2018.
- * Tieleman, Mark, *De invloed van een succesvolle ART op de asfaltmarkt*, Factstory 2022.
- * TNO, Ecochain, *Product Category Rules voor bitumineuze materialen in verkeersdragers en waterwerken in Nederland ("PCR Asfalt")*, versie 2.0
- * Werkgroep Discontovoet. *Rapport Werkgroep discontovoet 2020*, 2020.

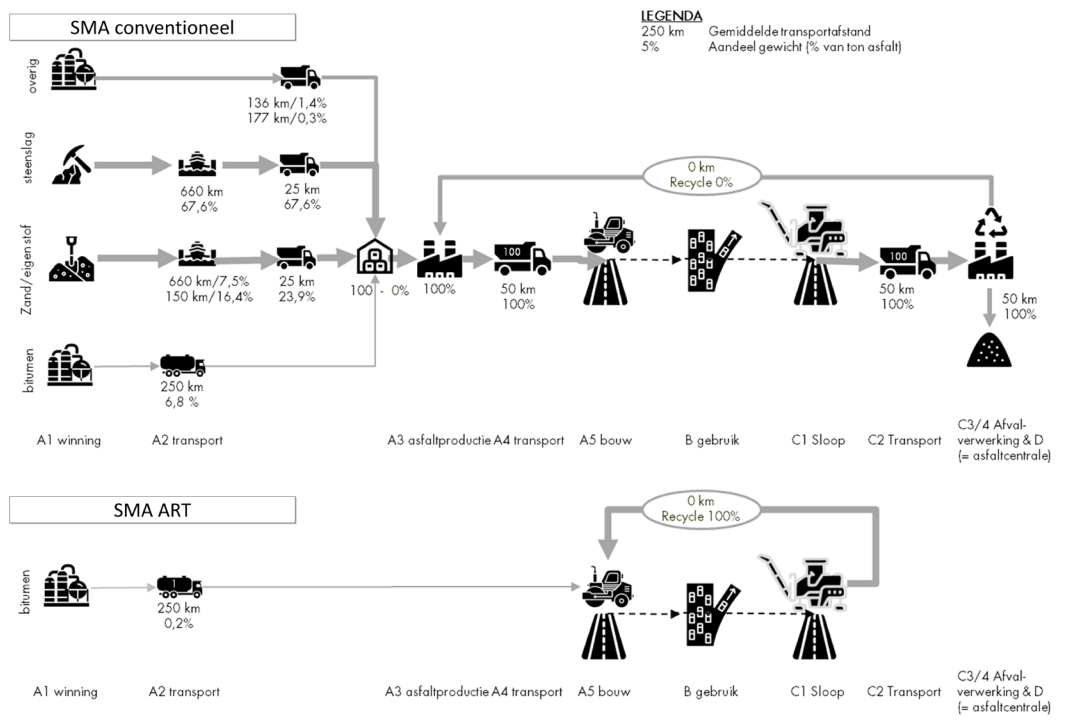
BIJLAGE A: VERSCHIL IN MATERIAALTRANSPORT

Bij inzet van de ART is er veel minder primair materiaal, dus minder aanvoer, afvoer en minder transport nodig dan in het conventionele proces, doordat het losgewoelde asfalt direct gebruikt wordt voor de aanleg van een nieuwe deklaag. Ook op locatie van de vervanging van het asfalt betekent dit minder machines en personeel en minder overlast door de aanlevering en afvoer van materiaal en freesafval.



Figuur 11: Ketens case RWS (ZOAB)

Tussen de verschillende asfaltmengsels zijn verschillen in de impact door de andere samenstelling. In deze bijlage tonen we de gebruikte aannames voor de hoeveelheden grondstoffen en materialen en de transportafstanden en modaliteiten. Figuur 11 toont de ketens in geval van ZOAB en Figuur 12 die voor SMA.



Figuur 12: Ketens case provincie (SMA)

De veronderstelde kilometers en het aandeel per ton asfalt dat per keten moet worden vervoerd zoals getoond in Figuur 11 en Figuur 12 is bepaald op basis van de voorschriften uit de “PCR Asfalt”, vs. 2.0, zie Tabel 21.

Tabel 21: Aannames berekening tonkilometers productie asfalt; Percentage van 1% betekent dat 1% van 1 ton = 10 kg per ton asfalt getransporteerd moet worden

	ZOAB regulier		SMA 8-11		Transportafstand		
	conventioneel	ART	conventioneel	ART	Kms per vrachtauto	Kms per binnenvaartschip	Kms zeevaart
Afdruipremmende stof	-	-	0,3%	-	177 km*	-	-
Bitumen 70/100	4,5%	1,5%	6,8%	0,2%	250 km	-	-
Brekerzand	4,3%	-	7,5%	-	25 km	660 km*	-
Eigen stof	-	-	9,1%	-	25 km	150 km	-
Natuurlijk zand	-	-	7,3%	-	25 km	150 km	-
Steenslag 2	-	-	67,6%	-	25 km	660 km*	-
Steenslag 3	86,0%	-	-	-	25 km	53 km	933 km*
Vulstof middelsoort	5,2%	-	-	-	136 km	-	-
Zwakke vulstof	-	-	1,4%	-	136 km	-	-

Bron: LCA-achtergrondrapport voor Nederlandse branchereferentiemengsels 2022.

BIJLAGE B: GEBRUIKTE KENTALLEN

Tabel 22: Aannames ontwikkeling kosten en effecten over tijd ten opzichte van inflatie

Kentallen scenario's	
prijsstijging CO ₂ alle scenario's	3,5% per jaar
prijsstijging materiaal std en 80% levensduur	0,0% per jaar
prijsstijging materiaal circulair	1,0% per jaar
prijsstijging milieukosten std en 80% levensduur	0,0% per jaar
prijsstijging milieukosten circulair	1,0% per jaar
prijzdaling opbrengst freesafval std en 80% levensduur	0,0% per jaar
prijzdaling opbrengst freesafval circulair	1,0% per jaar
prijsstijging VoT alle scenario's	1,0% per jaar

Tabel 23: Kentallen voor transport materiaal/asfalt (per tonkm) [minteken = kosten]

	Effect vracht- auto per 1000 tonkm	Effect bin- nenvaart per 1000 tonkm	Effect zee- vaart per 1000 tonkm	Bron/toelichting
Verkeersveiligheid	€ -7,45	€ -0,41	€ -0,012	Bron CE Delft 2022; verkeersveiligheid aanname 50% snelweg, 50% buitenweg.
Hinder congestie	€ -5,20	€ 0,00	€ 0,00	Bron KIM 2023 en CE Delft 2022
Gebruik infrastructuur	€ -7,90	€ -1,20	€ -0,10	Bron CE Delft 2022
Geluid / trillingen	€ -0,60	€ 0	€ 0	Bron KIM 2023
Accijnzen	€ 20,89	€ 0	€ 0	Afschatting op basis van accijnschijfers Ecorys vtkm vracht en gemiddelde belading vracht

Tabel 24: Kentallen voor marginale externe kosten omrijdkilometers bij afsluiting (per 1000 vtkm)

Kentallen	Gewogen kental voor omrijden per 1000 vtkm	Bron/toelichting
Congestie gemiddeld, 15% vracht	€ 6,81	Berekend
Personenauto op snelweg	1,2 x € 3,64	CE Delft '22,
Vrachtauto op snelweg	€ 20,7	CE Delft '22
Geluid landelijk gemiddeld (case provincie); 15% vracht	€ 0,32	Berekend
Geluid overdag personenauto landelijk	1,2 x € 0,19	CE Delft '22
Geluid overdag vrachtauto landelijk	€ 0,81	CE Delft '22
Geluid landelijk gemiddeld (case RWS); 15% vracht	€ 0,33	Berekend
Geluid 's nachts personenauto landelijk	1,2 x € 0,094	CE Delft '22
Geluid 's nachts vrachtauto landelijk	€ 1,55	CE Delft '22
Gebruik infrastructuur); 15% vracht	€ 19,21	Berekend
Personenauto	1,2 x € 2,2	CE Delft '22
Vrachtauto	€ 113	CE Delft '22
Verkeersveiligheid buitenweg (case provincie), 15% vracht	€ 41,59	Berekend
Personenauto buitenweg	1,2 x € 19	CE Delft '22
Vrachtauto buitenweg	€ 148	CE Delft '22
Verkeersveiligheid snelweg (case RWS), 15% vracht	€ 10,35	Berekend
Personenauto snelweg	1,2 x € 6,2	CE Delft '22
Vrachtauto snelweg	€ 26,9	CE Delft '22
Accijnzen gemiddeld bij 15% vracht	€ 68	Berekend
Accijnzen personenauto	€ 50	Ecorys
Accijnzen vracht	€ 170	Ecorys
Reiskosten minus accijns gemiddeld bij 15% vracht	€ 148	berekend
Reiskosten minus accijns personenauto	€ 100	Ecorys
Reiskosten minus accijns vrachtauto/bestel	€ 420	Ecorys
CO ₂ -emissie TtW, 15% vracht	€ 24,56	Berekend
Personenauto hoog scenario midden	1,2 x € 9	CE Delft '22
Vrachtauto snelweg	€ 103	KIM '23
Luchtvervuilende emissies, TtW, 15% vracht	€ 17,40	Berekend
Personenauto snelweg	1,2 x € 3,9	CE Delft '22
Vrachtauto snelweg	€ 90	KIM '23
CO ₂ en luchtmissies energieproductie WtT (meegeteld bij CO ₂ -effect in MKBA), 15% vracht	€ 15,52	Berekend
Personenauto snelweg	1,2 x € 8,4	CE Delft '22
Vrachtauto snelweg	€ 46	KIM '23

Effect personenauto's bij 1,2 reizigers per voertuig

Effect vrachtverkeer is uitgedrukt in vtkm i.p.v. tonkm o.b.v. gemiddelde belading

BIJLAGE C: VERDELING EFFECTEN MATERIAALTRANSPORT EN OMRIJDEN CASE 2

Tabel 25: Verdeling externe effecten materiaaltransport (aanvoer/afvoer) en omrijdkilometers door afsluiting per jaar

Cijfers in 2025 case 2	ART materiaal en productie		Conventioneel materiaal en productie	
	omrijden	omrijden	omrijden	omrijden
Geluid	€ -9	€ -6.952	€ -2.550	€ -6.098
Veiligheid	€ -111	€ -915.519	€ -38.033	€ -802.997
Congestie	€ -78	€ -149.960	€ -22.100	€ -131.529
Infra	€ -118	€ -422.816	€ -52.219	€ -370.849
Accijnzen	€ 312	€ 1.496.764	€ 88.782	€ 1.312.804
Variabele reiskosten	€ -	€ -3.257.663	€ -	€ -2.857.280
Klimaat effecten (incl. winning en productie)	€ -124.730	€ -882.284	€ -260.730	€ -773.846
Overig milieu (incl. winning en productie)	€ -81.201	€ -383.075	€ -257.145	€ -335.993
Reistijdverliezen	€ -	€ -6.318.295	€ -	€ -5.541.744
Totaal	€ -205.934	€ -10.839.800	€ -543.995	€ -9.507.533