

Infrastructuur binnen planetaire grenzen

*De impact van verschillende
strategieën voor de Nederlandse
GWW-sector*

nibe



Project	Paris Proof infra (PIF7_44 ROKCEperceel 1)
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat, mede namens het transitieteam Circulaire Bouweconomie Gemeente Amsterdam
Opdrachtnemer	NIBE B.V. Nijverheidsweg 16G 3534 AM Utrecht T +31(0)88 998 37 75 info@nibe.org www.nibe-sustainability-experts.com
Versie	definitief
Datum	30 mei 2024
Auteur(s)	Marvin Spitsbaard en Mantijn van Leeuwen
Projectteam	Claartje Vorstman (RWS) Esther Heijink (RWS) Jeroen van der Waal (Gemeente Amsterdam) Desiree Bernhardt (Gemeente Amsterdam) Marvin Spitsbaard (NIBE) Mantijn van Leeuwen (NIBE) Arnaud Bom (pguptekst)

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van NIBE

Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NIBE is het niet toegestaan om:

- een door NIBE uitgebracht rapport geheel of gedeeltelijk te publiceren of op andere wijze openbaar te doen maken;
- een door NIBE uitgebracht rapport geheel of gedeeltelijk te doen gebruiken ten behoeve van het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures en ten behoeve van reclame of vergelijkende reclame;
- de naam en/of het logo van NIBE, in welke verbinding dan ook, te gebruiken bij het openbaar maken van een deel of gedeelten van een door NIBE uitgebracht rapport en/of voor een of meer van de sub. b. genoemde doeleinden.

Het ter inzage geven van het rapport van NIBE aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Inhoudsopgave

1	Aanleiding, doel en scope	10
1.1	Het Klimaatakkoord van Parijs	10
1.2	Doel van het onderzoek	11
1.3	Scope van het onderzoek.....	12
2	Een CO ₂ - budget voor de infrasector	15
2.1	Het Klimaatakkoord en het huidige beleid	15
2.2	Een CO ₂ - budget als alternatief	15
2.3	Een CO ₂ - budget voor de infrasector met de methode 'per capita'	17
2.4	Budget snel overschreden met business- as- usual.....	18
3	Methodologie: van areaal naar uitstoot	20
3.1	Areaal en materialen	20
3.2	Van volumes naar CO ₂ - uitstoot	20
3.3	Business- as- usual scenario als referentie	21
4	CO ₂ reductiestrategieën voor de GWW	23
4.1	Realistisch- ambitieuze strategieën	23
4.2	Maatregel 1 Ombouwen asfaltcentrales	25
4.3	Maatregel 2 Versneld betonakkoord	26
4.4	Maatregel 3 Schoon en Emissieloos materieel.....	27
4.5	Maatregel 4 Meer elementverharding, minder asfalt	28
4.6	Maatregel 5 Levensduurverlengend onderhoud (LVO) asfalt	29
4.7	Maatregel 6 Hergebruik geleiderails, portalen en damwanden	30
4.8	Maatregel 7 Verhoging van het recycling percentage in asfalt (PR)	31
4.9	Overige maatregelen	32
4.10	Uitbreiding woningvoorraad en de geassocieerde CO ₂ impact van de extra infrastructuurbehoefte	34
5	Impact van het verandescenario	36
5.1	Totale impact in relatie tot CO ₂ - budget	36
5.2	Impact van de strategieën	37
5.3	Belangrijkste partijen	37
6	Conclusies en aanbevelingen	39
	Verwijzingen	41
A.	Bijlage A. Verhouding tot de KCI- transitiepaden	43

Verklarende woordenlijst en afkortingen

BAU	Afkorting voor Business- as- Usual, waarmee in dit onderzoek het scenario wordt aangeduid als we doorgaan op de voet van vandaag en met het tempo van transitie van de afgelopen 5- 10 jaar.
B&U	Burgerlijke en Utiliteitsbouw. Afkorting die wordt gebruikt om woningbouw en gebouwen voor het openbare en zakelijke leven aan te duiden.
Bepalingsmethode	In de bepalingsmethode staat hoe we in Nederland de levenscyclusanalyse uitvoeren voor bouwmaterialen en -producten en welke milieueffecten we uitrekenen.
CO ₂ - budget	Totale hoeveelheid broeikasgassen dat nog mag worden uitgestoten, waarmee de opwarming van de aarde nog net binnen een bepaald temperatuur scenario blijft. De globale CO ₂ - budgetten zijn door het IPCC bepaald en opgenomen in hun summary reports.
EoL	Afkorting voor End- of- Life, hetgeen wordt gebruikt als aanduiding voor het eindelevensduur scenario in een LCA studie.
GWP	Global Warming Potential. Zie 'Klimaatimpact'.
GWW	Grond- , Weg- en Waterbouw. Afkorting die wordt gebruikt om civiele werken als wegen, bruggen, dijken en kanalen aan te duiden.
KCI	Afkorting voor Klimaatneutrale en circulaire infra en wordt vaak gehanteerd in combinatie met de transitiepaden naar klimaatneutrale en circulaire infra, de KCI- transitiepaden.
kg CO ₂ - eq.	De eenheid waarin klimaatimpact wordt uitgedrukt: kilogram CO ₂ - equivalenten. Dankzij deze eenheid kan het effect van verschillende broeikasgassen in één getal worden uitgedrukt. Zo is het effect van 1kg methaan gelijk aan 25 kg CO ₂ - eq.
Klimaatimpact	Het milieueffect van broeikasgassen, uitgedrukt in CO ₂ - eq.
LCA	Levenscyclusanalyse. In een LCA worden de milieueffecten van alle processen en grondstoffen die nodig zijn om een product toe te passen uitgerekend, gedurende de levensduur van het product. De levensduur wordt omschreven door levensfasen, aangeduid met de nummering A1 t/m D. A1- A3 betreft de productiefase, C1- 4 de sloop- en afvalfase en D de terugwinningsfase.
LVO	Levensduurverlengend onderhoud
Milieueffect	Een verandering in het milieu als gevolg van een activiteit. Er zijn meerdere milieueffecten, zoals: klimaatimpact, verzuring en toxiciteit. Elk beschrijft een ander effect met een eigen eenheid.
MKI	Milieukostenindicator. Met een levenscyclusanalyse worden de milieueffecten van een materiaal, product of bouwwerk uitgerekend. Deze milieueffecten (meerdere getallen met verschillende eenheden) zijn om te rekenen tot één integraal getal: de milieukosten, in euro's.
MIRT	Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport. De Rijksoverheid wil de bereikbaarheid, veiligheid en ruimtelijke inrichting van Nederland bevorderen. Rijksprojecten en -programma's hiervoor staan in het Meerjarenprogramma Infrastructuur Ruimte en Transport (MIRT). Het Rijk werkt intensief samen met provincies, gemeenten, vervoerregio's en waterschappen aan de projecten.
MPG	Milieuprestatie Gebouw. Een optelsom van de MKI van alle producten en materialen die zijn toegepast in het gebouw gedeeld door de beschouwde periode en het bruto vloeroppervlak.

NMD	Nationale Milieudatabase. Database die wordt gebruikt voor het berekenen van de milieuprestatie van gebouwen en/of bouwproducten. De database bevat een groot aantal profielen van materialen en producten die vaak in de bouw voorkomen met de bijbehorende milieueffecten en schaduwkosten.
NCPE	Nationale Programma Circulaire Economie
Paris Proof	Aanduiding die is geïntroduceerd door het Dutch Green Building Council (DGBC), waarmee wordt aangegeven dat als men de streefwaarden die bij de aanduiding horen hanteert, de bouwopgave binnen de grenzen blijft om de opwarming van de aarde tot maximaal 1,5 graad te beperken.
ppm	Part per million, aanduiding voor de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer
PR	Partiele Recycling, een veelgebruikte aanduiding voor recycling van asfaltgranulaat in asfalt
SEB	Schoon en Emissieloos Bouwen, een programma gericht op de energietransitie voor uitvoering.
SLA	Schone Lucht akkoord
VenR	Vervanging en Renovatie

Samenvatting

Nederland heeft een grote bouw- en renovatieopgave. Die bouwopgave leidt tot een flinke CO₂-uitstoot. Ook heeft Nederland het Klimaatakkoord van Parijs onderschreven. Daarin is afgesproken om de wereldwijde opwarming van de aarde te beperken tot maximaal 2,0 graden, met een streven naar 1,5 graad. Het onderschrijven van het Parijsakkoord heeft gevolgen voor onze manier van bouwen.

De bouwsector draagt significant bij aan CO₂- uitstoot en klimaatverandering

De bouwsector, zowel de B&U (woning- en utiliteitsbouw) als de GWW (Grond-, Weg- en Waterbouw) sector, draagt in Nederland significant bij aan de CO₂-emissies die wereldwijd leiden tot het broeikaseffect en klimaatverandering. In de GWW ligt een grote vervangings- en renovatieopgave (VenR) en een nieuwbouwopgave voor met name wegen, spoor en hoogwaterbescherming (MIRT). De CO₂-uitstoot die met deze opgave gepaard gaat is ongeveer 25% van de uitstoot van de totale bouwsector en bedraagt jaarlijks ca. 4,3 M ton CO₂-eq. Daarbij is de nieuwe infra die als gevolg van nieuwbouw woningbouw moet worden aangelegd, nog niet eens inbegrepen. Het grootste deel van het areaal is in handen van gemeenten, die samen goed zijn voor ruwweg de helft van CO₂-uitstoot.

CO₂-reductie krijgt al groeiende aandacht

Bij het Rijk, maar ook de andere overheden en marktpartijen, groeit het besef dat het van groot belang is de GWW-sector te verduurzamen. Er lopen al veel initiatieven en programma's die bijdragen aan de CO₂-reductie in de sector. In het programma Klimaatneutrale en Circulaire Infraprojecten (KCI) werken het Ministerie van IenW, Rijkswaterstaat, ProRail, provincies en waterschappen samen om de ambities te bereiken.

Van Business as Usual naar een ambitieus verandescenario

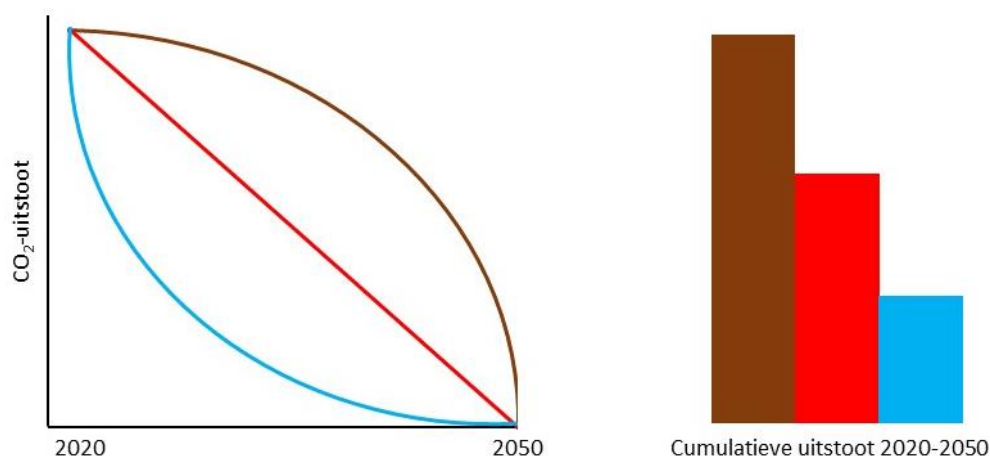
Deze verkenning laat zien wat de CO₂-uitstoot van de GWW-sector is in een Business-as-Usual (BAU) scenario en in een verandescenario, waarin maximaal wordt ingezet op realistische maar ambitieuze verduurzamingsmaatregelen. Daarmee verkennen we in hoeverre we de GWW-opgave kunnen realiseren binnen de grenzen van onze planeet wat betreft klimaatverandering. Het verandescenario is opgebouwd uit 3 circulaire strategieën, met daarin 7 impactvolle maatregelen.

CO₂-budget, waardevolle aanvulling op reductiedoelstellingen

Wanneer wij ernstige klimaatverandering willen voorkomen, is er een maximale hoeveelheid CO₂ die wereldwijd mag worden uitgestoten. Dit zogenaamde 'CO₂-budget' laat zien hoe groot deze maximale uitstootruimte is. Deze maximale uitstoot is een randvoorwaarde om onze wereld gezond, veilig en leefbaar te houden voor onszelf en toekomstige generaties.

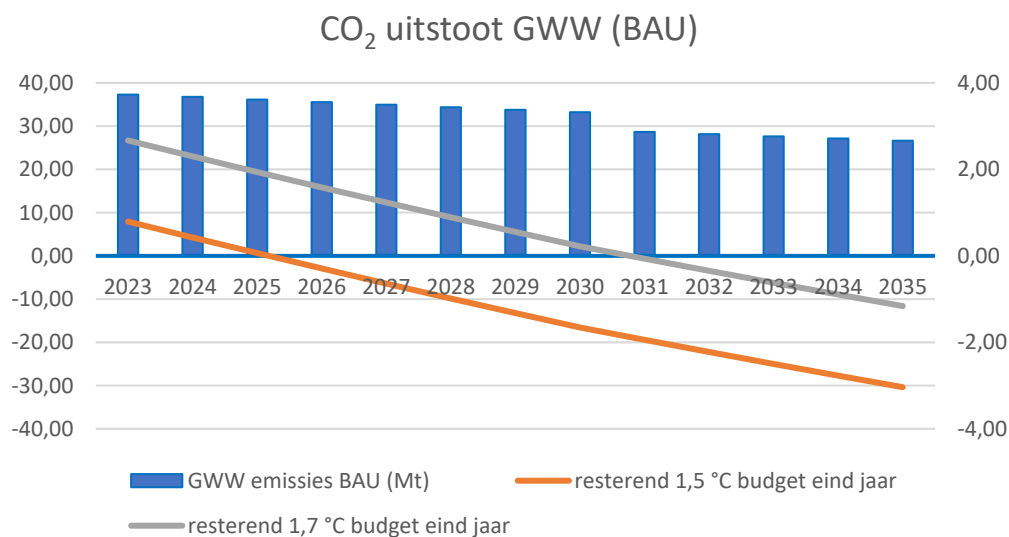
Het CO₂-budget voor de GWW-sector in Nederland is een afgeleide van het wereldwijde budget. In het onderzoek wordt het wereldwijde budget 'vertaald' naar een budget voor Nederland, vervolgens voor de bouwsector en tenslotte voor de GWW-sector.

Dit CO₂-budget is iets anders dan de CO₂-reductiedoelstellingen waar al veel mee wordt gewerkt en vormt een waardevolle aanvulling daarop. Zo kunnen we de reductiedoelstelling via verschillende routes bereiken, waarbij de daarmee gepaard gaande hoeveelheid uitgestoten CO₂ sterk kan verschillen (zie figuur). Het is dus van belang dat de curve snel omhoog gaat, en dat we gaan sturen op CO₂-reductie op de korte termijn.



Maatregelen nodig om binnen ons CO₂- budget te blijven!

Met onze huidige manier van bouwen (BAU) wordt het 1,5 °C CO₂- budget voor de GWW in 2026 overschreden. Onze manier van bouwen en de hoeveelheid uit te voeren werk is op dit moment dus niet in lijn met een 1,5 °C- scenario. Wanneer we een bijdrage van de GWW aan verdere opwarming tot 1,7 °C accepteren, is het budget voor de GWW in 2031 verbruikt en zelfs het 2 °C is verbruikt in 2042 . Er zijn dus strategieën en maatregelen nodig om het gewenste scenario te realiseren en ons binnen het bijbehorende budget te houden.



CO₂- budgetten als krachtig instrument om effectief op CO₂- reductie te sturen

Het denken in CO₂- budgetten is relatief nieuw, maar kan een krachtig middel zijn om afspraken te maken over verdeling van inspanningen en middelen om onze uitstoot te beperken tot een bepaald scenario. In dat opzicht lijkt het veel op werken met financiële budgetten en kan het leiden tot de meest efficiënte besteding van middelen met de hoogste kans op succes voor het reduceren van de CO₂- uitstoot.

Impactvolle maatregelen en strategieën voor CO₂-reductie

Deze verkenning bepaalt de impact tot en met 2030 van een totaal van 13 maatregelen om de CO₂-uitstoot in de GWW-sector te verminderen, die kunnen worden ingedeeld in drie strategieën. Deze strategieën sluiten aan op die van de studies naar woningbouw en utiliteitsbouw, zodat we uit de drie deelstudies een samengesteld totaal beeld kunnen opstellen:

1. **Bouwtechnische strategieën**
 - biobased bouwen
 - hergebruik & recycling
 - alternatieve materialen
2. **Voorraad strategieën**
 - levensduur verlengend onderhoud (LVO) asfalt
 - levensduurverlenging kunstwerken
3. **Verduurzaming bouw en bouwmaterialen industrie**
 - industrieverbetering beton, staal en asfalt
 - duurzaam materieel (emissievrij bouw materieel)

De grootste winst in CO₂-uitstoot is te behalen met de (versnelde) verduurzaming van de industrie (8,8%) en bouwmaterieel (3,2%), samen goed voor 12,0% reductie van de CO₂-uitstoot. Daarnaast leveren de bouwtechnische strategieën 9,2% en de voorraadstrategieën 3,2% reductie op. Alle maatregelen samen zijn te combineren tot een veranderscenario dat een reductie van 24,4% oplevert¹.

CO ₂ -uitstoot 2023 t/m 2030			
strategie	maatregel	GWW Mton	%
<i>Business-as-usual (referentie)</i>		28,2	
Bouwtechnische	Biobased bouwen	0,10	0,36%
	Hergebruik & recycling	1,40	4,96%
	Alternatieve materialen	1,08	3,85%
Voorraad	Levensduurverlenging	0,90	3,19%
Bouw- en bouwmaterialenindustrie	Industrieverbetering	2,47	8,76%
	Duurzaam materieel	0,92	3,28%
<i>Resterende impact (totaal)</i>		21,32	24,40%
Impactreductie (totaal)		6,88	

1,7 °C scenario alleen haalbaar met versnelde invoer maatregelen

Ook als alle maatregelen succesvol en volgens een ambitieuze planning worden doorgevoerd lukt het om binnen het 2 °C scenario te blijven, maar net niet om binnen het 1,7 °C scenario voor de GWW te blijven, en overschrijden we het bijbehorende budget in 2035. Hoewel het Klimaatakkoord van Parijs 2 °C als absolute bovengrens geeft, geeft het ook als doel om de opwarming zoveel als mogelijk te beperken en zo dicht mogelijk bij 1,5 °C te blijven als mogelijk is. Boven de 1,5 °C zijn er verschillende kantelpunten², die een mogelijke versnelling van de opwarming geven door negatieve feedback loops.

¹ het betreft hier de cumulatieve reductie tot 2030 (en niet zoals veel gebruikt een reductie als percentage van jaarlijkse emissies).

² Een kantelpunt in het klimaat is een kritieke drempel waarbij een (relatief) kleine verstoring de toestand van belangrijke onderdelen van het aardsysteem ingrijpend kan veranderen. Als synoniem wordt ook wel gesproken over kantelpunten, bifurcatiepunten, of omslagpunten

Een nadere analyse van de maatregelen laat zien dat er voor vrijwel elke GWW deelsector maatregelen bekend zijn die op termijn tot een klimaatneutrale infrastructuur zullen leiden. Dit betekent dat het niet zozeer een vraag is **WAT** er moet gebeuren, maar vooral hoe **SNEL** de invoering kan plaatsvinden.

Het lijkt haalbaar de gehele GWW sector binnen het 1,7 °C scenario budget te houden, maar hiervoor is vooral het zoveel mogelijk beperken van CO₂-emissies op de heel korte termijn nodig, en daarmee een nog snellere invoering van de beschreven maatregelen. Een eerste inschatting laat zien dat als we de top 4 maatregelen gemiddeld 5 jaar weten te versnellen we binnen het 1,7 °C scenario blijven.

En waar mogelijk het uitstellen van CO₂-intensieve bouwwerkzaamheden naar later, als er naar verwachting innovaties beschikbaar komen waarmee dat met minder CO₂-uitstoot gepaard kan gaan.

Aandacht vereist voor locatiekeuze nieuwbouw woningbouw

Een belangrijk aanvullend vraagstuk is hoe en waar de nieuwbouw woningbouw plaats zal vinden. Indien deze grotendeels buitenstedelijk wordt gerealiseerd, zal er veel nieuwe infra nodig zijn. Dit is een dusdanige hoeveelheid dat het de CO₂-uitstoot van de GWW aanzienlijk zal verhogen (tot wel 16%). Als de nieuwbouw (deels) binnenstedelijk kan plaats vinden, waar de infrastructuur grotendeels al bestaat, zal deze impact aanzienlijk lager liggen (inschatting tot wel 75%-85% lager). Dit aspect van de nieuwbouw woningbouwopgave verdient daarmee de volle aandacht, maar komt nu vrijwel niet terug in de discussies.

Succes vraagt betrokkenheid van alle actoren

Alle publieke opdrachtgevers en infrabeheerders kunnen (en moeten) een bijdrage leveren. De impact is als volgt verdeeld (veranderscenario 2023):

I.	Gemeenten	49%
II.	Rijkswaterstaat	22%
III.	ProRail	10%
IV.	Netwerkbeheerders	9%
V.	Luchthavens	2%
VI.	Overig	8%

Het percentage komt overeen met het aandeel in de totale CO₂-uitstoot in het verander scenario in het jaar 2023.

1 Aanleiding, doel en scope

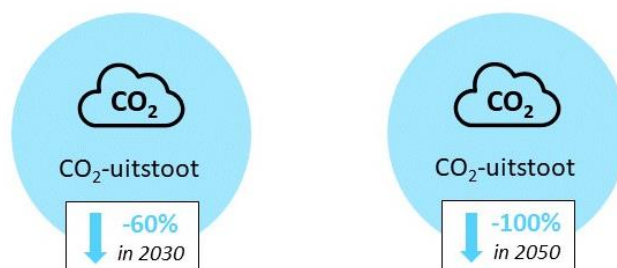
1.1 Het Klimaatakkoord van Parijs

Nederland heeft een grote bouw- en renovatieopgave. Die bouwopgave leidt tot een flinke CO₂- uitstoot. Ook heeft Nederland het Klimaatakkoord van Parijs onderschreven. Daarin is afgesproken om de wereldwijde opwarming van de aarde te beperken tot maximaal 2,0 graden, met een streven zo dicht mogelijk bij de 1,5 graad te blijven. Het onderschrijven van het Klimaatakkoord van Parijs heeft gevolgen voor onze manier van bouwen.

In de grond-, weg- en waterbouw (GWW) ligt een grote vervangings- en renovatieopgave en een (voorlopig) uitgestelde nieuwbouwopgave. De totale opgave is aanzienlijk en de CO₂ uitstoot die ermee gepaard gaat is ongeveer 25% van de uitstoot van de totale bouwsector. Daarnaast zal de gewenste nieuwbouw opgave van woningen ook een aanzienlijke hoeveelheid infrastructuur oproepen.

Handelingsperspectieven nodig om aan klimaatdoelen Parijs te kunnen voldoen

Innovatieve oplossingen zijn nodig op het gebied van klimaat. Het Klimaatakkoord van Parijs moet gevaarlijke klimaatverandering voorkomen en eraan bijdragen dat de wereld leefbaar blijft. In het Nederlandse klimaatakkoord is ten doel gesteld de CO₂- uitstoot in 2030 met 60% te reduceren (ten opzichte van 1990) en in 2050 met 100%.



Figuur 1 Reductiedoelen Nederlandse overheid

Als we infrastructuur blijven bouwen en renoveren zoals we dat nu doen, zijn de doelen uit het Klimaatakkoord van Parijs onhaalbaar. De Nederlandse infrasector is dan niet 'Paris Proof'. In dit rapport analyseren we handelingsperspectieven die eraan bijdragen dat de sector dat wél wordt.

1.2 Doel van het onderzoek

Dit rapport analyseert kwantitatief de CO₂- uitstoot van de aanleg, renovatie, en vervanging van alle assets in de infrasector en strategieën om die uitstoot te reduceren. Dat helpt beslissers om keuzes te maken. Het rapport is bedoeld voor beslissers bij onder meer het Rijk, provincies, waterschappen, gemeenten, netbeheerders en private partijen.

Dit onderzoek is onderdeel van een reeks onderzoeken naar de totale Nederlandse bouwopgave en hoe deze binnen de afspraken uit het Klimaatakkoord van Parijs uitgevoerd zou kunnen worden. Voorgaande onderzoeken zijn:

- Paris Proof materiaalgebonden, Dutch Green Building Council (NIBE2021);
- Woningbouw binnen planetaire grenzen (Copper8 e.a. 2023)
- Utiliteitsbouw binnen planetaire grenzen (Alba concepts e.a. 2024)

Klimaatverandering is sectoroverstijgend, hetgeen dus betekent dat reducties in één (deel)sector gebruikt kunnen worden om overschrijding in een andere (deel)sector mogelijk te maken. Een methodiek die dit mogelijk maakt is het denken in CO₂ uitstoot budgetten. Het denken in CO₂- budgetten is relatief nieuw, maar kan een krachtig middel zijn om afspraken te maken over verdeling van inspanningen en middelen om onze uitstoot te beperken tot een bepaald scenario. In dat opzicht lijkt het veel op werken met financiële budgetten en kan het leiden tot de meest efficiënte besteding van middelen met de hoogste kans op succes met de CO₂- uitstoot reductie. Deze publicatie geeft een eerste aanzet tot het werken met een CO₂ budget voor de GWW en biedt inzicht in de impact die met verschillende handelingsperspectieven te bereiken is.

Voor de infrastructuursector zijn er al veel initiatieven om de CO₂- uitstoot te reduceren. Een belangrijk programma is het programma Klimaat neutrale en Circulaire Infraprojecten (KCI, zie bijlage A voor meer details). Hierin werken drie grote opdrachtgevers van infrastructuur samen: het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Rijkswaterstaat en ProRail. In 2023 zijn samenwerkingsafspraken met IPO (provincies) en Unie van Waterschappen gemaakt. Het programma werkt ook nauw samen met het programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB), het Schone Luchtakkoord (SLA) en het Nationale Programma Circulaire Economie (NPCE).

Wat ontbreekt is een totaalbeeld van de CO₂- uitstoot en handelingsperspectieven voor de gehele sector. Dit onderzoek beoogt hiervoor een eerste aanzet te geven.

In het voorliggende hoofdrapport van onze studie beschrijven we de onderzoeksmethodiek op hoofdlijnen in hoofdstuk 3. De totale studie bevat een grote hoeveelheid data, aannames, inschattingen en verwijzingen. Om het hoofdrapport eenvoudig leesbaar te houden is ervoor gekozen een methodologische bijlage bij dit rapport te schrijven en apart te publiceren (NIBE2024).

1.3 Scope van het onderzoek

Hele infrasector

In dit rapport analyseren we de hele infrasector. We kijken naar de domeinen waar de KCI-transitiepaden zich op richten maar ook naar andere domeinen. Grofweg analyseren we de volgende typen infrastructuur:

- wegen voor auto's, fietsers en voetgangers;
- spoorwegen (inclusief tram en metro);
- vaarwegen;
- kunstwerken voor alle weg-, spoor- en vaarwegen;
- vliegvelden;
- vaargeulonderhoud en kustlijnverzorging;
- waterkeringen, zoals dijken en dammen;
- overige waterwerken: stuwen, sluizen, gemalen;
- ondergrondse infra: kabels en leidingen voor onder meer riolering, telecom, elektriciteit, aardgas en water;
- hoogspanningsmasten en bovengrondse kabels;
- grondverzet (uitgraven en/of ophogen) voor alle typen infrastructuur.

Havens vallen voornamelijk buiten de scope van dit onderzoek, maar zouden eventueel in een later stadium toegevoegd kunnen worden.

Uitbreidingsnieuwbouw en vervanging en renovatie

We kijken in dit rapport naar infrastructuur op nieuwe plekken (uitbreidingsnieuwbouw) en infrastructuur die bestaande infrastructuur vervangt (vervangende nieuwbouw of vervanging en renovatie, VenR). Onderhoudsmaatregelen zijn niet apart beschouwd, maar als ze onderdeel vormen van een KCI transitiepad dan vallen ze daarmee wel binnen het onderzoek, omdat de KCI transitiepaden in hun geheel zijn opgenomen (details in bijlage A).

Focus op CO₂- uitstoot

In dit rapport kijken we alleen naar CO₂-uitstoot (klimaat) en niet naar andere thema's op het gebied van duurzaamheid en planetaire grenzen.

We berekenen de uitstoot van strategieën, brengen in beeld hoe deze relateren aan het beschikbare CO₂-budget maar doen geen aanbevelingen welke (combinatie van) strategieën de voorkeur heeft en welke beleidsmaatregelen en randvoorwaarden daarvoor nodig zijn. Dat is een vraagstuk voor de politiek en de sector.

Ook andere duurzaamheidsthema's dan CO₂- uitstoot urgent

In dit rapport kijken we naar CO₂-uitstoot, maar dit is niet het enige duurzaamheidsthema dat in het kader van de planetaire grenzen om aandacht vraagt. Nederland heeft bijvoorbeeld ook doelstellingen op het gebied van verzuring, verstedelijking en waterkwaliteit. In de literatuur worden negen planetaire grenzen onderscheiden waarbinnen mensen gezond en veilig op aarde kunnen blijven leven (Stockholm Resilience Centre 2023). Zes van de negen planetaire grenzen zijn inmiddels overschreden.

Infrastructuur: bouwopgave en ontwikkelingen

De infrastructuursector heeft als ambitie bestaande infrastructuur te onderhouden en verbeteren en waar nodig nieuwe infrastructuur aan te leggen. En zo bij te dragen aan onder meer bereikbaarheid, verkeersveiligheid, ruimtelijke inrichting en leefbaarheid. Drie grote ontwikkelingen zijn bepalend voor de infrastructuuropgave tot 2030.

Grote vervangingsopgave

Het grootste deel van de infrastructuuropgave bestaat uit vervangingen en renovaties (VenR). Er wordt veel meer infrastructuur vervangen of gerenoveerd dan dat er op nieuwe plekken infrastructuur wordt aangelegd. Renovaties en vervangingen dragen daarmee ook bij aan het grootste deel van het materiaalgebruik en de CO₂-uitstoot van de sector.

Voorals het gaat om kunstwerken is de renovatieopgave groot. Veel bruggen, tunnels en sluisen zijn in de periode na de Tweede Wereldoorlog aangelegd en de intensiteit van gebruik neemt steeds toe. Ze kunnen zonder renovatie niet lang meer goed blijven functioneren.

Nieuwe grote infrastructuur vijf jaar gepauzeerd

De plannen voor de uitbreiding van infrastructuur op nieuwe plekken staan in het Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport (MIRT, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat 2023). Hierin werkt de Rijksoverheid samen met provincies, gemeenten, vervoerregio's en waterschappen.

Er is enige onzekerheid of en wanneer met welke MIRT-projecten wordt gestart. In 2023 is een aantal wegen- en vaarwegenprojecten uit het MIRT voor vijf jaar gepauzeerd. Redenen hiervoor zijn de stikstofproblematiek, stijgende prijzen en personeelstekorten in de bouw. Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft ervoor gekozen om de focus te verleggen naar groot onderhoud, renovatie en vervanging van bestaande infrastructuur. De geplande MIRT-projecten blijven wel op de agenda staan. Omdat onze data is gebaseerd op die van de doorrekening van de KCI transitiepaden (CEDelft, juli 2021), waarin de MIRT-opgave nog niet uitgesteld was, is deze opgave ook in deze studie meegenomen.

Infrastructuuropgave gekoppeld aan woningbouwopgave

Voor de periode 2024-2030 zijn de ambities van de infrasector deels gekoppeld aan de ambities van de woningbouwsector (zie kader). Om het woningtekort terug te dringen, is het plan om tot 2030 veel nieuwe woningen te bouwen. Er is infrastructuur nodig om deze woningen bereikbaar te maken per auto, openbaar vervoer en fiets. En de nieuwe woningen moeten worden aangesloten op voorzieningen, zoals water, energie en telecommunicatie, waarvoor ondergrondse infrastructuur nodig is.

Ambitie nieuwbouw woningen is hoog

In de Nationale Woon- en Bouwagenda is de ambitie geformuleerd om tussen 2022 en 2030 900.000 woningen te bouwen (100.000 per jaar). De prognose is dat in die periode in werkelijkheid zo'n 742.500 woningen worden gebouwd (ABF 2022). Dat is nog steeds een aanzienlijk aantal en er is veel nieuwe infrastructuur nodig voor de bereikbaarheid en het functioneren van deze woningen.

Hoeveel infrastructuur precies nodig is voor nieuwe woningen is nog onduidelijk. Dat hangt mede af van waar de nieuwe woningen komen te staan: in bestaand stedelijk gebied of daarbuiten. Voor nieuwbouw buiten bestaande stedelijke gebieden is meer infrastructuur nodig. De impact van de locatiekeuze van de nieuwbouw op de CO₂ uitstoot hebben we inzichtelijk geprobeerd te maken en blijkt aanzienlijk. Dit wordt apart behandeld in paragraaf 4.10.

Bouwopgave na 2030

Voor de periode 2030-2050 zijn de realisatiedoelen voor de infrasector minder concreet. De verwachting is wel dat de vraag naar nieuwe wegen en kunstwerken afvlakt als er voldoende nieuwe woningen zijn gebouwd. Daardoor zal het aandeel wegen en bruggen dat gerenoveerd of vervangen moet worden nog groter worden dan het nu al is. In deze studie is ook de periode 2030-2050 gemodelleerd. Dit is gedaan op basis van de verwachte renovatie en vervangingsvraag berekend uit de levensduur van de objecten, in combinatie met een scenario voor de transitie van de industrie. De industrie heeft in feite twee transities te doorlopen: een transitie van fossiele energie naar duurzame energiedragers en een transitie van het gebruik van primaire grondstoffen naar het gebruik van hernieuwbare of secundaire grondstoffen. Voor beide transities zijn scenario's opgesteld en in het model verwerkt.

2 Een CO₂- budget voor de infrasector

2.1 Het Klimaatakkoord en het huidige beleid

Om te weten wat nodig is voor een Paris Proof Nederlandse infrastructuursector moeten we dat concept eerst definiëren. Bij welke hoeveelheid CO₂- uitstoot in welk jaar is de sector Paris Proof?

In het Klimaatakkoord van Parijs is afgesproken om de opwarming van de aarde te beperken tot maximaal 2 graden Celsius ten opzichte van 1850-1900. Het streven in het akkoord is een maximale opwarming van 1,5 graden. In 2021 was de aarde gemiddeld al 1,2 graden opgewarmd (IPCC 2021) en de schattingen voor de huidige stand van ons klimaat gaan uit van 1,48 graden op dit moment.

Planetaire grens CO₂- concentratie

CO₂- uitstoot leidt tot een hogere concentratie van CO₂ in de atmosfeer. Het Stockholm Resilience Centre heeft onderzoek gedaan naar het effect van CO₂-concentratie op het klimaat. Dit is een andere manier om CO₂-doelen en grenswaarden te definiëren. Het instituut hanteert een grens van 350 ppm CO₂ in de atmosfeer als planetaire grens. Op dit moment zitten we daar met zo'n 425 ppm ruim boven.

In het huidige Nederlandse klimaatbeleid is een CO₂-reductiedoelstelling geformuleerd. Deze is in Parijs afgesproken tussen EU-landen. De afspraak is om in 2030 55% minder CO₂ uit te stoten dan in 1990 (99 Mton). Nederland heeft dit vertaald naar een streefdoel van 60% reductie (88 Mton), om te zorgen dat het doel van 55% reductie ook daadwerkelijk wordt gehaald.

In het Klimaatakkoord van Parijs staat ook dat Nederland uiterlijk in 2050 klimaatneutraal moet zijn. Op dat moment moet de CO₂-uitstoot netto nul zijn: niet hoger dan wat er aan CO₂ wordt vastgelegd.

2.2 Een CO₂- budget als alternatief

Als alternatief voor reductiedoelen, wordt steeds vaker een 'CO₂-budget' (carbon budget) gebruikt. Dit gebeurt ook in de Paris Proof rapporten over woningbouw en utiliteitsbouw.

Een CO₂- budget is de totale hoeveelheid CO₂ die nog mag worden uitgestoten door menselijke activiteiten om een temperatuurdoel te halen.

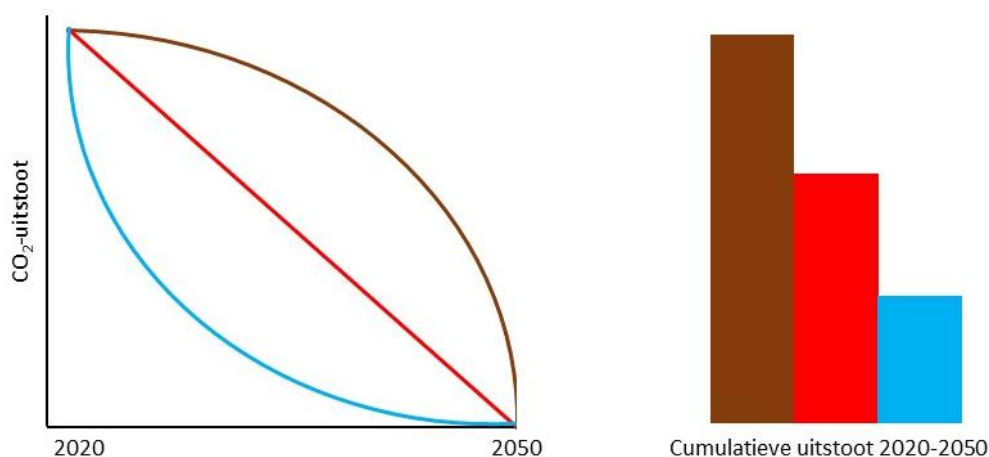
Op welk moment die uitstoot plaatsvindt, maakt niet uit. Je kunt vanuit de totale hoeveelheid CO₂-budget die we nog hebben een CO₂-budget bepalen op elk schaalniveau: voor een land, een sector in dat land en zelfs een bouwwerk.

Gebruik CO₂- budget internationaal

In een aantal landen is een CO₂-budget al onderdeel van nationale wetgeving of monitoring. Dit geldt onder meer voor Frankrijk, het Verenigd Koninkrijk en Nieuw-Zeeland. Meestal wordt gewerkt met een vijfjarenbudget. Duitsland, Ierland en Chili bereiden een aanpak met een CO₂-budget voor, in Denemarken en Zwitserland zijn studies over deze in steek gepubliceerd.

Het voordeel van een CO₂-budget is dat het grip geeft op de periode tot een doeljaar: in dit geval 2030 of 2050. Een reductiedoelstelling geldt alleen voor het doeljaar en zegt niks over de jaren daarvoor. De cumulatieve CO₂-uitstoot verschilt sterk als er in jaren voor het doeljaar meer of minder CO₂ wordt uitgestoten. Daarom nemen we in dit rapport het CO₂-budget en cumulatieve uitstoot als uitgangspunt voor Paris Proof. Zoals Figuur 2 laat zien doet niet enkel het

reductiepercentage als einddoel ertoe, maar vooral ook de weg ernaartoe. Alle drie de paden leiden tot hetzelfde reductiepercentage in 2050, maar de totale hoeveelheid uitgestoten CO₂ (cumulatieve uitstoot) is zeer verschillend. Feitelijk is de oppervlakte onder de curve maatgevend voor de hoeveelheid CO₂ die wordt uitgestoten. Dit illustreert ook de reden dat we de curve zo snel mogelijk naar beneden moeten krijgen, en dus specifiek aandacht aan CO₂-reductie op korte termijn moeten geven.



Figuur 2. Cumulatieve uitstoot hangt af van de uitstoot in de hele periode tot het doeljaar

In 2021 heeft het International Panel for Climate Change (IPCC) het wereldwijde CO₂-budget berekend. Daarbij is gerekend vanaf januari 2020, met verschillende zekerheidsmarges (zie figuur 3). De zekerheidsmarge is de kans dat het temperatuurdoel gehaald wordt binnen het budget.

In dit rapport kijken we naar het budget dat hoort bij alle drie de temperatuurdoelen uit het IPCC-rapport. We gaan uit van een kans van 67% om een temperatuurdoel te halen. Hiervoor is ook gekozen in de Paris Proof rapporten over woningbouw en utiliteitsbouw.



Figuur 3. Wereldwijde CO₂-budget voor verschillende temperatuurdoelen en zekerheidsmarges

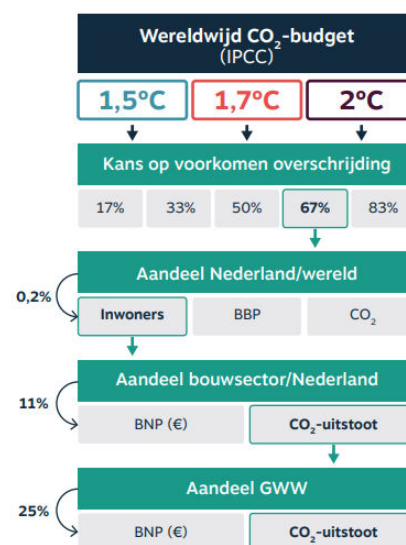
Het wereldwijde budget voor 1,5 graden opwarming is nog maar zeer beperkt. Dit budget was op januari 2020 400 Gton CO₂ bij een zekerheidsmarge van 67%. Jaarlijks wordt wereldwijd ongeveer 59 Gton CO₂ uitgestoten.

2.3 Een CO₂-budget voor de infrasector met de methode 'per capita'

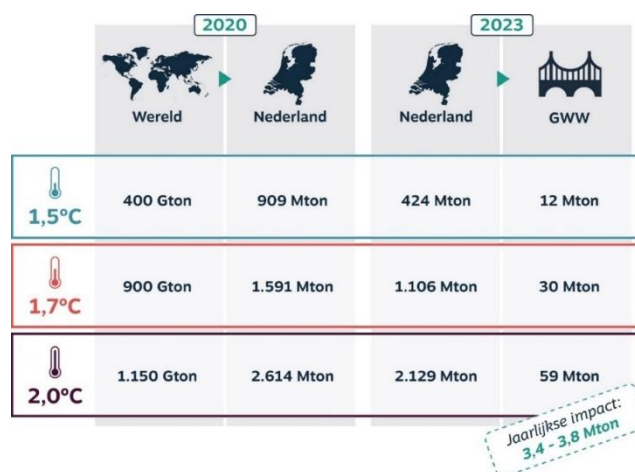
Het wereldwijde CO₂-budget kunnen we vertalen naar een budget voor Nederland. Er zijn verschillende manieren om dat te doen. Over de verdelingsmethoden is wereldwijd nog geen consensus. De methode 'per capita' wordt veelal gezien als neutraal en deze gebruiken we in dit rapport. Deze methode houdt in dat we het wereldwijde budget evenredig verdelen over de mensen op aarde. Met deze verdelingsmethode krijgt Nederland 0,22% van het wereldwijde CO₂-budget.

Het budget voor de Nederlandse bouwsector als geheel hebben we bepaald op basis van de relatieve economische omvang van de sector: 1%. Dit percentage is het West-Europees gemiddelde (WGBC, 2019). Het budget voor de infrasector binnen de bouw is bepaald op basis van de relatieve CO₂-uitstoot. Deze is geschat op 25% ten opzichte van 75% voor B&U-sector.

Van het Nederlandse CO₂-budget hebben we de geschatte uitstoot sinds 2020 afgetrokken. Vanaf januari 2023 resteert voor Nederland dan bijvoorbeeld een budget van 424 Mton voor 1,5 graden en 106 Mton voor 1,7 graden. De verdeling naar de GWW is hier dan weer op gelijke wijze uit te bepalen, zoals in Figuur 4 samengevat.



Figuur 4. Methode toewijzing CO₂-budget aan de Nederlandse infrasector

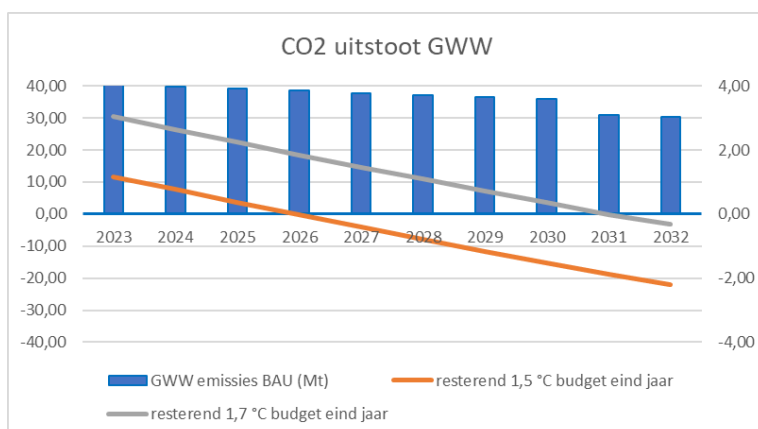


Figuur 5. Toewijzing van het wereldwijde CO₂-budget aan de Nederlandse infrasector

2.4 Budget snel overschreden met business- as- usual

De Nederlandse infrasector stoot jaarlijks 3,4 tot 3,8 Mton CO₂ uit. Als we niks veranderen (business- as- usual) is het CO₂- budget voor 1,5 graden opwarming dus snel op; in 2026 zijn we daar doorheen. Ook het budget voor 1,7 graden is zonder aanpassingen nog maar een beperkt aantal jaar toereikend en zal naar verwachting in 2031 worden overschreden (zie figuur 6).









Recente publicaties hebben aangegeven dat we momenteel al op 1,48 graden opwarming zitten wereldwijd. Dat betekent dat het 1,5 graden budget alleen met significante negatieve emissies nog haalbaar kan zijn en die zijn nu zeker nog niet in beeld.



Zelfs om binnen het CO₂- budget voor 1,7 graden opwarming te blijven zijn nog veel impactvolle maatregelen nodig. Een flink aantal maatregelen wordt uitgevoerd of voorbereid. In hoofdstuk 4 van dit rapport analyseren we het reductiepotentieel van een groot aantal maatregelen, die we samen nemen in een drietal strategieën.

Figuur 6. CO₂- uitstoot van de infrasector (BAU- scenario) in relatie tot het CO₂-budget.

Tabel 1 Type infrastructuur met indicatie van onderdelen, impact en eigenaren.

Type infrastructuur	Onderdelen	CO ₂ - uitstoot [M ton] in BAU scenario 2023	Eigenaren
Wegen 	Wegen, fietspaden en voetpaden, inclusief geleiderails, wegm arkeringen verkeersborden en portalen.	2,22 M ton (59 %)	Rijkswaterstaat Provincies Waterschappen Gemeenten
Kunstwerken 	Onder meer bruggen, tunnels, verdiepte wegen, dam wanden en aquaducten	0,31M ton (8,4 %)	Rijkswaterstaat Gemeenten
Vliegvelden 	Start- en landingsbanen van luchthavens met een civiele toepassing.	0,05 M ton (1,3 %)	Luchthavens
Spoorwegen 	Spoorwegen voor treinen, inclusief tram en metro	0,34 M ton (9,1%)	ProRail
Weg, Dijk- en Spoo- materiael 	Materieel voor de aanleg van infrastructuur. (Uitzondering is dat materieel voor aanleg wegen daar is opgenomen in LCA module A5 voor wegen.)	0,18 M ton (4,7%)	Aannemers
Waterkeringen 	Onder meer dijken, dam men en storm vloedkeringen	0,97 M ton (2,6 %)	Rijkswaterstaat Waterschappen
Vaargeulonderhoud en kustlijn- zorg 	Materiaal en materieel voor baggerwerkzaam heden	0,16 M ton (4,3 %)	Rijkswaterstaat
Kabels en leidingen 	Telecom kabels Elektriciteitskabels (alleen de kabels, hoogspanningsm asten zijn niet meegenomen) Aardgasleidingen Rioolbuizen Waterleidingbuizen CO ₂ - transportleidingen Gevaarlijke stoffen	0,38 M ton (10,1%)	Telecom bedrijven Netbeheerders Gemeenten Waterschappen Waterbedrijven

3 Methodologie: van areaal naar uitstoot

3.1 Areaal en materialen

Het vertrekpunt voor dit rapport is het complete areaal aan infrastructuur. Het gaat daarbij bijvoorbeeld om vierkante kilometers aan autowegen en fietspaden en het aantal kilometers leidingen. Voor het bepalen van het areaal hebben we zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande bronnen zodat bevindingen met andere onderzoeken kunnen worden vergeleken. Daartoe zijn bronnen gebruikt van onder meer Rijkswaterstaat, het CBS, EIB en Metabolic, CE Delft, TNO, de luchtvaartindustrie, en Netbeheer Nederland. Daarnaast hebben we gesprekken gevoerd met experts.

Vooraf voor wegen hebben we een gedetailleerde inschatting van het areaal gemaakt. Hierbij hebben we onder meer gekeken naar wegbreedtes en de gemiddelde opbouw van wegen. Wegen vormen binnen de infrastructuursector het grootste oppervlakte en wegen dragen het meest bij aan de CO₂-uitstoot in de sector.

Uit het complete areaal hebben we het **vervanging en renovatie (VenR)** volume bepaald op basis van de referentielevensduur. De referentielevensduur van voetpaden is bijvoorbeeld 25 jaar. Op basis hiervan schatten we in dat jaarlijks 1/25^e van alle vierkante kilometers voetpaden vervangen of gerenoveerd moet worden.

Naast renovatie is er ook sprake van **nieuwbouw**. De hoeveelheid nieuwbouw kan niet uit het bestaande areaal worden bepaald. Voor de hoeveelheid nieuwbouw is de eerdere studie van EIB en Metabolic gebruikt. Daarin is de hoeveelheid nieuwbouw bepaald en die hebben we in onze studie integraal overgenomen.

De volumes voor nieuwbouw en renovatie hebben we vervolgens omgerekend naar hoeveelheden materialen op basis van de productopbouw. Bijvoorbeeld een wegopbouw bestaat uit zand, betongranulaat en een deklaag van asfalt. Eén kilometer weg (uit de areaal opbouw) wordt dan omgerekend in hoeveelheden (kg) materialen zand, betongranulaat en asfalt.

Qua materialen in de hele infrasector worden beton en asfalt het meest toegepast. Beton wordt vooral toegepast in vaste bruggen en andere kunstwerken (80% van alle kunstwerken is van beton), asfalt met name in wegen.

3.2 Van volumes naar CO₂- uitstoot

De hoeveelheden aan materialen hebben we vertaald naar CO₂-uitstoot. Dit hebben we voor een deel gedaan door data van bestaande KCI-studies integraal over te nemen (CE Delft, juli 2021). Het gaat daarbij om studies over de KCI-transitiepaden Kunstwerken, WDSM, Spoorwegen en Kustlijn zorg en Vaargeulonderhoud. Voor alle overige infrastructuur hebben we gebruik gemaakt van LCA studies.

Bij onze berekeningen hebben we zoveel mogelijk LCA data gebruikt uit de zogeheten 'LCA categorie 3 rapporten'. Dit zijn generieke data die niet aan een merk zijn gebonden. Deze data zijn goed beschikbaar en geven een representatief beeld van de sector als geheel. Ook in eerdere Paris Proof rapporten is dit type data gebruikt.

Er zijn in het kader van deze studie geen nieuwe LCA studies uitgevoerd, we hebben gebruik gemaakt wat er al aan LCA studies beschikbaar was. Soms was er geen adequate studie beschikbaar en heeft NIBE op basis van haar ervaring een expertinschatting gemaakt door aanpassingen aan bestaande LCA studies te maken. Met name voor nieuwe technologieën voor industriële processen is nog weinig informatie beschikbaar (bijvoorbeeld staal productie op basis van waterstof).

Uit de categorie 3 LCA studies worden alleen de levenscyclusfasen A1t/m A5 (productie- en bouw fase) gebruikt, omdat we ons focussen op de CO₂- uitstoot op de korte termijn. Alle overige fasen vallen buiten de scope van deze studie. De vervangings- en renovatieopgave is ingeschat op basis van de levensduur van de producten, zoals eerder vermeld en wordt op die manier meegenomen in het model.

Hierbij wordt de vervangingsvraag in ons model in het jaar geplaatst waar deze zal plaatsvinden en daarbij wordt dan ook de CO₂- uitstoot gehanteerd die op dat moment van toepassing is. Dit is een belangrijk verschil met de benadering waarin vervangingen in een product LCA in module B4 worden opgenomen, maar dan wel met de CO₂- uitstoot van vandaag. Omdat we met name de effecten van de energietransitie willen modelleren is deze laatste benadering voor ons niet toereikend.

Door de focus op nieuwbouw (A1-A5) en renovatie zijn de resultaten in dit rapport, hoewel grotendeels gebaseerd op dezelfde data, dus niet een-op-een te vergelijken met de KCI-studies (zie pagina 15) of met de EB/Metabolic studie. In die studies is de scope breder: daar wordt naar de hele levenscyclus gekeken en wordt dus voor vervangingen gerekend met de CO₂ uitstoot van vandaag, zonder daarbij de effecten van de energietransitie mee te nemen. Een ander belangrijk verschil is de toepassing van module D. In een hele levenscyclus benadering wordt module D ook meegenomen en in onze studie hebben we die dus bewust buiten beschouwing gelaten. Een verdere toelichting hierop is te vinden in het eerste Paris Proof rapport uit 2020 (NIBE2021).

De volledige methode die we hebben gebruikt en de daarbij gebruikte bronnen, beschrijven we in de methodologische bijlage bij dit rapport (NIBE2024).

3.3 Business- as- usual scenario als referentie

De volgende stap in onze analyse is het business- as- usual- scenario (BAU). Het BAU- scenario is het scenario waarbij we tot 2050 infrastructuur grotendeels blijven bouwen en renoveren zoals we dat nu doen.

Het BAU- scenario hebben we nodig om preciezer te bepalen in welk jaar het CO₂- budget voor welk temperatuurdoel opraakt. We hebben het ook nodig als referentie voor de strategieën om de CO₂- uitstoot te reduceren, die we in hoofdstuk 4 analyseren. Die

strategieën vergelijken we met het BAU- scenario. Ook maatregelen waarvan we vrijwel zeker weten dat ze zullen worden ingevoerd hebben we toch als strategie opgenomen (en niet in BAU), zodat we de impact van de maatregel apart inzichtelijk krijgen³.

Het BAU- scenario bevat een aanname dat grondstoffen elk jaar met 2% minder CO₂- uitstoot worden geproduceerd en dat materieel elk jaar 2% beter scoort qua CO₂- uitstoot. Deze 2% is gebaseerd op een historische analyse van de transitie van de industrie. De achtergrond is beschreven in de studie over woningbouw (Copper8, 2023) en is in alle Paris Proof studies toegepast in het BAU- scenario.

Ook zijn de maatregelen die al zijn opgenomen in de KCI- transitiepaden 'WDSM', 'Kustlijnzorg en Vaargeulonderhoud' en 'Spoor' opgenomen in het BAU- scenario, omdat deze KCI transitiepaden integraal zijn overgenomen. Alle overige maatregelen zijn onderdeel van de strategieën (zie hoofdstuk 4).

Op basis van het BAU- scenario is de CO₂- uitstoot van de infrasector in 2023 3,7 Mton. Over de periode 2023- 2030 bedraagt de CO₂- uitstoot 28,2 Mton. Over de periode 2030- 2050 voorspelt het BAU- scenario een uitstoot van 49,0 Mton.

³ Daar waar we een KCI- transitiepad integraal hebben overgenomen kunnen we geen maatregelen eruit halen. In die gevallen zitten dus alle in het transitiepad opgenomen maatregelen automatisch ook in ons BAU scenario.

4 CO₂ reductiestrategieën voor de GWW

4.1 Realistisch- ambitieuze strategieën

In dit hoofdstuk analyseren we drie circulaire strategieën die de CO₂- uitstoot van de infrastructuursector kunnen reduceren en zo de sector Paris Proof kunnen maken. Deze strategieën sluiten aan op die van de studies naar woningbouw en utiliteitsbouw, zodat we uit de drie deelstudies een samengesteld totaal beeld kunnen opstellen. Dit totaalbeeld is recent gepubliceerd in een overkoepelende rapportage (Copper8, 2024). Elke strategie bevat verschillende maatregelen, die we individueel hebben doorgerekend op hun impact.

1. **Bouwtechnische strategieën**
 - biobased bouwen
 - hergebruik & recycling
 - alternatieve materialen
2. **Voorraad strategieën**
 - levensduur verlengend onderhoud (LVO) asfalt
 - levensduurverlenging kunstwerken
3. **Verduurzaming bouw en bouwmaterialen industrie**
 - industrieverbetering beton, staal en asfalt
 - duurzaam materieel (emissievrij bouw materieel)

Er zijn in totaal 13 maatregelen doorgerekend in het model, de 7 meest impactvolle daarvan zullen we hier apart behandelen en de overige hebben we samengevat. De zeven meest impactvolle maatregelen zijn:



1. **Om bouwen asphaltcentrales:** De asphaltcentrales in Nederland gebruiken op dit moment veel aardgas. Deze centrales kunnen worden omgebouwd, zodat deze met niet-fossiele energiebronnen asphalt produceren, op lagere temperaturen en met duurzamere grondstoffen.



2. **Versneld Betonakkoord:** In het betonakkoord is de aanname dat Carbon Capture and Storage (CSS, ondergrondse CO₂- opslag) vanaf 2040 wordt ingevoerd. Wij zijn ervan uitgegaan dat dit tien jaar eerder start – de techniek is tenslotte al beschikbaar en de eerste installatie is recent geopend.



3. **Vergroening materieel:** Materieel voor de aanleg van wegen stoot aanzienlijke hoeveelheden CO₂ uit. We gaan ervan uit dat materieel stapsgewijs overstapt van fossiele energiebronnen naar duurzame energiebronnen zoals waterstof en groene stroom.



4. **Asfalt vervangen door elementverharding:** Het grootste deel van de wegen ligt in stedelijk gebied. Zo'n 30% daarvan is gemaakt van asphalt. Voor een deel van deze wegen kan elementverharding worden gebruikt, van beton of gebakken materialen (klinkers), op het moment van vervanging of renovatie.



5. Levensduur verlengend onderhoud (LVO) asfalt: Veel CO₂- uitstoot is te koppelen aan renovatie van de deklaag van asfaltwegen. Er zijn verschillende technieken waarmee de levensduur van een deklaag van bestaand asfalt kan worden verlengd.



6. Hergebruik geleiderails, portalen en damwanden: Stalen geleiderails, portalen en damwanden kunnen worden hergebruikt. Recente ervaringen laten zien dat dit op aanzienlijke schaal toe te passen is.



7. Verhoging van het recycling percentage in asfalt (PR): het percentage recycled asfalt terug in asfalt neemt al jaren gestaag toe, waarbij recent ontwikkelingen zijn om ook in toplagen recycling toe te passen.

In dit hoofdstuk beschrijven we de maatregelen en hun reductiepotentieel op hoofdlijnen. Details van de maatregelen beschrijven we uitgebreider in de methodologische bijlage (NIBE 2024).



4.2 Maatregel 1 | Ombouwen asfaltcentrales

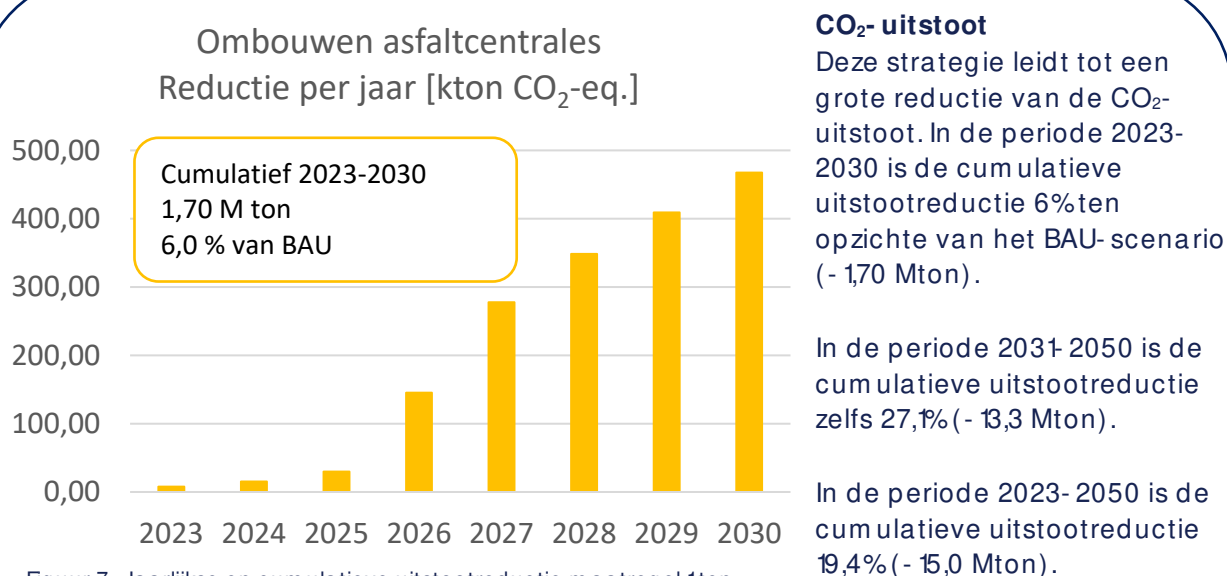
Nederland heeft circa twintig asfaltcentrales. Deze centrales gebruiken veel aardgas om asfalt te produceren. Het is mogelijk deze centrales emissiearm te maken door de PR (aandeel recycalaat) in asfalt te verhogen, de temperatuur waarop asfalt wordt gemaakt worden te verlagen van 160 graden naar 130-140 graden en later zelfs naar lagere temperaturen en tenslotte zou de centrale kunnen omschakelen naar duurzame energiedragers. Zowel voor hoge percentages PR als omschakelen naar duurzame energiedragers is het doorgaans nodig dat de centrale wordt omgebouwd of is zelfs complete nieuwbouw nodig. De praktijk is hiermee bezig en de eerste inzichten beginnen concreet te worden. Er is een scenario opgebouwd dat zowel hoge PR, lagere temperaturen als omschakelen naar duurzame energie combineert, onder de titel ombouwen asfaltcentrales.

Uitgangspunten van het scenario

Voor het dit scenario hebben we de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- vanaf 2023 wordt begonnen met het ombouwen van centrales om deze geschikt te maken voor half warm asfalt productie (110 graden). In 2028 is dit voltooid. Asfalt dat op lagere temperaturen wordt gemaakt heeft minder energie nodig voor de productie en heeft daardoor minder CO₂-uitstoot.
- vanaf 2026 wordt begonnen met het ombouwen van centrales om deze geschikt te maken voor gebruik van duurzame energiebronnen. Er is op basis van gesprekken met marktpartijen aangenomen dat het ombouwen van alle centrales 10 jaar kost (voltooid in 2035).

Er is een aparte maatregel (no. 7) opgenomen voor toename van PR tot 60%. Dat gebeurt doorgaans zonder verbouwen van de centrale en speelt zich af in de periode van nu tot 2028.



Figuur 7. Jaarlijkse en cumulatieve uitstootreductie maatregel 1 ten opzichte van het BAU- scenario 2023-2030.



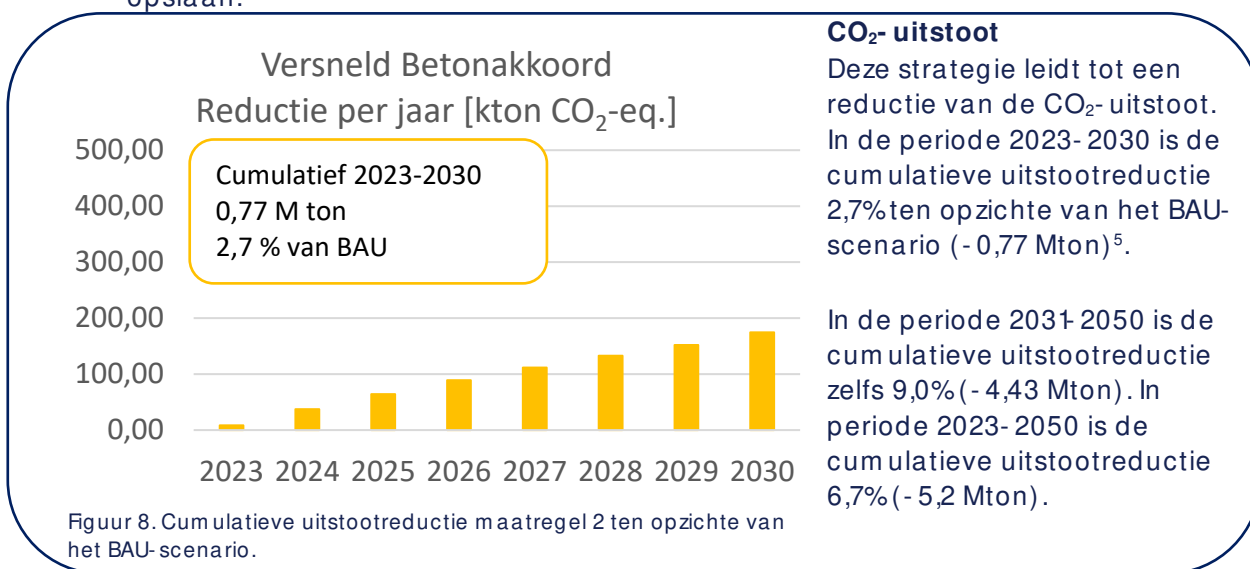
4.3 Maatregel 2 | Versneld betonakkoord

In het Betonakkoord uit 2018 hebben de overheid en het bedrijfsleven afspraken gemaakt om de cement- en betonketen te verduurzamen. Een van de maatregelen in het betonakkoord is de grootschalige invoering van Carbon Capture and Storage (CCS, ondergrondse CO₂-opslag) in 2040⁴. CCS kan eerder worden ingevoerd. De techniek is al beschikbaar. Recent heeft Heidelberg Materials in Noorwegen de eerste commerciële industriële installatie in gebruik genomen. Bovendien wordt de introductie van CCS versneld door regelgeving (CBAM en afbouw emissiehandel), waarmee het voor bedrijven minder aantrekkelijk wordt hun productie te verplaatsen naar buiten de EU.

Uitgangspunten

Voor het versneld betonakkoord hebben we de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Alle 28 maatregelen uit de roadmap van het Betonakkoord (Pieter van Gent 2021) worden doorgevoerd.
- De CCS-maatregelen uit de roadmap Betonakkoord worden versneld geïmplementeerd. In de roadmap is uitgegaan van een grootschalige invoer van CCS in 2040 waarbij deze in 2050 volledig geïmplementeerd zijn. In het versneld betonakkoord scenario wordt de invoer van CCS met 10 jaar vervroegd.
- Overige CO₂ bindingstechnologieën worden in omvang 5× groter (onze eigen inschatting van potentieel) dan eerder aangenomen in de roadmap van het Betonakkoord. Dit is een verzameling aan technologieën waar momenteel veel aandacht voor is en die allemaal CO₂ binden als mineraal (Carbonaat) en blijvend opslaan.



⁴ CCS wordt in het algemeen gezien als een transitietechnologie en geen blijvende oplossing voor de CO₂-emissies die gepaard gaan met cementproductie. Inzet van een transitietechnologie mag niet ten koste gaan van ontwikkeling en implementatie van technologieën die de uitstoot definitief wegnemen, maar kan wel een belangrijke rol spelen om de CO₂- uitstoot op korte termijn te reduceren.

⁵ De daadwerkelijke reductiecijfers zullen hoger zijn omdat we dit scenario in deze studie helaas niet hebben kunnen toepassen op kunstwerken.



4.4 Maatregel 3 | Schoon en Emissieloos materieel

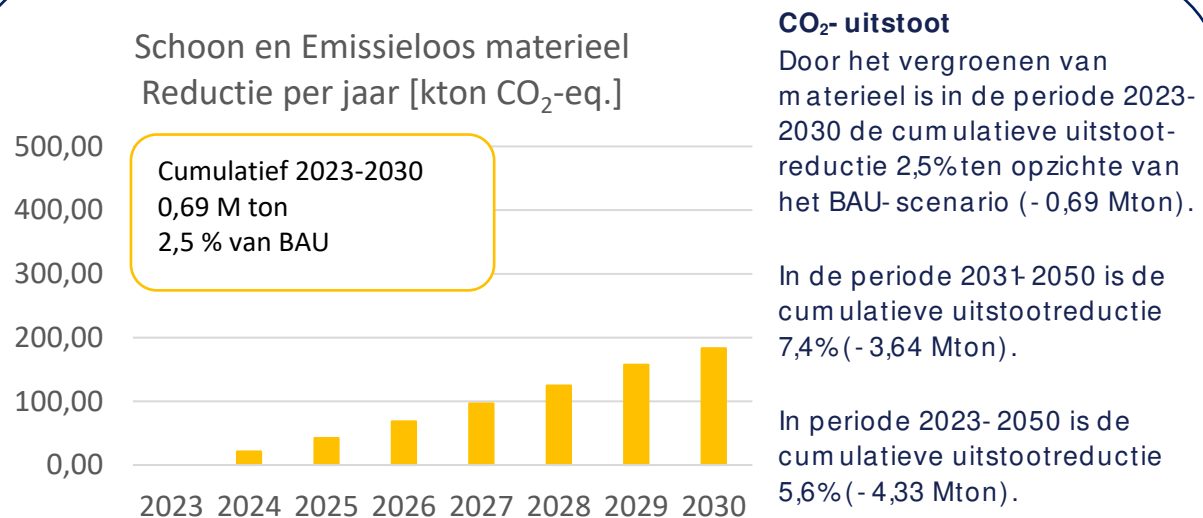
Materieel voor de aanleg van infrastructuur stoot aanzienlijke hoeveelheden CO₂ uit. Het BAU-scenario bevat al de aanname dat materieel elk jaar 2% groener wordt qua CO₂-uitstoot. Hier is een verdergaand gedetailleerd scenario uitgewerkt voor een versnelde transitie naar emissieloos bouw materieel. Details zijn te vinden in het methodologierapport (NIBE, 2024).

Uitgangspunten

Voor de vergroening van materieel hebben we de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Verschillend materieel gaat in verschillende jaren stapsgewijs andere vormen van brandstof gebruiken. In het scenario voor deze strategie maken we daarbij onderscheid tussen diesel, waterstof (grijs en groen) en elektriciteit (grijs en groen).
- De maatregelen uit het programma SEB leiden in 9 jaar (tot 2032) tot 90% CO₂-reductie van de inzet van bouw materieel. De in het KCI transitiepad WDSM berekende CO₂ uitstoot is overgenomen voor het jaar 2023 met jaarlijks 10% afname.
- Voor vergroening van aanleg van wegen is een gedetailleerd scenario opgebouwd voor verschillende machine sets.
- Van 2032 tot en met 2050 is aangenomen dat de emissies jaarlijks nog 2% blijven afnemen (jaar op jaar). Dit om te reflecteren dat in de achterliggende energieprofielen voortgaande verbeteringen te verwachten zijn, maar er naar verwachting nog lange tijd toegerekende emissies zullen zijn uit kapitaalgoederen.

Deze uitgangspunten zijn gebaseerd op het programma SEB en interviews met experts van onder meer Rijkswaterstaat.



CO₂- uitstoot

Door het vergroenen van materieel is in de periode 2023-2030 de cumulatieve uitstootreductie 2,5% ten opzichte van het BAU- scenario (- 0,69 Mton).

In de periode 2031-2050 is de cumulatieve uitstootreductie 7,4% (- 3,64 Mton).

In periode 2023- 2050 is de cumulatieve uitstootreductie 5,6% (- 4,33 Mton).

Figuur 9. Cumulatieve uitstootreductie maatregel 3 ten opzichte van het BAU-scenario.



4.5 Maatregel 4 | Meer elementverharding, minder asfalt

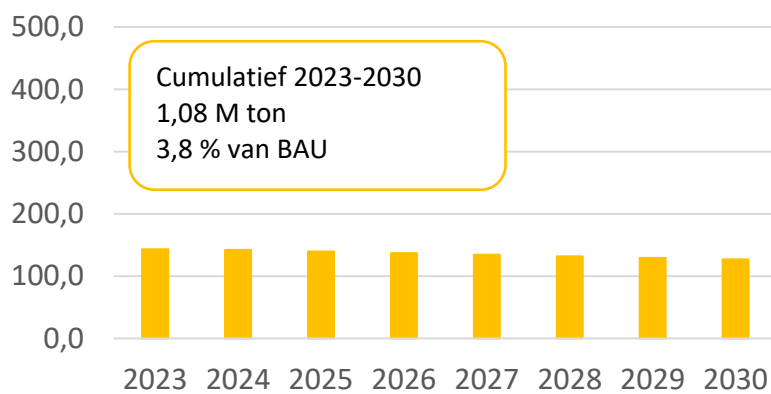
Het grootste deel van de wegen (80%) is in beheer van gemeenten en ligt in stedelijk gebied. Deze wegen zijn deels gemaakt van asfalt (zo'n 30%) en deels van elementverhardingen (beton, zo'n 60% en gebakken klinkers, zo'n 10%). Als het aandeel asfalt afneemt, door het op natuurlijke momenten te vervangen door elementverharding of bij nieuwbouw voor elementverharding te kiezen, leidt dat tot minder CO₂-uitstoot⁶.

Uitgangspunten

Voor deze strategie hebben we de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- In het BAU- scenario wordt 30% van de wegen binnen gemeenten uitgevoerd in asfalt. In het scenario 'meer elementverharding' wordt dit gehalveerd naar 15%. Het vrijgekomen deel wordt toegewezen aan elementverharding.
- De CO₂- uitstoot voor betonnen en gebakken elementverharding heeft voor deze studie geen significant verschil. Het maakt voor de conclusie niet uit welke van de 2 typen elementverharding wordt toegepast.

Meer elementverharding, minder asfalt [kton CO₂-eq.]



Figuur 10 Cumulatieve uitstootreductie maatregel 4 ten opzichte van het BAU- scenario.

CO₂- uitstoot

De cumulatieve CO₂- reductie van deze strategie ten opzichte van het BAU- scenario is voor alle periodes tussen de 3,8% en 4,5%. Er is een grotere reductie mogelijk als wordt gekozen voor specifieke duurzamere producten (bijv. betonklinkers uitgevoerd in geopolymer of gebakken klinkers waarbij gebruik wordt gemaakt van duurzame energie). Er zijn verschillende innovaties gaande op dit gebied, het zou van interesse zijn om hier verder onderzoek naar te doen.

⁶ Bij vervanging van asfalt door elementverharding spelen ook andere afwegingen dan milieu een rol, denk hierbij aan geluid en conform. Het is dus niet enkel een afweging op milieuprestatie.



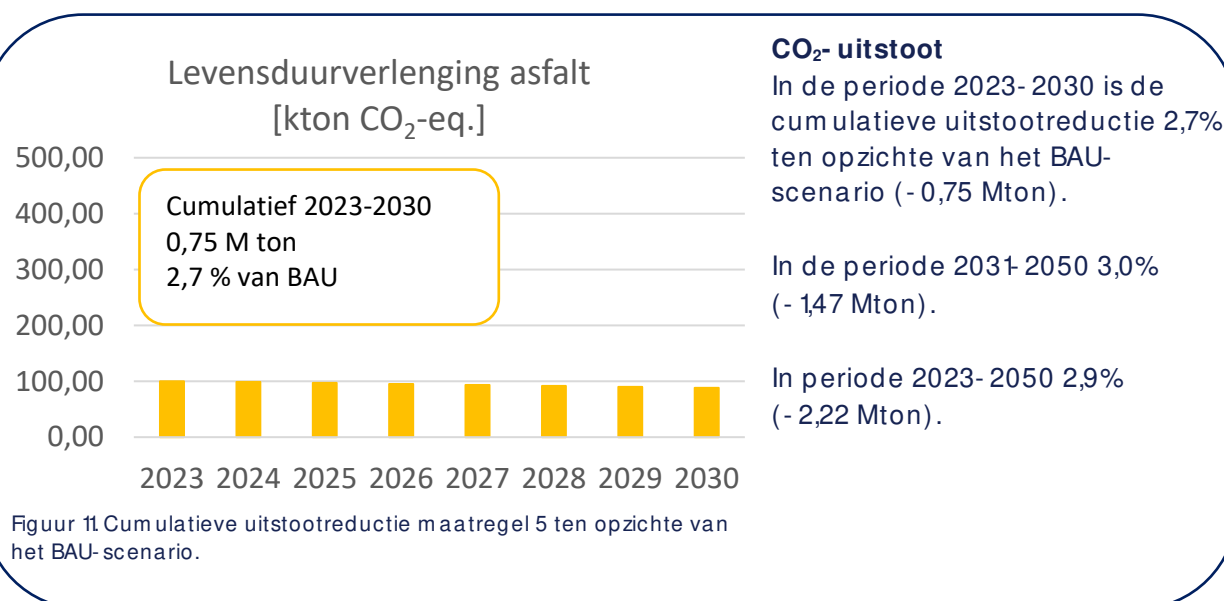
4.6 Maatregel 5 | Levensduurverlengend onderhoud (LVO) asfalt

Er zijn verschillende technieken in omloop waarmee al redelijk wat ervaring is opgedaan. Ook is in het kader van het programma Asphalt- Impuls is onderzoek naar deze technieken gedaan. Verjongingscrème is een voorbeeld van zo'n techniek die ook een maatregel uit het KCI transitiepad Wegverharding is. In dit onderzoek is een scenario voor LVO opgenomen. Dit beschrijft een combinatie van technieken.

Uitgangspunten

Voor de strategie LVO asfalt zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Voor de levensduurverlenging van asfalt deklagen van Rijkswegen is gebruik gemaakt van gegevens van Rijkswaterstaat. Hierin is verjongingscrème de dominante techniek en hiermee wordt een levensduurverlenging van 3 tot 4 jaar bereikt, afhankelijk van het type deklaag.
- Voor andere asfalt deklagen worden ook andere LVO technieken toegepast, waarbij is aangenomen dat hiermee 3 jaar levensduurverlenging kan worden bereikt.
- De CO₂ uitstoot van de LVO- middelen zelf en het aanbrengen zijn relatief klein en niet meegenomen in deze studie.





4.7 Maatregel 6 | Hergebruik geleiderails, portalen en damwanden

Veel objecten in de infrastructuursector kunnen worden hergebruikt. Dit kan direct hergebruik zijn of hergebruik na het refurbishen of aanpassen van het product. Beide vormen van hergebruik reduceren de CO₂-uitstoot, omdat er geen nieuw materiaal hoeft te worden geproduceerd.

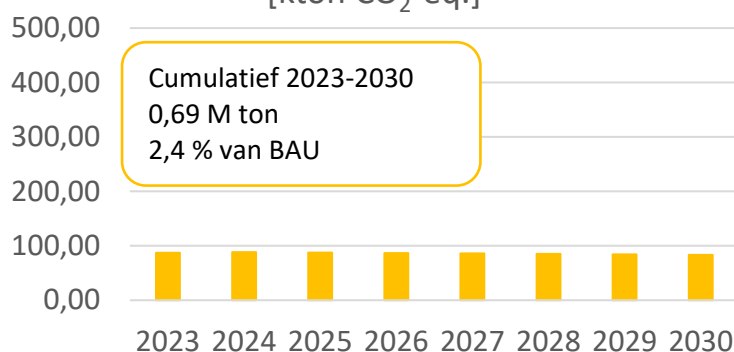
Voor deze maatregel hebben we gekeken naar hergebruik van drie stalen infrastructuurobjecten: geleiderails, portalen en damwanden. Voor alle drie geldt dat er al veel ervaring mee is opgedaan in de praktijk. Op basis van gegevens van Rijkswaterstaat en marktpartijen is een scenario opgebouwd. Sommige aangereikte gegevens zijn vertrouwelijk en zijn dus niet opgenomen in dit rapport of in het methodologierapport (NIBE, 2024).

Uitgangspunten

Voor deze maatregel hebben we de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Vanaf 2023 worden geleiderails voor 60% hergebruikt. Voor de CO₂ uitstoot van hergebruikte geleiderails zijn alle relevante processen meegerekend in een specifieke LCA studie. De details zijn vertrouwelijk behandeld.
- Hergebruik portalen levert een reductie in CO₂ uitstoot voor portalen op van 70% vanaf 2023. Dit reductie percentage is bepaald op basis van marktgegevens, die zijn toegepast op een specifieke LCA studie voor een bepaald type (veel gebruikt) portaal. De details zijn vertrouwelijk.
- Vanaf 2023 wordt 50% van alle damwanden hergebruikt.
- Voor de drie producten is geen ingroeienscenario gehanteerd, de aangegeven percentages hergebruik en CO₂ reductie gaan dus meteen vanaf 2023 volledig in.

Geleiderail, portalen en damwanden [kton CO₂-eq.]



Figuur 12. Cumulatieve uitstootreductie maatregel 6 ten opzichte van het BAU-scenario.

CO₂- uitstoot

Voor het hergebruik van stalen infrastructuuronderdelen is in de periode 2023-2030 de cumulatieve uitstootreductie 2,4% ten opzichte van het BAU-scenario (- 0,69 Mton).

In de periode 2031-2050 1,1% (- 0,54 Mton).

In periode 2023-2050 1,6% (- 1,2 Mton).



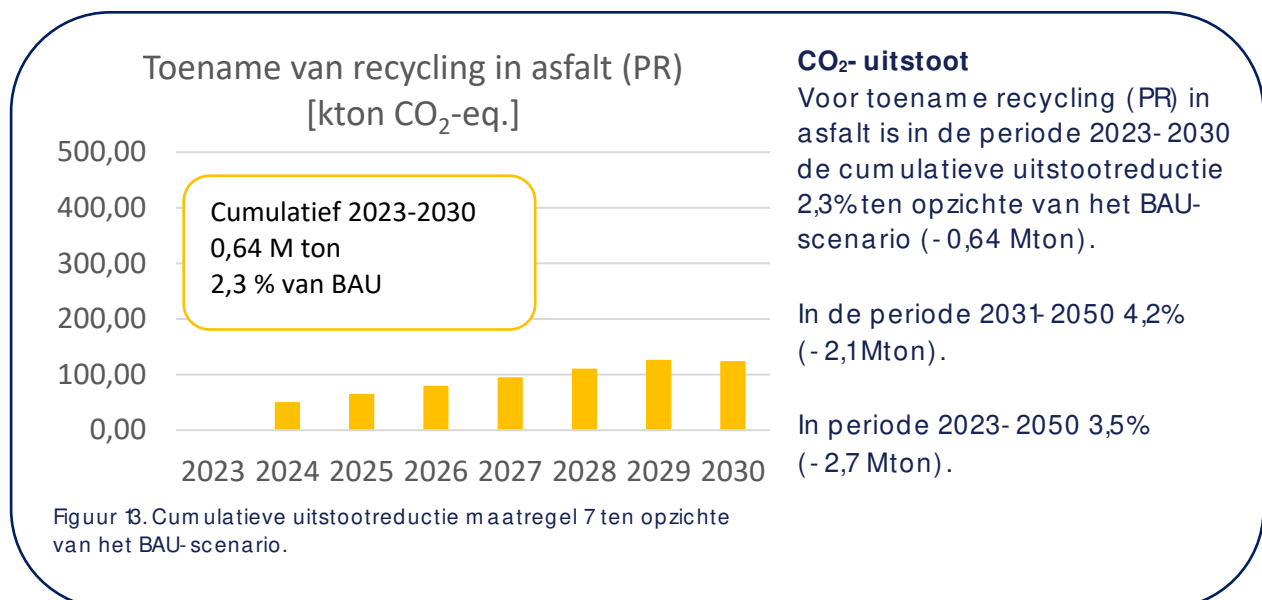
4.8 Maatregel 7 | Verhoging van het recycling percentage in asfalt (PR)

Recycling van asfaltgranulaat in asfalt wordt al op flinke schaal toegepast, maar doorgaans alleen in onderlagen en nog niet in deklagen. De markt is volop in ontwikkeling en daarbij is er toenemende aandacht om ook asfaltgranulaat in deklagen te recyclen.

Voor deze maatregel hebben we contact gehad met Rijkswaterstaat en verschillende marktpartijen om inschattingen op te halen van de toename van het percentage recycling (PR) in asfalt. Hieruit kwam een vrij consistent beeld naar voren, op basis waarvan we een transitie scenario hebben opgesteld.

Uitgangspunten:

- Het percentage PR in alle asfaltlagen neemt vanaf 2024 toe met 10% per jaar tot een maximum van 60% (lagen die dus nu al op 50% zitten nemen nog 1 stap en lagen die nu op 0% zitten nemen 6 stappen)
- In het jaar 2029 zitten alle asfaltmengsels op 60% PR. Hoger dan 60% gaan we in dit scenario niet (op basis van indicaties dat voor hogere percentages ombouw van de centrale nodig is en dat hebben we opgenomen in het scenario ombouwen centrales). 60% PR voor deklagen is aan de hoge kant, mogelijk dat dit niet voor alle mengsels zal slagen.
- 10% toename van PR levert 6 kg CO₂-eq. uitstootreductie per ton asfalt. We hebben geen aparte LCA studies opgezet, maar deze algemene inschatting (op basis van de mengsels in het branche rapport) toegepast als scenario over alle mengsels.



4.9 Overige maatregelen

In eerdere paragrafen werd ingegaan op de maatregelen die de grootste bijdrage aan de CO₂-reductie leveren. In deze laatste paragraaf wordt ingegaan op een aantal kleinere strategieën die ook zijn meegenomen in het rekenmodel. Ze zijn klein (geen van deze strategieën levert een reductie op over de periode 2023-2050 die hoger is dan 1%), maar tezamen hebben ze met een impact van 1,7% toch wel een wezenlijke impact op het totaal. In Tabel 2 is een overzicht van de reductie per strategie gegeven.

De volgende kleine strategieën zijn beschouwd in het rekenmodel waarbij de volgende uitgangspunten worden gehanteerd:

Transitie staalindustrie

- Overstap staalindustrie van hoogovenprocessen op kolen naar hoogovens met als brandstof (groene) waterstof.
- Start van de transitie in 2036, voltooiing van de transitie in 2039.

Aanpak overbeladen vrachtwagens op rijkswegen

- Aanneme voor dit scenario is dat er goed en actief gehandhaafd gaat worden op overbeladen van vrachtverkeer.
- Aanneme is dat dit tot een levensduurverlenging van de deklaag van rijkswegen van 2 jaar leidt.

Minimaliseren grondverzet

- 25% minder grondverzet nodig door beter plannen en ontwerpen. Hier is geen scenario voor beschikbaar (Wat, waar, wanneer, etc.), maar het betreft een gevoeligheidsanalyse. Op basis van gesprekken met medewerkers van Rijkswaterstaat en marktpartijen lijkt het mogelijk door beter plannen en ontwerpen 25% op het grondverzet te besparen.

Alternatieve materialen in kleine bruggen

- Alle kleine (voetgangers- en fiets-) bruggen die het einde van hun geplande levensduur hebben bereikt en vervangen worden, vervangen door bruggen gemaakt van materialen met aanzienlijk lagere milieuimpact (bruggen van biobased materialen en bruggen uitgevoerd in geopolymeren).

Langere levensduur kleine bruggen

- De levensduur van kleine bruggen, gemaakt van beton of staal, wordt in het model opgehoogd van 60 jaar naar 100 jaar. Dit is gedaan op basis van ervaringen uit de praktijk dat dit type bruggen, die veel liggen in landelijk gebied, doorgaans weinig schade laten zien en dus langer mee kunnen dan eerder werd aangenomen.

Tabel 2. Cumulatieve uitstootreductie van overige maatregelen ten opzichte van het BAU-scenario.

Strategie	Uitleg	2023-2030	2030-2050	2023-2050	Relevante partijen
Transitie staalindustrie	Productie op waterstof vanaf 2036	0,0%	1,1%	0,7%	ProRail, gemeenten, Rijkswaterstaat, provincies, waterschappen, staalproducenten
Aanpak overbeladen op rijkswegen	Handhaven op overbeladen om schade aan deklagen te verminderen	0,3%	0,4%	0,4%	Rijkswaterstaat, Rijksoverheid, politie
Minimaliseren grondverzet	25% minder grondverzet	0,8%	0,2%	0,4%	Gemeenten, Rijkswaterstaat, provincies, waterschappen, bouwbedrijven
Alternatieve materialen in kleine bruggen	Bruggen van geopolymeren of biobased materiaal	0,4%	0,2%	0,2%	Gemeenten, provincies, waterschappen
Langere levensduur kleine bruggen	Bruggen voor voetgangers en fietsers over sloten en kleine watergangen	0,2%	0,2%	0,2%	Gemeenten, provincies, waterschappen

4.10 Uitbreiding woningvoorraad en de geassocieerde CO₂ impact van de extra infrastructuurbehoefte

Voor de periode tot en met 2030 staat Nederland een grote nieuwbouwoopgave van woningen te wachten. De bouw van deze woningen zal een aanzienlijke CO₂-last met zich meebrengen. Wat vaak wordt vergeten is dat de bouw van nieuwe woningen niet alleen een CO₂-last oproept voor de bouw van de woningen zelf, maar ook een vraag naar extra infrastructuur en daarmee gepaard gaande CO₂-impact oproept. In welke orde grootte deze CO₂-impact voor de extra infra ligt was tot op heden onbekend, maar is in deze studie indicatief onderzocht. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen binnen- en buitenstedelijke uitbreiding van de woningvoorraad.

Om de CO₂-impact van de extra infrastructuurvraag te kunnen berekenen is de infrastructuurvraag per woning berekend. Deze is bepaald door het bestaande areaal infrastructuur per categorie te delen door het bestaande aantal woningen. Hieruit komt dan een infrastructuurvraag per woning die van toepassing is op de huidige gemiddelde situatie. Van deze vraag nemen we aan dat dit representatief zal zijn voor de situatie waarbij buitenstedelijk wordt uitgebreid. Een uitgebreidere beschrijving van deze omrekening en een overzicht van de areaalvraag per categorie is gegeven in het methodologie rapport (NIBE, 2024). Vervolgens kan de infrastructuur per categorie per woning worden vermenigvuldigd met de CO₂-impact voor deze categorie. Een beknopt overzicht van de CO₂-impact per woning verdeeld onder verschillende categorieën infrastructuur is gegeven in Tabel 3. Uit deze tabel blijkt dat de toevoeging van één woning in buitenstedelijk gebied leidt tot circa 6,2 ton CO₂-uitstoot voor de aanleg van extra infrastructuur.

Tabel 3. Extra infrastructuurbehoefte en geassocieerde CO₂ impact per woning.

Onderdeel	Hoeveelheid	Eenheid
Telecomkabels	253	kg CO ₂ -eq/ woning
Elektrakabels	213	kg CO ₂ -eq/ woning
Riolering	97	kg CO ₂ -eq/ woning
Waterleiding	246	kg CO ₂ -eq/ woning
Autowegen	3882	kg CO ₂ -eq/ woning
Fietspaden	884	kg CO ₂ -eq/ woning
Voetpaden	654	kg CO ₂ -eq/ woning
Totaal	6229	kg CO₂-eq/ woning

Om de CO₂-impact van de extra infrastructuur per woning te vertalen naar de totale impacts van de extra benodigde infrastructuur voor de gehele nieuwbouwoopgave voor de periode 2023-2030 is een aanvullende berekening gemaakt. Hierbij zijn de nieuwbouwprojecties uit het rapport 'Woningbouw binnen planetaire grenzen (2023)' (Copper8 et al. 2023) gehanteerd en vermenigvuldigd met de CO₂-impact voor extra infrastructuur per woning uit Tabel 6. Hieruit is dan de impact af te leiden van de CO₂-impact bij uitbreiding buiten stedelijk gebied.

Voor uitbreiding in binnenstedelijk gebied is uitgegaan dat de impacts dan 1/7 deel van de uitbreiding in het buitengebied bedragen⁷. Een overzicht van de totale CO₂-impact per jaar voor de extra benodigde infrastructuur die de gehele nieuwbouwoopgave oproept voor de periode 2023- 2030 is gegeven in Tabel 7.

Tabel 4. Extra infrastructuurbehoefte en geassocieerde CO₂ impacts voor de nieuwoopgave (periode 2023-2030).

	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Unit
Aantal woningen	85196	89649	93682	98020	97553	97225	93574	87676	Woning
CO ₂ -impact buitenstedelijk	531	547	560	573	559	546	515	473	Kt CO ₂
CO ₂ -impact binnenstedelijk	76	78	80	82	80	78	74	68	Kt CO ₂

Uit Tabel 4 blijkt dat de extra benodigde infrastructuur voor de nieuwbouwoopgave in Nederland een substantiële CO₂-impact oproept indien deze geheel buitenstedelijk wordt uitgevoerd. Deze is met 531Kton CO₂ in 2023 gelijk aan 16% van de totale infrastructuur uitstoot. Hiermee is het één van de grootste impactcategorieën binnen de GWW. Om tot verdere CO₂reductie te komen is het dus van belang om de extra infrastructuurbehoefte mee te laten wegen bij het aanwijzen van locaties van nieuwbouwwoningen.

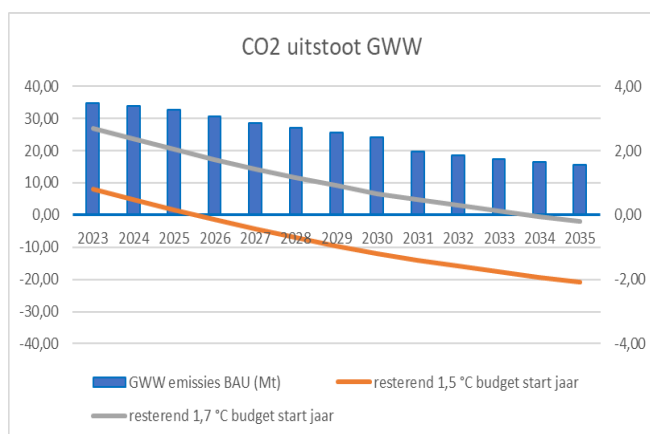
Deze extra infrastructuur voor de nieuwbouwoopgave zit niet in ons model, het is dus geen onderdeel van het BAU scenario en is ook niet meegeteld bij het berekenen van de effecten van de maatregelen. Het is een mogelijke extra infrastructuurbehoefte, waarvan de grootte dus duidelijk afhangt van de manier waarop de nieuwbouwoopgave zal gaan plaats vinden.

⁷ Deze factor van 1/7 is afkomstig uit een Vlaams onderzoek naar de maatschappelijke kosten voor infrastructuur naar type bebouwing ([VS_week 42_SLIMME VERDICHTING EINDRAPPORT_300623.pdf](#) (kenniscentrumvlaamsesteden.be))

5 Impact van het verandescenario

5.1 Totale impact in relatie tot CO₂- budget

Met alle maatregelen samen kan **45,8% van de cumulatieve uitstoot** van 2023-2050 worden voorkomen (24,1% in de periode 2023-2030 en 58,4% in de periode 2030-2050).



Figuur 14. CO₂- uitstoot (Mton) van het verandescenario in relatie tot het CO₂- budget voor 1,5 en 1,7 graden.

Dat is dus een enorme reductie ten opzichte van het Business-as-Usual (BAU) scenario. Echter, als het verandescenario uitzetten tegen het beschikbare CO₂ budget voor de GWW voor het 1,5 en 1,7 graden scenario (Figuur 13), dan zien we dat zelfs met dit ambitieuze verandescenario het 1,7 graden budget in 2034 nog overschreden wordt.

Alle maatregelen samen, zoals we die nu inschatten, zijn dus nog niet toereikend om ons binnen het 1,7 graden scenario te houden.

Periode 2030- 2050

Een nadere analyse van de maatregelen laat zien dat er voor vrijwel elke GWW deelsector maatregelen bekend zijn die op termijn tot een klimaatneutrale infrastructuur zullen leiden. Dit betekent dat het niet zozeer een vraag is **WAT** er moet gebeuren, maar vooral hoe **SNEL** de invoering kan plaatsvinden.

Het lijkt haalbaar de gehele GWW sector binnen het budget van het 1,7 °C scenario budget te houden, maar hiervoor is vooral het zoveel mogelijk beperken van CO₂- emissies **op de heel korte termijn** nodig, en daarmee een nog snellere invoering van de beschreven maatregelen. En waar mogelijk het uitstellen van CO₂- intensieve bouwwerkzaamheden naar later, wanneer er naar verwachting innovaties beschikbaar komen waarmee die met minder CO₂- uitstoot gepaard zullen gaan.

In deze studie hebben we uiteindelijk geen scenario opgesteld dat ons binnen 1,7 graden budget zal houden, zoals in de eerdere totaalstudie voor woning- en utiliteitsbouw (NIBE 2021) wel is gedaan. Uit het verandescenario is wel op te maken dat we cumulatief uiteindelijk tot 2050 19 Mton teveel uitstoot hebben⁸. Dat is ongeveer gelijk aan vijfmaal de huidige (2024) jaarlijkse uitstoot. Als we de top 4 impactvolle maatregelen 5 jaar weten te versnellen, dan zouden we al dicht in de buurt komen van of binnen het 1,7 graden scenario.

⁸ Hierbij moet opgemerkt worden dat uitstoot, die met kapitaalgoederen verband houdt, in de huidige LCA modellen wordt berekend met technologie van vandaag. Om een juiste voorspelling te doen voor de lange termijn zouden we in de LCA modellen de bijdrage van kapitaalgoederen ook tijdsafhankelijk moeten maken. Dit vraagt een aanzienlijke inspanning qua modellering en is in huidige studie niet uitgevoerd.

5.2 Impact van de strategieën

Als we naar de impact van de drie strategieën kijken voor de eerste periode (2023-2030), zien we dat vooral verduurzaming van de bouw en bouwmaterialenindustrie een belangrijke rol speelt met 12,0 % reductie potentieel ten opzichte van BAU (zie tabel 4). De bijdrage industrieverbetering komt uit de maatregelen “ombouwen asfaltcentrales” en “versneld betonakkoord”. Deze maatregelen betreffen de transitie van deze 2 belangrijke industrieën naar duurzame energiedragers en van tevens van primaire grondstoffen naar meer secundaire grondstoffen. Volle inzet op transitie van deze 2 industrieën lijkt van groot belang. Een versnelling op deze 2 maatregelen heeft grote impact en bevat voor een belangrijk deel de sleutel om de transitie van de infrasector binnen een CO₂-budget van het 1,7 graden scenario te brengen.

Tabel 5. Cumulatieve uitstoot reductie verandescenario ten opzichte van BAU

CO ₂ -uitstoot 2023 t/m 2030			
strategie	maatregel	GWW Mton	%
<i>Business-as-usual (referentie)</i>		28,2	
Bouwtechnische	Biobased bouwen	0,10	0,36%
	Hergebruik & recycling	1,40	4,96%
	Alternatieve materialen	1,08	3,85%
Voorraad	Levensduurverlenging	0,90	3,19%
Bouw- en bouwmaterialenindustrie	Industrieverbetering	2,47	8,76%
	Duurzaam materieel	0,92	3,28%
<i>Resterende impact (totaal)</i>		21,32	
Impactreductie (totaal)		6,88	

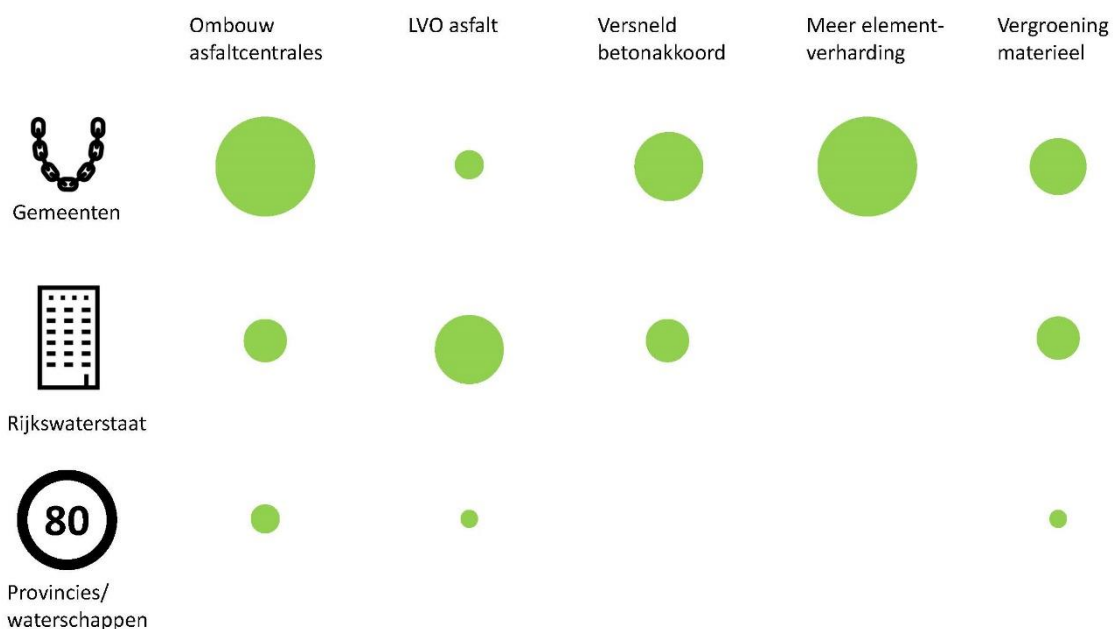
Een andere mogelijke versnelling lijkt te vinden in de omschakeling naar duurzame energiedragers voor bouw materieel en verdere inzet op recycling en hergebruik van producten en materialen. Samen zijn deze maatregelen goed voor 8,2% reductie over de periode 2023-2030. Zowel de toename van recycling in asfalt (PR) als de omschakeling naar duurzaam bouw materieel kennen een geleidelijke invoering over vrijwel de hele periode van nu tot 2030. De cumulatieve reductie zou ongeveer 2x groter kunnen zijn als de invoering in de helft van de tijd zou kunnen worden uitgevoerd. Vooral de toename van recycling in asfalt lijkt een maatregel die voor versnelling in aanmerking komt.

5.3 Belangrijkste partijen

Zoals paragraaf 5.2 laat zien zijn er 3 belangrijke transitieën: in de industrie, in de uitvoering en in materialen. Daarmee wordt deels ook meteen duidelijk welke partijen voor het realiseren hiervan aan de lat staan.

- Industriële partijen – en mogelijk de overheid voor flankerend beleid
- Uitvoerende partijen – en mogelijk de overheid voor flankerend beleid
- Publieke (en private) opdrachtgevers: Rijkswaterstaat, provincies, waterschappen en gemeenten, die via aanbestedingen op de inzet van deze maatregelen kunnen sturen.

Belangrijk hierbij is te beseffen dat het grootste deel van het areaal en massa binnen de GWW door gemeenten wordt beheerd, en zij dus een belangrijke speler zijn in de implementatie van circulaire strategieën om CO₂ te reduceren. In figuur 15 is de relatieve impact van de maatregelen per opdrachtgever visueel gemaakt.



Figuur 15. Schematisch overzicht van de partijen waar de grootste impact ligt voor de belangrijkste maatregelen..

Alle publieke opdrachtgevers en infrabeheerders kunnen (en moeten) een bijdrage leveren. De impact is als volgt verdeeld (veranderscenario 2023):

VII.	Gemeenten	49%
VIII.	Rijkswaterstaat	22%
IX.	ProRail	10%
X.	Netwerkbeheerders	9%
XI.	Luchthavens	2%
XII.	Overig	8%

Het percentage komt overeen met het aandeel in de totale CO₂- uitstoot in het verander scenario in het jaar 2023.

6 Conclusies en aanbevelingen

Dit hoofdstuk vat puntsgewijs de conclusies uit dit onderzoek samen en geeft een aantal aanbevelingen voor implementatie van de maatregelen, verder onderzoek en doorontwikkeling van het rekenmodel.

Conclusies:

1. **2 graden scenario haalbaar met inzet van alle circulaire strategieën:**
Als **ALLE** maatregelen uit dit onderzoek worden toegepast (veranderscenario) dan gaat de GWW door haar 1,5 graden budget heen in 2026 en haar 1,7 graden budget in 2034. We blijven daarmee wel binnen het 2 graden scenario, en voldoen daarmee aan het minimale doel van Klimaatakkoord van Parijs.
2. **Versnelde invoer van circulaire strategieën brengt 1,7 graden scenario binnen bereik:**
We lijken voor alle onderdelen een transitie scenario en technologie in beeld te hebben. Daarmee is de transitie niet een vraag van **wat** we moeten doen, maar vooral van **hoe snel**. Als we een aantal impactvolle maatregelen 5 jaar weten te versnellen, dan zouden we al dicht in de buurt komen van of binnen het 1,7 graden scenario.
3. **De meest impactvolle maatregelen zijn van hoog naar laag:**
 - I. Ombouwen asfaltcentrales
 - II. Meer elementverharding binnenstedelijk (op moment van vervanging)
 - III. Versnelling betonakkoord
 - IV. LVO maatregelen asfaltverhardingen
 - V. Verduurzaming bouw materieel
 - VI. Meer recycling (PR) in asfalt
 - VII. Meer hergebruik wegmeubilair en damwanden
4. **Alle publieke opdrachtgevers en infrabeheerders kunnen (en moeten) een bijdrage leveren. De impact is als volgt verdeeld (veranderscenario 2023):**

I. Gemeenten	49%
II. Rijkswaterstaat	22%
III. ProRail	10%
IV. Netwerkbeheerders	9%
V. Luchthavens	2%
VI. Overig	8%

Aanbevelingen:

met betrekking tot de implementatie van impactvolle circulaire strategieën:

1. **Ondersteun gemeenten om snelheid te behalen:** De gemeenten hebben het grootste deel van de CO₂-uitstoot in hun deel van het areaal. Dit is ook de meest diverse groep beheerders\ opdrachtgevers. Het is aan te bevelen de gemeenten te ondersteunen bij de invoering van maatregelen, zodat er meer snelheid bereikt kan worden.
2. Zorg ervoor dat de **industrie versneld inzet op transitie naar duurzame energiedragers** en maatregelen op het gebied van CO₂:

- a. De transitie van de asfaltindustrie is de strategie met de grootste impact. Er zijn geluiden dat het mogelijk zou zijn deze transitie verder te versnellen. Als dit mogelijk is zou dit van grote invloed kunnen zijn op het binnen bereik brengen van het 1,7 graden budget. Het verdient daarmee aanbeveling te onderzoeken of een versnelling te realiseren is.
 - b. De transitie van het betonakkoord is van aanzienlijk belang. De impact bij deze maatregel komt met name uit de transitie van de cementindustrie. Het gaat hier om een beperkt aantal productiebedrijven. Als hier versnelling mogelijk zou zijn is dat van grote invloed op het binnen bereik brengen van het 1,7 graden budget.
3. **CO₂ impact infra wordt sterk bepaald door omvang en locatiekeuze woningbouwopgave:**
De locatie van nieuwe woningbouw heeft een grote impact op de daarbij behorende behoefte aan nieuwe infrastructuur. De impact van die extra infra kan, afhankelijk van de locatiekeuze, tot 16% van het totale infra budget oplopen.

Aanbevelingen mbt inzet en doorontwikkeling van het rekenmodel:

3. **Model aanpassen aan toekomstige innovaties waarbij impact energietransitie op kapitaalgoederen wordt meegenomen:**
Het rekenmodel is nu nog niet geschikt om te bepalen of we helemaal naar nul uitstoot gaan in 2050 (zie voetnoot op pag 36). Vanuit de technologie is de verwachting dat dit wel gerealiseerd kan worden. Om te beoordelen of we dan ook daadwerkelijk naar nul uitstoot te gaan en wanneer dit dan zou kunnen, is aanvullend onderzoek nodig.
4. **Circulaire strategieën voor de productgroep kabels en leidingen in het model uitwerken:**
De impact van kabels en leidingen is groter dan eerder ingeschat. Voor deze productgroep zijn nu in het rekenmodel nog geen specifieke uitgewerkte maatregelen opgenomen. Die zouden nog toegevoegd kunnen worden. Er zijn zeker maatregelen beschikbaar (denk aan de industrie transitie op het gebied van koper en aluminium) en ook in deze sector zal een bijdrage te verwachten zijn van vergroening van het bouw materieel.
5. **Verschil impact binnen- en buitenstedelijk bouwen kwantitatief in kaart brengen:**
Het verschil in benodigde infra tussen bouwen in het buitengebied en binnenstedelijk bouwen is aanzienlijk, maar slechts indicatief bekend. Het lijkt dus relevant dit verder te onderzoeken.
6. **Beheer de dataset infrastructuur centraal.** Er wordt door verschillende partijen onderzoek uitgevoerd aan CO₂- budgetten, hetgeen een positieve ontwikkeling van de afgelopen 2 jaar is. Voor harmonisatie en vergelijkbaarheid van studies zou het zeer wenselijk zijn als de basis dataset met areaalgegevens centraal beheerd kan worden en voor alle studies beschikbaar kan zijn.

Verwijzingen

ABF. *Primos 2022: Prognose van bevolking, huishoudens en woningbehoefte.* Delft: ABF, 2022.

Alba Concepts. *Utiliteitsbouw binnen planetaire grenzen.* Alba Concepts, 2023.

Betonakkoord. *Roadmap CO₂.* 2021.

CE Delft. *Nulmeting en zwaartepuntanalyse kunstwerken RWS.* Delft: CE Delft, 2021. [Online] <https://ce.nl/publicaties/nulmeting-en-zwaartepuntanalyse-kunstwerken-rws/>.

CE Delft. *Zwaartepuntanalyse MKI en klimaatimpact Transitiepad Kunstwerken RWS 2021-2030.* CE Delft, juli 2021.

CE Delft. *Mogelijkheden CO₂-reductie rijksinfraprojecten tot en met 2030.* Delft: CE Delft, 2022.

Copper8, Metabolic, NIBE en Alba Concepts. *Woningbouw binnen planetaire grenzen. Materiaalvraag, CO₂-uitstoot & milieu-impact van de Nederlandse woningbouw,* 2023.

Copper8, Metabolic, NIBE en Alba Concepts. *Bouw binnen planetaire grenzen,* 2024.

Dutch Green Building Council. *Sectorale Routekaarten.* Den Haag: DCBG, 2023. [Online] <https://www.dgbc.nl/themas/paris-proof>.

Economisch Instituut voor de Bouw en Metabolic. *Materiaalstromen in de bouw en infra. Materiaalstromen, milieu-impact en CO₂-emissies in 2019, 2030 en 2050.* Amsterdam: EB, 2022.

IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis.* sl: IPCC, 2021.

IPCC. *Climate Change 2022: Mitigation of climate change, summary for policy makers.* 2022.

Kraan, J. *Architect groenstaalplan 'steeds pessimistischer' over toekomst Tata Steel.* Hoofddorp: Nu.nl, 2023. [Online] <https://www.nu.nl/tatasteel/6291683/architect-groenstaalplan-steeds-pessimistischer-over-toekomst-tata-steel.html>

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. *Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport.* Den Haag: I&W, 2023.

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en NewForesight. *Roadmap Transitiepad Weg-, Dijk- en Spoormaterieel (WDSM).* Den Haag: I&W, 2022.

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, ProRail en NewForesight. *Roadmap Transitiepad Kunstwerken*. Den Haag: I&W, 2023.

NIBE. *Achtergrondrapport Paris Proof*. sl : NIBE, 2021.

NIBE. *Circulaire Innovaties GWW*. In opdracht van Rijkswaterstaat. sl: NIBE, september 2018.

Netbeheer Nederland. *Hoofdstuk 1: Kerngegevens energienetten*. Den Haag: Netbeheer Nederland 2023. [Online] <https://energiecijfers.info/> : <https://energiecijfers.info/hoofdstuk-1/#:~:text=Het%20totale%20energienet%20in%20Nederland,en%20de%20leidingen%20ligt%20ondergronds>.

Planbureau voor de Leefomgeving. *Doelstelling circulaire economie 2030*. Den Haag : PBL, 2019.

ProRail, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en NewForesight. *Roadmap Transitiepad Spoor*. Den Haag: I&W, 2023.

Rijkswaterstaat en NewForesight. *Roadmap Transitiepad Wegverharding*. Den Haag: I&W, 2022.

Rijkswaterstaat. *Roadmap Transitiepad Kustlijnzorg en Vaargeulonderhoud*. Den Haag: I&W, 2023.

Stichting Nationale Milieudatabase. *Bepalingsmethode milieuprestatie bouwwerken 1.1* [Online] www.milieudatabase.nl.

Stockholm Resilience Centre. <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>

TNO. *Inschatting meerkosten programma Schoon en Emissieloos Bouwen voor mobiele werktuigen, bouwtransport en kustlijnzorg en vaargeulonderhoud inclusief periode na 2030*. Den Haag: TNO 2023.

Vereniging van waterbedrijven in Nederland. *Kerngegevens drinkwater 2022*. Den Haag: Vewin, 2023. [Online] <https://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Cijfers/Vewin-Kerngegevens-drinkwater-2022.pdf>.

World Green Business Council. *Bringing Embodied Carbon Upfront*, (2019). [Bringing Embodied Carbon Upfront - World Green Building Council \(worldgbc.org\)](https://www.worldgbc.org/bringing-embodied-carbon-upfront)

A. Bijlage A. Verhouding tot de KCI- transitiepaden

Uitgangspunt van deze studie was om zoveel mogelijk aan te sluiten bij en voort te bouwen op bestaande onderzoeken en databronnen. Dit leidt ertoe dat de uitkomsten zo goed mogelijk te relateren zijn aan die andere onderzoeken en gemaakte keuzes. In een aantal gevallen zijn de uitkomsten van dit rapport, hoewel op dezelfde brondata gebaseerd, niet direct te vergelijken met de studies naar de KCI- transitiepaden, waaronder studies van CEDelft (2021) en TNO (2023). Dat heeft twee redenen:








- Ten eerste is de scope van de KCI- transitiepaden breder: die omvat ook onder meer onderhoud, hergebruik en recycling (modules B, C en D van de LCA studies). In deze studie gebruiken we modules A1tm A5, omdat we focussen op de CO₂(reductie) op korte termijn.
- Ten tweede hanteren we in dit rapport een andere indeling van infrastructuurwerken, namelijk die aansluit bij de EB/ Metabolic studie (EB en Metabolic 2022) naar materiaalstromen. Deze laatste studie is gebruikt als basis voor de nieuwbouw volumes en de materialisaties van onderdelen.

In dit rapport delen we infrastructuurwerken in op type infrastructuur. Typen infrastructuur zijn bijvoorbeeld wegen, spoorwegen, en luchtvaart. Deze indeling hebben we grotendeels overgenomen uit het rapport *Materiaalstromen in de bouw en infra* (EB en Metabolic 2022) omdat dat veel volumes van infrastructuur bevat, en daarmee een belangrijke databron vormt.

Tabel 5 geeft aan hoe de indeling op type infrastructuur zich op hoofdlijnen verhoudt tot de scope van de KCI- transitiepaden. Het transitiepad Kustlijnzorg en vaargeulonderhoud (materiaal en materieel voor baggerwerkzaamheden) hebben hierin niet opgenomen omdat hier geen verschil is.

Als we naar onze rekenresultaten kijken dan zien we dat het grootste deel van de CO₂- uitstoot in de infrasector buiten een KCI- transitiepad valt. De totale uitstoot in ons BAU- scenario bedraagt in 2023 4,0 Mton en de totale uitstoot in de 5 KCI transitiepaden bedraagt 1,0 Mton in 2021 (CEDelft 2021). De huidige transitiepaden (status onderzoeken 2021) bevatten dus ongeveer 25% van de totale CO₂- uitstoot van de Nederlandse infrastructuur.

Tabel 6: Typen infrastructuur uit deze studie (rijen) in verhouding tot KCI-transitiepaden (kolommen)

	Wegverharding	Spoor	Kunstwerken	WDSM	Buiten KCI-transitiepad
Wegen 	Materiaal A- en N-wegen			Materieel aanleg Rijkswegen	Wegmeubilair Provinciale wegen, waterschapswegen, gemeentewegen, fietspaden en voetpaden
Kunstwerken 			Bruggen, viaducten, aquaducten, tunnels, sluizen, stuwen, gemalen, damwanden		Bruggen van gemeenten, provincies en waterschappen
Luchthavens 					Start- en landingsbanen civiele luchthavens
Spoorwegen 		Spoorwegen, tram en metro	Kunstwerken spoorwegen		
Weg-, Dijk- en Spoor-materieel 				Overig materieel	
Waterkeringen 				Materieel aanleg waterkeringen	
Kabels en leidingen 					Kabels en leidingen voor telecommunicatie, elektriciteit, aardgas, water, transport van CO ₂ en gevaarlijke stoffen en het riool