

Op weg naar een klimaatneutrale infrasector in Nederland

Romée de Blois (MSc)
Dr. Gijsbert Korevaar (PhD, MSc)
Prof. dr. Kornelis Blok (PhD, MSc)

Delft, 30 mei 2018 (versie 1.1)



 **TU**Delft


Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden & Ondernemen

Management samenvatting

Binnen de infrasector is energie- en materiaalgebruik en daarmee het totaal van CO₂-emissies een belangrijke duurzaamheidsindicator. Daarnaast heeft de sector een belangrijke rol in het verduurzamen van andere sectoren zoals mobiliteit en de energievoorziening. SKAO en de TU Delft werken sinds 2017 samen met partijen uit de Green Deal Duurzaam GWW (GD DGWW 2.0) om meer inzicht te krijgen in de transitie naar een klimaatneutrale infrastructuur. Er zal ingezet moeten worden op innovaties en maatregelen die de transitie naar klimaatneutraliteit versnellen, maar het is momenteel onduidelijk welke dit zijn. Daarnaast is het lastig om opdrachtgevers en opdrachtnemers te laten samenwerken in de keten om deze innovaties te stimuleren.

SKAO en TU Delft voeren het project 'op weg naar een klimaatneutrale infra' uit in het kader van een MVI-energie project voor het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Het projectdoel is het stimuleren van innovatie en ketensamenwerking om een klimaatneutrale infra te realiseren door te onderzoeken welke scenario's en transitiepaden realistisch zijn, hier draagvlak voor te creëren binnen de sector en de uitkomsten te vertalen naar praktische handvatten voor bedrijven en opdrachtgevers in de infra, binnen de systematiek van de CO₂-Prestatieladder.

Deze scenariostudie is een groot onderdeel van het project en heeft als doel inzichtelijk te maken welke scenario's en transitiepaden er zijn voor een klimaatneutrale infrasector. De scenariostudie richt zich op de emissies van aanleg en onderhoud en end-of-life van infrastructuur (scope 1, 2 en scope 3 upstream). Het gebruik van de infrastructuur (scope 3 downstream) wordt niet meegenomen. Er is naar de 4 grote materiaalstromen voor de infrasector gekeken: diesel, asfalt, beton en staal. De uitkomsten laten het volgende beeld zien.

DIESEL

Business as usual scenario's tot 2050 voor brandstof in de infrasector zijn niet erg optimistisch. Als er volledig op duurzame energie wordt overgestapt in 2050 dan zullen biobrandstoffen, elektriciteit en waterstof daar een grote rol in spelen. De biobrandstoffen dienen hierbij vooral als transitiebrandstoffen. De grootste winst in het naar beneden brengen van de CO₂-emissie van brandstof kan worden bereikt door efficiënter materieel en investeren in elektriciteit en waterstof.

ASFALT

De Nederlandse asfaltketen heeft de potentie om toe te werken naar een circulaire en CO₂-neutrale keten, door gebruik te maken van een hoge mate van recycling, langer gebruik maken van asfalt en lokale asfalt productie. Daarnaast zorgt verbeterde samenwerking tussen ketenpartners voor meer efficiëntie in de keten en ook dat zorgt voor het naar beneden brengen van de CO₂-emissies.

BETON

Het zwaartepunt van CO₂-emissies in de betonketen ligt duidelijk bij de cementproductie. Nieuwe technologieën die bij kunnen dragen aan de vermindering van de CO₂-emissie in de cementproductiefase bestaan vooral uit cementmengsels op basis van andere mineralen. De recycle

mogelijkheden van beton zijn tot dusver beperkt. Andere mogelijkheden om beton langer te gebruiken is om ontwerpen te maken waarbij demontabel gebouwd kan worden of door levensduur toepassing van levensduur verlengende technologieën, zoals zelfhelend beton.

STAAL

De winning en productie van staal zijn verantwoordelijk voor het overgrote deel van de CO₂-emissies in de staalketen. Vrijwel al het staal in de bouw wordt hergebruikt als component of gerecycled (omgesmolten) tot nieuw staal. Om tot een vermindering van de CO₂-emissies van infra werken te komen is het van belang om materialen op functioneel niveau te analyseren.

Daarnaast zijn de belangrijkste bevindingen:

- Om tot een klimaatneutrale infra te komen is het van essentieel belang om te focussen op versnelling van duurzame nieuwe ontwikkelingen/technologieën (op het gebied van materiaal en energie/brandstof) waarbij rekening wordt gehouden met de gehele keten.
- Verbetering van datakwaliteit is wenselijk. Een uniforme manier van milieudata vastlegging draagt bij aan inzicht en vergelijkbaarheid van de ketenanalyses in de infra.
- Er is vraag naar een relatief simpele manier om milieueffecten mee te nemen in aanbestedingen. Het is wenselijk de milieudata uit DuboCalc toegankelijker te maken en verouderede data te updaten.
- Er is een sterke wil om tot betere samenwerking te komen in de keten, zowel tussen opdrachtgevers en opdrachtnemers, als in de projecten van initiatie tot realisatie, beheer en onderhoud, en end-of-life. Deze samenwerking is ook belangrijk is het kader van circulaire economie.

Inhoud

MANAGEMENT SAMENVATTING	I
1. INLEIDING	1
MATERIAALGEBRUIK IN DE INFRASECTOR.....	2
SCOPE.....	5
OPBOUW SCENARIOSTUDIE	6
2. METHODE	7
SCENARIO'S	7
KLANKBORDGROEP EN GESPREKKEN MET EXPERTS.....	11
3. ENERGIETRANSITIE SCENARIO'S BRANDSTOF (DIESEL)	13
TRANSPORT OVER LAND.....	13
TRANSPORT OVER WATER	16
BOUW- EN SLOOP MATERIEEL	17
4. SCENARIO'S MATERIAALKETENS INFRA	19
ASFALT.....	19
BETON	26
STAAL	33
5. VAN THEORIE NAAR PRAKTIJK	40
ANALYSE KETENANALYSE A4 LEIDEN - BURGERVEEN.....	40
PROJECT PROVINCIE ZUID-HOLLAND: CO ₂ -NEUTRAAL ONDERHOUD N211 EN N470	50
6. DISCUSSIE	55
7. CONCLUSIE	58
8. AANBEVELINGEN	60
REFERENTIES	62
APPENDIX A – OVERZICHT MATERIALEN	1
ASFALT.....	1
BETON	5
STAAL	9

1. Inleiding

Om aan de klimaatdoelstellingen van Parijs te voldoen dient Nederland klimaatneutraal te worden. Dit geldt ook voor de infrasector. Er zal ingezet moeten worden op innovaties en maatregelen die de transitie naar klimaatneutraliteit versnellen, maar het is momenteel onduidelijk welke dit zijn. Daarnaast is het lastig om opdrachtgevers en opdrachtnemers te laten samenwerken in de keten om deze innovaties te stimuleren.

Binnen de Green Deal en Aanpak Duurzaam Grond, Weg, - en waterbouw (GWW) werken opdrachtgevers, opdrachtnemers en andere partijen samen aan de verduurzaming van de Spoor, Grond, Weg- en Waterbouw sector. Eerst binnen de Green Deal Duurzaam GWW 1.0 en sinds januari 2017 in de Green Deal Duurzaam GWW 2.0, met als doel ervoor te zorgen dat duurzaamheid een integraal onderdeel is van alle aanbestedingen in de GWW in 2020 (duurzaamheid is business as usual). Eén aanpak met een gezamenlijk instrumentarium: Ambitiweb, Omgevingswijzer, DuboCalc en de CO₂-Prestatieladder. Aangezien het in dit onderzoek om meer gaat dan alleen GWW en ook het spoor en andere vormen van infrastructuur ontwikkeling wordt meegenomen, duiden we in het vervolg de verduurzaming van de hele sector aan als Klimaatneutrale Infra (KNINFRA).

Binnen de infrasector is energie- en materiaalgebruik en daarmee CO₂-uitstoot een belangrijke duurzaamheidsindicator. Daarnaast heeft de sector een belangrijke rol te spelen in het verduurzamen van andere sectoren zoals mobiliteit en de energievoorziening. Het instrumentarium voor CO₂-reductie binnen de aanpak is goed ontwikkeld: de CO₂-Prestatieladder en DuboCalc worden veelvuldig ingezet (de CO₂-Ladder zelfs in bijna 10% van alle aanbestedingen in Nederland). Het standaard inzetten van dit instrumentarium bij aanbestedingen is dus al gemeengoed, maar het ultieme doel, namelijk een klimaatneutrale infra sector, heeft nog meer inzicht nodig.

Dit rapport is het resultaat van de samenwerking tussen SKAO en TU Delft, in samenwerking met de klankbordgroep en in lijn met GD DGWW 2.0. De onderliggende studie is gefinancierd met een MVI-Energie subsidie vanuit EZK en Topsector Energie. Het project is gestart in de zomer van 2017 en liep tot voorjaar 2018.

De doelstelling van KNINFRA met de bijbehorende onderzoeksvragen zijn als volgt:

Het doel van dit onderzoek is het stimuleren van innovatie en ketensamenwerking om een klimaatneutrale GWW te realiseren door te onderzoeken welke scenario's en transitiepaden realistisch zijn, hier draagvlak voor te creëren binnen de sector en de uitkomsten te vertalen naar praktische handvatten voor bedrijven en opdrachtgevers in de infra, binnen de systematiek van de CO₂-Prestatieladder.

In dit onderzoek worden de volgende vragen beantwoord:

1. Welke opties staan de infrasector ter beschikking om de sector klimaatneutraal te maken?
2. Wat zijn de emissiereductiepotentiëlen voor elk van deze opties, en welke kosten zijn er aan verbonden?

3. In welke mate kunnen de verschillende opties rekenen op draagvlak binnen de infra en stakeholders?
4. Hoe kan een scenario richting klimaatneutraliteit voor de infra er uitzien?
5. Hoe kunnen de resultaten worden geïmplementeerd in de systematiek van de CO₂-Prestatieladder?

Tijdens het project hebben betrokkenen van de TU Delft, SKAO en de klankbordgroep (met vertegenwoordigers uit elke hoek van de infra) belangrijke kennis en inzichten opgedaan die van grote waarde kunnen zijn voor de verdere ontwikkeling naar een klimaatneutrale infrastructuur. De klankbordgroep speelde een grote rol in het proces:

Uit de eerste vergadering met de klankbordgroep kwam naar voren dat er een vraag is naar scenario's van transitiepaden van de meest invloedrijke materialen in de infra sector: asfalt, beton en staal. Daarnaast kwam naar voren dat er ook een beeld moet worden geschetst over de route van de energie transitie in de infrasector. Als resultaat van deze eerste bijeenkomst met de klankbordgroep is er een startnotitie geschreven met de onderzoeksopzet. Deze is vervolgens besproken met de leden van de klankbordgroep. In de startnotitie is het doel van deze scenariostudie vastgesteld op:

Het in kaart brengen van de verandering van veelgebruikte materialen in de infrasector (staal, beton, asfalt, diesel), wat bijdraagt aan de transitie richting een klimaatneutrale infra.

Dit onderzoek valt uiteen in twee delen:

Deel 1 Scenariostudie brandstof, asfalt, beton en staal

Deel 1 is een scenariostudie naar klimaatneutraliteit van de materiaalketens van asfalt, beton en staal waarbij eerst scenario's van de energietransitie van materieel en transport zijn opgesteld welke daarna zijn geïntegreerd in de asfalt, beton en staal scenario's.

Deel 2 Vertaling van scenario's naar de praktijk

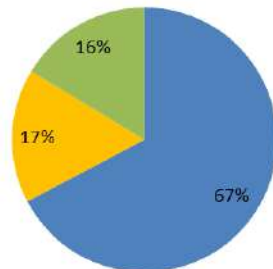
In Deel 2 worden de uitkomsten van de scenariostudie uit Deel 1 als uitgangspunt genomen om te kijken wat dit betekent in de praktijk. Hiervoor is de Levenscyclus Analyse rapportage (LCA) van vernieuwing van de rijksweg A4 gebruikt. De uitkomsten van de scenariostudie asfalt zijn op de LCA toegepast. Daarnaast worden de uitkomsten beschreven van de individuele interviews met leden van de klankbordgroep en de vertaling scenario's naar de praktijk. Ook wordt een analyse van een klimaatneutrale aanbesteding voor de provinciale weg N470 door de provincie Zuid-Holland besproken.

Materiaalgebruik in de infrasector

De infrasector is deel van de bouwsector, welke in 2010 ongeveer 260 Mton aan materialen heeft gebuikt (EIB, 2012), hiervan neemt de infra sector 23% in beslag (EIB, 2012). De gehele bouwsector heeft in 2010 een berekende CO₂-equivalent (CO₂-eq) uitstoot veroorzaakt van 9,5 Mton. Hiervan is 2,85 Mton afkomstig van de infra sector (CE Delft, 2015). De verdeling van de uitstoot tussen materiaalgebruik (67%), transport (17%) en activiteiten op de bouwplaats (16%) is weergegeven in Figuur 1.

Verdeling CO₂-eq in de infrasector

■ Materiaalgebruik ■ Transport ■ Activiteiten op de bouwplaats

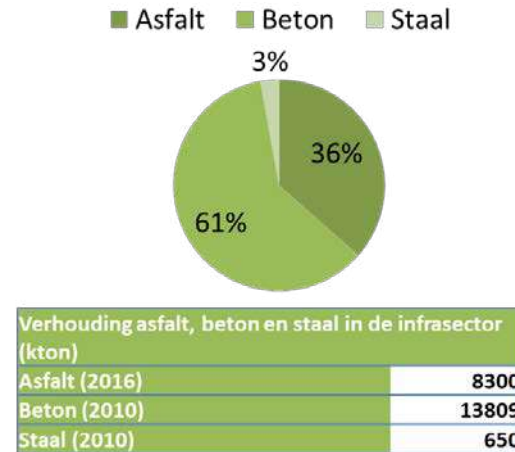


Figuur 1 – Verdeling CO₂-eq in de infrasector

Asfalt wordt voornamelijk in de infra sector gebruikt, al is er een deel van het asfalt dat wordt gebruikt op parkeerplaatsen of privéterreinen. In het vervolg van dit rapport wordt er echter vanuit gegaan dat dat al het asfalt dat jaarlijks wordt gebruikt, in de infrasector wordt gebruikt. In 2016 is er in de infra sector 8300kton asfalt toegepast. Van het beton dat gebruikt wordt in de bouw gaat 31% naar de infra sector (13800kton, 2010, volgens CE Delft, 2015).

Voor staal mist er data over de totale hoeveelheid die wordt gebruikt in de infra sector. Er is wel een vergelijkende LCA studie van de constructie van bruggen en het gebruik van staal in die constructies, daarvoor verwijzen we naar Beco 2013. Deze studie levert echter weer geen inzicht op in de hoeveelheden van staal die gebruikt worden in de infrasector. De hoeveelheid wapeningsstaal komt neer op 21% van de totale gebruikte hoeveelheid wapeningsstaal in de bouw, dit percentage is gebaseerd op gesprekken met een aantal experts uit de sector. De hoeveelheid constructiestaal is onduidelijk gebleven. Daarom de aanname is gemaakt dat 60% van het staal in de bouwsector naar de infra sector gaat, ook deze aanname is gebaseerd op een gemiddelde van meerdere gesprekken met experts. Dit geeft een totale hoeveelheid van 650kton staal in 2010 gebruikt in de infra sector. Figuur 2 geeft de verdeling weer van de massaverdeling van asfalt, beton en staal.

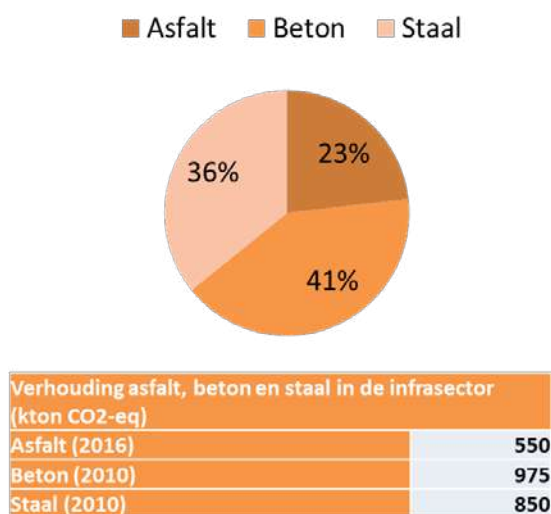
Verhouding asfalt, beton en staal in de infrasector (kton)



Figuur 2 – Verhoudingen materiaalketens van asfalt, beton en staal in de infrasector

Door gebruik te maken van branchegemiddelden is er een gemiddelde CO₂-eq uitstoot te berekenen van de asfalt-, beton- en staalstromen welke zijn weergegeven in Figuur 3. Wanneer Figuur 2 en Figuur 3 met elkaar vergeleken worden is er duidelijk te zien dat de CO₂-eq uitstoot van staal per kilogram veel hoger is dan die van beton en asfalt die zich tot elkaar blijven verhouden. Belangrijk is wel om hier te benadrukken dat bij het geven van de staalcijfers een flink aantal aannames zijn gemaakt, aangezien er geen rapport bekend is over de toepassing van staal in de infrasector.

Verhouding asfalt, beton en staal in de infrasector (CO₂-eq)



Figuur 3 – Verhouding asfalt, beton en staal in de infrasector

Scope

De scope van de scenariostudie richt zich op de Nederlandse infrasector. Het kan voorkomen dat CO₂-emissies van een materiaalketen vrijkomen buiten Nederland (bijv. tijdens de productie van staal en de winning van grondstoffen voor beton). Deze emissies vallen wel binnen de scope. Deze emissies zijn deel van de onderzochte materiaalketens waarvan de stoffen worden gebruikt in Nederland vallen dus binnen de uitstoot van de Nederlandse infrasector.

De term 'klimaatneutraal' wordt tegenwoordig vaak gebruikt. In dit onderzoek definiëren we klimaatneutraal als volgt: alle activiteiten binnen een keten voor de constructie van infra-elementen mogen per saldo geen negatieve impact hebben op het klimaat en dus niet bijdragen aan klimaatverandering.

In dit scenario-onderzoek betekent de term klimaatneutraal netto geen CO₂-emissies. Er zal gewerkt worden volgens het Trias Energetica (TE) principe, waarbij gekeken wordt naar onderstaande volgorde (Korbee 1979):

1. **Energiebesparing:** Reduceer de energievraag voor een bepaalde service tot het minimum dat nodig is om die service van energie te voorzien.
2. **Verduurzaming:** Maak de energievoorziening zoveel mogelijk hernieuwbaar en, waar mogelijk, gebruik lokale bronnen als eerste
3. **Schoon fossiel:** Maak de resterende energievraag naar traditionele energiebronnen zo schoon mogelijk

Waarbij afvang en opslag of compensatie van CO₂ emissies als 'last resort' wordt gezien. In eerste instantie zal er worden gestreefd naar een 'low carbon' infrasector, door in eerste instantie zoveel mogelijk energie te besparen en de uitstoot van CO₂ te beperken (stap 1 van de TE) en daarbij ook zoveel mogelijk hernieuwbare energiebronnen te gebruiken (stap 2 van de TE).

De scope van het scenario-onderzoek is de infrastructuur in Nederland en de rol van de infra sector daarin. Hierbij ligt de focus op de aanleg en vervanging van infrastructuur. De gebruiksfase wordt buiten beschouwing gelaten, dit betekent dat we niet over volledig klimaatneutraal kunnen spreken, omdat niet alle onderdelen van de keten worden geanalyseerd.

Deze scenariostudie zal zich vooral focussen op de uitstoot van CO₂ en de mogelijke vermindering van dit broeikasgas. Ook andere emissies hebben impact op het milieu, maar de impact van CO₂-emissies is relatief gezien het grootst (*Zoals in prestudie: Op weg naar een klimaatneutrale infrasector in Nederland, verkenning en maatregelen, Ecofys, 2017*).

Op dit moment wordt er in de scenario's alleen maar gekeken naar de indicator voor klimaatverandering (CO₂-eq). Andere milieu-impacts worden op dit moment buiten beschouwing gelaten. Door puur te focussen op de klimaatverandering kan het gebeuren het lijkt of de klimaatimpact wordt verlaagd maar dat er echter een opschuiving van impacts naar een ander milieu impact categorie plaatsvindt.

Om toe te werken naar een circulaire economie is het noodzakelijk om de gehele keten in kaart te brengen, alleen op die manier kan er optimaal gebruik worden gemaakt van de gehele keten en dus de circulaire economie. Dit vraagt om een uniformere manier van datamanagement.

Opbouw scenariostudie

Na deze inleiding gaan we in hoofdstuk 2 dieper in op de methode die voor deze scenariostudie is gebruikt. Vervolgens komen in hoofdstuk 3 de energietransitie scenario's voor diesel aan bod, waarna in hoofdstuk 4 de scenario's voor asfalt, beton en staal centraal staan.

Hoofdstuk 5 staat in het teken van deel 2 van het onderzoek, de vertaling van theorie naar praktijk. Daarna volgen respectievelijk de discussie, conclusie en aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

2. Methode

Dit onderzoek is gebaseerd op scenariostudies en interviews met leden van de klankbordgroep en andere partijen in het werkveld. De gevolgde methode wordt verder uitgewerkt in dit hoofdstuk.

Scenario's

In dit onderzoek zijn scenario's gecreëerd van de ketens van de drie meest invloedrijke materialen en het energiegebruik in de infra sector. Om ketenscenario's te produceren is een analyse nodig van de verschillende ketenonderdelen van de materiaalketens. Dit doen we via de opzet van de EN:NEN 15804:2012 norm, zie Figuur 4. Dit overzicht geeft een materiaalketen stap voor stap weer in verschillende levenscyclus stadia (product, constructie, gebruikersfase en end-of-life) en modules of fases (A1, A2.....).

Life cycle stages	Product			Construction		Use stage							End-of-life				Benefits and loads beyond the system boundary
	A1 Raw material supply	A2 Transport	A3 Manufacturing	A4 Transport	A5 Construction	Related to the building fabric					Related to the building operation		C1 Demolition	C2 Transport	C3 Waste processing	C4 Disposal	
						B1 Use	B2 Maintenance	B3 Repair	B4 Replacement	B5 Refurbishment	B6 Operational energy use	B7 Operational water use					
Modules																	D
	Scenarios																
Type of EPD	Cradle to Gate ¹	M	M	M													
	Cradle to Gate with option(s) ^{2,4}	M	M	M	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Cradle to Grave ^{3,4}	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Key	M mandatory			O optional													
Notes	¹ for a declared unit ² for a declared unit or functional unit ³ for a functional unit ⁴ Reference Service Life to be included only if all scenarios are included																

Figuur 4 – Opzet van de gebruikte levenscyclus methode (gebaseerd op EN 15804)

Hierbij moet worden opgemerkt dat voor bijna alle materialen heel weinig informatie beschikbaar is over het aandeel van de end-of-life fase, met uitzondering van de ontmanteling (C1). Ketenganalyses gepubliceerd op de SKAO-website geven weinig informatie over de end-of-life fase de reden hiervoor is dat opdrachtgevers in opdrachten vaak alleen vragen naar de bouw van een bouwwerk. De end-of-life fase wordt vaak door een andere partij gerealiseerd op het moment dat het bouwwerk moet worden gesloopt.

Energietransitie scenario's

Energie wordt gebruikt in alle materiaalketens, voor productie, transport en inzet van materieel. Doordat veel energie komt van fossiele brandstoffen, zorgt het energiegebruik voor een goed deel van de emissies in de infra sector. Daarom worden energietransitie scenario's als eerste besproken. Als het gaat om transport en inzet van materieel, zullen deze energietransitie scenario's worden geïntegreerd in de materiaalketen scenario's. Hierbij wordt er dus vanuit gegaan dat de aannames voor veranderingen in de energiemix in de samenleving (zoals de inzet van meer biodiesel of het

gebruik van meer elektrische aandrijving) ook vanzelf ingang vinden in de bouwsector als het gaat om transport en inzet van materieel. Het energiegebruik van de fabrieken is apart behandeld tijdens het hoofdstuk waarin het bijpassende materiaal is besproken.

De energie transities voor transport over water, transport over land en gebruik van bouw- en sloop materieel zijn in twee scenario's per type brandstofverbruiker verwerkt:

Het I&M scenario

Laat zien hoe de transitie van energiegebruik er uit kan gaan zien van 2010 tot 2050 gebaseerd op het scenario gemaakt voor I&M (Ministerie Infrastructuur en Milieu, 2015) aangevuld met expert informatie verkregen tijdens de genoemde gesprekken.

Het energietransitie scenario

Laat zien hoe de transitie er uit ziet als er in 2050 volledig duurzaam opgewekte energie wordt gebruikt voor transport en materieel (gebaseerd op informatie verkregen uit de gesprekken met experts, rapporten van Ecofys en de EU-rapporten. Dit scenario behandelt de technische mogelijkheden als deze goed benut worden.

De scenario's zijn weergegeven door middel van een grafiek waarbij op de x-as de jaren en op de y-as het percentage aan energiebehoefte zich bevindt. Het percentage energiebehoefte is op 100% gezet in 2010. Daarbij is aangenomen dat het gebruik van energie ongeveer 1% per jaar toeneemt. En er is aangenomen dat door de toename van efficiëntie van het energiegebruik, er per jaar 1% minder energie nodig is.

Afhankelijk van de brandstofverbruiker zijn er verschillende alternatieven van de nu vaak gebruikte diesel. In Tabel 2 staan de verschillende alternatieve brandstoffen ten opzichte van diesel opgesomd waarbij de CO₂-eq relatief gezien ten opzichte van diesel is weergegeven (gebaseerd op CO₂emissiefactoren.nl). In de scenario's is enkel de energietransitie van het brandstofgebruik van transport over water, transport over land en bouw en sloop materieel berekend, de brandstof en energie die nodig is om materieel te bouwen is buiten beschouwing gelaten.

Tabel 11 – CO₂-eq per energievoorziening (gebaseerd op CO₂emissiefactoren.nl)

Energie voorziener	CO ₂ -eq ten opzichte van diesel
Diesel	1
LNG	0,45
Bio-LNG	0,4
Elektriciteit	0
Waterstof	0,05
Biodiesel	0,3
Biogas	0,2

[Scenario's materiaalketens](#)

De scenario's van de ketens van de drie meest invloedrijke materialen in de infra sector beslaan de onderdelen 'productie', 'constructie (inclusief onderhoud)', en 'end-of-life (inclusief recycling)' van de EN15804. Dit betekent dat er naast materiaalgebruik (en verwerking) ook gebruik wordt gemaakt van bouw en sloop materieel en transport (water en land). Er zijn per materiaal twee soorten scenario's gemaakt. Een BAU – (Business As Usual) scenario en een KNINFRA (Klimaatneutrale infra) scenario. Hierbij weerspiegelt het BAU-scenario de verwachtingen zoals die nu zijn (vandaar de naam BAU - Business As Usual scenario). Het KNINFRA-scenario laat zien wat mogelijk is al er maximaal wordt ingezet op klimaatneutraliteit in de infra sector. Daarnaast zijn er keten specifieke ontwikkelingen die bij kunnen dragen aan de CO₂-eq reductie van de materiaalketen opgenomen in de scenario's. Hierbij wordt weergegeven wat de CO₂-eq van deze ontwikkelingen is, wat de geschatte kosten zijn en in welke fase van ontwikkeling de technologieën gebaseerd op welk TRL-niveau (zie ook Tabel 3) de technologie zich bevindt.

TRL-niveaus

TRL (Technology Readiness Levels) is een methode om de volwassenheid van een nieuwe technologie te scoren, en is ontwikkeld door de NASA (zie ook Arcadis, 2017). Hierbij is TRL 1 het laagste ontwikkelingsniveau (een idee op basis van fundamentele wetenschappelijke aangetoonde principes), en TRL 9 het hoogst ontwikkelde niveau (Een systeem waarvan de werking in een operationele omgeving gedurende langere tijd bewezen is). Wanneer een technologie verder ontwikkeld is, en dus een hogere TRL bezit, is er ook met meer zekerheid iets te zeggen over het CO₂-eq reductiepotentieel en de kosten van de technologie.

Tabel 2 – Definities van Technology Readiness Levels (gebaseerd op overzicht uit Arcadis, 2017a)

TRL	Uitleg
1	Basisprincipes van het idee worden onderzocht
2	Technologisch concept en de praktische toepassing hiervan wordt geformuleerd
3	Toepasbaarheid van concept wordt op experimentele basis onderzocht. Hypotheses worden getoetst en gevalideerd
4	De werking van het technologisch concept wordt op laboratorium schaal getest
5	De werking van het technologisch concept wordt in relevante omgeving getest
6	De demonstratie van het concept wordt in een relevante omgeving verder getest met een prototype. Het concept geeft inzicht in de werking van verschillende componenten tezamen
7	Demonstratie van het concept in een gebruikers omgeving
8	Het concept is technisch en commercieel gereed
9	Het product is een gangbaar product in de Nederlandse markt en valt binnen huidige wet- en regelgeving

Voor zowel de BAU als de KNINFRA-scenario's gelden dezelfde aannames:

- In 2050 zijn de scenario's klimaatneutraal
 - De CO₂-eq neemt af volgens een standaard S-curve tenzij meer reductie mogelijk is
- De afname aan CO₂-eq kan worden bereikt door:
 - Efficiëntie toename (nivelleert de jaarlijkse toename in gebruik)
 - Toepassing van nieuwe technologieën
 - Toepassing van duurzame brandstof en elektriciteit (gebaseerd op de energie transitie scenario's)
 - Carbon Capture and Sequestration / Utilisation (CCS/CCU)

Verder gelden de volgende aannames die verschillend zijn voor de BAU en de KNINFRA-scenario's:

BAU-scenario's

- Voor de transitie van het energiegebruik in dit scenario zijn de I&M scenario's voor transport en het gebruik van bouw- en sloop materieel meegenomen.
 - Door gelimiteerde tijd is er gekozen om alleen het scenario van transport over land mee te nemen en het scenario van transport over water voor dit scenario buiten beschouwing te laten.
- Er is aangenomen dat nieuwe ontwikkelingen zich ontwikkelen volgens de normale verwachtingen (ongeveer 2 jaar per TRL-niveau)
- Er ontstaat een mix van nieuwe technologieën waardoor het totale percentage van CO₂-eq afname neerkomt op het gemiddelde van al de nieuwe technologieën

KNINFRA-scenario's

- Voor de transitie van het energiegebruik in dit scenario zijn de energie transitie scenario's voor transport en het gebruik van bouw- en sloop materieel meegenomen
 - Door gelimiteerde tijd is er gekozen om alleen het scenario van transport over land mee te nemen en het scenario van transport over water voor dit scenario buiten beschouwing te laten
- Er is aangenomen dat nieuwe ontwikkelingen snel ontwikkelen (1 jaar per TRL-niveau) door extra inzet op CO₂-eq reducerende technologieën
- Technologieën met de hoogst mogelijk CO₂-eq reductie zetten de standaard voor alle nieuwe technologieën, hierdoor ontstaat er een maximaal percentage aan CO₂-eq reductie (hoogste)

Klankbordgroep en gesprekken met experts

De resultaten van het onderzoek zijn gedurende het hele project besproken en geëvalueerd met een klankbordgroep, bestaande uit vertegenwoordigers van het werkveld. De volgende bedrijven werden vertegenwoordigd, zie in Tabel 1.

Tabel 3– Leden Klankbordgroep

Naam	Bedrijf
Marjolein van der Klauw	Rijkswaterstaat
Gerwin Schweitzer	Rijkswaterstaat
Ruben Koning	Bunnikgroep
Peter Willems	Waterschap Rivierenland
Gerald Olde Monnikhof	ProRail
Esther Heijnk	Arcadis
Koen Eising	Alliander
Theo Baggerman	Dura Vermeer
Born Goedkoop	BAM
Sible Schöne	SKAO
Annemiek Lauwerijssen	SKAO
Kornelis Blok	TU Delft
Gijsbert Korevaar	TU Delft
Romé de Blois	TU Delft

Gesprekken zijn gehouden met leden van de klankbordgroep en met een aantal andere experts uit het werkveld, zie Tabel 4 – Lijst met experts uit het werkveld van KNINFRA. Deze gesprekken hebben veel inzichten opgeleverd, die zijn gebruikt bij het opstellen van de scenario's en bij de beschrijving van de mogelijke innovaties op het gebied van materialen en energieconsumptie.

Tabel 2 – Lijst met overig geïnterviewde experts uit het werkveld van KNINFRA

Naam	Bedrijf
Arjan Schaareman	Rijkswaterstaat
Jos Vorstenbosch-Krabbe	Rijkswaterstaat
Valerie Diemel	Rijkswaterstaat
Rob Hofman	Rijkswaterstaat
Harald Versteeg	Rijkswaterstaat
Stijn de Ryck & Wim Bellens	Jan de Nul
Gerard Jägers	TATA Steel
Eric Koudijs	TATA Steel
Bauke Hoekstra Bonnema	TATA Steel
Roger Steens	TATA Steel
Wouter de Zwart	PON
Bob Verbrugge	PON
Johan van Dalen	ProRail
Marjolein Ubink	ProRail
Stephan van Alphen	A&M Recycling
Age Vermeer	Dura Vermeer
Laurens Smal	Dura Vermeer
Stefan Daamen	Heijmans
Marijn Bijleveld	CE Delft
Marit van Lieshout	CE Delft
Diederik Jaspers	CE Delft
Jeroen Scheepmaker	Ecofys
Ester van der Voet	Universiteit Leiden
Kees Bergen	Provincie Zuid-Holland`
Piet Ackermans	Antea groep
Gerdien de Weger	Provincie Gouda
Jörgen de Wijs	BAM infraconsult

3. Energietransitie scenario's brandstof (diesel)

In dit hoofdstuk wordt besproken hoe de gebruikte scenario's voor de energie transitie tot stand zijn gekomen.

Transport over land

In het rapport van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu 'Een duurzame brandstofvisie met LEF' uit 2014 worden een aantal doelstellingen tot 2050 neergelegd, die in dit rapport worden overgenomen. Zo streeft I&M naar een 60% CO₂-eq reductie voor het transport over de weg in 2050. Dit geldt voor al het wegvervoer. In dit scenario onderzoek ligt de focus op het zware wegvervoer met relatief hoge vermogens omdat dit in de infra sector overwegend wordt gebruikt voor transport. In het I&M rapport wordt vooral ingezet op elektrisch rijden met batterijen omdat dit volgens de bronnen van I&M de meest efficiënte manier van aandrijving van transport over land is. Daarbij komt bij dat er wordt aangenomen dat de CO₂-eq emissies van het elektrisch rijden op nul kan worden gezet. Deze aanname is ook gedaan in dit onderzoek. Voor dit zwaardere wegvervoer zijn de ontwikkelingen van volledig elektrische voertuigen nog volop in ontwikkeling. Het is op dit moment dan ook nog onbekend wanneer alternatieve energiebronnen voor dit deel van de transportsector rijp zijn voor de markt.

In veel van geanalyseerde energie transitie scenario's is alleen gekeken naar de huidige impact en de mogelijkheden tot impact reductie van CO₂-eq. Echter is het wel goed om in het achterhoofd te houden dat bijvoorbeeld batterijen of brandstofcellen vaak schaarse metalen en giftige materialen bevatten. Dit zorgt ervoor dat ook andere milieu-impacts zouden moeten worden afgewogen ten opzichte van alleen de CO₂-eq. Deze afweging is overigens ook niet in dit rapport gemaakt, maar kan wel de besluitvorming rond de energietransitie extra ingewikkeld maken.

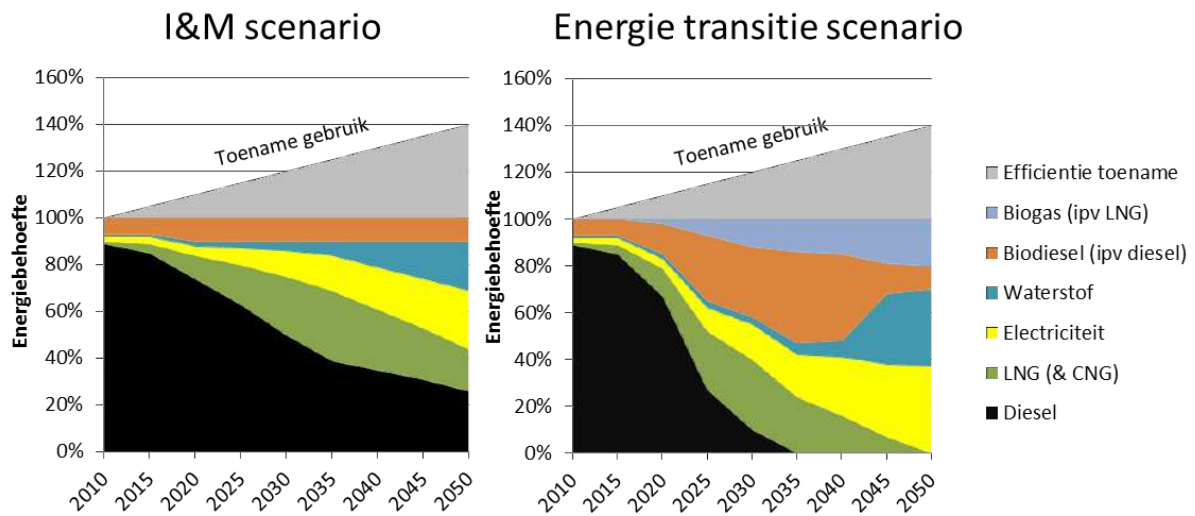
Waterstof wordt genoemd als een andere alternatieve brandstof voor transport over land. De efficiëntie van waterstof ligt net iets lager dan die bij elektrisch rijden en de CO₂-eq iets hoger. In het I&M verslag wordt er aangegeven dat er een mogelijkheid bestaat dat de ontwikkelingen van elektrisch rijden en rijden op waterstof niet zo snel gaan als gehoopt, zeker niet voor zwaarder wegvervoer. In de onderstaande scenario's wordt ervan uitgegaan dat de invoering van elektrische aandrijving voor bouwmaterieel synchroon zal lopen met het gebruik van elektrische aandrijving voor zwaar transport. Daarom wordt er aangegeven dat het belangrijk is om ander brandstoffen zoals biodiesel, biogas, LNG&CNG (en hybriden) als opties te zien tijdens de overgangperiode totdat elektrisch rijden en rijden op waterstof rijp zijn om op de markt door te breken (de periode 2030-2050). Het is daarin echter wel van belang dat biobrandstoffen, LNG en dergelijke de transitie naar elektrificeren en waterstof niet onnodig vertragen.

Daarnaast zijn er nog grote onzekerheden over de toegankelijkheid en potentie van biodiesel voor de transportsector (dit geldt met name ook voor de toepassing in het bouw- en sloop materieel). Dit wordt onder andere beïnvloed door ontwikkelingen in andere sectoren (landbouw, chemie, voedsel). Er wordt in het I&M Rapport aangegeven dat de transitie die wordt gepresenteerd tot 2030 vooral is

gebaseerd op huidige ontwikkelingen en de versterking hiervan. De periode tussen 2030 en 2050 levert meer onzekerheid op. Dit komt doordat veel verschillende factoren invloed kunnen hebben hoe de transitie er uit gaat zien. Daarbij noemt het I&M rapport “het tempo van elektrische autotechniek (accu’s en brandstofcellen), zowel qua prestaties als kosten en de mate waarin hernieuwbare brandstoffen beschikbaar kunnen komen en betaalbaar zijn” als de twee belangrijkste factoren om tot de 60% CO₂-eq reductie te komen. Ook het feit dat nu nog onbekende ontwikkelingen een grote rol kunnen gaan spelen tussen 2030 en 2050 zorgt voor grote onzekerheden in het verloop van de transitie.

Het tempo waarmee de transitie zal verlopen voor zwaarder transport is naar verwachting lager dan die van lichter vervoer. De hoofdreden hiervoor is dat alternatieve brandstoffen en elektrificeren eerst beschikbaar zal zijn voor materieel met relatief weinig vermogen. Dit zorgt er voor dat hoe groter het vermogen van materieel is, hoe langzamer de energie transitie naar hernieuwbare brandstoffen zal plaatsvinden. Om deze reden is dan ook de verwachting dat voor het zwaarder transport vooral hernieuwbare gas en duurzame brandstoffen de komende jaren goede opties zijn om de CO₂-eq te verminderen. Daarnaast vallen er nog grote stappen te maken door de efficiëntie te verbeteren, zoals door middel van aerodynamische verbeteringen, lichtgewicht construeren, gebruik maken van remenergie etc., dit kan naar verwachting nog wel tot 40% winst opleveren. Bovenstaande constatering geven, aangevuld met expert informatie verkregen tijdens de interviews, onderstaand ‘I&M scenario’ voor transport over land (Figuur 5). In dit I&M scenario is er aangenomen dat het gebruik van energie met 40% is toegenomen in 2050 ten opzichte van 2010. Efficiëntie toename zorgt voor 40% minder energieverbruik.

In het jaar 2010 (start van scenario’s) voorziet diesel ongeveer 89% van de energievoorziening van transport over land, in 2010 werd 7% van de energie voorzien door bijmenging van biodiesel (I&M 2014). De overige 4% procent kan nog verdeeld worden over de alternatieve brandstoffen en elektriciteit. In 2050 nemen waterstof, elektrificatie en LNG alle drie ongeveer een vijfde deel van de energiebehoefte voor rekening. In het scenario is te zien dat LNG tussen 2025 en 2045 zal stijgen en vervolgens weer zal dalen. De reden hiervoor is dat de LNG (en CNG) kan worden gebruikt als overgangsbrandstof (totdat elektrificeren en waterstof markt klaar zijn). De bijmenging van biodiesel neemt ongeveer 10% van het totaal voor zijn rekening. Toch zal diesel als energievoorzieners nog een belangrijke rol op zich nemen en een vierde van de energiebehoefte op zich nemen in het I&M scenario.



Figuur 5 – Energie transitie scenario

In het 'energie transitie scenario' (Figuur 5, grafiek rechts) zijn de bevindingen van het I&M scenario en het expert judgement (zoals afgeleid uit de gesprekken met de experts) geëxtrapoleerd. Dit resulteert in 100% duurzame brandstoffen in het jaar 2050 waarbij na 2035 al geen diesel meer wordt gebruikt.

In dit scenario is vooral een grote rol weg gelegd voor biodiesel en biogas in de overgangsfase waarbij fossiele brandstoffen (Diesel en LNG) worden vervangen door een duurzame energiemix en elektrificeren en waterstof in 2050 een belangrijke rol gaan spelen.

De energiemix in 2010 van dit scenario komt overeen met die van het I&M scenario in 2010. In alle jaren daarna spelen zich echter andere veranderingen af. Om tot 100% duurzame brandstoffen te komen in 2050 is er dus een grote toename in het gebruik van biomassa als brandstof nodig. De hoeveelheid beschikbare biomassa is een onzekere factor, daar is echter in deze studie niet verder onderzoek naar gedaan, in dit scenario is er aangenomen dat biomassa ruimschoots aanwezig is. Biodiesel en LNG kunnen dienen als overgangsbrandstoffen om fossiele diesel rond 2035 uit te faseren. Biogas kan daarna de energiebehoefte die werd voldaan door LNG overnemen. Omdat de verwachting is dat elektrificeren en waterstof pas marktrijp zullen zijn na 2030 is dan pas een sterke toename van deze twee typen van energievoorzieners te zien in het scenario. Tabel 5 laat zien hoe de energiemix er uit ziet in 2030 en 2050 volgens KNINFRA. De genoemde getallen zijn een weerslag van wat er in de interviews naar voren is gekomen. Wat hierin opvalt is de grote verschillen tussen de gegevens voor 2030 en 2050. Dit komt dus vooral omdat in dit scenario is weergegeven hoe biomassa als overgangsbrandstof kan dienen dat daarna over kan worden overgenomen door waterstof en elektriciteit.

Tabel 3 – Energiemix in 2030 en 2050

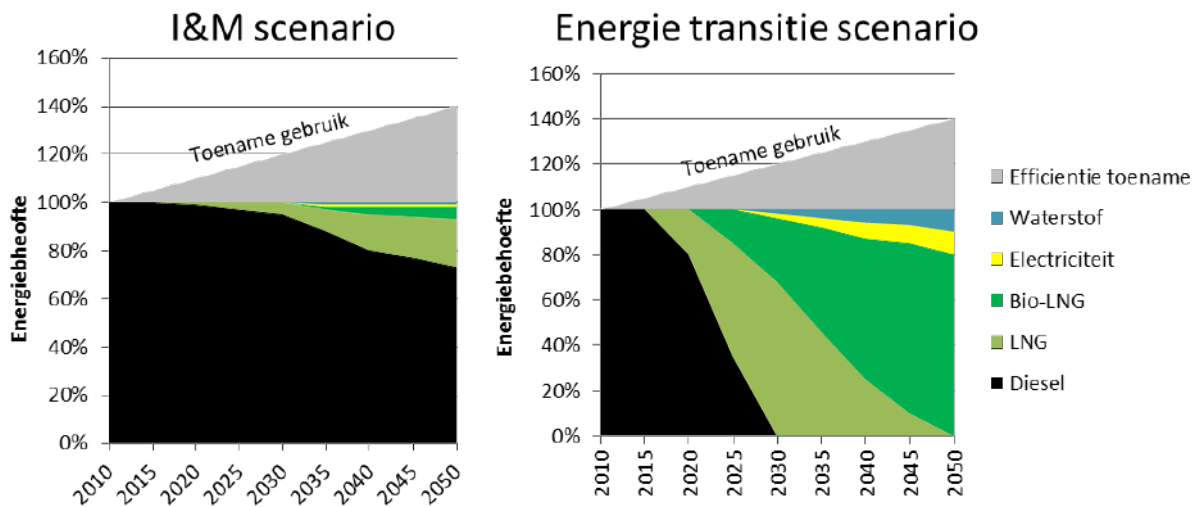
Energiedrager	Contributie (%) totale energiebehoefte voor transport over land in 2030	Contributie (%) totale energiebehoefte voor transport over land in 2050
Biogas	12	20
Biodiesel	30	10
Waterstof	3	33
Elektriciteit	15	37
LNG	30	0
Diesel	10	0

Transport over water

De energietransitie voor transport over water in het I&M scenario en dus in de algemene verwachtingen, is vrij beperkt (Figuur 6). Een factor die hierbij een grote rol speelt is de vraag naar een betrouwbare brandstof die op veel plekken geleverd kan worden, en tevens constant gebruikt kan worden. Het huidige beste alternatief voor diesel is LNG, tests met alternatieve brandstoffen voor transport over water worden op dit moment wel uitgevoerd met kleine schepen. Echter is het niet de verwachting dat schepen die worden gebruikt voor het vervoer van infra sector materiaal hier snel op over zullen gaan Dit komt mede door de veel grotere vermogens van de infrasector schepen en de relatief grote actieradius die zij moeten kunnen bereiken.

Diesel gaat in het I&M scenario nog lang domineren als brandstof voor (zwaar)vrachttransport (over land en water) en constructie- en sloopmaterieel. Transitie naar hernieuwbare brandstoffen is theoretisch gezien al snel mogelijk. Echter zijn de kosten om materieel op deze hernieuwbare energiebronnen te laten werken momenteel economisch gezien niet rendabel. Daarnaast werken dieselmotoren erg efficiënt ten opzichte van hernieuwbare brandstoffen. Een extra energie investering zal nodig zijn om de efficiëntie van hernieuwbare brandstoffen op hetzelfde niveau te krijgen als fossiele brandstoffen.

Efficiëntieverbetering van de dieselmotoren is op dit moment de focus van innovatie voor transport over water. Het is de verwachting dat het gebruik van waterstof of elektriciteit voor de aandrijving voor transport over water geen grote rol gaat spelen. Dit komt enerzijds door de grote vraag aan energie van het transport materieel (groot vermogen) en anderzijds door het continue varen van het transport materieel. De verwachting is wel dat kleine schepen in bijvoorbeeld havens elektrisch of op waterstof kunnen gaan varen.



Figuur 6 – Energie transitie scenario voor transport over water

Bouw- en sloop materieel

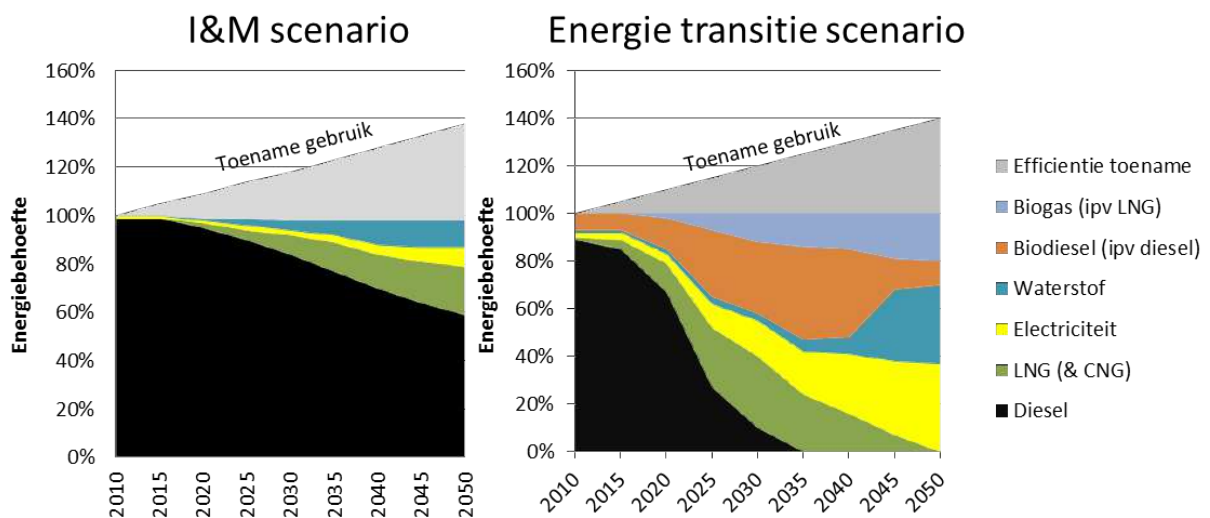
Alhoewel het I&M rapport niet specifiek bouw en sloop materieel noemt. Is er in dit onderzoek toch een scenario opgezet gebaseerd op dit rapport en expert kennis. Dit kon worden gedaan omdat het materieel dat wordt gebruikt voor de bouw en sloop qua vermogen erg op het materieel voor zwaar wegtransport lijkt. Verschillen zijn natuurlijk ook zeker aanwezig. Het bouw- en sloopmaterieel rijdt over het algemeen langzamer maar wordt daarentegen wel voor lange periodes achter elkaar gebruikt.

Data over de ontwikkelingen van de energiemix van bouw- en sloop materieel was moeilijk verkrijgbaar. Navraag hiernaar bij experts leverde het antwoord op dat ontwikkelingen op het gebied van alternatieve brandstoffen of elektriciteit voor bouw- en sloop materieel niet vergevorderd zijn. Dit resulteert ook in het niet optimistische I&M scenario (Figuur 7). Daarnaast werd tijdens de interviews opgemerkt dat er op dit moment niet veel tijd en energie wordt gestoken in de ontwikkeling van motoren die lopen op duurzame brandstoffen of alternatieven zoals elektriciteit en waterstof. Opgemerkt werd wel dat het in principe mogelijk is om bouw en sloop materieel bijvoorbeeld op elektriciteit te laten draaien. Echter, de kosten zijn momenteel hoog. Daarnaast volstaan momenteel de elektriciteitsvoorzieningen op de bouwplaats vaak niet (bv. geen mogelijkheid om de materieel aan te sluiten op elektriciteitsnet). Grotere kansen worden gezien voor waterstof. Dit komt mede omdat waterstof als brandstof kan worden vervoerd en in tegenstelling tot elektriciteit niet verbonden hoeft te zijn met een elektriciteitsnet. Een alternatieve brandstof voor waterstof zoals LNG heeft ook potentie om diesel te vervangen. Echter komt hier het probleem bij kijken dat de voorwaarde is dat er op genoeg plekken LNG getankt kan worden, wat nu nog niet het geval is (kip en ei verhaal).

Ook werd aangegeven dat de ontwikkelingen van het wegtransport nauwlettend in de gaten wordt gehouden. Het wordt dat ook verwacht dat wanneer er cruciale doorbraken plaats zullen vinden, dit snel zal worden geadopteerd door de bouw- en sloop materieel partijen. Hierbij moet wel rekening

worden gehouden met het feit dat hoe groter het vermogen van materieel, hoe langzamer de energietransitie zich voltrekt. Onzekerheden over de ontwikkelingen van de dieselprijs en elektriciteitsprijs zorgen daarnaast ook voor een terughoudende bouw- en sloop materieel markt. Overigens ligt hier ook een rol voor de lokale en nationale overheden, omdat een goede stimulering en het delen van interessante voorbeeldstudies over succesvolle toepassingen op projecten deze terughoudendheid ook kunnen doorbreken.

Bouw en sloop materieel wordt vaak na het gebruik in Nederland doorverkocht naar andere landen. In deze andere landen, veelal Oost-Europa en Afrika is er geen vraag naar bouw- en sloopmaterieel dat op een andere brandstof rijdt dan diesel. Er wordt tijdens de productiefase al rekening gehouden met de doorverkoop. Dit is een van de redenen waarom er op dit moment niet veel wordt ingezet op de productie van motoren die functioneren op alternatieve of duurzame brandstoffen, waardoor de energietransitie vertraagd.

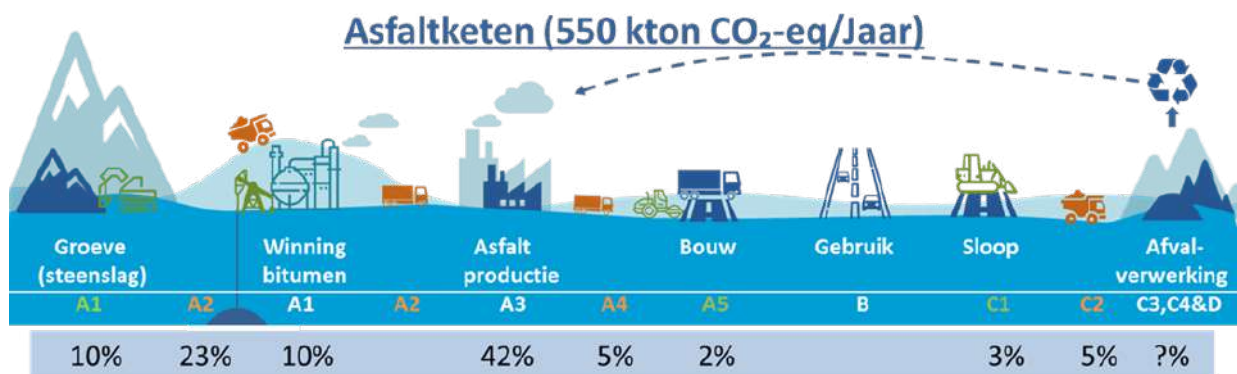


Figuur 7 – Energie transitie scenario voor bouw- en sloop materieel

4. Scenario's materiaalketens infra

In dit hoofdstuk wordt besproken hoe de scenario's voor de ketens van asfalt, beton en staal tot stand zijn gekomen. De energietransitie scenario's van het vorige hoofdstuk zijn hierin ook verwerkt, zoals uitgelegd in de onderzoeksmethode.

Asfalt



Figuur 8 – Overzicht en zwaartepuntanalyse van de asfaltketen

De asfaltketen is weergegeven in het bovenstaande Figuur 8 (weergave op basis van de EN 15804:2012). Asfalt wordt hoofdzakelijk in de infrasector gebuikt. Daarnaast wordt asfalt gebruikt voor parkeerterreinen, deze zijn in deze analyse buiten beschouwing gelaten. Het asfalt dat in het jaar 2016 is gebruikt in Nederland komt neer op 8300 kton (Gebaseerd op Vakgroep Bitumineuze Werken (van bouwend Nederland). De geschatte totale CO₂-eq uitstoot komt neer op 550 kton CO₂-eq/jaar(2016) (expert informatie vakgroep bitumineuze werken). Dit getal is tot stand gekomen door de CO₂-eq uitstoot van de mix van verschillende asfaltmengsels te berekenen (AC SURF, AC BIND, AC BASE, AC SURF/BIND, AC BIND/BASE, SMA, ZOAB, GIETASFALT, LEA, Overige).

In Figuur 8 bevindt zich een CO₂-eq zwaartepunt analyse van de asfaltketen (Mos, J., Beentjes, T., 2016). De meeste uitstoot wordt veroorzaakt in de asfalt productie fase (42%). De overige productie, bitumen productie, zorgt voor 10% van de uitstoot. Transport in de keten draagt voor 33% bij aan de totale uitstoot. Het gebruik van materieel zorgt voor 15% van de CO₂-eq uitstoot. In de afvalverwerkingsfase (EN:15804 C) waren alleen gegevens beschikbaar over de ontmanteling en het transport na ontmanteling.

Nieuwe technologie in de asfaltketen

Een selectie van nieuwe technologieën en ontwikkelingen die bij kunnen dragen aan de reductie van CO₂ zijn weergegeven in Figuur 9.

In het overzicht van 'Appendix A – Overzicht materialen' is beschreven wat de CO₂-eq uitstoot, prijs en TRL niveau van een nieuwe technologie is. Ter referentie van de nieuwe typen asfaltmengsels is de asfaltsoort met 50% recycling (standaard gemiddeld asfalttype) weergegeven in Figuur 9.

De groene blokken verwijzen naar de energietransitie scenario's van bouw- en sloopmaterieel. De oranje blokken verwijzen naar de energietransitie scenario's van transport over land (transport over water is niet weergegeven en de figuren). In de groene en oranje blokken verwijst het bovenste getal naar het I&M scenario en het onderste getal naar het KNINFRA energie scenario.

Het zwaartepunt ligt bij de asfaltproductie en met name het gebruik van aardgas voor de verhitting van de witte trommel (virgin materiaal) en zwarte trommel (gerecycled materiaal) zorgt voor de grootste CO₂-eq emissies. Op de korte termijn zijn vooral de ontwikkelingen waarbij asfalt kan worden geproduceerd op een lagere temperatuur, waardoor er dus minder aardgas nodig is, opkomend. Daarnaast moet het ook mogelijk worden om het aardgas te vervangen door biomassa. Op basis van interviews met experts, wordt ervan uitgegaan dat de transitie naar asfaltfabrieken op biomassa langzaam zal gaan, vanwege de grote aanpassingen die nodig zijn in de productieprocessen en dus de grote CAPEX investeringen die gedaan moeten worden.

De recycling van asfalt geeft mogelijkheid tot flinke CO₂-eq reductie in de asfaltketen. Dit komt mede doordat de verwachting is dat asfalt tot wel 95% kan worden gerecycled. Voorwaarde is dat er genoeg secundair asfalt aanwezig moet zijn.

Daarnaast zijn er minder primaire stoffen nodig als recycling naar een hoog niveau wordt gebracht, er is dan minder steenslag en bitumen nodig. Tevens is er minder transport benodigd. De recycling van asfalt kan er dus voor zorgen dat vooral de CO₂-eq reductie in de gehele productie fase (EN:15804; A) sterk afneemt. Echter geldt dit niet voor het asfaltproductieproces in de asfaltcentrale specifiek. Gerecycled asfalt heeft in zijn productieproces (afhankelijk van de situatie) evenveel of meer energie nodig dan virgin asfalt (Expert informatie Dura Vermeer). Dit resulteert in hogere milieu impact voor gerecycled asfalt t.o.v. virgin asfalt. Dit hangt mede af van de allocatie van emissies tijdens de bitumenproductie.

Optimalisatie van de transportafstand (EN:15804; A4, C2) per asfalt project kan nog zeker worden verbeterd. Bedrijven bezitten eigen asfaltcentrales die zich ver van het asfalt project kunnen bevinden terwijl andere asfaltcentrales om de hoek staan. Wanneer materiaal gebruikt zou kunnen worden uit asfaltcentrales dichtbij een project kan dit de transportafstand sterk verminderen, dus veel CO₂-reductiepotentieel.

Daarnaast liggen er mogelijkheden om de CO₂-eq van de asfaltketen te verlagen door asfalt een langere levensduur te geven. Een langere levensduur van een product zorgt voor verminderd verbruik van een materiaal (en dus minder energieverbruik en impacts) over de tijd. Regelgeving staan ontwikkelingen op dit gebied nogal eens in de weg, al begint hierin wel een verschuiving op gang te komen.

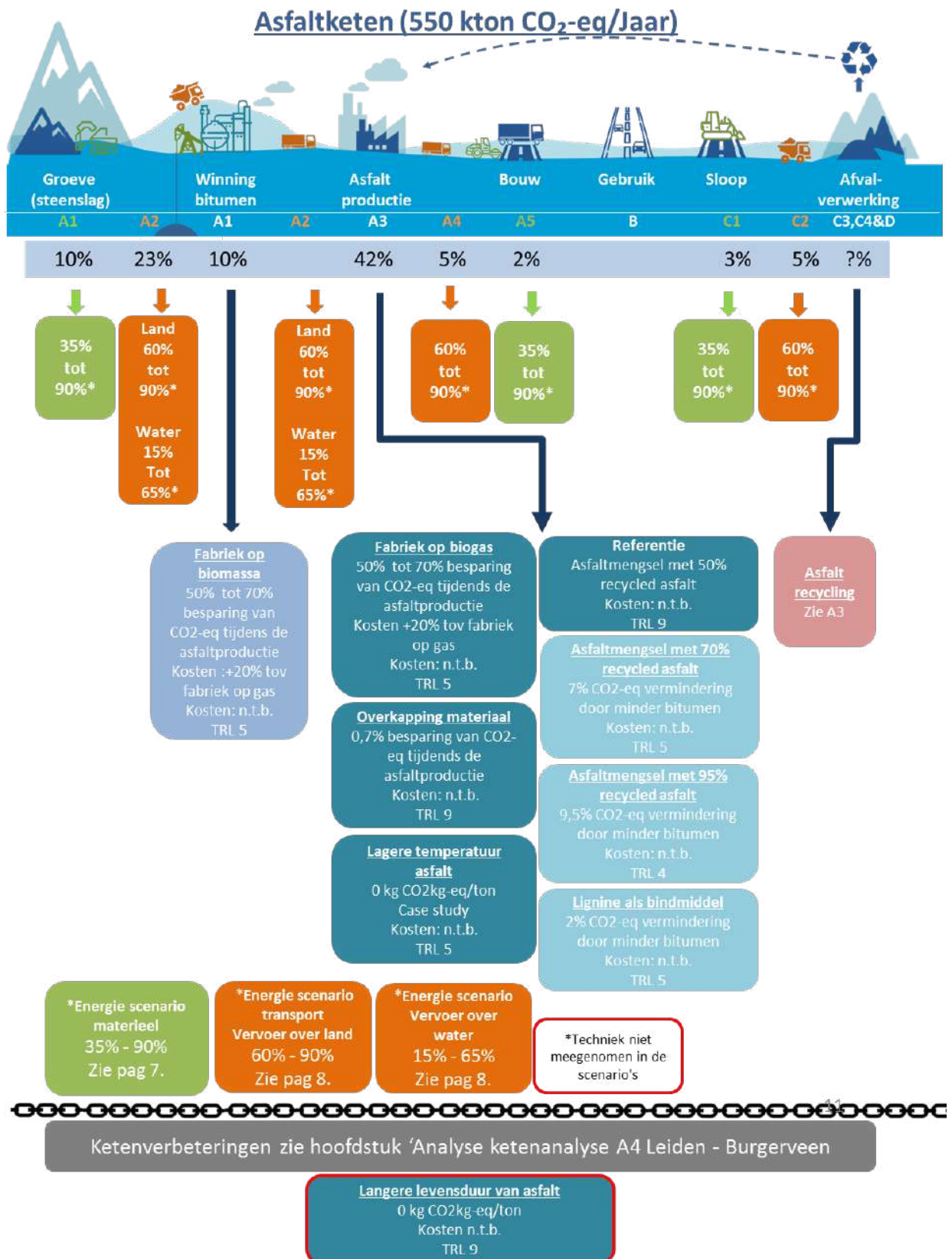
De impact op de asfaltketen van een langere levensduur van asfalt is niet meegenomen in dit asfaltscenario. De onderzoekopstelling liet dit niet toe. In Fase 2 van dit onderzoek (zie hoofdstuk 5

van theorie naar praktijk) was het door een alternatieve onderzoekopstelling wel mogelijk om de impact van een langere levensduur op het asfalt van een case studie LCA weer te geven.

Ten slotte is er een mogelijkheid dat verschillende technologieën te combineren zijn. Hierover is echter nog veel onzekerheid, al wordt er wel onderzoek verricht naar of de toepassing van lignine kan werken met gerecycled asfalt, en wat een hoog recycle percentage van het asfalt doet met de levensduur.

Opmerkingen asfaltketen scenario's

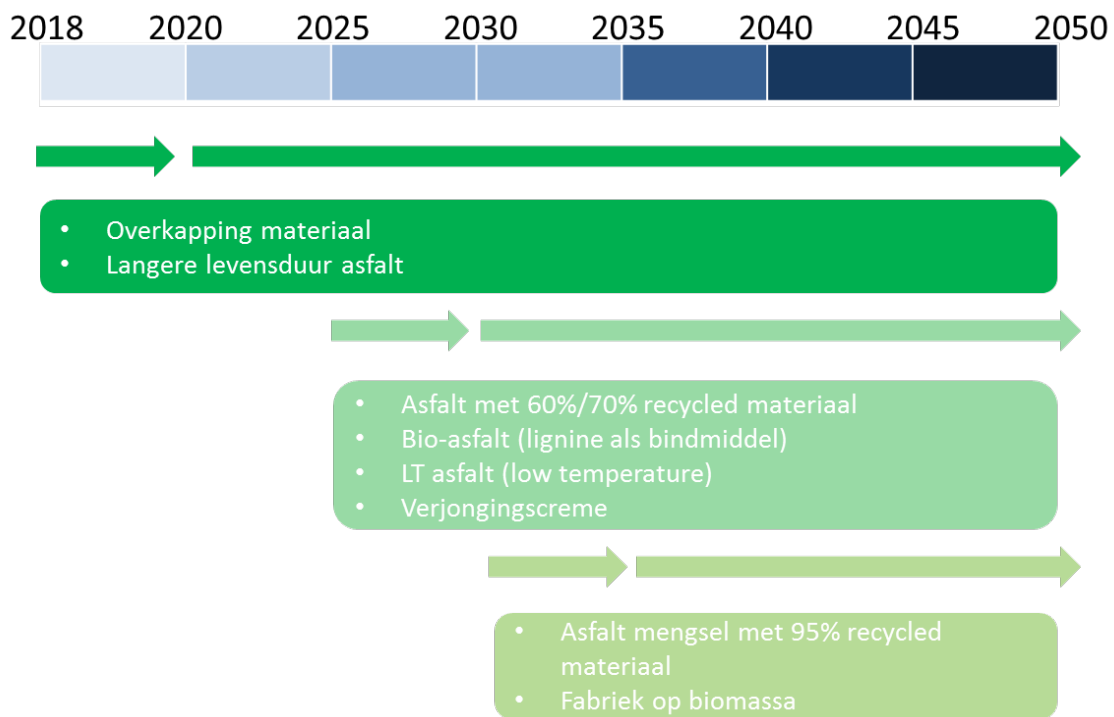
- Nauwkeurige data kon worden verzameld voor het in kaart brengen van de asfaltketen (o.a. op basis van het LCA achtergrondrapport Nederlandse Asfalt industrie: Mos, J., Beentjes, T., 2016).
- Door gebruik van lignine als bindmiddel kan 20% CO₂-eq worden bespaard, zoals blijkt uit gesprekken met experts, maar hier is geen nadere referentie van gevonden.
- De bijdrage van de bitumen reductie aan de impact van asfalt is afhankelijk van hoe je de verschillende impacts aan verschillende onderdelen van de keten toerekent (allocatie). In deze studie is ervoor gekozen om bitumen te beschouwen als een restproduct met geen emissie.
- Een langere levensduur van asfalt zorgt voor verminderd verbruik van een materiaal (en dus minder energieverbruik en impacts) over de tijd.



Figuur 9 – Overzicht van de asfaltketen

Technology Readiness Level en ontwikkelingen nieuwe technologieën

De weergegeven nieuwe technologieën voor de asfaltketen zijn in ontwikkeling. Figuur 10 geeft de verwachting wanneer een nieuwe technologie kan worden toegepast, dat betekent dus vanaf welk jaar een betreffende technologie TRL 9 heeft bereikt. Er wordt vanuit gegaan dat een technologie met een lagere TRL, elke twee jaar een niveau hoger komt. Dit figuur geeft inzicht in wanneer welke technologie toegepast kan worden, en biedt hiermee handvatten om de transitie naar een KNINFRA te versnellen.



Figuur 10 – Verwachting van toepasbaarheid van nieuwe technologie op de markt

Scenario resultaten voor de asfaltketen

Met de informatie die is opgesomd in Figuur 9 en Figuur 10 zijn de twee asfaltscenario's, BAU scenario en KNINFRA scenario gecreëerd.

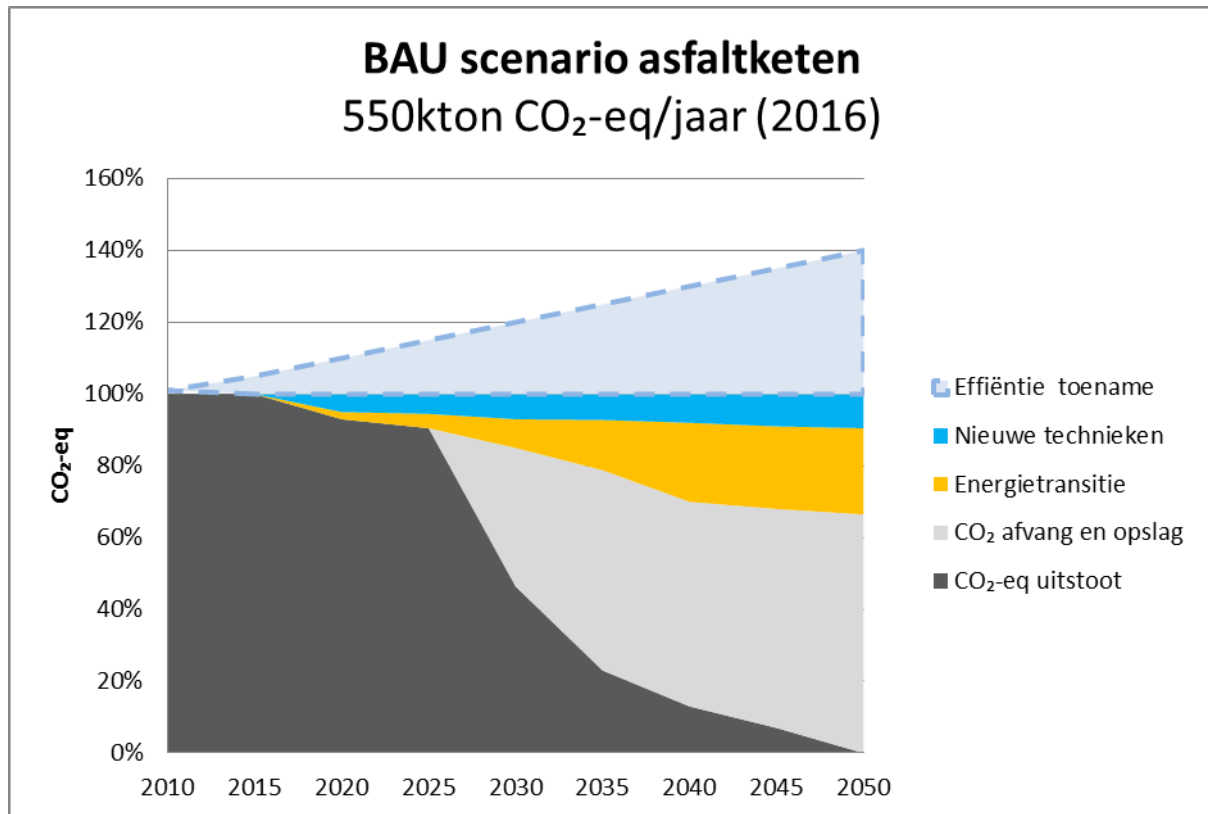
BAU scenario asfalt

In Figuur 11 kan af worden gelezen dat de toepassing van huidige nieuwe technologieën (blauwe balk) kan zorgen voor een reductie van 9,5% in 2050 in dit scenario (244kton CO₂-eq). De reductie komt vooral voort uit de verbetering van recycling.

Het gebruik van duurzamere energie en elektriciteit zoals weergegeven in de I&M scenario's kan ervoor zorgen dat het percentage CO₂-eq in de asfaltketen met 24% afneemt in 2050 ten opzichte van 2010. Dit percentage aan CO₂-eq staat ongeveer gelijk aan 132kton CO₂-eq (met de aanname dat er in 2010 en 2050 dezelfde vraag naar asfalt is).

De overige 366kton CO₂-eq (66,5% van totaal) emissies kan in principe worden opgeslagen met behulp van verschillende lang-cyclische opslag technieken (hiervoor is extra energie nodig dat niet is

meegenomen in de berekening). Dit samen kan er voor zorgen dat de betonketen klimaatneutraal kan worden in 2050 volgens het BAU scenario.



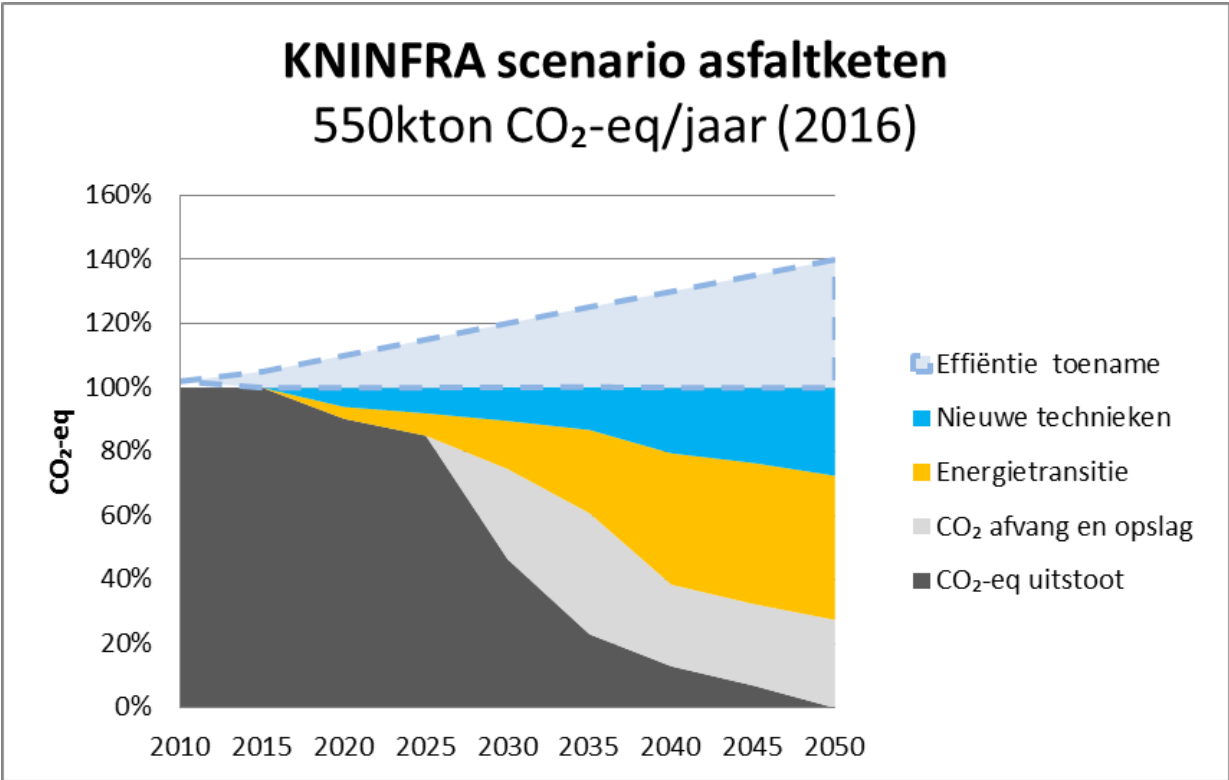
Figuur 11 – BAU scenario asfaltketen

KNINFRA scenario asfalt

In Figuur 12 - KNINFRA scenario asfaltketen kan af worden gelezen dat de toepassing van nieuwe technologieën (blauwe balk) kan zorgen voor een reductie van 27,5% in 2050 in dit scenario (151kton CO₂-eq).

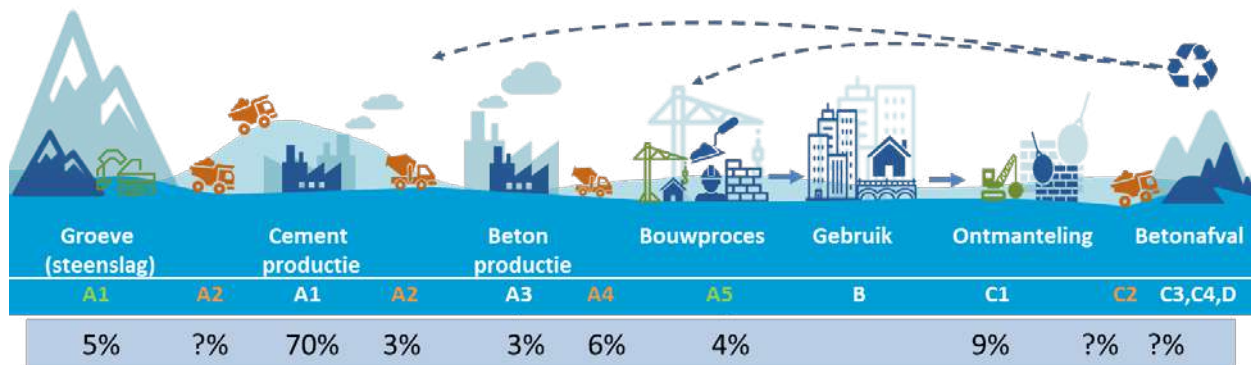
Het gebruik van duurzamere energie en elektriciteit zoals weergegeven in de 'energie transitie scenario's' kan er voor zorgen dat het percentage CO₂-eq in de asfaltketen met 45% af kan zijn genomen in 2050 ten opzichte van 2010. Dit percentage aan CO₂-eq staat ongeveer gelijk aan 248kton CO₂-eq (met de aanname dat er in 2010 en 2050 dezelfde vraag naar asfalt is).

Voor de overige 149kton CO₂-eq (27,5% van totaal) emissies zou kunnen worden gecompenseerd met CCS of CCU (hiervoor is extra energie nodig dat niet is meegenomen in de berekening) of andere compensatiemaatregelen. Dit samen kan er voor zorgen dat de asfaltketen klimaatneutraal kan worden in 2050 volgens het KNINFRA scenario.



Figuur 12 – KNINFRA scenario asfaltketen

Beton



Figuur 13 – Overzicht en zwaartepuntanalyse van de betonketen

De betonketen is weergegeven in bovenstaande Figuur 13. In de bouw werd er in 2010 14.000.000 m³ beton gebruikt (13800 kton). Dit veroorzaakt een CO₂ uitstoot van 3700kton CO₂-eq (CE Delft 2010). De infra sector neemt 31% van het betongebruik in de bouw voor zijn rekening (Cement & Betoncentrum en VOBN, 2010). Dit vertaalt zich naar een CO₂-eq uitstoot in de infra sector van 975kton CO₂-eq in 2010.

In Figuur 13 bevindt zich een CO₂-eq zwaartepuntanalyse van de betonketen (ketenanalyses op de website van SKAO, CE Delft 2010). De grootste uitstoot wordt veroorzaakt in de cement productie fase (70%). De overige productie, beton productie, zorgt voor 3% van de uitstoot. Transport in de keten draagt voor 9% bij aan de totale uitstoot. Het gebruik van materieel zorgt voor 19% van de CO₂-eq uitstoot. Behalve de CO₂-eq impact van de ontmanteling waren er geen gegevens beschikbaar over de end-of-life fase van de betonketen.

Nieuwe technologie in de betonketen

In het overzicht van 'Appendix A – Overzicht materialen' is beschreven wat de CO₂-eq uitstoot, prijs en TRL niveau van een nieuwe technologie is.

De groene blokken verwijzen naar de energietransitie scenario's van bouw- en sloopmaterieel. De oranje blokken verwijzen naar de energietransitie scenario's van transport over land (transport over water is niet weergegeven en de figuren). In de groene en oranje blokken verwijst het bovenste getal naar het I&M scenario en het onderste getal naar het KNINFRA energie scenario.

Een selectie van nieuwe technologieën en ontwikkelingen die bij kunnen dragen aan de reductie van CO₂ zijn weergegeven in Figuur 14.

Het zwaartepunt van de betonketen ligt overduidelijk bij de cementproductie. De CO₂-eq emissies die vrijkomen bij de cementproductie worden hoofdzakelijk veroorzaakt door de verbranding van

brandstoffen en het decarbonisatie proces (Cement&Beton Centrum, 2010). Dit decarbonisatie proces, of het produceren van de klinker (mergel, leem, vliegias en ijzerhoudende grondstoffen) gebeurt in een oven die wordt verhit tot 2000 graden Celsius en waarin de sintering van plaatsvindt bij een temperatuur van 1450 graden Celsius. Omdat er bij dit decarbonisatie proces CO₂-eq vrijkomt kan een klimaatneutrale cementproductie hierom niet worden verwezenlijkt door alleen de overgang naar hernieuwbare energie. CO₂ afvang of CO₂ vastlegging is de enige optie om de cementproductie klimaatneutraal te maken. Het blijkt lastig om de energievraag van de cement productie ovens te evenaren met niet fossiele brandstoffen. Biomassa wordt al toegepast samen met fossiele brandstof. Een mogelijke optie is torrefractie van biomassa (<https://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/Bio-energie%20-%20Techniek%20%E2%80%93%20Torrefactie.pdf>). Nieuwe technologieën om CO₂-eq in de cementproductie te verminderen bestaan vooral uit nieuwe cement typen die zijn opgebouwd uit andere mineralen. De moeilijkheid daarbij is wel dat niet alle grondstoffen/mineralen van de nieuwe cement typen in groten getale aanwezig zijn. De kans dat dit soort nieuw cement typen de gehele stroom aan cement overneemt is daarom klein.

In de end-of-life fase van de betonketen liggen mogelijkheden om beton en cement weer terug te brengen in de betonketen. De moeilijkheid bij beton is echter dat beton als materiaal op zichzelf moeilijk te recyclen is. De opties die er zijn om beton terug te brengen in de keten hebben voor en nadelen die hieronder kort worden genoemd.

Chemische recycling van beton is nog in de experimentele onderzoeksfase en het is onduidelijk wat de mogelijkheden zijn voor opschaling naar de verwerkingsvolumes die nodig zijn voor de infrasector, het ligt daarom niet in de lijn der verwachting dat dit snel grootschalig toegepast kan worden. Mechanische recycling, waarbij beton wordt vermalen wordt wel toegepast, maar het recyclaat kan dan maar ten dele worden gebruikt als vulmiddel en er blijft dan dus nog steeds een grote vraag naar virgin cement. De focus van betonrecycling ligt bij Rijkswaterstaat daarom op demontabel bouwen. Deze manier van het hergebruiken van beton zorgt er wel voor dat er uniforme beton onderdelen zullen moeten worden gebruikt. De onderdelen zullen tijdens de end-of-life fase van een bouwwerk uit het werk moeten worden gehaald om vervolgens als onderdelen te dienen voor een nieuw werk. De constructies die hierdoor ontstaan zullen echter minder specialistisch kunnen worden ontworpen. Wat deze afweging doet voor de milieu impacts is nog niet geheel duidelijk. Het nadeel dat hier verder bij komt kijken is dat het op dit moment niet in te schatten is of demontabel gebouwde stukken nu, nuttig kunnen worden gebruikt in de toekomst.

Mogelijkheden op een niveau lager liggen bij mechanische recycling waarbij beton onderdelen worden vermalen en kunnen worden hergebruikt als toeslagmateriaal bij de cement en beton productie. Met mechanische recycling neemt de waarde van het beton veel af doordat het wordt gebruikt als toeslagmateriaal. Door dit beton her te gebruiken is er natuurlijk minder toeslagmateriaal nodig, echter is er nog steeds cement nodig (zwaartepunt van de betonketen) om op deze manier beton te produceren waardoor de besparing via deze manier beperkt zal zijn.

Alternatieven voor toeslagmateriaal dat CO₂ uit de lucht kan halen zijn ook aanwezig (niet meegenomen in scenario analyse). Voorbeelden hiervoor zijn Olivijn en mineraal CO₂. Deze

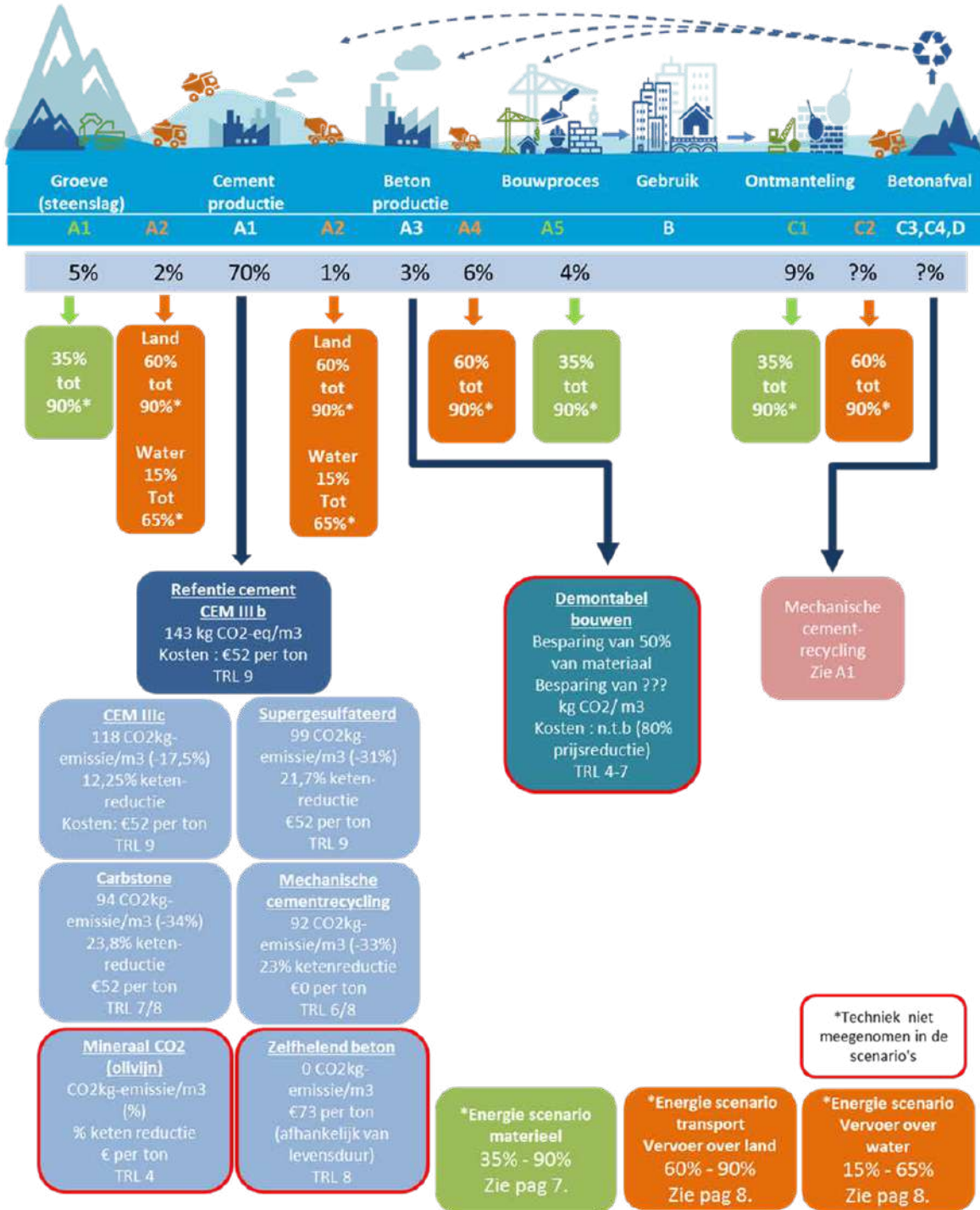
materialen kunnen dus zorgen voor dubbele winst. Meer informatie is te vinden in 'Appendix A – Overzicht materialen'.

Levensduur verlengende technologieën zoals self-healing concrete zorgen tijdens de constructie niet voor directe CO₂-eq afname. Afhankelijk van de periode of levensduur van een betonnen constructie zorgt het self-healing concrete voor minder onderhoud (+-20%) wat energie en materiaal bespaard. Daarnaast kunnen self-healing betonnen bouwwerken langer meegaan dan standaard bouwwerken. De besparing die self-healing concrete kan opbrengen is dus sterk afhankelijk van de levensduur van een bouwwerk of de regels die gebonden zijn aan de levensduur van een bouwwerk (RWS heeft regels hoe lang een bouwwerk maximaal mag blijven staan). Levensduur afhankelijke ontwikkelingen kunnen worden meegerekend in een LCA, echter is het dan wel noodzakelijk dat het tijdsbestek van de LCA wordt vastgesteld op een bepaald aantal jaren (Wat in deze scenario's niet zo is (per jaar berekend)).

Opmerkingen scenario's betonketen

- De ENCI (cement productie) wordt voor het grootste gedeelte al aangedreven door biomassa.
- Er is veel discussie gaande over de nieuwe technologieën voor de betonketen.
- Allocatie van milieu impacts van hoogovenslak zorgt voor discussie

Betonketen (975 kton CO₂-eq/Jaar)

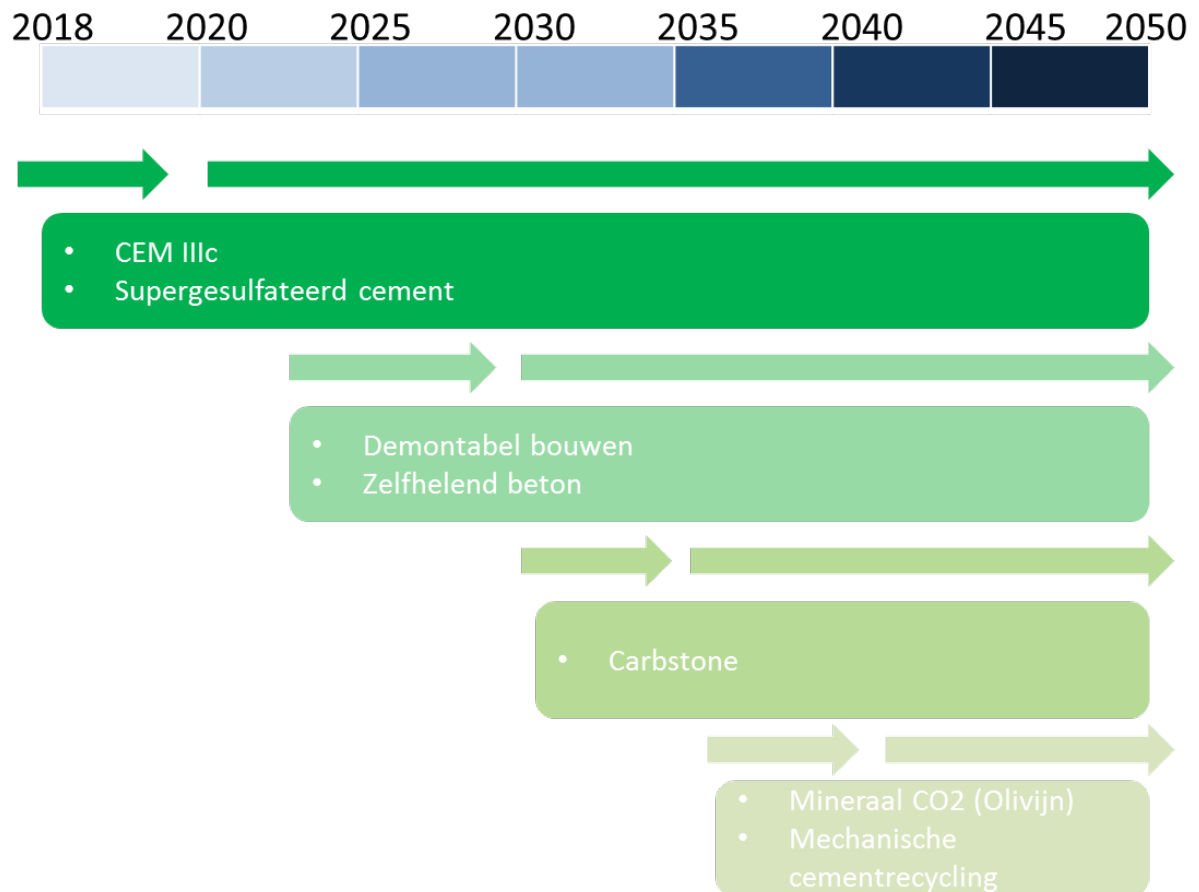


Ketenverbeteringen -> Bijvoorbeeld zelfhelenbeton en demontabel bouwen berekening door onderzoeksopzet niet mogelijk

Figuur 14 – Overzicht van betonketen

Technology Readiness Level en ontwikkelingen nieuwe technologieën

De weergegeven nieuwe technologieën voor de betonketen zijn in ontwikkeling. Figuur 15 geeft de verwachting (gebaseerd op de verwachting dat een hoger TRL niveau wordt bereikt in twee jaar) wanneer een nieuwe technologie kan worden toegepast. Dit figuur geeft inzicht in wanneer welke technologie toegepast kan worden, en biedt hiermee handvatten om de transitie naar een KNINFRA te versnellen.



Figuur 15 – Verwachting van toepasbaarheid van nieuwe technologie op de markt

Scenario resultaten betonketen

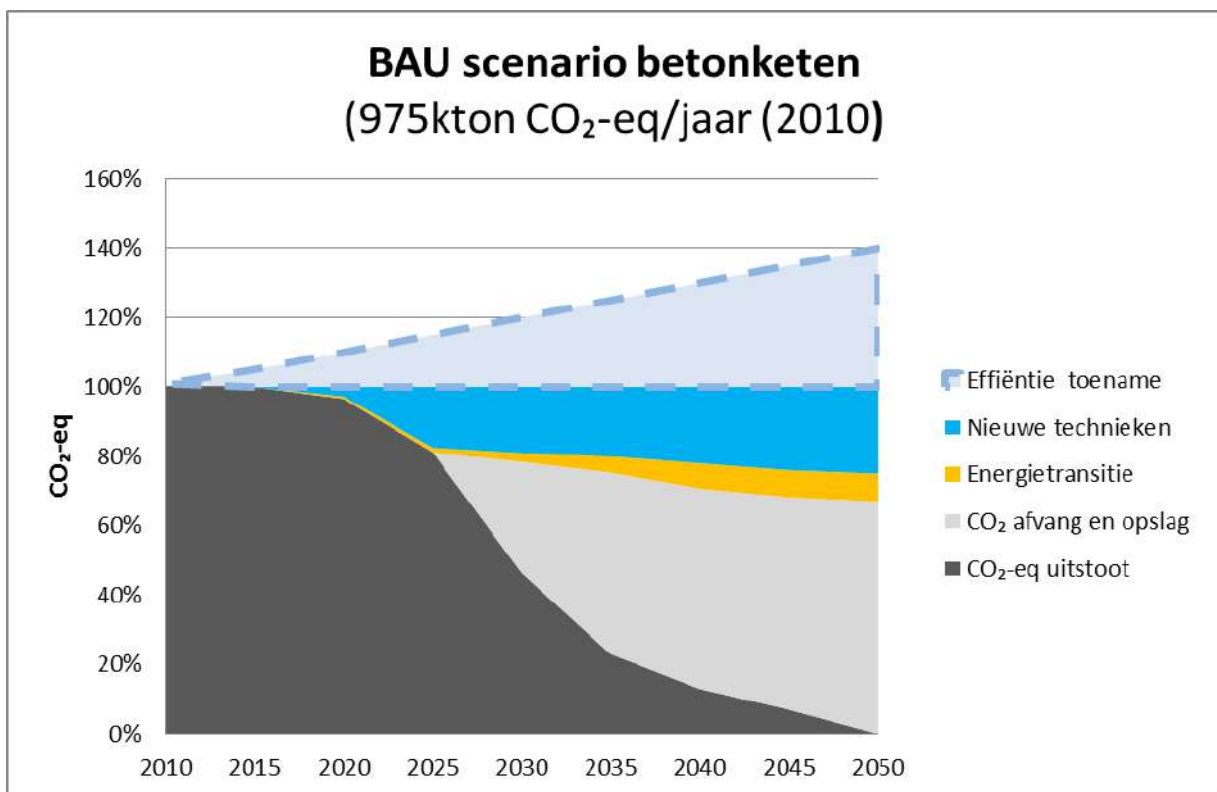
Met de informatie die is opgesomd in Figuur 14 en Figuur 15 zijn de twee beton scenario's, BAU scenario en KNINFRA scenario gecreëerd (Figuur 16 en Figuur 17).

BAU scenario beton

In Figuur 16 kan af worden gelezen dat de toepassing van nieuwe technologieën (blauwe balk) zorgen voor een reductie van 25% in 2050 in dit scenario (244kton CO₂-eq). De hoeveelheid aan CO₂-eq reductie door nieuwe technologie in dit scenario neemt aanzienlijk toe tussen 2020 en 2025. Het gebruik van duurzamere energie en elektriciteit zoals weergegeven in de I&M scenario's kan er voor zorgen dat het percentage CO₂-eq in de betonketen met 8% af kan zijn genomen in 2050 ten opzichte van 2010. Dit percentage aan CO₂-eq staat ongeveer gelijk aan 80 kton CO₂-eq (met de

aanname dat er in 2010 en 2050 dezelfde vraag naar beton is). De geringe reductie door de energietransitie komt voornamelijk doordat het gebruik van transport en bouw- en sloopmaterieel slechts 25% van de gehele keten op zich neemt.

De overige 650kton CO₂-eq (67% van totaal) emissies kan in principe worden opgeslagen met behulp van CCS technieken (hiervoor is extra energie nodig dat niet is meegenomen in de berekening). Dit samen kan er voor zorgen dat de betonketen klimaatneutraal kan worden in 2050 volgens het BAU scenario.



Figuur 16 – BAU scenario betonketen

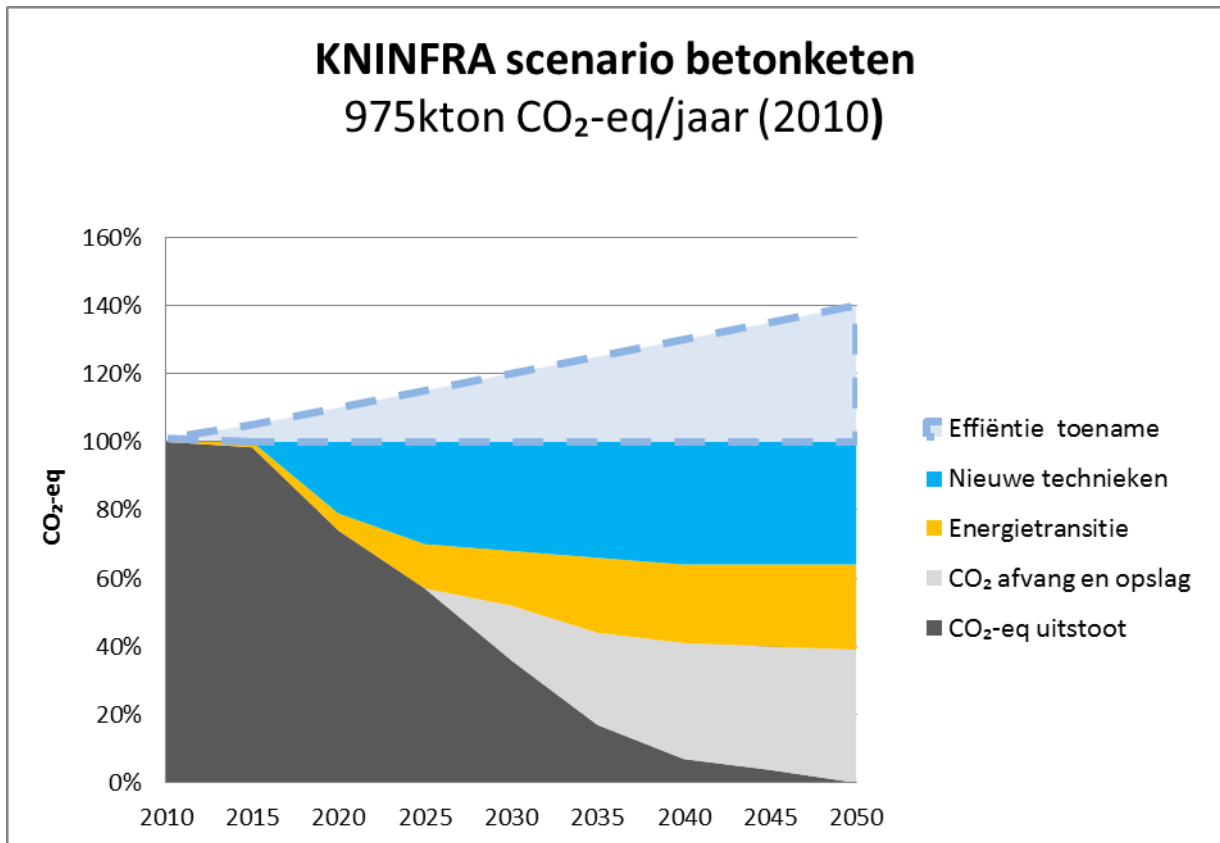
KNINFRA scenario beton

In Figuur 17 kan af worden gelezen dat de toepassing van nieuwe technologieën (blauwe balk) zorgen voor een reductie van 36% in 2050 in dit scenario (zoveel CO₂-eq). Omdat er in dit scenario is aangenomen dat technologie zich veel sneller ontwikkelt is er in dit scenario in 2020 al veel reductie mogelijk.

Het gebruik van duurzamere energie en elektriciteit zoals weergegeven in de I&M scenario's kan er voor zorgen dat het percentage CO₂-eq in de betonketen met 25% af kan zijn genomen in 2050 ten opzichte van 2010. Dit percentage aan CO₂-eq staat ongeveer gelijk aan 240 kton CO₂-eq (met de aanname dat er in 2010 en 2050 dezelfde vraag naar beton is).

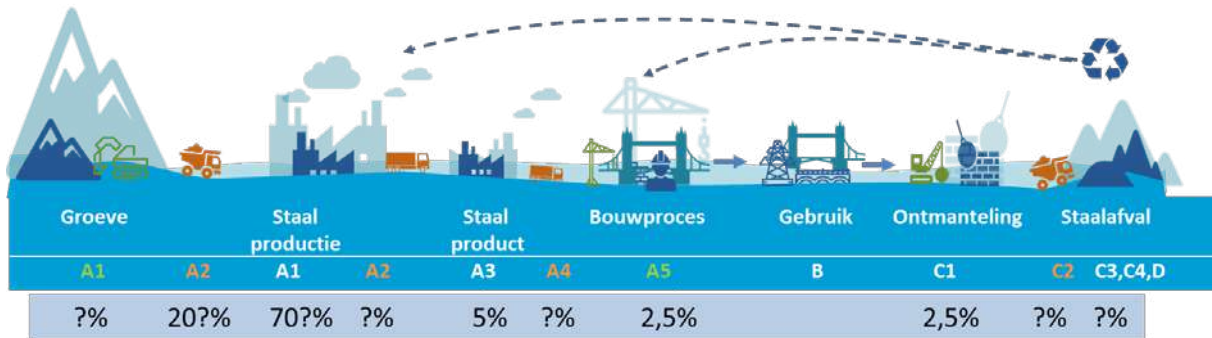
De overige 380 kton CO₂-eq (39% van totaal) emissies kan in principe worden opgeslagen met behulp van meerdere soorten CCS en CCU technieken (hiervoor is extra energie nodig dat niet is

meegenomen in de berekening). Dit samen kan er voor zorgen dat de betonketen klimaatneutraal kan worden in 2050 volgens het KNINFRA scenario.



Figuur 17 – KNINFRA scenario betonketen

Staal



Figuur 18 – Overzicht en zwaartepunt analyse van de staalketen

De staalketen is weergegeven in bovenstaande Figuur 18. Door een gebrek aan informatie zijn hier veel aannames moeten doen.

In de bouw werd er in 2010 890kton constructiestaal en 546kton wapeningsstaal gebruikt (CE Delft, 2015). Het is onbekend gebleven hoeveel van het constructiestaal wordt gebruikt in de infra sector. De aanname is dat 60% van het constructiestaal wordt gebruikt in de infra sector. Van het wapeningsstaal is er wel data bekend, en wordt 120kton gebruikt in de infrasector. Dit is 22% van de totale hoeveelheid aan wapeningsstaal. De klimaatimpact van wapeningsstaal in de infrasector in 2010 komt neer op 154kton CO₂-eq. Door gebruik te maken van dit getal is ook een aanname gemaakt van de CO₂-eq uitstoot van het constructiestaal (694kton). Dit geheel is afgerond naar een totale uitstoot van de staalketen in 2010 van 850kton CO₂-eq.

In Figuur 18 bevindt zich een CO₂-eq zwaartepunt analyse van de staalketen (ketenanalyses op de website van SKAO, interviews). De grootste uitstoot wordt veroorzaakt in de staal productie fase (70%). De overige productie zorgt voor 5% van de uitstoot. Transport in de keten, datgene dat bekend is, draagt voor 20% bij aan de totale uitstoot. Hierbij is het niet duidelijk wat de onderverdeling is tussen het transport van de groeve naar de staalproductie centrale, het transport tussen de staalproductiecentrale en de staal product productie locatie en het transport naar de bouwplaats. Dit alles hangt sterk af van waar de staal wordt geproduceerd (bv. Wanneer de staalproductie in China plaatsvindt zal het staal over grote afstanden worden vervoerd. Vind de staalproductie in Nederland plaats dan zal vooral het ijzererts over grote afstanden worden verplaatst).

Het gebruik van materieel zorgt voor 2,5% van de CO₂-eq uitstoot. Echter is het niet bekend hoeveel de uitstoot van het bouw- en sloopmaterieel in de staalproductiefase veroorzaakt. Uit de aanwezige data kon er geen onderscheid worden gemaakt tussen emissies die vrij komen is de groeve en tijdens de staalproductie.

Behalve de CO₂-eq impact van de ontmanteling waren er geen gegevens beschikbaar over de end-of-life fase van de staalketen.

Nieuwe technologie in de staalketen

In het overzicht van 'Appendix A – Overzicht materialen' is beschreven wat de CO₂-eq uitstoot, prijs en TRL niveau van een nieuwe technologie is.

De groene blokken verwijzen naar de energietransitie scenario's van bouw- en sloopmaterieel. De oranje blokken verwijzen naar de energietransitie scenario's van transport over land (transport over water is niet weergegeven en de figuren). In de groene en oranje blokken verwijst het bovenste getal naar het I&M scenario en het onderste getal naar het KNINFRA energie scenario.

Een selectie van nieuwe technologieën en ontwikkelingen die bij kunnen dragen aan de reductie van CO₂-eq zijn weergegeven in Figuur 19.

De CO₂-eq emissies die vrijkomen in de staalketen worden hoofdzakelijk veroorzaakt door de staalproductie (70%). Nieuwe technologie focust zich dan ook vooral op andere manieren van staalproductie, zie Appendix A. De grip van de Nederlandse infrasector op deze ontwikkelingen is echter miniem. De ijzererts leveranciers hebben veel invloed op de staalketen. Zowel de productie als de end-of-life fase en recycling is door de staalbedrijven in beheer. Daarnaast komt een klein deel van het staal voor de infra sector komt uit het buitenland, de milieu informatie van deze leveringen is bekend en is verwerkt in de MRPI bladen (Milieu Relevante Product Informatie) van staal.

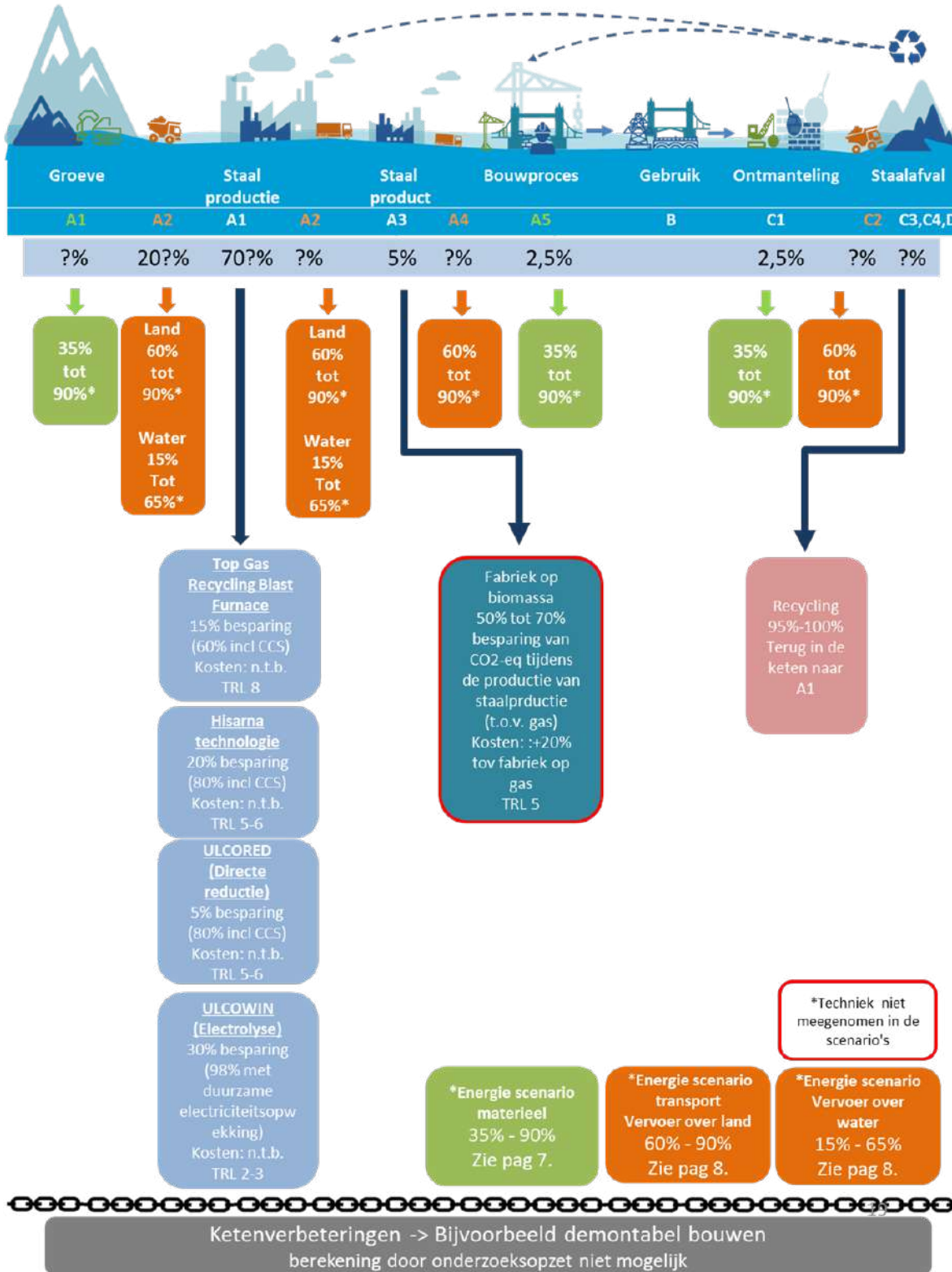
Vrijwel al het staal in de bouw wordt hergebruikt als component (bv balk, kolom) of gerecycled (omgesmolten) tot nieuw staal. Hoe minder contaminatie van het staal, hoe hoger de recycle kwaliteit blijft, waardoor er een sterke vraag is naar nieuwe technologie waarbij de staal zo puur mogelijk blijft. Om deze reden zijn de ontwikkelingen tijdens de staalproductie ook de ontwikkelingen die voor de meeste CO₂-eq reductie kunnen zorgen.

Om tot een vermindering van de CO₂-emissies van infra werken te komen is het van belang om materialen op functioneel niveau en de totale Life Cycle (LCA) te analyseren. Dit laatste is uitgebreid onderzocht door RVO/RWS en is samengevat in een vergelijkende studie LCA bruggen (zie Beco 2013). Daarin komt naar voren dat staal een betere milieuscore en een lagere CO₂ footprint heeft dan beton en kunststof.

Opmerkingen staalketen scenario's

- Informatie/data over de staalketen is lastig te vinden, daarom zijn er veel aannames gemaakt in de staalscenario's. Dit kan worden verbeterd door meer samen te werken met onderzoeksinstellingen in de staalindustrie.
- Nog niet meegenomen in scenario's, vanwege het gebrek aan bruikbare data:
 - Flash-smelten met ijzererts, vanaf 2030 toepasbaar
 - Circored, vanaf 2030 toepasbaar

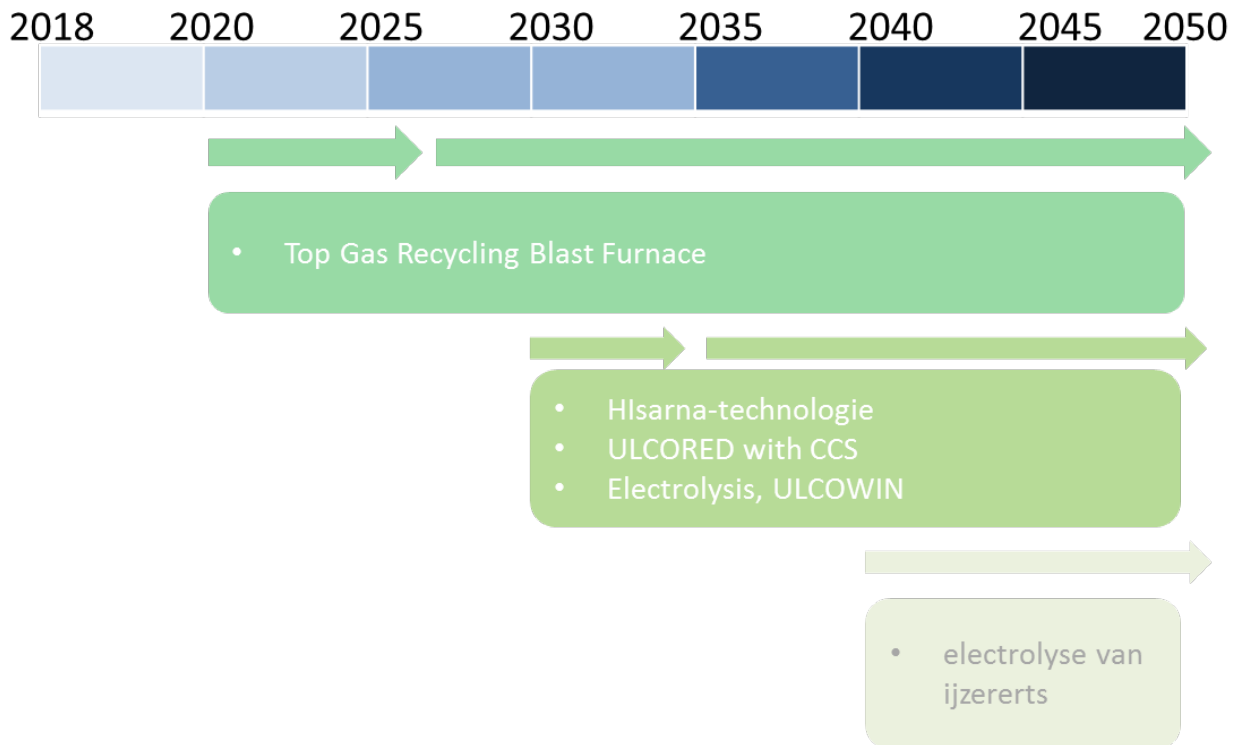
Staalketen (850 kton CO₂-eq/Jaar)



Figuur 19 – Overzicht van staalketen

Technology Readiness Level en ontwikkelingen nieuwe technologieën

De weergegeven nieuwe technologieën voor de staalketen zijn in ontwikkeling. Figuur 20 geeft de verwachting (gebaseerd op de verwachting dat een hoger TRL niveau wordt bereikt in twee jaar) wanneer een nieuwe technologie kan worden toegepast. Dit figuur geeft inzicht in wanneer welke technologie toegepast kan worden, en biedt hiermee handvatten om de transitie naar een KNINFRA te versnellen.



Figuur 20 – Verwachting van toepasbaarheid van nieuwe technologie op de markt

Scenario resultaten staalketen

Met de informatie die is opgesomd in Figuur 19 en Figuur 20 zijn de twee staal scenario's, BAU scenario en KNINFRA scenario gecreëerd (Figuur 21 en Figuur 22).

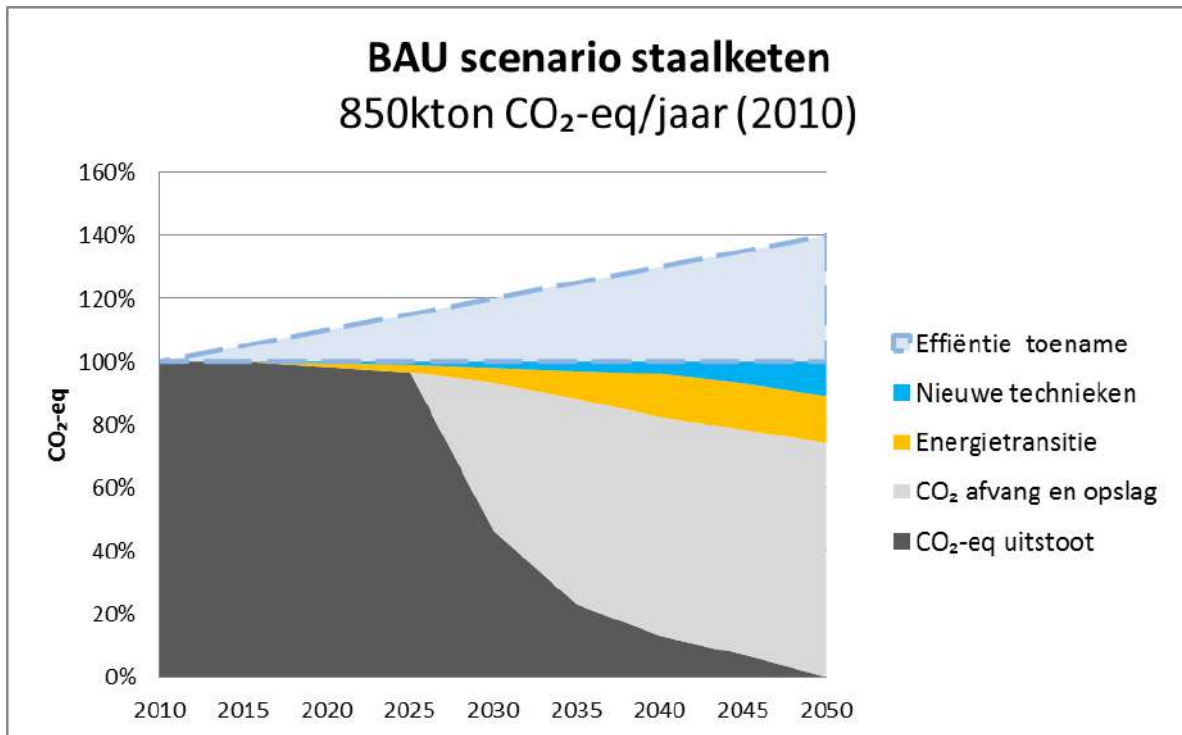
BAU scenario staal

In Figuur 21 is te zien dat de toepassing van nieuwe technologieën (blauwe balk) zorgen voor een reductie van 11% in 2050 in dit scenario (94kton CO₂-eq). De verwachting is dat nieuwe technologie pas na 2040 tot toepassing zal komen (het is gebruik nemen van nieuwe staalproductie technologie kan tussen de 1,5 tot 33 jaar duren).

Het gebruik van duurzamere energie en elektriciteit zoals weergegeven in de I&M scenario's kan er voor zorgen dat het percentage CO₂-eq in de staalketen met 15% af kan zijn genomen in 2050 ten opzichte van 2010. Dit percentage aan CO₂-eq staat ongeveer gelijk aan 128kton CO₂-eq (met de aanname dat er in 2010 en 2050 dezelfde vraag naar staal is).

De overige 630kton CO₂-eq (74% van totaal) emissies kan in principe worden opgeslagen met behulp van CCS technieken (hiervoor is extra energie nodig dat niet is meegenomen in de berekening). Dit

samen kan er voor zorgen dat de staalketen klimaatneutraal kan worden in 2050 volgens het BAU scenario.



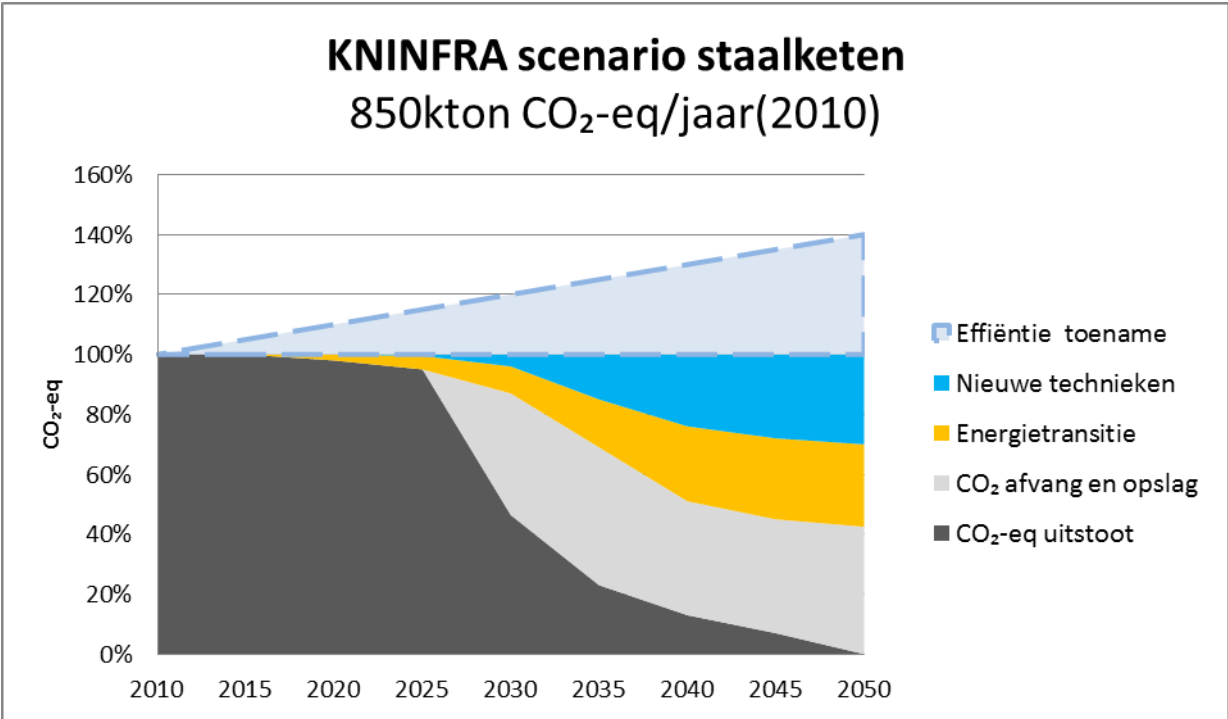
Figuur 21 – BAU scenario staalketen

KNINFRA scenario staal

In Figuur 22 af worden gelezen dat de toepassing van nieuwe technologieën (blauwe balk) zorgen voor een reductie van 30% in 2050 in dit scenario (255kton CO₂-eq). De verwachting is dat nieuwe technologieën voor staalproductie na 2030 tot toepassing zal komen doordat sturing op versnelde ontwikkeling plaatsvindt.

Het gebruik van duurzamere energie en elektriciteit zoals weergegeven in de I&M scenario's kan er voor zorgen dat het percentage CO₂-eq in de staalketen met 27,5% af kan zijn genomen in 2050 ten opzichte van 2010. Dit percentage aan CO₂-eq staat ongeveer gelijk aan 234kton CO₂-eq (met de aanname dat er in 2010 en 2050 dezelfde vraag naar staal is).

De overige 360kton CO₂-eq (42,5% van totaal) emissies kan in principe worden opgeslagen met behulp van CCS technieken (hiervoor is extra energie nodig dat niet is meegenomen in de berekening). Dit samen kan er voor zorgen dat de staalketen klimaatneutraal kan worden in 2050 volgens het KNINFRA scenario.

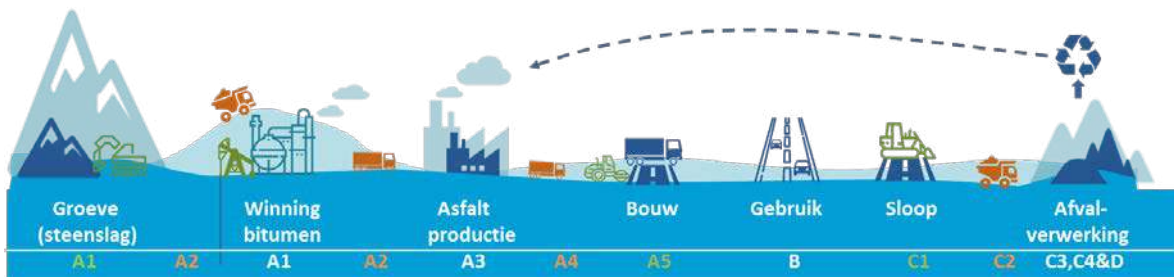


Figuur 22 – KNINFRA scenario staalketen

5. Van theorie naar praktijk

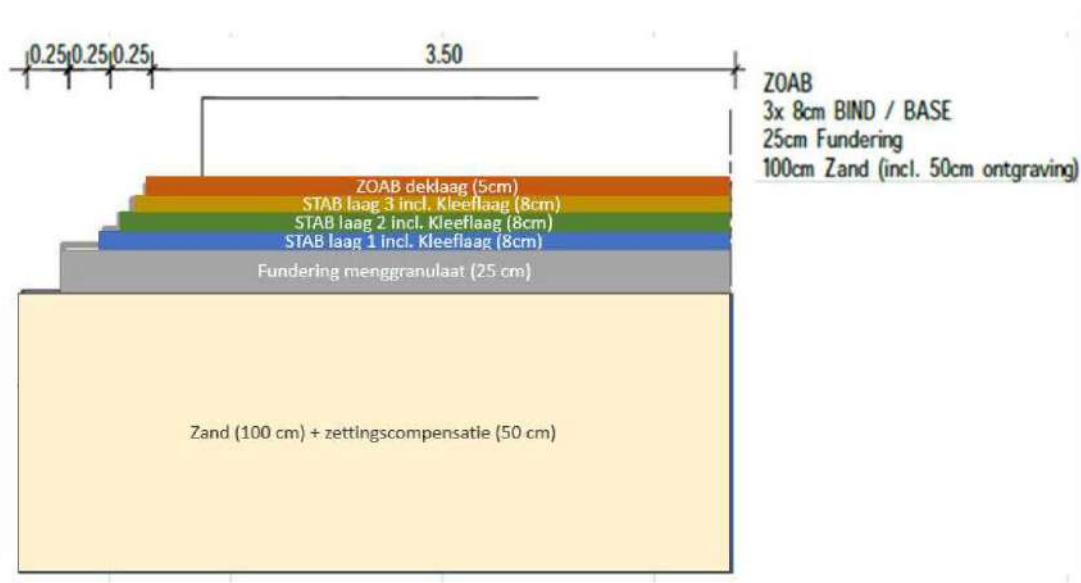
Het tweede deel van het onderzoek focust op hoe de scenario's in de praktijk kunnen worden toegepast. Hierbij is verdiept ingegaan op asfalt en de asfalt scenario's. Er is gekozen voor de analyse van asfalt omdat hier de meest uitgebreide informatie over aanwezig was, daarnaast was er geen ruimte in het project om de andere materialen (beton en staal) te analyseren. Echter de voor asfalt uitgevoerde analyses zijn ook te herleiden tot de andere materialen (beton en staal). Daarnaast is er een praktijkvoorbeeld van duurzaam aanbestedingen in CO₂-neutrale wegen geanalyseerd. Hier is onderzocht in hoeverre het al mogelijk is om klimaatneutraliteit in aanbestedingen mee te nemen, wat er op dit moment al goed gaat en waarop er nog verbeterd kan worden.

Analyse ketenanalyse A4 Leiden - Burgerveen



In dit hoofdstuk is de data van een ketenanalyse van RWS 'ketenanalyse A4 Leiden – Burgerveen' geanalyseerd. Daarnaast is deze data gebruikt om het KNINFRA asfalt scenario op toe te passen. Door de toepassing van het KNINFRA asfalt scenario op deze ketenanalyse kan er worden weergegeven hoeveel CO₂-eq reductie mogelijk is als nieuwe technologie maximaal wordt toegepast in deze LCA. In het KNINFRA asfalt scenario uit Deel 1 was het niet mogelijk om te specificeren hoeveel reductie ketenverbeteringen, zoals asfalt met een langere levensduur, kunnen bereiken. Door naar een specifieke LCA te kijken is dit wel mogelijk aangezien daarbij een tijdsschaal van een aantal jaar is gespecificeerd. Daarnaast is door een analyse op projectniveau data nauwkeuriger te bepalen omdat de schaal behapbaar blijft.

Deze ketenanalyse van een wegverbredingsproject maakt deel uit van een aantal ketenanalyses die uitgevoerd zijn voor RWS voor de verkenning richting trede 5 van de CO₂-Prestatieladder. De ketenanalyse is opgesteld samen met Arcadis en BAM. Er is gekozen voor een wegverbredingsproject. Het stuk A4 tussen Burgerveen en Leiden is in dit project verbreed van 2x2 naar 2x3 rijstroken. Het project is aanbesteed in 2007 en in 2014 afgerond. Omdat de weg bij Leiden en Leiderdorp dicht langs bebouwd gebied loopt is de weg hier over een traject van 1400 meter verdiept aangelegd (vermindering geluidsoverlast). Omdat de weg niet overal hetzelfde was opgebouwd is er een gestandaardiseerd wegontwerp opgesteld. Dit is representatief voor de gehele weg (Figuur 23).



Figuur 23 – Gestandariseerd wegontwerp

Voor de wegoopbouw wordt eerst 50 cm grond weggegraven. Daarna wordt 100 centimeter zand aangelegd + 50 centimeter zettingscompensatie. Als basis voor de wegoopbouw ligt een fundering, bestaande uit 25 cm menggranulaat. Daarna volgen de drie onderlagen van STAB-asfalt. De lagen zijn trapsgewijs opgebouwd, waarbij tussen elke laag een kleeflaag wordt aangebracht. De ZOAB-deklaag wordt als laatste aangebracht. Wanneer het asfalt is afgekoeld en de markeringsstrepen zijn aangebracht, is de weg klaar voor gebruik.

De scope van deze ketenanalyse bestaat uit de aanleg (Aanleg rijstrook: Winning van grondstoffen, Transport van grondstoffen naar de productielocatie, productie grondstoffen, transport van productielocatie naar projectlocatie, bouwfase) en het (groot) onderhoud (Onderhoud: frezen top- en/of tussenlaag, transport oud asfalt, winning grondstoffen, transport van de grondstoffen naar de productielocatie, productie grondstoffen, aanleggen nieuwe top- en/of tussenlaag) van de weg (zie Arcadis verslag voor meer detail) gedurende 20 jaar.

Dit geeft de volgende functionele eenheid:

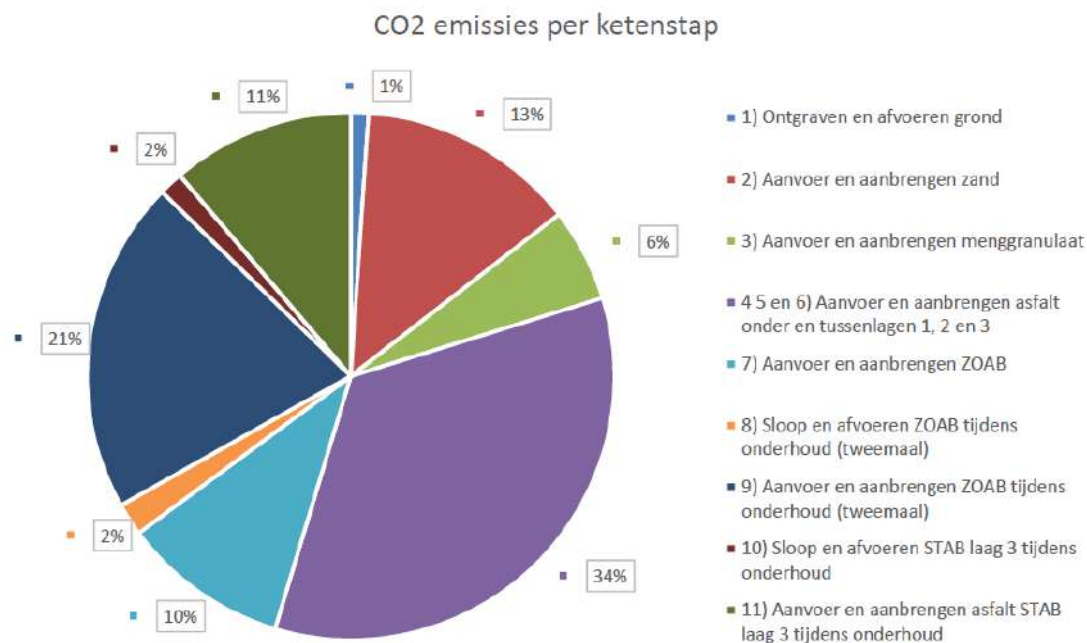
Functionele eenheid: De aanleg en onderhoud van 1 km wegverbreding met een rijstrookbreedte van 3,5 meter (gestandaardiseerd wegontwerp, representatief is voor het gehele project) voor een periode van 20 jaar. Niet alle lagen asfalt zijn op het zelfde moment aan onderhoud toe. De ZOAB laag moet om de tien jaar worden vervangen en de bovenste STAB laag moet om de 20 jaar worden vervangen.

Wanneer dit wordt vertaald naar de fases van de NEN:EN 15804 norm worden de volgende fases bestudeerd:

Meegenomen in berekening:

- Neerleggen nieuwe weg (EN 15804: A1, A2, A3, A4, A5)
- Groot onderhoud nieuwe weg*¹ (EN 15804: B2 -> A1-A5 voor onderhoud)
 - ZOAB laag: elke 10 jaar
 - 1ste STAB laag: elke 20 jaar

Hier worden in het kort de resultaten van de LCA A4 ketenanalyse besproken. Er zijn dus nog geen eigen berekeningen op uitgevoerd. Figuur 24 laat de verdeling zien van de CO₂-eq emissie per ketenstap (Ontgraven en afvoeren grond, Aanvoer en aanbrengen zand, aanvoer en aanbrengen menggranulaat, aanvoer en aanbrengen asfalt onder de tussenlagen 1, 2, en 3, Aanvoer en aanbrengen ZOAB, sloop en afvoeren ZOAB tijdens onderhoud (tweemaal), Aanvoer en aanbrengen ZOAB tijdens onderhoud (tweemaal), sloop en afvoeren STAB laag 3 tijdens onderhoud, Aanvoer en aanbrengen STAB laag 3 tijdens onderhoud).



Figuur 24 – CO₂ emissies per ketenstap

Van de totale CO₂-eq emissies komt 65% vrij tijdens de aanleg van de weg en 33% bij het onderhoud. Het materiaal gebruik in deze LCA neemt 62% van de CO₂-eq emissies voor zijn rekening, het bouw-

¹ De aannames van de onderhoudswerkzaamheden zijn op een andere weg gebaseerd. Op het moment van LCA berekening heeft er nog geen onderhoud plaatsgevonden. Er is aangenomen dat de onderhoudstijd van het asfalt gemiddeld is. Daarnaast zijn er verschillende factoren die invloed kunnen hebben op de functionele eenheid: Eisen wegdek, afstand, gebruiksprognoses, ligging van de weg, locatie van de weg, mogelijkheden van secundaire zandwinning, zout/zoet, logistiek en schaalvoordelen, beladingsgraad vrachtwagens, gebruik van bepaald type mobiel werktuig.

en sloop materieel 5% en het transport 33%. Het ‘aanvoeren en aanbrengen van de drie STAB onderlagen’ veroorzaakt de meeste CO₂-eq emissies (34%). Hierna wordt de meeste CO₂-eq emissies veroorzaakt door ‘onderhoud (vervanging) van de ZOAB-deklaag’ (23%). De reden voor deze grote bijdrage komt doordat er twee keer onderhoud van de ZOAB-deklaag plaats moet vinden in de tijdsschaal van 20 jaar. In totaal wordt 89% van de CO₂-eq uitstoot in deze analyse veroorzaakt door asfalt (materiaal, bouw- en sloop materieel en transport).

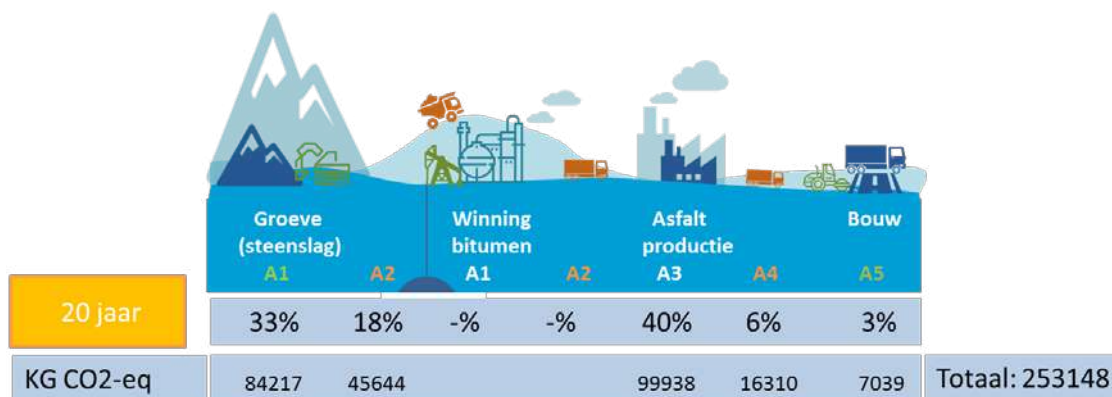
Aangezien asfalt een grote rol speelt in de CO₂-eq emissies, is er in het RWS onderzoek verder ingezoomd op de CO₂-eq impacts van asfalt. Dit heeft er toe geleid dat er aparte LCA data van het asfalt wordt gepresenteerd gerelateerd aan de ‘winning asfalt +bitumen(kleef)’ (EN15804: A1), ‘Transport winning locatie naar productielocatie’ (A2), ‘productie asfalt’ (A3), ‘Transport productielocatie naar projectlocatie’ (A4), ‘mobiele werktuigen project locatie’ (A5). Hierbij is een onderverdeling gemaakt tussen verschillende toepassingen van het asfalt ‘ZOAB deklaag’, ‘3 STAB lagen’, ‘onderhoud ZOAB-deklaag’, ‘Onderhoud STAB laag’. Deze aparte asfalt LCA data zal zijn gebruikt voor de in dit onderzoek uitgevoerde berekeningen (Tabel 4).

Tabel 4 – CO₂-eq. Impacts van asfalt in het RWS onderzoek

Ketenstap	ZOAB-deklaag (kg CO ₂)	3 STAB lagen (kg CO ₂)	Onderhoud ZOAB-deklaag (kg CO ₂)	Onderhoud Stab laag 1 (kg CO ₂)	Totaal (kg CO ₂)
Winning asfalt +bitumen (kleef)	18246	22.233	36.492	7246	84.217
Transport winning locatie naar productielocatie	4.691	23.811	9.382	7.760	45.644
Productie asfalt	8.667	55.768	17.334	18.169	99.938
Transport productielocatie naar projectlocatie	405	11.386	810	3.709	16.310
Mobiele werktuigen projectlocatie	1.902	952	3.804	381	7.039

Resultaten ketenanalyse inzoomen op asfalt

In de alinea hierboven zijn de verschillende fases van de asfaltketen besproken waarop berekeningen zijn uitgevoerd (A1,A2,A3,A4,A5), zie ook Figuur 4. In Figuur 25 zijn deze fases weergegeven samen met de bijbehorende CO₂-eq per fase en een zwaartepunt analyse (%). In deze LCA ligt het zwaartepunt, net zoals in de scenario’s, op de asfalt productie 40%. Daarnaast nemen de ruwe materiaalwinning (A1: 33%) en het transport (A2: 18%) van de ruwe materiaalwinning grote delen van de CO₂-eq op zich.



Figuur 25 – Ketenganalyse asfalt

De asfalt LCA data is vervolgens gebruikt om de verbeteringen genoemd in het eerdere hoofdstuk in dit onderzoek over asfalt scenario's toe te passen op een project. De voordelen hiervan zijn dat er op projectniveau met preciezere data kan worden gewerkt (minder gemiddelden), dat CO₂-eq reducties kunnen nauwkeuriger worden berekend en omdat er met een tijdschaal wordt gewerkt in plaats van een hoeveelheid uitstoot per jaar kunnen CO₂-eq reductie van levensduur verlengende technologieën worden berekend.

Eerder in dit onderzoek zijn twee asfalt scenario's gepresenteerd; BAU en KNINFRA. In beide scenario's zijn dezelfde technologieën verwerkt. Echter is de totale reductie die kan worden gehaald in de twee scenario's anders. In de hier uitgevoerde berekeningen zijn alleen de gegevens van het KNINFRA scenario gebruikt. Dit omdat deze weergeven wat de maximale CO₂-eq reductie zou kunnen zijn voor deze wegverbreding in 2050.

Zoals hierboven al genoemd, zal er worden berekend hoeveel CO₂-eq te besparen is als asfalt langer wordt gebruikt. In de berekeningen zal je dit vooral terugzien aan het feit dat asfalt minder vaak hoeft te worden vervangen. De tijdschaal van 20 jaar dit in deze RWS analyse is gebruikt beperkt de mogelijkheden om de impact van het langer gebruiken van asfalt uit te rekenen. Daarom is er voor gekozen om de tijdschaal in de hier uitgevoerde berekeningen te verlengen naar 60 jaar. Het resultaat hiervan is, is dat onderhoud vaker moet worden uitgevoerd (ZOAB van 2x naar 6x en STAB van 1x naar 3x). De nieuwe functionele eenheid wordt daardoor:

Functionele eenheid: De aanleg en onderhoud van 1 km wegverbreding met een rijstrookbreedte van 3,5 meter (gestandaardiseerd wegontwerp, representatief is voor het gehele project) voor een periode van 60 jaar.

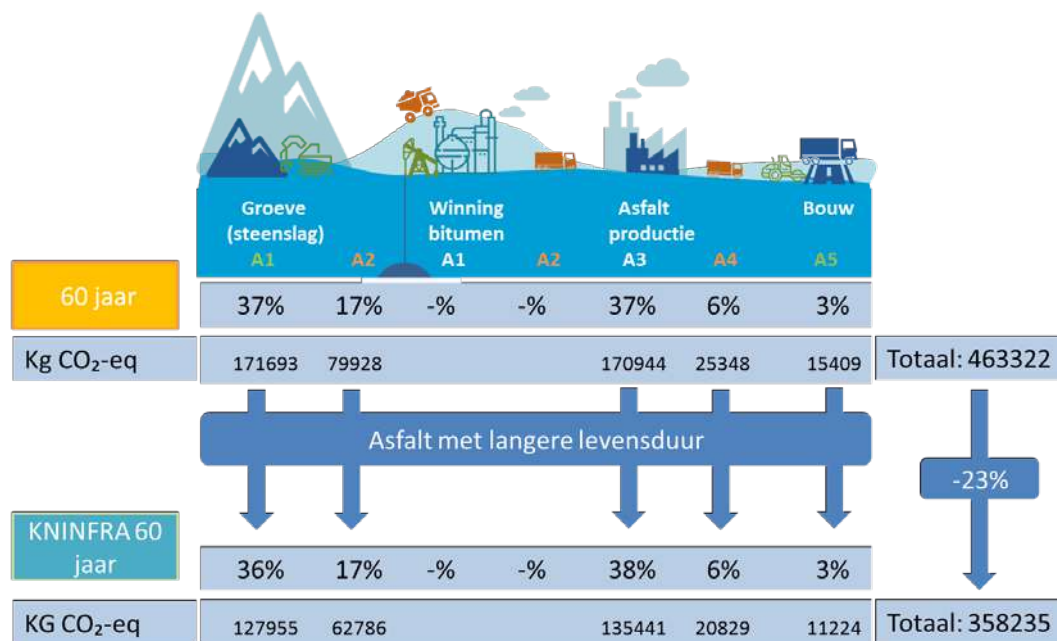
De CO₂-eq reductie van de volgende technologieën is berekend (raadpleeg Appendix A voor meer informatie over de technologieën):

- **Asfalt langer gebruiken**
 - Berekenmethode: tijdschaal van 20 jaar naar 60 jaar veranderen
 - ZOAB onderhoud van 10 jaar naar 15 jaar
 - STAB onderhoud van 20 jaar naar 30 jaar

- **Minder (virgin) asfalt gebruiken (o.a. recycling en lignine)**
 - Tot 95% minder virgin materiaal
 - Kortere transportafstanden door recycling (in A2)* *niet meegenomen in berekening
- **Energie transitie naar duurzame energie (KNINFRA scenario) voor materieel en transport**
 - Reductie CO₂-eq bouw en sloop materieel: 90%
 - Reductie CO₂-eq transport over land materieel: 90%
 - Reductie CO₂-eq transport over water materieel: 60%
 - Vermindering energiegebruik van asfalt productie centrale
 - Gebruik van LTA (laag temperatuur asfalt): 33% minder aardgas nodig
- **Vermindering energiegebruik van asfalt productie centrale**
 - Gebruik van LTA (laag temperatuur asfalt): 33% minder aardgas nodig
- **Vervanging van brandstof van asfalt productie centrale van aardgas naar biomassa**
 - 70% minder CO₂-eq door gebruik van biomassa i.p.v. aardgas

Resultaten asfalt met langere levensduur

Wanneer de vervangingstijd van asfalt wordt verlengd van 10 naar 15 jaar voor de ZOAB laag en van 20 naar 30 jaar voor de STAB laag bij een tijdsschaal van 60 jaar is er een CO₂-eq reductie te behalen van 23% (Figuur 26). Deze reductie komt tot stand doordat er minder onderhoud uitgevoerd hoeft te worden. Hierdoor neemt de hoeveelheid uitstoot in alle fases (A1-A5) af. Belangrijk om te noemen is de tijdsschaal waarover de berekeningen worden uitgevoerd. De berekende CO₂-eq reductie die kan worden behaald hangt af van de hoeveelheid tijd die wordt meegenomen in de berekening. Reductiepotentialen van het langer meenemen van materiaal kunnen hierdoor sterk van elkaar afwijken. Hierbij geldt dat hoe groter de tijdsschaal is waarover berekeningen worden gemaakt, hoe meer dit de waarheid weerspiegelt.



Figuur 26 – Ketenanalyse asfalt met langere levensduur

Resultaten asfalt technologie per fase (zoals weergegeven in Tabel 4)

A1 ruwe materiaal winning: Twee technologieën hebben invloed op de uitstoot in deze fase; het feit dat er minder ruw materiaal nodig is als asfalt tot 95% wordt gerecycled en de energietransitie naar duurzame energie waarbij de CO₂-eq van het bouw- en sloop materieel met 90% kan worden teruggedrongen. Het STAB asfalt dat in deze LCA is gebruikt bestaat uit 50% gerecycled materiaal, het ZOAB is virgin materiaal. Aangezien de verwachtingen zijn dat beide lagen tot 95% kunnen worden gerecycled, kan er voor de STAB lagen nog 45% ruw materiaal worden bespaard en voor de ZOAB laag 95%. Dit samen met de duurzame energie resulteert in een mogelijke reductie van 98% van de CO₂-eq uitstoot in de A1 fase.

A2 transport van winning locatie naar productielocatie: Het transport van ruw materiaal naar de asfaltfabriek vindt plaats over land en over water. Echter is het niet helemaal duidelijk uit de verkregen informatie te halen hoeveel CO₂-eq uitstoot er per getransporteerde eenheid wordt uitgestoten (bv hoeveel CO₂-eq uitstoot wordt veroorzaakt door het transport per truck van steenslag uit Zuid-Duitsland transport is 660 km). Net zoals in de A1 fase is er minder vraag naar ruw materiaal omdat 95% van het asfalt gerecycled kan worden. De transportweg neemt dan ook af. Het is echter niet mogelijk gebleken om deze reductie te berekenen in CO₂-eq reductie. Reden hiervoor is dat A2 informatie is gehaald uit het VBW-rapport (Mos, J., Beentjes, T., 2016) en hier is niet apart in te zien hoe de A2 emissies zijn verdeeld. Om deze reden is de reductie in transportweg niet meegenomen in de hier uitgevoerde berekening. Wat wel is berekend is de reductie van CO₂-eq emissies door de energietransitie. Aangezien het overgrote deel van het ruwe materiaal per boot

wordt vervoerd, is hier de reductie van het transport over water scenario aangenomen. Dit betekent dus een reductie van 60% op de A2 fase.

A3 Productie asfalt: De productie van asfalt is het zwaartepunt van de CO₂-eq emissies in de asfaltketen. Goed om te noemen is dat gerecycled asfalt evenveel of wellicht zelfs meer energie nodig heeft (en dus CO₂-eq uitstoot) dan virgin asfalt. Recycling heeft daarom dus geen effect op de CO₂-eq emissies in de asfalt productiefase. De brandstof die nodig is voor het laten draaien van de asfalt fabriek zorgt voor de CO₂-eq uitstoot. Om dit te verminderen zijn hier twee technologieën/ontwikkelingen genoemd; asfalt maken met een lagere temperatuur of de brandstof van de fabriek verduurzamen. Lage temperatuur asfalt (LTA) kan ongeveer 1/3 van de CO₂-eq emissies besparen. Daarnaast kan de transitie van aardgas als brandstof van de asfaltcentrale naar biomassa zorgen voor nog eens 70% minder CO₂-eq emissies. Dit samen geeft in totaal een reductie van 51% in de A3 fase.

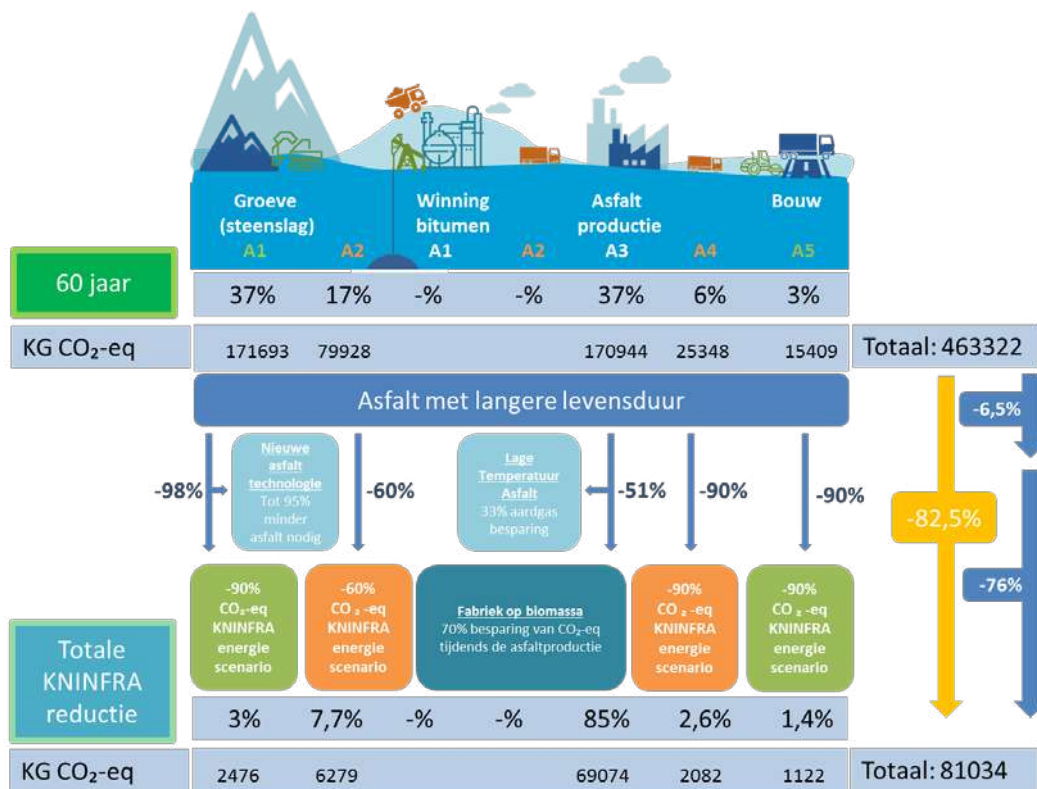
A4 Transport productielocatie naar projectlocatie: Transport van asfalt van de asfaltfabriek naar de projectlocatie wordt over het algemeen vervoerd over land. Het energietransitie scenario voor transport over land is dus ook toegepast in deze fase. Dit geeft de mogelijkheid om 90% van de CO₂-eq emissies te reduceren

A5 Mobiele werktuigen op projectlocatie: Volgens het energietransitie scenario voor bouw en sloop materieel valt er in deze fase 90% van de CO₂-eq emissies te besparen in 2050.

Totale reductie door fase specifieke technologieën

Al deze aparte fase specifieke emissies bij elkaar opgeteld geeft een CO₂-eq reductie van 76%. Wanneer dit wordt verrekend met de reductie door het langer gebruiken van asfalt is er in totaal een CO₂-eq reductie van 82,5% mogelijk in 2050 (KNINFRA asfalt scenario).

In Figuur 27 is naast de reductie ook nog weergegeven hoe de zwaartepunt verdeling is zodra de 82,5% is gereduceerd. Aangezien er een sterke reductie mogelijk was in de A1, A4 en A5 fase is de contributie aan het geheel hier flink afgenomen. Helemaal in de A1 fase, waarbij 98% reductie mogelijk is volgens deze berekeningen waardoor deze fase nog maar voor 3% van de uitstoot bijdraagt. De asfaltproductie wordt volgens het KNINFRA scenario in 2050 dus echt de grote uitstoter in het geheel.



Figuur 27 – Totale ketenanalyse asfalt

De totale reductie van de technologieën komt uit op:

- Asfalt met een langere levensduur (-6,5%)
- Minder asfalt gebruiken (o.a. recycling en lignine) (-29%)
- Energietransitie naar duurzame energie (KNINFRA scenario) voor materieel en transport (-27%)
- Vermindering energiegebruik van asfalt productie centrale (LTA) (-3%)
- Vervanging van brandstof van asfalt productie centrale van aardgas naar biomassa (-16%)

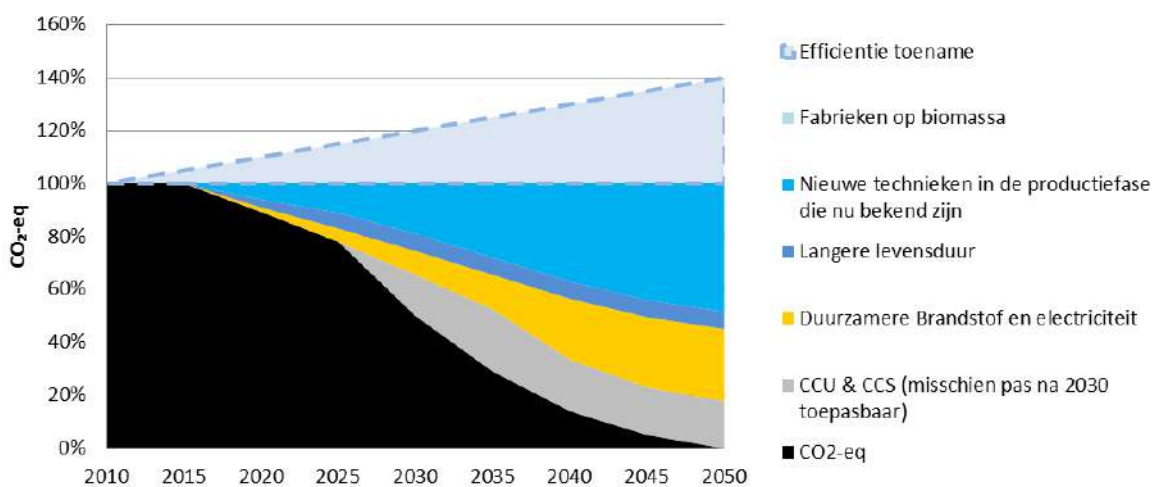
[KNINFRA asfalt scenario van ketenanalyse A4 Leiden - Burgerveen](#)

In Figuur 27 is weergegeven hoeveel reductie te behalen is met de CO₂-eq reducerende technologieën die in 2050 toepasbaar zijn. In het eerste deel van dit rapport zijn er twee typen scenario's van de materialen asfalt, beton en staal weergegeven: een **BAU** scenario en een **KNINFRA** scenario waarbij de CO₂-eq reductie is uitgezet tegen de tijd.

In Figuur 28 is te zien hoe het asfalt KNINFRA scenario van de A4 Leiden – Burgerveen data er uit ziet. Het scenario in Figuur 28 laat dus een 'case specifiek scenario' zien waarbij de aannames die zijn gedaan in het KNINFRA asfalt scenario mee zijn genomen. De totale reductie van 82,5% is terug te vinden in het jaar 2050. Om tot klimaatneutraliteit te komen in 2050 is er nog 17,5% CO₂-eq afvang (CCS) nodig. In de komende 10 jaar is het vooral de verwachting dat reductie kan worden gerealiseerd door de toepassing van nieuwe technologie (o.a. recycling) en de verlenging van de

levensduur van asfalt. Vanaf 2030 kunnen er vooral flinke stappen worden gemaakt omdat alternatieve energiebronnen dan toepasbaar kunnen zijn (materieel, transport en asfaltfabriek). Hier ook de notitie dat de ketenreductie van een langere levensduur van asfalt totaal samenhangt met de gekozen tijdschaal. Dit scenario is dan ook specifiek voor deze LCA data en uitgaande van een tijdschaal van 60 jaar.

KNINFRA scenario toegepast op LCA data A4 Leiden-Burgerveen



Figuur 28 – KNINFRA scenario asfalt A4 Leiden – Burgerveen

De analyse en berekeningen aan de LCA “ketenanalyse A4 Burgerveen – Leiden” geven een voorbeeld van de toepassing van de verkregen scenario-studie informatie uit onderzoeksfase 1 (voor andere materialen en asfaltwegen zullen aparte berekeningen moeten worden uitgevoerd. Deze kunnen echter wel dezelfde werkwijze hanteren). Deze analyse geeft weer hoe er via een ketenvisie berekend kan worden waar de emissie zwaartepunten zitten en waar dus grote stappen kunnen worden gemaakt. Daarnaast geeft het weer hoe het via diezelfde ketenvisie CO₂-eq kan worden gereduceerd.



Om een vertaalslag te maken van de scenariostudie naar de praktijk is er gekeken in hoeverre klimaat-, energie- of CO₂-neutraal op dit moment wordt uitgezet in aanbestedingen. Via de klankbordgroep is het project van de Provincie Zuid-Holland ter sprake gekomen: de provinciale weg N211. Dit project is samen met het N470 project door de provincie ruim opgezet om te experimenteren met CO₂-neutraal in opdrachten en wordt gebruikt als leerproject voor toekomstige opdrachten. De focus in deze analyse zal liggen op het N211 project. De reden hiervoor is dat het N470 project zich op moment van schrijven in de aanbestedingsfase bevindt en de concurrentie gerichte dialoog loopt. Hierdoor is het niet mogelijk om uitgebreide data van dit project te verkrijgen. Aangezien het N211 project reeds gegund is, kon hier wel openlijk over worden gesproken door de provincie Zuid-Holland.

Het stuk van de N211 dat vernieuwd wordt is 2,4 km lang en verbindt Den Haag met Poeldijk. De weg loopt parallel met een brede vaart, langs kassen, bedrijven en de woonkern van Poeldijk.

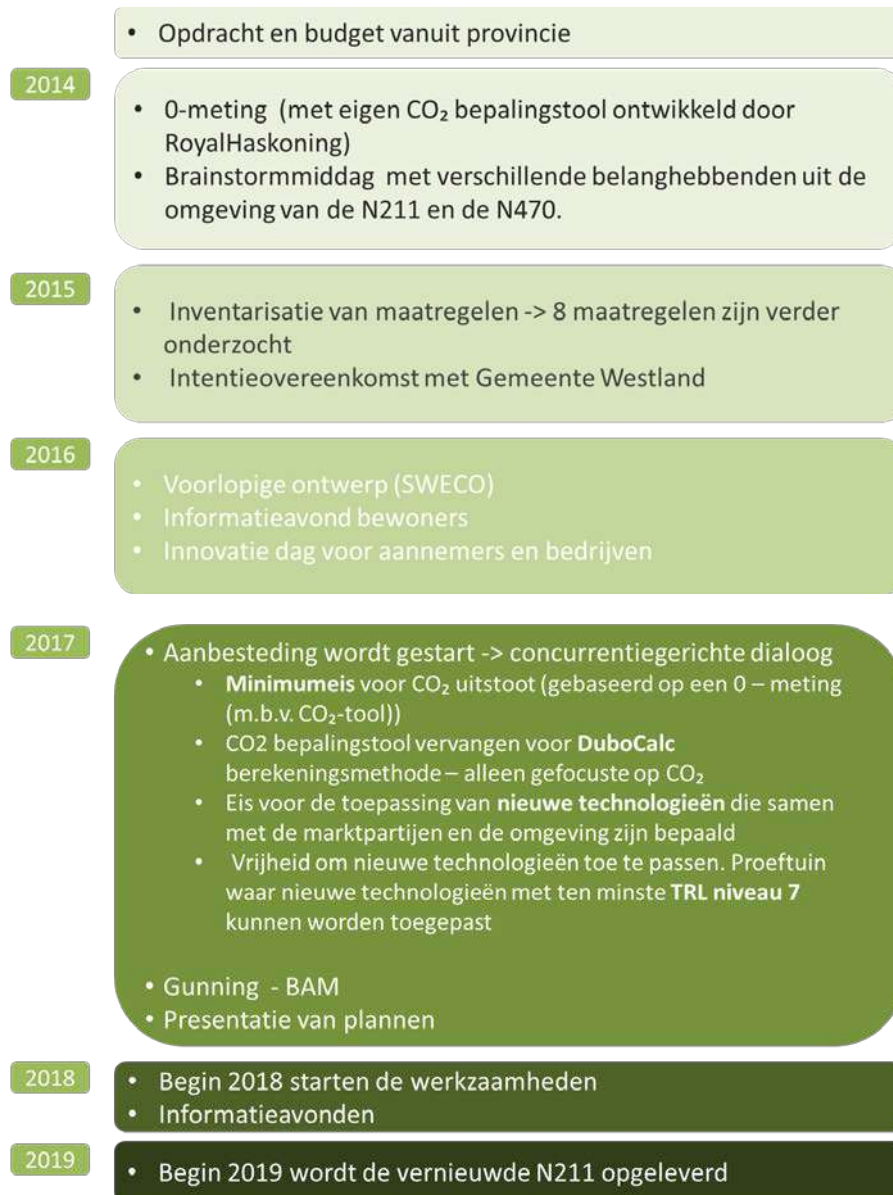
Het N211 project loopt van 2014 tot 2019. De verschillende fasen zijn:

- Onderzoek
- Participatie
- Voorbereiding
- Aanbesteding
- Bouw
- Oplevering

Op de website '[De N211 geeft energie](#)' is meer informatie te vinden over wat welke fase inhoudt. In onderstaand overzicht staan de belangrijkste onderdelen van het project in het kader van deze analyse benoemd.

Vanuit de provincie is er ruimte vrijgemaakt om het N211 en N470 project op een gedegen manier te onderzoeken en uit te voeren. De insteek van de provincie is dat de N211 als voorbeeldproject dient om verschillende mogelijkheden van duurzaamheid uitgebreid te belichten. In dit project wordt het normale proces van groot onderhoud uitgebreid met nieuwe oplossingen op het gebied van energiebesparing en –opwekking. Door vooral op het resultaat te sturen, kunnen experimentele en bewezen oplossingen allebei hun plek krijgen op de N211. De N211 en N470 zijn bewust na elkaar

gepland zodat op die manier de verworven kennis uit het N211 project kan worden toegepast in het N470 project.



Figuur 29 – *Verbetertraject N211*

Kernpunten

De belangrijkste kernpunten van het N211 project in relatie tot dit ‘op weg naar een klimaatneutrale infra’ project staan in onderstaande vermeld.

Lef

Het is allemaal gestart met lef en leiderschap vanuit het provinciebestuur: om het relatief onbekende veld van CO₂-neutrale projecten in te stappen en de bijbehorende risico’s voor lief te nemen. Dit

project vergt een andere dan de huidige werkwijze binnen de provincie. Tevens is er voldoende ruimte vrij gemaakt om te experimenteren en te leren.

Tijdens het project bleek er inderdaad enige weerstand te zijn in de organisatie, bijvoorbeeld bij de manier van aanbesteden, die met concurrentie gerichte dialoog als wat risicovoller gezien zou worden. Ook de nauwe samenwerking met opdrachtnemers en de omgeving is niet standaard en zorgde ook soms voor weerstand.

CO₂-berekening

Om te berekenen wat de CO₂-footprint van het huidige wegonderhoud is, heeft de provincie een eigen CO₂-database (met data uit onder andere DuboCalc, NMD en Ecoinvent) en een eigen CO₂-bepalingsmethodiek opgesteld. Dit als uitgangspunt voor de 0-meting en met de beste intenties. Toen de opdrachtnemers in beeld kwamen, bleek dit niet de meest voor de hand liggende keuze te zijn. Uiteindelijk is er gekozen om verder te gaan met DuboCalc, wat al in de markt gebruikt werd. Op basis van de CO₂-bepalingsmethodiek is er een CO₂-minimumeis vastgesteld, die gold voor de uitstoot die wordt veroorzaakt in de aanleg en onderhoudsfase van het project (A1-A2-A3-A4-A5-B2 volgens ISO 15804). Hoe lager de berekende CO₂-emissie die een aannemer kon aantonen, hoe hoger dit werd gewaardeerd in de aanbesteding.

De 0-meting richt zich zoals gezegd op de bouw en het onderhoud van de weg. Het end-of-life deel van het project is buiten beschouwing gelaten. Er is bijvoorbeeld geen plan gemaakt over hoe de weg na zijn levensduur zo duurzaam zou kunnen worden gesloopt/vervangen waarbij de afvalmaterialen kunnen dienen als materiaal voor een ander project (recycling etc.). Het project is dusdanig groot, dat de focus op alleen de bouw en onderhoudsfase gericht is. In de toekomst zou de provincie graag de end-of-life betrekken bij duurzaamheid in aanbestedingen. Zeker wanneer circulaire economie een grotere rol kan gaan spelen.

Nieuwe technologie en CO₂-reductie

In het N211 project is er veel ruimte voor toepassing van CO₂-reducerende en energieopwekkende nieuwe technologieën. Deze zijn onderverdeeld in technologieën die als eis zijn meegenomen, waarop gunningsvoordeel wordt verleend, en die in een proeftuin getest kunnen worden. In totaal zijn er 21 CO₂-reducerende innovaties die toegepast worden op het project, zoals onder andere WKO, dynamische verlichting, houten portaal voor verkeerslichten, zonnepanelen in fietspad, op bushokjes en in geluidsscherm.

Eisen

In het begin van het project (2014) zijn er tijdens een brainstormavond met verschillende belanghebbenden zo'n 70 ideeën/ontwikkelingen aangedragen die zouden kunnen worden toegepast in het N211 project. Van deze ontwikkelingen zijn er 8 concrete kanshebbers geselecteerd die zijn uitgewerkt in een businesscase. Hieruit bleek dat drie technologieën toegepast kunnen worden op het N211 project die een goed CO₂-reductiepotentieel hadden ten opzichte van de prijs. De toepassing van deze drie technologieën is uiteindelijk als eis gesteld in de aanbesteding:

- Energieteelt langs de weg

- Gras telen in bermen voor biomassa
- Zonnecollectoren in geleiderail, geluidschermen of lichtmasten

De business cases die niet haalbaar bleken voor de N211 worden opnieuw onder de loep genomen voor de N470 die net een andere opbouw heeft.

Gunning TRL7

Naast de eis van deze technologieën is er ruimte geboden aan marktpartijen om nieuwe technologieën aan te dragen. Het doel was onder meer om met deze innovaties minimaal 50% energiebesparing op te leveren ten opzichte van conventionele maatregelen en de CO₂-uitstoot binnen het project met 10 ton CO₂ per jaar te verlagen. In totaal zijn er 21 technologieën aangedragen bovenop de eisen. Technologieën die worden toegepast in het project moeten zich minimaal op TRL niveau 7 bevinden (TRL 7: Demonstratie van het concept in een gebruikersomgeving). Bij dit niveau is er voldoende bewijs aanwezig dat een technologie klaar is om toegepast te worden in de praktijk.

Proeftuin TRL4

Daarnaast is er bij de N211 ruimte vrijgemaakt voor een proeftuin. Hierbij kunnen ontwikkelingen met TRL niveau 4 t/m 6 worden toegepast (TRL 4: De werking van een technologisch concept wordt op laboratorium schaal getest, TRL 5: De werking van een technologisch concept wordt in een relevantie omgeving getest, TRL 6: De demonstratie van het concept wordt in een relevantie omgeving verder getest met een prototype. Het concept geeft inzicht in de werking van verschillende componenten tezamen. Aangezien nieuwe technologie met een lagere TRL meer risico's met zich meebrengen is er in het project extra geld beschikbaar gesteld om marktpartijen te motiveren tot juist de toepassing van deze lage TRL technologieën. Er wordt van de bedrijven zelf ook verwacht dat zij geld steken in de ontwikkelingen. Deze proeftuin-technologieën maakten ook deel uit van de gunningscriteria. Ook hier bleken de marktpartijen erg gedreven om nieuwe technologieën te testen in de praktijk en hun positie met betrekking tot toepassing van deze technologieën te versterken.

Aanbesteding

De elementen van de aanbesteding waren als volgt:

- CO₂-berekening
- Haalbaarheid/zichtbaarheid/communicatie
- Opschaalbaarheid
- Proeftuin (bovenstaande vier punten zijn goed voor in totaal 75% van de gunning)
- Prijs (25%)

De CO₂-Prestatieladder is niet toegepast bij deze aanbesteding en dus is er niet gekeken of opdrachtnemers al structureel werk maken van CO₂-reductie waarbij zij elk jaar verbeteren, terwijl het een voorbeeldproject is waar bijzonder veel aandacht voor CO₂-reductie is. Mogelijk is dit doordat het project 'van scratch' af is opgebouwd niet meegenomen, net als dat DuboCalc ook laat in het traject is toegepast.

Monitoring van CO₂-emissies (Verificatie)

Met al deze nieuwe technologieën is het moeilijk te voorspellen hoe deze zich gaan gedragen. Om te zorgen dat de kwaliteit gewaarborgd blijft, ligt de verantwoordelijkheid van het onderhoud voor 12 jaar bij het bedrijf dat het project uitvoert. Dit is inclusief een transitieperiode waarin kennisoverdracht naar de provincie plaatsvindt, waarna de provincie in staat is het beheer uit te voeren. Deze 12-jarige beheerperiode stimuleert de opdrachtnemer om kwalitatief goed werk te verrichten. Elk jaar wordt er een berekening gemaakt van de daadwerkelijk uitgestoten CO₂-emissies. Dit wordt op zijn beurt geverifieerd door de provincie. De provincie krijgt op deze manier een sturende in plaats van uitvoerende taak, wat ze ook wenselijk vinden. Doordat bedrijven verantwoordelijk zijn voor het onderhoud wordt er gestuurd op het gebruik van robuuste middelen en technologieën. De emissie data die beschikbaar komt tijdens de monitoring kan worden gebruikt als nieuwe input voor andere projecten.

Er is een risico dat het bedrijf niet voor elkaar krijgt de berekende CO₂-emissies uit de tenderfase te realiseren in de praktijk door onverwachte omstandigheden of doordat een nieuwe technologie met een laag TRL-gehalte toch meer uit blijkt te stoten dan berekend, dan zullen de provincie en het bedrijf samen proberen dit probleem op te lossen. Hierbij wordt getracht om in eerste instantie alsnog het berekende doel te halen via een andere weg. Daarna zal worden gekeken naar mogelijke alternatieven. Er wordt samengewerkt op basis van vertrouwen. Als dit alles niet tot het gewenste resultaat leidt, kan er altijd nog worden overgegaan tot een boete voor het bedrijf, het uiterste middel.

Communicatie en samenwerking

Dit gehele project is gericht op samenwerking en vertrouwen tussen partijen. De vier pijlers van het project zijn overheid, markt, maatschappij en wetenschap. Er wordt getracht om deze specifieke kennis, inzichten en belangen bij elkaar te brengen. Kennisdeling van het proces en resultaten staan hoog in het vaandel. Het is de bedoeling dat opgedane kennis zowel in andere projecten van de provincie wordt toegepast en met andere overheden wordt gedeeld.

Er is veel energie gestoken in draagvlak en inspraak van belanghebbenden, zowel omwonenden als bedrijven. Er is veel aandacht voor communicatie en kennisdeling. De communicatie vindt op verschillende niveaus plaats (met bedrijven, omwonenden, andere overheden). De [website](#) laat zien wat er op dit moment gebeurt met de weg, wat een uitzondering is ten opzichte van veel andere projecten.

Er is aan geïnteresseerde marktpartijen gevraagd wat hun intrinsieke motivatie is. In bovenstaande alinea's zijn al een aantal typen van samenwerking besproken waaronder: samenwerking tussen opdrachtgever en opdrachtnemer, samenwerking tussen het N211 en N470 project, samenwerking van N211 project met de omwonenden.

Burgers, omwonenden en belanghebbenden hebben inspraak in het project. Het uiterlijk van de weg werd met de omgeving bepaald en vertaald in een beeldkwaliteitsplan, waaruit het uiteindelijke ontwerp voortvloeide. Het plan geeft een eerste indruk van de toekomstige kenmerken van de weg. Er is bijvoorbeeld gekozen voor een kruidentuin in de berm. Naast dat het een wens was vanuit bewoners, is het ook een CO₂-reducerende maatregel. Deze kruiden hoeven maar eenmaal per jaar

worden gesnoeid in plaats van planten die doorgaans twee keer per jaar worden gesnoeid. Dat scheelt in de onderhoudskosten en uitstoot.

[N211 en N470 in relatie tot interviews en onderzoeksbevindingen](#)

- CO₂-reductie op projectniveau wordt op dit moment nog als lastig ervaren door opdrachtgevers, door: ingewikkelde databases (DuboCalc met MKI), verouderde data, delen van bedrijfsinformatie, extra tijd en geld
- Compensatie van zonnepanelen langs de weg op gebouwen, in principe wordt er gereduceerd, maar is dit iets wat gewenst is? De weg zelf wordt dan niet verbeterd. Daarnaast zit er heel veel subsidie op de zonnepanelen en zijn die vergeleken andere technologie nog erg goedkoop.
- De drie technologieën die toegepast moeten worden hebben niks te maken met asfalt. Echter is het hoogstwaarschijnlijk dat de impact van asfalt in de bouwfase het grootst is geweest. Waarom worden er geen regels gesteld aan asfaltverbetering, maar wel aan zoiets kleins als een kruidentuin? Moet er geen focus komen op de grote uitstotende zaken?

[Leerpunten van het N211 aanbestedingstraject](#)

- Soms interne weerstand wegens andere manier van werken, zoals concurrentie gerichte dialoog als aanbestedingsvorm die als risicovol gezien kan worden en langdurig alomvattende projectvorm met grote rol voor samenwerking met omgeving, waarbij onzekerheid een grotere rol speelt dan bij traditionele projectvorm.
- Project 'van scratch' opgebouwd, geen gebruik gemaakt van bestaand bewezen instrumentarium zoals DuboCalc (later in project wel gebruikt) en CO₂-Prestatieladder, terwijl het project zich focust op CO₂. Niet 1-op-1 toepasbaar voor alle projecten wegens uitgebreid en langdurig project, veel aandacht voor de planfase. Om tot CO₂-eq vermindering en duurzaamheid te komen op alledaagse projecten is er nog een vertaalslag te maken. Echter, dit soort projecten met veel experimenteerimte zijn hiervoor nodig.
- Grote regierol voor opdrachtgever, is wellicht minder toepasbaar voor kleinere opdrachtgevers in de huidige fase van klimaatneutraliteit en de markt.
- Geen plan voor de end-of-life fase en daarmee weinig aanknopingspunten voor circulariteit.
- Alleen een focus op CO₂, andere milieu-impacts niet meegenomen.

6. Discussie

[LCA aanpak en data](#)

- Een uniforme manier van het vastleggen van data en de uitkomsten van LCA studies draagt sterk bij aan de inzichtelijkheid van de ketenanalyses in de bouw. Hier wordt ook al wel aan

gewerkt (zie de LCA van de 17 asfaltmengsels van de NMD). Echter wijken bedrijfsspecifieke cijfers af van de branchegemiddelden (+-20%). Er ontstaan dus grote onzekerheden bij standaardisatie van materiaal impacts.

- Er is nog weinig ontwikkeling op het gebied van hernieuwbare energie voor productiefabrieken van staal en asfalt. Er wordt vooral ingezet op vergroten van de efficiëntie. Proeven met hernieuwbare energie worden wel uitgevoerd. Grote veranderingen bij fabrieken komen moeilijk/langzaam van de grond. Het zorgt voor onzekerheid, lagere efficiëntie, hogere kosten en dan is de fabriek tijdens de overgang ook nog een uit de running. Bedrijven durven dit op dit moment niet aan (hoogovens worden niet zomaar stilgezet). Daarnaast gaan de productiefabrieken relatief lang mee waardoor de aankoop van nieuwe fabrieken lang op zich laat wachten.

Technologische vernieuwing

- Technologieën die in de toekomst zullen kunnen worden ontwikkeld zijn op dit moment niet meegenomen in de scenario's. Baanbrekende ontwikkelingen zouden grote invloed kunnen hebben op de scenario's. Daarnaast zijn veel technologieën die minder impacts/emissies uitstoten al mogelijk. Echter de prijs van deze technologieën is op dit moment nog zo ongunstig t.o.v. de huidige gebruikte technologie (meestal aangedreven door fossiele brandstoffen) dat de lage impact/emissie technologieën op de plank blijven liggen.
- Samenwerking tussen verschillende partijen binnen een keten (Industriële Symbiose) zorgt voor efficiëntie toename, echter is het lastig om hier een getal aan te hangen.
- Een langere levensduur van een product zorgt voor verminderd verbruik van een materiaal (en dus minder energieverbruik en impacts) over de tijd. Regelgeving van opdrachtgevers staan ontwikkelingen op dit gebied regelmatig in de weg.
- Ten opzichte van de verwachtingen in andere sectoren loopt de infrasector achter als het gaat om de bewegingen richting een klimaatneutraliteit/low carbon sector. Het lijkt er op dat de infrasector achter de woning- en utiliteitsbouw aanloopt als het gaat om het toepassen van nieuwe technologieën (gezien de omvang van de projecten en de veiligheidseisen). Mochten er nu drastische ontwikkelingen plaatsvinden in de woning-, en utiliteitsbouw plaatsvinden, dan is het de verwachting dat de infrasector snel zal volgen.
- CCU&CCS voor de afvang van CO₂-eq zorgt voor veel discussie. In de scenario studies is nog niet in de diepte ingegaan op de specifieke mogelijkheden van CCU&CCS. Echter is wel duidelijk dat de grootste mogelijkheden voor CCS liggen bij de productie van materialen (Gebruik maken van CCS bij fabrieken) Probleem hiervan is echter wel dat de CO₂ die bij fabrieken vrijkomt vaak in een te laag percentage vrijkomt. Extra energie is nodig om de vrijgekomen CO₂ tot een dusdanig hoog % CO₂ te brengen dat deze kan worden opgeslagen. In deze scenario's worden CCU en CCS gezien als overgangstechnieken om naar een klimaatneutraal 2050 te komen.

- Door de onafhankelijk fluctuerende dieselprijs en elektriciteitsprijs is het voor bedrijven moeilijk in te schatten hoe dit in de toekomst uit gaat zien. Omdat nu de dieselprijs lager ligt dan de elektriciteitsprijs wordt er bij transport en materieel ingezet op efficiëntieverbetering van diesel.

Analyse LCA A4 Leiden-Burgerveen

- De analyse en berekeningen aan de LCA “ketenanalyse A4 Burgerveen – Leiden” geven een voorbeeld van de toepassing van de verkregen scenario-studie informatie uit onderzoeksfase 1 (voor andere materialen en asfaltwegen zullen aparte berekeningen moeten worden uitgevoerd. Deze kunnen echter wel dezelfde werkwijze hanteren). Deze analyse geeft weer hoe er via een ketenvisie berekend kan worden waar de emissie zwaartepunten zitten en waar dus grote stappen kunnen worden gemaakt. Daarnaast geeft het weer hoe het via diezelfde ketenvisie CO₂-eq kan worden gereduceerd.
- De analyse draagt bij aan het verduidelijken van de scenario's in deze scenario studie. Het heeft inzicht gegeven in tijd gerelateerde ontwikkelingen en de keteneffecten van andere ontwikkelingen.
- De analyse van Rijkswaterstaat en deze analyse geven inzicht van emissies per ketenstap (A1-A5). Deze informatie kan dienen als aanknopingspunt op om CO₂-eq reducties te bepalen. Ook kan het gebruikt worden om te dienen als rekenopzet voor andere LCA's in de infra sector.

Aanbestedingstraject N211

- Het N211-project geeft informatie over waar de huidige praktijk met betrekking tot energie-, klimaat- of CO₂-neutrale aanbestedingen. KNINFRA kan lering trekken uit dit project door de positieve en stimulerende punten mee te nemen, en punten ter verbetering niet uit het oog te verliezen.

7. Conclusie

De scope van deze scenariostudie is emissies van aanleg en onderhoud en end-of-life van infrastructuur (scope 1, 2 en scope 3 upstream). Het gebruik van de infrastructuur (scope 3 downstream) wordt niet meegenomen. Er is naar de 4 grote materiaalstromen voor de infrasector gekeken: diesel, asfalt, beton en staal. De uitkomsten laten het volgende beeld zien:

DIESEL

Scenario's tot 2050 voor brandstof in de infrasector zijn niet erg optimistisch. Als er volledig op duurzame energie wordt overgestapt in 2050 dan zullen biobrandstoffen, elektriciteit en waterstof daar een grote rol in spelen. De biobrandstoffen dienen hierbij vooral als transitiebrandstoffen. De grootste winst in het naar beneden brengen van de CO₂-emissie van brandstof kan worden bereikt door efficiënter rijden en investeren in elektriciteit en waterstof.

ASFALT

De Nederlandse asfaltketen heeft de potentie om toe te werken naar een circulaire en CO₂-neutrale keten, door gebruik te maken van een hoge mate van recycling, langer gebruik maken van asfalt en lokale asfalt productie. Daarnaast zorgt verbeterde samenwerking tussen ketenpartners voor meer efficiëntie in de keten en ook dat zorgt voor het naar beneden brengen van de CO₂-emissies.

BETON

Het zwaartepunt van CO₂-emissies in de betonketen ligt duidelijk bij de cementproductie. Nieuwe technologieën die bij kunnen dragen aan de vermindering van de CO₂-emissie in de cementproductiefase bestaan vooral uit cementmengsels op basis van andere mineralen. De recycle mogelijkheden van beton zijn tot dusver beperkt. Andere mogelijkheden om beton langer te gebruiken is om ontwerpen te maken waarbij demontabel gebouwd kan worden of door levensduur toepassing van verlengende technologieën, zoals zelfhelend beton.

STAAL

De winning en productie van staal zijn verantwoordelijk voor het overgrote deel van de CO₂-emissies in de staalketen. Om tot een vermindering van de CO₂-emissies van infra werken te komen is het van belang om materialen op functioneel niveau te analyseren.

Daarnaast zijn de belangrijkste bevindingen:

- Om tot een klimaatneutrale infra te komen is het van essentieel belang om te focussen op versnelling van duurzame nieuwe ontwikkelingen/technologieën (op het gebied van materiaal en energie/brandstof) waarbij rekening wordt gehouden met de gehele keten.
- Verbetering van datakwaliteit is wenselijk. Een uniforme manier van milieudata vastlegging draagt bij aan inzicht en vergelijkbaarheid van de ketenanalyses in de infra.

- Er is vraag naar een relatief simpele manier om milieueffecten mee te nemen in aanbestedingen. Het is wenselijk de milieudata uit DuboCalc toegankelijker te maken en verouderede data te updaten.
- Er is een sterke wil om tot betere samenwerking te komen in de keten, zowel tussen opdrachtgevers en opdrachtnemers, als in de projecten van initiatie tot realisatie, beheer en onderhoud, en end-of-life. Deze samenwerking is ook belangrijk in het kader van circulaire economie.

8. Aanbevelingen

Gebaseerd op dit onderzoek en de gepresenteerde conclusies, worden de volgende aanbevelingen voor vervolgonderzoek gedaan.

1. Een vervolgproject kan zich richten op drie van de vier belangrijke emissiebronnen, diesel, beton en asfalt. Als resultaat van KNINFRA 1.0 is het raadzaam om staal verder buiten beschouwing te laten².
2. Het harmoniseren van de milieu impact bepalingsmethodes (opbouw ketenanalyses en LCA's) verdient meer aandacht. Hierbij wordt ook aangesloten en geanticipeerd op internationale/Europese ontwikkelingen zoals de Product Environmental Footprint (PEF) en de EN15804. Verbetering van de datakwaliteit, die ten grondslag aan de berekeningen van de MKI-waardes in DuboCalc, is een belangrijk aandachtspunt voor de verdere ontwikkeling richting een klimaatneutrale infrastructuur. Om dit te bewerkstelligen is het nodig om de CO₂-Prestatieladder en DuboCalc verder samen te brengen en de sterke punten van beide tools te gebruiken. Dit zal resulteren in een instrumentarium voor aanbesteding waarbij het mogelijk is om op een relatief makkelijke manier de milieu impacts van de meest milieubelastende stromen, waar invloed op uit te oefenen is (diesel, asfalt en beton), te bepalen.
3. Toepasbaarheid van bepaling van milieueffecten toegankelijker maken voor opdrachtgevers, met name voor decentrale overheden, waardoor dit in meer tenders ingezet kan worden. Dit wordt onder andere gedaan door de ontwikkeling van op DuboCalc gebaseerde meetlatten die breed kunnen worden ingezet op aanbestedingen waar materiaal en/of energie een belangrijk duurzaamheidsaspect is³. Meetlatten zullen moeten worden ontwikkeld voor de belangrijkste emissies per emissiebron waarbij in eerste instantie enkel wordt gekeken naar CO₂-eq. Er wordt aangesloten bij de door SKAO ontwikkelde aanpak voor meer onderscheidend vermogen op projecten en put uit de praktijkervaringen opgedaan door RWS en enkele provincies. Daarbij kan ook worden gewerkt aan een methode voor de monitoring van de CO₂-uitstoot bij de uitvoering van het project.
4. Kennisdeling en communicatie met de infrasector is van groot belang. Aan de ene kant kunnen dan de behoeften van de sector worden geïnventariseerd en aan de andere kant zal de verspreiding van de verkregen informatie en aanpak een belangrijke rol vormen. Een

² Staal heeft per kg een hoge CO₂-eq uitstoot (t.o.v. beton en asfalt), maar staal speelt qua volume slechts een kleine rol in de infrasector. Daarnaast komt het overgrote deel van de CO₂-eq emissies vrij tijdens de winning en productie van staal. Dit gedeelte van de staalketen, samen met de end-of-life van staal, vallen onder de zeggenschap van de grote staalbedrijven waarop de infrasector minimale invloed heeft.

³ De meetlatten moeten als BPKV-criteria kunnen worden ingezet binnen de Aanpak Duurzaam GWW en passen bij de wensen en behoeften van gemeentelijke opdrachtgevers en een MKB omgeving.

klankbordgroep met vertegenwoordigers uit de sector speelt een belangrijke rol in dit project, en ook bij een vervolg is het aan te bevelen om een aantal sessies ter kennisdeling te laten plaatsvinden.

Referenties

- Arcadis, 2017. *Toekomst in beeld. Verkenning lange termijn CO₂-reductiemogelijkheden door IenM/RWS*
- Beco, 2013. *Vergelijkende LCA studie bruggen Vergelijking van bruggen uitgevoerd in staal, beton, composiet en hout*
- Betonakkoord, 2016. *Betonakkoord en Startnotitie CO₂-reductie*
- Bitumen Benelux, 2005. *Economische, milieu, maatschappelijke en technische overwegingen bij de keuze van verhardingsmaterialen*
- CE Delft, 2015. *Metten is weten in de Nederlandse bouw*
- Cement & Betoncentrum en VOBN, 2010. *CO₂ reductie in/met beton*
- Ecofys, 2017. *Op weg naar een klimaatneutrale infrasector in Nederland, verkenning en maatregelen*
- Economisch instituut van de Bouw, 2012. *Trends en ontwikkelingen in de wegenbouw tot 2017*
- Eurofer the European steel association, 2013. *A steel roadmap for a low carbon 2050*
- ISO, 2015. *ISO14001:2015*
- Korbee, Hans 1979, *Milieu voorop bij uitwerking van een globaal bestemmingsplan*
- Kristel, Daan, 2016. *CO₂ reductie in de asfaltketen van Dura Vermeer*
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2013. *Protocol voor gebruik DuboCalc bij Duurzaam Inkopen RWS*
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014. *Een duurzame brandstofvisie met LEF. De belangrijkste uitkomsten uit het SER-visietraject naar een duurzame brandstoffenmix in Nederland*
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017. *Grondstoffenakkoord. Innovatiebijeenkomst om te komen tot transitieagenda's voor de Circulaire Economie*
- Mos, Jochem, 2016. *LCA achtergrondrapport Nederlandse asfalt industrie. Rapport voor opname van branche representatieve asfaltmengsels in de nationale milieudatabase. Bouwend Nederland*
- NEN, 2012. *NEN-EN 15804 Duurzaamheid van bouwwerken – milieuverklaringen van producten – basisregels voor de productgroep bouwproducten*
- OECD/IEA, 2017. *Energy Technology perspectives 2017*

RoyalHaskoningDHV, 2015. *Rapportage nulmeting energieverbruik beheer en onderhoud wegen en vaste kunstwerken*

SKAO, 2016. *Handreiking aanbesteden versie 3.0. Het EMVI criterium CO₂-prestatieladder voor aanbestedende diensten*

Stichting bouwkwaliteit, 2012. *Bepalingsmethode milieuprestatie gebouwen en GWW-werken*

TNO, 2011. *Environmental and Economic aspects of using LNG as a fuel for shipping in the Netherlands*

Van der Wal, J.S.I., De Bondt, A.H., 2005. *Praktijkstudie levensduurcyclus-kostenanalyse ZOAB onderhoud aan de rijksweg*

Van Lieshout, M., 2013. *Milieu-impact van betongebruik in de Nederlandse bouw*

Van Lieshout, M., 2015. *Update Prioritering handelingsperspectieven*

Van Lieshout, M., Nusselder, S., 2016. *Update prioritering handelings-perspectieven verduurzaming betonketen*

Appendix A – Overzicht materialen

Asfalt

Fabriek op biomassa

Uitleg: De huidige energiebron (aardgas) van de asfaltcentrale wordt vervangen door een nieuwe energiebron gebaseerd op biomassa.

TRL: 5

CO₂-eq besparing:

Tot 70% in de cement productie

29,5% over de gehele keten

Levensduur er onderhoud:

Prijs: €60% meer kosten ten opzichte van aardgas

Bron: Kristel, D. (2016) CO₂ reductie in de asfaltketen van Dura Vermeer, Daan Kristel, 2016

Overkapping asfalt materiaal

Uitleg: De overkapping van toeslagmateriaal. Dit geeft bescherming tegen de regen. Het toeslagmateriaal moet worden gedroogd, bij overkapping wordt de warmtevraag verminderd.

TRL: 9

CO₂-eq besparing:

3% in de asfalt productie

1.3% over de gehele keten

Levensduur er onderhoud: n.v.t.

Prijs: €115/m².

Bron: Kristel, D. (2016) CO₂ reductie in de asfaltketen van Dura Vermeer, Daan Kristel, 2016

Asfaltmengsel met 50% gerecycled asfalt (referentie voor andere asfaltmengsels)

Uitleg: Asfaltmengsel met 50% gerecycled asfalt (referentie voor andere asfaltmengsels)

TRL: 9

CO₂-eq besparing:

0% in de asfalt productie

0% over de gehele keten

Levensduur er onderhoud: 11 jaar

Prijs: €

Bron: Rob Hofman, Senior Adviseur Wegenbouw, Rijkswaterstaat; Concept eindrapportage duurzaam avontuur, Thema inkoop verhardingen, RWS

Asfaltmengsel met 70% gerecycled asfalt

Uitleg: Asfaltmengsel met 70% gerecycled asfalt

TRL: 5

CO₂-eq besparing:

0% in de asfalt productie

4% over de gehele keten (ten opzichte van de referentie (20% minder toeslagmateriaal, 20% minder bitumen))

Levensduur er onderhoud: 11 jaar

Prijs: €

Bron: Rob Hofman, Senior Adviseur Wegenbouw, Rijkswaterstaat; Concept eindrapportage duurzaam avontuur, Thema inkoop verhardingen, RWS

Asfaltmengsel met 95% gerecycled asfalt

Uitleg:

TRL: 4

CO₂-eq besparing:

0% in de asfalt productie

9% over de gehele keten (ten opzichte van de referentie (45% minder toeslagmateriaal, 45% minder bitumen)

Levensduur er onderhoud: 11 jaar

Prijs: €

Bron: Rob Hofman, Senior Adviseur Wegenbouw, Rijkswaterstaat

Lignine als bindmiddel

Uitleg: Het natuurlijke bindmiddel lignine (geeft hout, gras en stro zijn stevigheid) kan gebruikt worden in plaats van bitumen in asfalt. Kan op een lagere temperatuur geproduceerd worden.

TRL: 5

CO₂-eq besparing:

20% in de asfalt productie

8,4% over de gehele keten

Levensduur er onderhoud:

Prijs: €175/m²

Bron: Kristel, D. (2016) CO₂ reductie in de asfaltketen van Dura Vermeer, Daan Kristel, 2016; TNO lignine als grondstof voor asfalt en dakbedekking

Langere levensduur van asfalt

Uitleg: De vervangingstermijn van asfalt is bepaald door vergunningen en onderhoudsprotocollen. Asfalt producenten geven aan dat zij ook asfalt kunnen maken met een langere levensduur dan nu beschreven in de huidige regelgeving. Dit asfalt is iets duurder en omdat er geen vraag is wordt het niet gebruikt. Door asfalt met een langere levensduur te gebruiken hoeft er minder vaak onderhoud uitgevoerd te worden. Dit reduceert de hoeveelheid bitumen en benodigd toeslagmateriaal (inclusief het transport van dit materiaal)

TRL: 9

CO₂-eq besparing:

Afhankelijk van de tijdsschaal

Levensduur er onderhoud: 15 jaar voor de ZOAB laag, 30 jaar voor de STAB lagen

Prijs: €

Bron: Praktijkstudie levensduurcyclus-kostenanalyse ZOAB onderhoud aan de rijksweg, Van der Wal, J.S.I., De Bondt, A.H., 2005.

Economische, milieu, maatschappelijke en technische overwegingen bij de keuze van verhardingsmaterialen, Bitumen Beneluxe, 2005

Beton

CEM IIIc

Het gebruik van het restproduct van de staalindustrie (hoogovencement) zorgt voor directe afname van de CO₂-eq uitstoot van een cementproduct. Dit omdat er geen CO₂-eq emissies worden toegeschreven (gealloceerd) aan het hoogovencement, wat betekent dat een toename van het gebruik van hoogovencement in een cementmengsel zorgt voor directe CO₂-eq afname. Bij CEM IIIc cement is de verhouding van portlandcement/hoogovencement 15%/85%. Dit CEM IIIc cement bevat 15% meer hoogovencement ten opzichte van het referentie cement (Portland/hoogoven: 30/70). Dit vertaalt zich dan ook terug in een CO₂-eq emissie vermindering van ongeveer 15% ten opzichte van de CEM IIIb cement.

CO₂-eq besparing:

17,5% in de cement productie fase

12,3% over de gehele keten

TRL: 9

Levensduur er onderhoud: jaarlijkse inspectie, om de tien jaar herstelwerkzaamheden en nieuwe coating

Prijs: €52 per ton

Bron: Van Lieshout, M., 2015. Update Prioritering handelingsperspectieven Verduurzaming betonketen.

Supergesulfateerd cement

Dit type cement wordt gemaakt door middel van hoogovenslak en gips in plaats van Portlandcement. Lagere CO₂-eq emissies met dit type cement kunnen worden bereikt omdat de productietemperatuur lager is.

CO₂-eq besparing:

31% in de cement productie fase

21,7% over de gehele keten

TRL: 9

Levensduur er onderhoud: jaarlijkse inspectie, om de tien jaar herstelwerkzaamheden en nieuwe coating

Prijs: €52 per ton

Bron: Van Lieshout, M., 2015. Update Prioritering handelingsperspectieven Verduurzaming betonketen.

Carbstone

Alternatief van regulier cement. Beton wordt gevormd door een alternatieve binder, ontwikkeld door Carbstone Innovation ter vervanging van regulier cement, die CO₂ vastlegt tijdens het productieproces

CO₂-eq besparing:

34% in de cement productie

21,7% over de gehele keten

TRL: 7-8

Levensduur er onderhoud: jaarlijkse inspectie, om de tien jaar herstelwerkzaamheden en nieuwe coating

Prijs: €52 per ton

Bron: Van Lieshout, M., 2015. Update Prioritering handelingsperspectieven Verduurzaming betonketen.

Mineraal CO₂ (Olivijn)

Uitleg: Vastleggen van CO₂ door een reactie van de CO₂ met het Olivijn. Door deze reactie ontstaat mineraal CO₂ dat kan worden gebruikt als vervanger van zand in cement en beton.

TRL: 4

CO₂-eq besparing:

Is zeer afhankelijk van het ontwerp en kwaliteit van het beton. CO₂-eq besparing alleen te bepalen via een ketenanalyse van een project.

Prijs: €86-152 /ton CO₂-eq

Bron: Van Lieshout, M., Nusselder, S., 2016. Update prioritering handelings-perspectieven verduurzaming betonketen 2016

Mechanische cement recycling

Uitleg: Dit betreft recyclemethodes die naast het recyclen van de toeslagmaterialen, ook de cementsteen rijke fractie terugwinnen. In Nederland wordt gewerkt aan twee methodes voor mechanische cementrecycling: C2CA; Smartcrusher

TRL: 6

CO₂-eq besparing:

33% in de cement productie

23% over de gehele keten

Prijs: €0 per ton

Bron: Van Lieshout, M., Nusselder, S., 2016. Update prioritering handelings-perspectieven verduurzaming betonketen 2016

Zelfhelend beton

Uitleg: Voor deze techniek wordt standaard cement gebruikt (nu CEM IIIb). Hieraan worden toeslagstoffen toegevoegd die het beton zelfhelende eigenschappen geeft. Deze toeslagstoffen herstellen scheurvorming in het beton. Dit resulteert in minder onderhoudswerkzaamheden en een langere levensduur van het beton. De handelingen die hierdoor minder vaak hoeven worden uitgevoerd zorgen voor een CO₂-eq besparing. Tevens is het mogelijk om de wapening in beton te verminderen bij de toepassing van de technologie. Dit kan resulteren in een materiaalbesparing van 5% tot 15%

TRL: 8

CO₂-eq besparing:

0% in de cement productie

0% over de gehele keten

Langere levensduur kan met de gekozen onderzoeksopzet niet worden meegenomen in de scenario's

Levensduur en onderhoud: jaarlijkse inspectie, om de tien jaar herstelwerkzaamheden

Prijs:

Bron: Van Lieshout, M., Nusselder, S., 2016. Update prioritering handelings-perspectieven verduurzaming betonketen 2016 & J. Jonkers TU Delft

Demontabel bouwen

Uitleg: Hiermee kunnen constructies makkelijker, met minder kosten en CO₂-emissies, worden afgebroken en voor andere constructies worden hergebruikt. Hiervoor moet wel de technische kwaliteit van de constructie bepaald kunnen worden, met de huidige methodieken is dat nog lastig.

TRL: 7

CO₂-eq besparing:

Is zeer afhankelijk van het ontwerp en kwaliteit van het beton. CO₂-eq besparing alleen te bepalen via een ketenanalyse van een project. Echter, als het beton opnieuw kan worden gebruikt, zullen onderdelen A1-A4 niet hoeven worden uitgevoerd voor het gebruik van beton voor een bouwproject. Dit zorgt ervoor dat de uitstoot van 87% van de betonketen vermeden zou kunnen worden.

Levensduur en onderhoud: jaarlijkse inspectie, om de tien jaar herstelwerkzaamheden en nieuwe coating

Prijs: Verder onderzoek voor nodig, erg project afhankelijk.

Bron: Van Lieshout, M., Nusselder, S., 2016. Update prioritering handelings-perspectieven verduurzaming betonketen 2016 & Valerie Diemel Rijkswaterstaat

Top Gas Recycling Blast Furnace

Uitleg: The first ULCOS solution is based on the Blast Furnace (BF) process route, which today is the major way to produce steel from virgin ores and is called ULCOSBF. The process incorporates a CO₂ capture system that separates the CO₂ from the BF top gas and thus also produces a reducing gas, which is reinjected (recycled back) hot into the reactor at two levels of injectors including the tuyeres; pure oxygen, rather than hot blast, is used to avoid nitrogen getting trapped in the recycling loop.

TRL: 8

CO₂-eq besparing:

15% in de staal productie (60% incl. CCS)

10% over de gehele keten

Levensduur er onderhoud:

Prijs: €?

Bron: A steel roadmap for a low carbon 2050, 2013, Eurofer the European steel association

Hisarna technologie

Uitleg: Hisarna is a Smelting Reduction process concept (based on carbon like the BF), incorporating a cyclone for heating and melting iron ore and a bath smelter, akin to the SRV of Hismelt. The process is a joint development of ULCOS and Rio Tinto.

TRL: 5-6

CO₂-eq besparing:

20% in de staal productie (80% incl. CCS)

13% over de gehele keten

Levensduur er onderhoud:

Prijs: €

Bron: A steel roadmap for a low carbon 2050, 2013, Eurofer the European steel association

ULCORED (directe reductie)

Uitleg: ULCORED43 is the ULCOS solution for making iron based on natural gas rather than coal (Figure 24). The concept involves separating CO₂ out of the process gas and is therefore also dependent on CCS with a similar in-process capture. ULCORED proposes solutions fit for taking over the area occupied today by direct reduction – a technology not very much used in Europe but more in countries with access to cheap natural gas.⁴⁴ With ULCORED the objective is to reduce the natural gas consumption needed to produce DRI. This is partly achieved by replacing the traditional technology, reforming, by partial oxidation of the natural gas (as in HYL/Energiron). This will also substantially reduce capital expenditure.

TRL: 5-6

CO₂-eq besparing:

5% in de staal productie (80% incl CCS)

10% over de gehele keten

Levensduur er onderhoud:

Prijs: €

Bron: A steel roadmap for a low carbon 2050, 2013, Eurofer the European steel association

ULCOWIN (Electrolyse)

Uitleg: Electrolysis of iron ore is a breakthrough process concept that proposes to reduce iron oxides electrochemically, without using any direct carbon. ULCOWIN is the more mature embodiment, based on room-temperature electrowinning of an alkaline solution in which ore particles are dispersed.

TRL: 2-3

CO₂-eq besparing:

30% in de staal productie (98% incl. CCS)

26% over de gehele keten

Levensduur er onderhoud:

Prijs: €

Bron: A steel roadmap for a low carbon 2050, 2013, Eurofer the European steel association