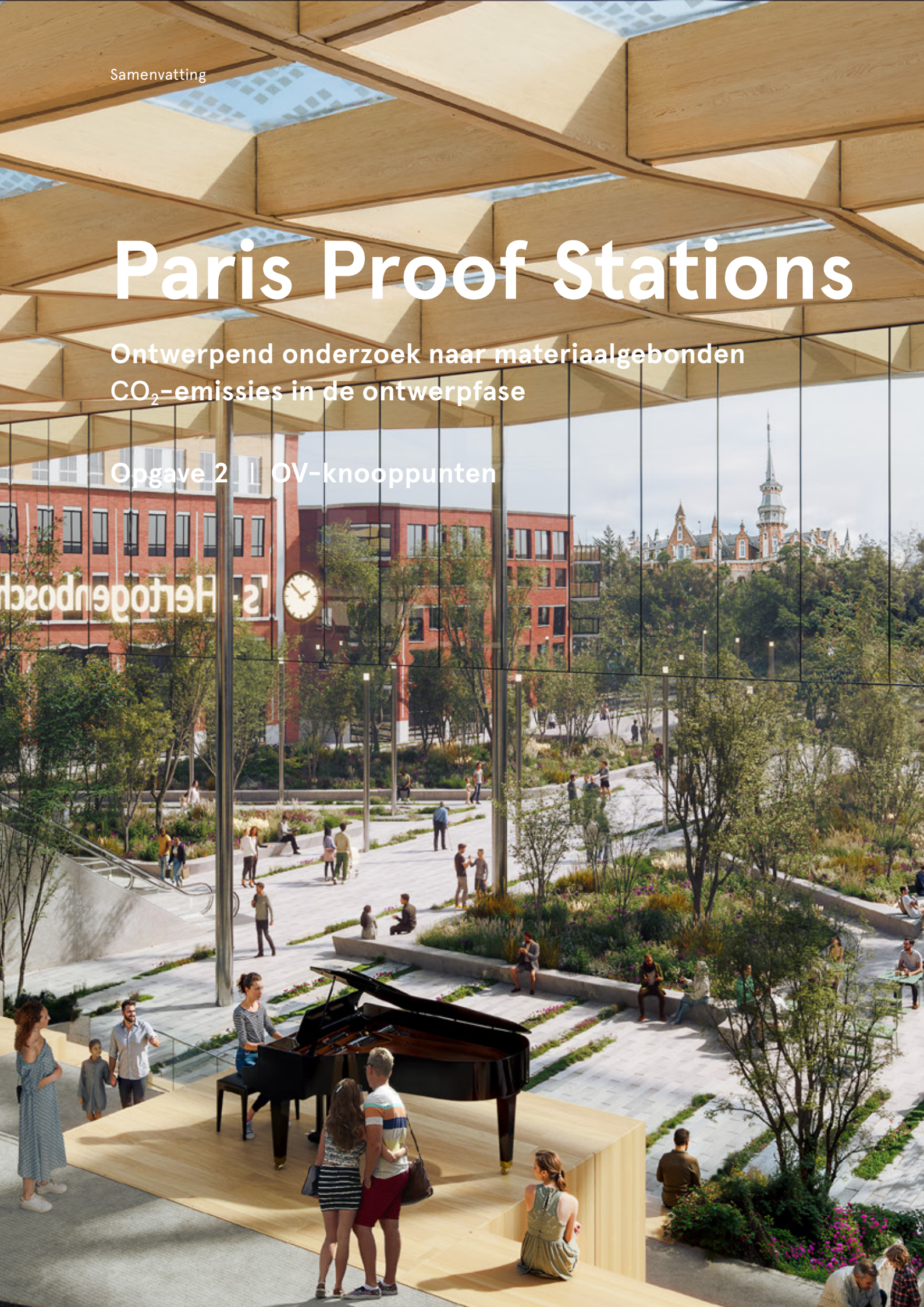


Paris Proof Stations

Ontwerpend onderzoek naar materiaalgebonden
CO₂-emissies in de ontwerpfase

Opgave 2 | OV-knooppunten



3 Inleiding

12 Casestudies

36 Reductiestrategie

44 Conclusie en aanbevelingen

60 Basiskennis

68 Colofon

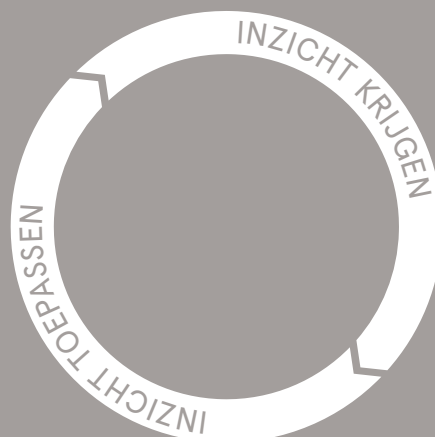
De Klimaatwet stelt duidelijke en bindende doelen voor de beperking van CO₂-uitstoot: 55% minder CO₂-uitstoot in 2030 ten opzichte van 1990 en 95% minder CO₂-uitstoot in 2050. Daarnaast is het de ambitie van het ministerie van IenW om al in 2030 klimaatneutrale infrastructuur te ontwerpen en realiseren. De spoorsector heeft de doelstellingen vertaald in eigen ambities en werkt samen met de overheid aan het realiseren hiervan.

Om die reden stelt Bureau Spoorbouwmeester zich – samen met ProRail en NS – met dit onderzoek tot doel inzicht te krijgen in de CO₂-footprint en benodigde CO₂-budgetten voor stations. Een benadering die het mogelijk moet maken om de uitstoot van de stations op termijn binnen de grenzen van het Klimaatakkoord van Parijs te houden: Paris Proof Stations – Ontwerpend onderzoek naar materiaalgebonden CO₂-emissies in de ontwerpfase.

Het voorliggende rapport, Samenvatting Opgave 2, is een tweede stap in het ontwikkelen van deze CO₂-budget gerichte benadering en richt zich op inzicht in de CO₂-footprint van OV-knooppunten in de vroege (MIRT) ontwerpfase en in mogelijkheden om deze te reduceren.

Schema

Inzicht krijgen,
Inzicht toepassen
Grondhouding in
het ontwerpend
onderzoek naar Paris
Proof stations: vanuit
verkregen inzicht
worden nieuwe
ontwerpoplossingen
toegepast.



Onderzoek

Urgentie

Het behalen van de doelstellingen uit het Klimaatakkoord –en in het verlengde daarvan de ambitie van ProRail om scope 3-emissies te reduceren- vraagt om een vermindering van 55% van de CO₂-uitstoot in 2030.

De spoorsector heeft deze klimaatdoelen vertaald naar eigen ambities. De lange ontwikkeltijd –soms wel 10 jaar- van stationsopgaven zorgt ervoor dat we morgen al concrete acties moeten nemen: in de planvorming van projecten willen we deze doelstellingen halen. Veel plannen die nu op de tekentafel liggen zullen namelijk pas na 2030 in uitvoering komen. Bureau Spoorbouwmeester, ProRail en NS hebben samen met dit onderzoek inzicht willen krijgen in de CO₂-footprint en CO₂-budgetten van stations.

Vervolg

Dit ontwerpend onderzoek is een vervolg op het eerste onderzoek: Paris Proof Stations, Ontwerpend onderzoek naar materiaalgebonden CO₂-emissies Opgave 1, dat gericht was op stations en perrons van een aantal recent gerealiseerde ontwerpen en bouwstenen van middelgrote stations.

In Opgave 2 richten we ons op de vroege ontwerpfase van drie grotere OV-knooppunten: 's-Hertogenbosch, Dordrecht en Den Haag Laan van NOI.

Het doel is om beter inzicht te krijgen in de CO₂-footprint in de vroege ontwerpfases en zo te kunnen sturen op reductie ervan in lopende en toekomstige ontwerptrajecten.

	Opgave 1 Stations en perrons	Opgave 2 OV-knooppunten	Opgave 3 Stationskwartier
Nulmeting	Onderhoud Nieuwbouw Verbouw Programma's Tunnel en passerelle Configuratie	MIRT verkenningen Middelgrote nieuw- en verbouw Programma's	Verstedelijking Verdichting en stapeling Verknoping station en stad Grootschalige nieuw- en verbouw Klimaatneutrale infra

Vanwege de lange ontwikkeltijd van stationsopgaven is het belangrijk om kennis over de CO₂-opgave op lange termijn nu al naar voren te halen in het ontwerpproces.

Opgave 1: Rapport (GROUP A) en Samenvatting

Van vier recent gerealiseerde en/of ontworpen stations: Ede-Wageningen, Alkmaar Noord, Uitgeest en Harderwijk zijn de exacte CO₂-footprints berekend. Uit nadere beschouwing van deze berekeningen blijkt dat substantiële reducties noodzakelijk zijn willen we de CO₂-reductiedoelen halen. Van Opgave 1 is een compacte versie van het rapport als samenvatting beschikbaar.

Opgave 2: Rapport (GROUP A) en Samenvatting

Opgave 2 zoomt in op OV-knooppunten. Van drie lopende MIRT-verkenningen zijn verschillende varianten berekend, met de CO₂-data uit Opgave 1. Hieruit blijkt dat tussen de MIRT-varianten van dezelfde OV-knoop aanzienlijke verschillen in CO₂-emissie bestaan. Het voorliggende rapport is een samenvatting van het ontwerp onderzoek van GROUP A.



Duurzaamheidsambities spoorsector CO₂ (energie en materiaal)

ProRail

- 55% reductie van CO₂ in 2030 over scope 1, 2 en 3 ten opzichte van 2015 in 2030
- 100% reductie van CO₂ in 2050

NS

- Paris Proof operationeel energieverbruik in 2050
- Net zero voor scope 1 en 2 in 2040 en voor scope 3 in 2050

Station Ede-Wageningen





Opgave 1

Stations en perrons

Strategie onderzoek

Er is in de spoorsector behoefte aan inzicht en manieren om te sturen op CO₂ in stationsopgaven en OV-knopen. Een van de mogelijkheden is het hanteren van een CO₂-budget met plafondwaarden. Een CO₂-budget kan werken als katalysator en als verbindende schakel tussen de ontwikkeling van OV-knopen binnen gestelde duurzaamheidsdoelen. Een dergelijk budget is nu nog niet voorhanden voor stations. Ook is nog niet bekend of het toepassen van CO₂-budgetten haalbaar is voor de spoorsector, hiervoor zal in samenspraak met de overheid een strategie moeten worden ontwikkeld.

De voordelen van een CO₂-budget zijn:

- CO₂-budgetten maken duurzaamheid concreet, meetbaar en stuurbaar.
- CO₂-budgetten maken afwegingen mogelijk: bij ieder project kunnen er op maat gemaakte ingrepen worden ingezet om het budget zo slim mogelijk te besteden.
- CO₂-budgetstrategie is nodig voor de aanstaande verdeling van schaarse CO₂-budgetten.

Conclusie Opgave 1

In Opgave 1 is onderzocht wat de materiaalgebonden CO₂-uitstoot of GWPa (Global Warming Potential, module A) van stations bedraagt. De studie richtte zich op twee recent gerealiseerde stations: Ede-Wageningen, Harderwijk en twee bouwstenen (perronkap Alkmaar Noord en passerelle Uitgeest).

Met behulp van nulmetingen zijn de GWPa-waarden vastgesteld. Vervolgens zijn varianten doorgerekend met daarin materiaalinnovatie, hergebruik en circulaire oplossingen.

Dit maakt duidelijk waar en hoe grote reductie mogelijk is, bijvoorbeeld door beton- en staalgebruik te verminderen en biobased materialen toe te passen.

Belangrijke conclusies zijn:

- CO₂ is een gamechanger: Paris Proof stations vergen fundamentele keuzes in programma, ontwerp en materiaalgebruik.
- CO₂-budgetten sturen effectief: ze helpen bij het maken van duurzame ontwerpkeuzes in een vroeg stadium.
- De grootste impact wordt vroeg bepaald: vroege ontwerpfasen zijn doorslaggevend voor de uiteindelijke CO₂-uitstoot.
- Kritische keuzes zijn bepalend: ondergrondse tunnels veroorzaken veel meer uitstoot dan bovengrondse alternatieven zoals passerelles.



Station Ede-Wageningen



Station Harderwijk

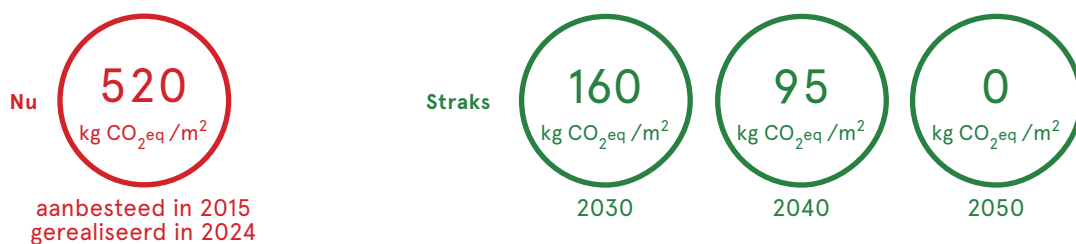
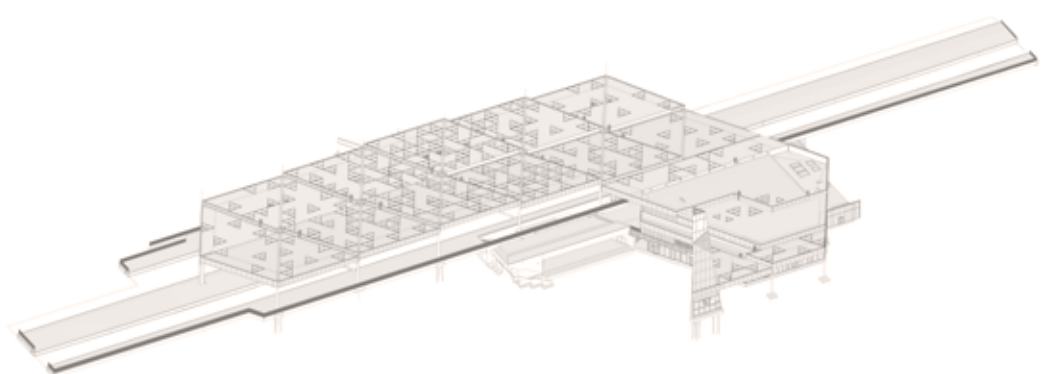


Perronkap Alkmaar Noord



Passerelle Uitgeest

OnderzoeksoBJECTEN: twee gehele stations en twee bouwstenen



CO₂ is een echte gamechanger: een station als Ede-Wageningen moet in 2030 en in 2040 met een aanzienlijk kleinere (respectievelijk -70% en -82%) CO₂-voetafdruk gerealiseerd worden. In 2050 is het doel een voetafdruk van 0 (-100%).

Opgave 2

OV-knooppunten

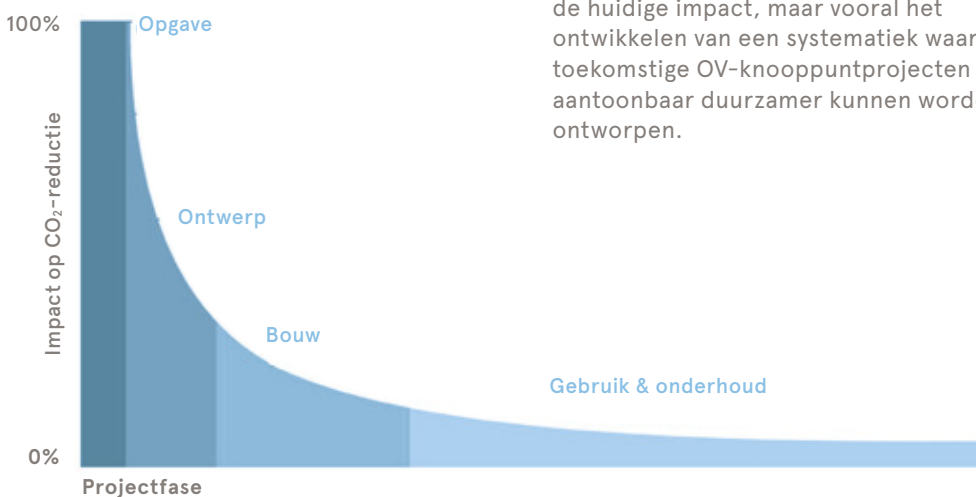
Doel Opgave 2

Bureau Spoorbouwmeester stelt zich samen met ProRail en NS ten doel om, in vervolg op Opgave 1, het verkregen inzicht in de CO₂-footprint en de CO₂-budgetten verder te verdiepen.

Dit vervolgonderzoek, Opgave 2, richt zich specifiek op het vergroten van de kennis over de GWPa in de vroege ontwerpfases van OV-knooppunten: 's-Hertogenbosch, Den Haag Laan van NOI en Dordrecht. Deze projecten kennen een complexe ruimtelijke en infrastructurele context. Het zijn projecten die onderdeel zijn van het Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport (MIRT).

In de vroege ontwerpfase bestaan ontwerpen vaak alleen uit schema's, diagrammen en grove modellen. Specifieke informatie om de CO₂-footprint van bouwstenen te bepalen ontbreekt. Toch worden juist in deze fase essentiële beslissingen genomen die een grote invloed hebben op de materiaalgebonden CO₂-uitstoot (GWPa).

Juist daarom is inzicht in de CO₂-uitstoot van belang om goed te kunnen sturen op verlagen ervan.



Schematische weergave van algemeen uitstootreductieprincipe: hoe eerder de ingreep hoe groter de impact.

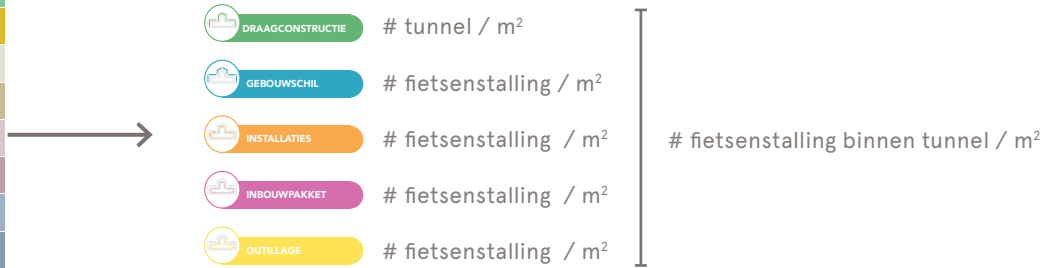
Aanpak Opgave 2

Omdat van de onderzochte OV-knopen inzicht in de precieze detaillering en materialisering ontbrak, is er gekozen voor een andere berekeningsmethode. Vanuit Opgave 1 en andere studies zijn wel al heel veel referentiegetallen van verschillende bouwstenen bekend. Van deze getallen is een zo compleet mogelijke catalogus gemaakt. Deze catalogus vormt de basis van de berekeningen. Zo wordt het mogelijk om al in de vroege, bepalende ontwerpfases gericht te sturen op Paris Proof CO₂-reductie, zonder te hoeven wachten op uitgewerkte BIM-modellen of volledige materiaalspecificaties.

Voor dit het onderzoek is per OV-knooppunt een selectie gemaakt van drie ontwerpvarianten, gekozen op basis van hun verwachte variatie in GWPa-impact. De CO₂-footprint van deze varianten geeft inzicht in de manier waarop in toekomstige ontwerptrajecten al vanaf het begin gestuurd kan worden op reductie van materiaalgebonden emissies.

Met deze aanpak beoogt het onderzoek niet alleen het kwantificeren van de huidige impact, maar vooral het ontwikkelen van een systematiek waarmee toekomstige OV-knooppuntprojecten aantoonbaar duurzamer kunnen worden ontworpen.

Trein en metro	0	Spoor
	1	Perronkappen
	2	Perron
Voetgangers	3	Tunnel/passerende
	4	Stijgpunten
	5	Stationshal
	6	Commercie (winkel/Horeca)
	7	Ondersteunend / techniek
	8	Overig
	9	Stationsplein
	9	Interwijkverbinding voetganger
Fietzers	10	Fietsenstalling
	10	Interwijkverbinding fiets
Bus	11	Busstation
Tram	12	Tram station
K&R / taxi/ P+R	13	Taxi / K&R
	14	P+R
	14	Interwijkvervinding auto's
Logistiek & hulpdiensten	15	Logistiek en hulpdiensten
Nieuwbouw vastgoed station	16	Kantoor op station
Stations kwartier nieuwbouw	17	Kantoor vrijstaand
	17	Wonen
Energie	18	Energiesysteem



Op basis van de verzamelde data van Opgave 1 is een catalogus met bouwstenen opgesteld voor Opgave 2. Per bouwsteen is vervolgens de GWPa bepaald per type uitvoering, zie het voorbeeld commercie in een tunnel. In de gemiddelde GWPa van commercie in een tunnel zijn alle bouwlagen meegenomen.

Naam	Deel / Niveau	NIEUW		conventioneel						max circulair & biobased								
		aantal	eenheid	referentiegetallen (kg CO2 eq/eenheid)			subtotalen (kg CO2 eq.)			referentiegetallen (kg CO2 eq/eenheid)			subtotalen (kg CO2 eq.)					
				GWPa	biogene opslag	netto GWPa	GWPa	biogene opslag	netto GWPa	GWPa	biogene opslag	netto GWPa	GWPa	biogene opslag	netto GWPa			
0 spoor	buiten scope																	
1 Perronkappen																		
Perronkap eilandperron	BVO station	1.100	m2	206	-52	154	226.405	-57.330	169.074	79	-206	-127	87.435	-226.826	-139.391			
Perronkap zijperron	BVO station	500	m2	227	-63	163	113.420	-31.676	81.745	91	-245	-153	45.590	-122.298	-76.709			
2 Perron																		
Perron zijperron	BVO station	370	m2	97	0	97	35.896	-123	35.773	86	0	85	31.695	-123	31.573			
Perron eilandperron	BVO station	930	m2	74	0	74	88.635	0	88.635	56	0	56	51.831	0	51.831			
3 Tunnel/passerende																		
aparte voetgangerstunnel, klein: 16m breedte	BVO station	934	m2	1.941	-1	1.940	1.812.778	-604	1.812.173	513	-8	506	479.478	-7.183	472.295			
	BVO station						0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	BVO station						0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	BVO station						0	0	0	0	0	0	0	0	0			
4 Stijgpunten																		
Liftcabine	BVO station	4	stuk	46.454	0	46.454	185.817	0	185.817	46.454	0	46.454	185.817	0	185.817			
liftschacht transparant	BVO station	28	meter hoogte (niveaoverschil)	3.249	-20	3.229	90.965	-546	90.419	1.332	-2.321	-990	37.285	-65.000	-27.714			
Trappen (open)	BVO station	28	meter hoogte (niveaoverschil)	3.920	-1.085	2.834	109.752	-30.390	79.362	2.146	-2.992	-846	60.080	-83.781	-23.701			
Rottrappen 1m breedte	BVO station	55	meter hoogte (niveaoverschil)	12.060	0	12.060	675.360	0	675.360	12.060	0	12.060	675.360	0	675.360			
							0	0	0	0	0	0	0	0	0			
5 Stationshal																		
Gevelloos overdekt op hetzelfde niveau, haagse-zijde	BVO station	450	m2	387	-12	376	174.317	-5.225	169.092	196	-247	-51	88.000	-110.945	-22.945			
Gevelloos overdekt op hetzelfde niveau, voorbrug	BVO station	800	m2	387	-12	376	309.898	-9.290	300.608	196	-247	-51	156.445	-197.236	-40.791			
	BVO station						0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	BVO station						0	0	0	0	0	0	0	0	0			
6 Commercie																		
	BVO station						0	0	0	0	0	0	0	0	0			
in stationstunnel	BVO station	600	m2	2.174	-11	2.163	1.304.533	-6.476	1.298.057	625	-129	496	375.054	-77.588	297.466			
	BVO station						0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	BVO station						0	0	0	0	0	0	0	0	0			
7 Ondersteunend / techniek																		
	BVO station	0	m2	797	-4	793	0	0	0	363	-300	64	0	0	0			
	BVO station	0	m2	1.508	-1	1.506	0	0	0	669	-49	621	0	0	0			
10 Stationsplein																		
	Omgeving						0	0	0	0	0	0	0	0	0			
oppervlakteverharding, buiten naast spoor	Omgeving	7.650	m2	77	0	77	590.149	-522	589.627	31	0	31	233.605	0	233.605			
Interwijkverbinding voetganger																		
	BVO station	0	m2				0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	BVO station						0	0	0	0	0	0	0	0	0			
9 Fietsenstalling																		
binnen gebouw 3 lagen (lang ratio)	BVO station	4.000	m2	596	-32	564	2.384.167	-128.746	2.255.419	319	-332	-13	1.276.171	-1.328.543	-52.373			
	BVO station						0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	BVO station						0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	BVO station						0	0	0	0	0	0	0	0	0			
buitenstalling met afdek dubbel	Omgeving	280	m2	109	0	109	30.476	0	30.476	37	0	37	10.297	0	10.297			
Interwijkverbinding fiets																		
fietsbrug	BVO station	0	m2				0	0	0	0	0	0	0	0	0			
fietsstunnel: bestaande stationstunnel	BVO station	0	m2	1.910	0	1.910	0	0	0	513	-8	506	0	0	0			
11 Busstation																		
Bus halte zone (met tram)	Omgeving	0	m2	84	0	84	0	0	0	71	0	71	0	0	0			
Bushalte kap	Omgeving	0	m2				0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Omgeving	0	m2				0	0	0	0	0	0	0	0	0			
12 Tramhalte																		
Tramhalte 1	Omgeving	0	m2				0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Tramhalte 2	Omgeving	0	m2				0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Omgeving	0	m2				0	0	0	0	0	0	0	0	0			

Op basis van de catalogus van bouwstenen zijn de verschillende varianten per OV-knooppunt (bovenstaand variant 1 van Den Haag Laan van NOI) uitgerekend, voor zowel een conventionele als een biobased variant. De uitgebreide datasheets zijn te vinden in het ontwerpend onderzoek van GROUP A.

Opgave 2

Casestudies

OV-knooppunten

OV-knooppunten

's-Hertogenbosch

Voor station 's-Hertogenbosch zijn drie ontwerpvarianten onderzocht, gericht op de benodigde capaciteitsuitbreidingen in de komende jaren. De focus in het project ligt op het vergroten van de transfercapaciteit via onder andere:

- Een vierde perron (spoor 8).
- Een nieuwe of vergrote traverse met stijpunten.
- Uitbreiding en verbetering van wachtvoorzieningen, fietsstallingen en het busstation.
- Verduurzaming stationspleinen.

De varianten in deze studie zijn specifiek doorgerekend op hun GWPa-impact.

De belangrijkste vergelijkingen betreffen:

- Een nieuwe tunnel versus verschillende passerelle-varianten.
- Diverse invullingen van de stationshal aan beide zijden van het station.
- Mate van hergebruik casco bestaand vastgoed.
- Keuze van al dan niet een nieuw busstation.

Den Haag Laan van NOI

Het huidige stationsgebouw van Den Haag Laan van NOI stamt grotendeels uit 1978. Het lopende ontwerptraject richt zich op het toekomstbestendig maken van deze OV-knoop, met als doel:

- Vergroting van de reizigerscapaciteit, met name onder de sporen door.
- Het toevoegen en aanpassen van ketenvoorzieningen, zoals fietsstallingen, en P+R.
- Het maken van aantrekkelijke openbare ruimte.
- Het versterken van de langzaamverkeersverbindingen.
- Bedenken van een oplossing voor de tramkeervoorziening, tram- en bushalte.

In deze studie zijn varianten doorgerekend die zich richten op:

- De GWPa van verschillende tunnelconfiguraties.
- De GWPa van varianten in fietsstallingen, parkeervoorzieningen en openbare ruimte.

Dordrecht

Het hoofdgebouw van station Dordrecht is een Rijksmonument uit 1872 en ligt aan de centrumzijde. Aan de andere zijde grenst het station aan een park met cultuurhistorische en stedenbouwkundige waarde.

In het huidige ontwerptraject wordt gezocht naar een evenwicht tussen het toekomstbestendig maken van de OV-knoop en het respecteren van de monumentale en historische context.

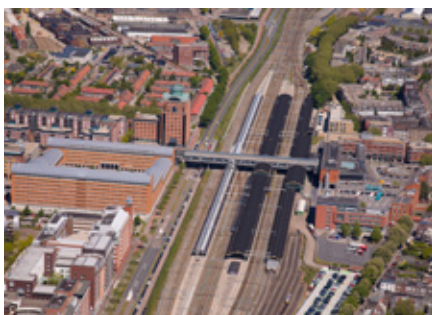
In deze studie zijn varianten doorgerekend met de nadruk op de verschillen tussen:

- Het ondergronds positioneren van zoveel mogelijk programma met tunnels versus een variant met passerelles.
- Hergebruik versus nieuwbouw.

Aanpak berekeningen

Per OV-knoop zijn drie varianten berekend. Per variant zijn twee varianten met verschillende materiaalkeuzes doorgerekend:

- A. Een variant met conventionele materialen, zoals beton en staal.
- B. Een variant met maximaal gebruik van biobased en circulaire materialen.



OV-knooppunt 's-Hertogenbosch

A. Conventioneel	B. Circulair en biobased
Variant 1A Tunnel	Variant 1B Tunnel
Variant 2A Passerelle hoog	Variant 2B Passerelle hoog
Variant 3A Passerelle lager	Variant 3B Passerelle lager



Pagina 20



Pagina 38



OV-knooppunt Den Haag Laan van NOI

A. Conventioneel	B. Circulair en biobased
Variant 1A Basis	Variant 1B Basis
Variant 2A Verbinder	Variant 2B Verbinder
Variant 3A Toegangspoort	Variant 3B Toegangspoort



Pagina 26



Pagina 40



OV-knooppunt Dordrecht

A. Conventioneel	B. Circulair en biobased
Variant 1A Basis	Variant 1B Basis
Variant 2A Monument	Variant 2B Monument
Variant 3A Duurzaamheid	Variant 3B Duurzaamheid



Pagina 32



Pagina 42

Er zijn in totaal drie varianten per station berekend. Van elke variant is een berekening met conventionele (A) en een berekening met gebruik van maximaal circulaire en biobased materialen (B) gemaakt.

Rekenmethodiek uitgelegd

Rekenmethodiek

Met het ontwerpend onderzoek, Opgave 2 ontwikkelen we een methode om de materiaalgebonden CO₂-uitstoot (GWPa) van grotere OV-knooppunten (Klasse Plus, Mega en Kathedraal) al in een vroege ontwerpfase in kaart te brengen. Juist in deze fase worden beslissingen genomen die grote invloed hebben op de latere klimaatimpact. De nadruk in deze studie ligt op het vergelijken van conventioneel bouwen met alternatieven die maximaal circulair en biobased zijn.

De aanpak bouwt voort op de referentiegetallen uit Opgave 1 voor kleinere stations, en vertaalt deze – via de Stewart Brand-lagen – naar een uitgebreidere en fijnmazigere catalogus van bouwstenen die geschikt is voor de complexere OV-knooppunten. De analyse is toegepast op drie van deze complexere OV-knooppunten: 's-Hertogenbosch, Den Haag Laan van NOI en Dordrecht, elk in drie ontwerpvarianten. De bouwstenen omvatten onder meer tunnels, passerelles, perronkappen, fietsenstallingen en commerciële ruimtes. De doorontwikkelde rekenmethode maakt het mogelijk om bouwstenen te toetsen op GWPa-niveau, ook wanneer materiaalkeuzes nog niet vastliggen. Hierbij zijn ook funderingselementen en stijgpunten (liften en roltrappen) afzonderlijk beschouwd, omdat hun impact sterk varieert per locatie.

Welke conclusies zijn er te maken met deze methodiek?

- Tunnels zijn veruit de grootste GWPa-bronnen (tot 1.600 kg CO₂eq/m²), ook bij circulair materiaalgebruik.
- Passerelles, perronkappen en sporenkappen die bovengronds en met biobased materialen worden gebouwd kunnen een veel lagere voetprint bereiken en veel CO₂ vastleggen voor een lange periode.
- Het reductiepotentieel van fietsenstallingen en commerciële ruimtes hangt sterk af van de uitvoering en ligging; ondergronds bouwen belemmert vrijwel altijd Paris Proof-doelen, terwijl bovengrondse varianten gunstiger scoren.

De methode biedt een bruikbaar rekenkader om de GWPa al in de ontwerpfase mee te wegen, en ondersteunt zo duurzame keuzes in toekomstige OV-knooppunten. Dit draagt direct bij aan het realiseren van Paris Proof stations met lagere CO₂-uitstoot en hogere verblijfskwaliteit.

Domeinen	Bouwstenen	
Reisdomein	0 Spoor	
	* 1 Perronkappen	
	* 2 Perron	
	* 3 Tunnel/passerelle	
	* 4 Stijpunten	
	* 5 Stationshal	
	* 6 Commercie (winkel/Horeca)	
	* 7 Ondersteunend / techniek	
	* 8 Overig	
	Ontvangstdomein	9 Stationsplein
* Interwijkverbinding voetganger		
* Fietsenstalling		
* 10 Interwijkverbinding fiets		
11 Busstation		
12 Tram station		
13 Taxi / K&R		
Omgevingsdomein		14 P+R
		Interwijkvervinding auto's
		15 Logistiek en hulpdiensten
	* 16 Kantoor op station	
Vastgoed	Kantoor vrijstaand	
	17 Wonen	
	18 Energiesysteem	

Catalogus van bouwstenen

Van de gekozen OV-knooppunten en hun ontwerpvarianten zijn de aanwezige bouwstenen in al hun variatie in kaart gebracht: bijvoorbeeld perronkap, sporenkap, fietsenstalling als apart bovengronds gebouw, fietsenstalling als onderdeel van een tunnel, commercie in de stationshal, commercie in een tunnel, commercie in een passerelle. Zo is een catalogus met een volledig overzicht van de GWPa van alle bouwstenen en hun varianten ontstaan.

N.B. Sommige bouwstenen liggen in meer domeinen, voor dit overzicht is gekozen voor 1 domein.

Bouwstenen station en omgeving per domein

*= BVO (Bruto Vloer Oppervlak) station, voor verdere uitleg zie pagina 62/63.

Bruto en netto GWPa

Toelichting resultaatweergave: bruto en netto GWPa

Voor de resultaatweergave is er in dit rapport gekozen om drie scores te tonen:

1. GWPa (bruto uitstoot)
2. Biogene opslag
3. Netto GWPa (netto totaal)

Dat wordt gedaan omdat er nog geen officiële en industriebreed gehanteerde standaard is voor het verrekenen van de biogene CO₂-opslag in biobased materialen.

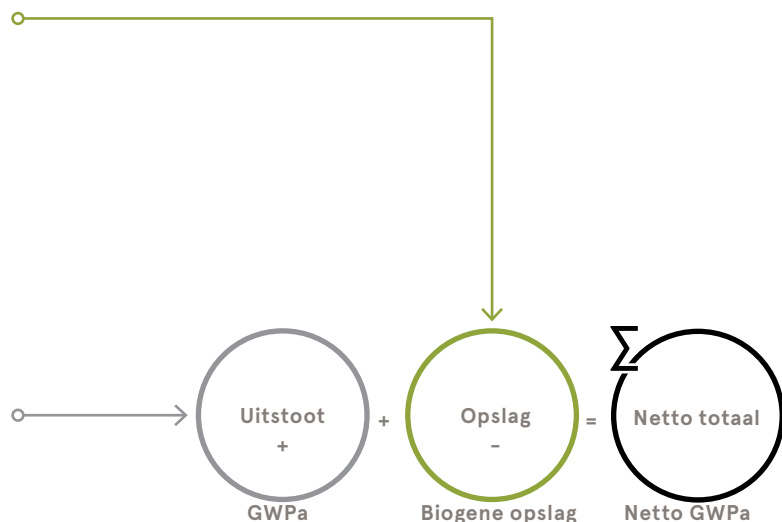
Die biogene opslag doet er echter wel degelijk toe. Daarom kiezen wij er voor om de GWPa (bruto-uitstoot) en opslag als aparte waarden weer te geven, conform de officiële rapportagerichtlijnen. Tevens tonen we een netto totaal waarin de opslag, zoals ook eerder toegelicht, volledig is verrekend. Zo kan er transparant inzicht verkregen worden in alle relevante uitstootwaarden.

Toelichting resultaatweergave: materialen per bouwsteen

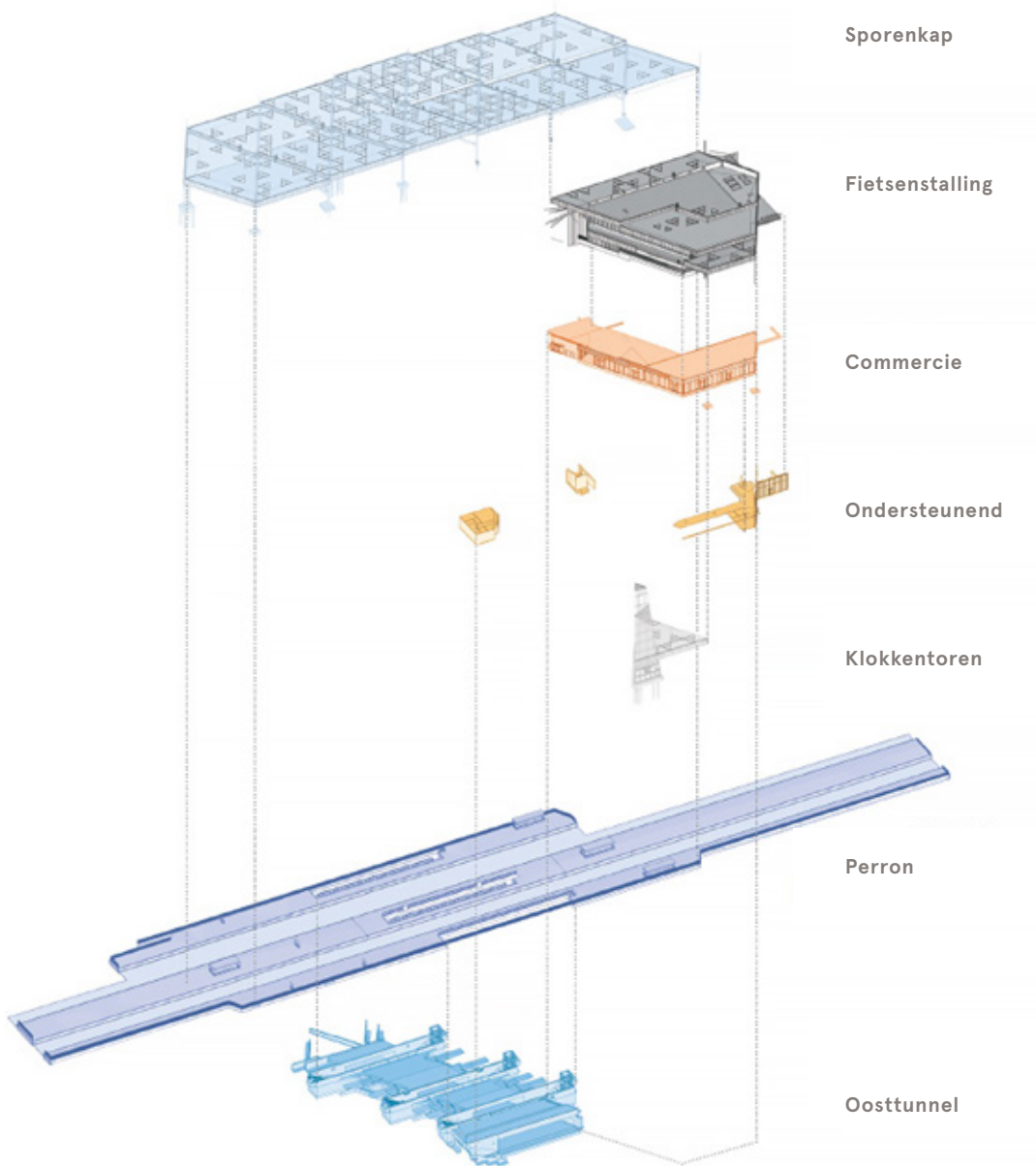
Deze studie verdeelt de OV-knopen onder in de domeinen die gangbaar zijn binnen NS en ProRail: omgevingsdomein, ontvangstdomein (inclusief verblijfsdomein) en reisdomein. Het vastgoeddomein is in deze studie alleen beschouwd als het op het station ligt.

De domeinen zijn vervolgens onderverdeeld in bouwstenen als perronkap, perron, fietsenstalling, tunnel, commercie, bus en ondersteunende functies. In deze studie projecteren we de CO₂-resultaten op verschillende manieren:

- per variant is het totaal aantal kg CO₂ berekend.
- per variant is het aantal kg/m² berekend.
- en tot slot is de emissie per bouwsteen weergegeven.



Weergave totale CO₂-emissies, uitgedrukt in kg CO₂eq./m² en in kg CO₂eq. per variant in deze rapportage.



Exploded view van station Ede-Wageningen waarin de verschillende bouwstenen onderscheiden worden.





Resultaat conventioneel 's-Hertogenbosch

OV-knooppunt



OV-knooppunt: 's-Hertogenbosch
Ontwerp: TeamV/Arup

Er zijn drie varianten berekend, een tunnelvariant en twee varianten voor een passerelle. Deze zijn in de eerste stap doorgerekend met conventionele materialen als staal en beton.

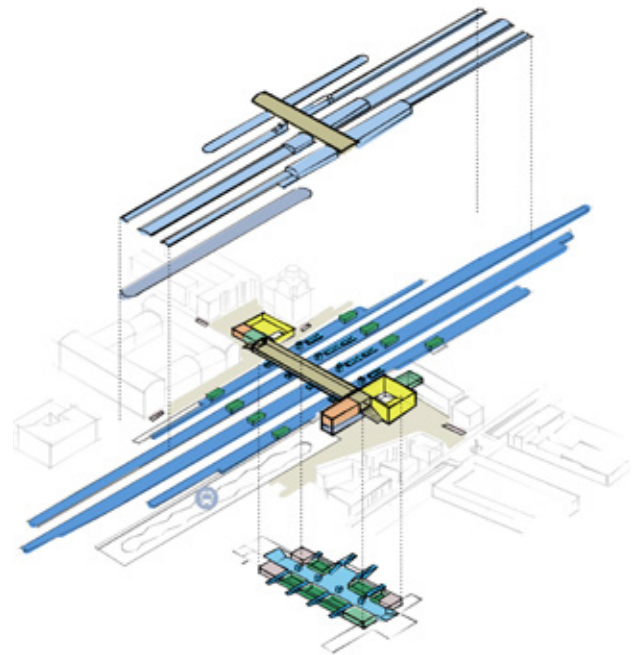
Met name de tunnelvariant heeft een veel hogere GWPa en een veel hoger totaal aantal kg CO₂ dan de passerellevarianten.

Het station zelf heeft de grootste GWPa. De omgeving is, afhankelijk van de ingreep uiteraard, minder CO₂-intensief.

In vergelijking met het originele rapport van GROUP A zijn de getallen afgerond.



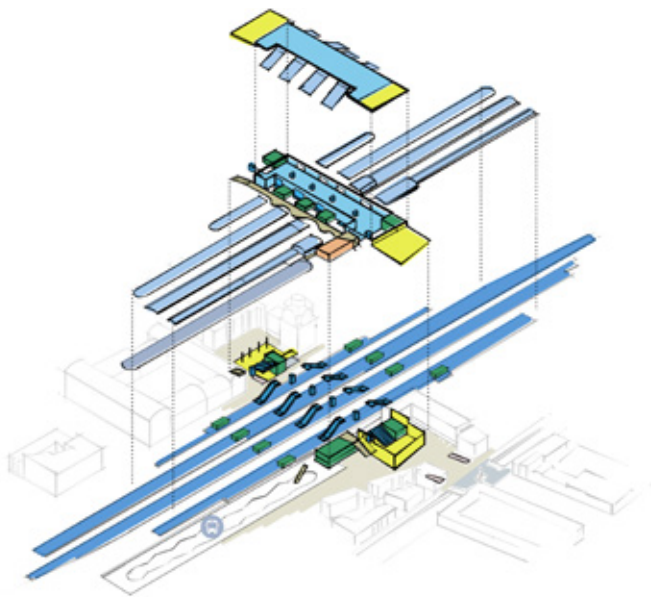
Variant 1A - tunnel
station 24.450.000 kg CO₂eq
omgeving 2.250.000 kg CO₂eq



- De huidige passerelle wordt vervangen door een ondergrondse reizigerstunnel.
- De bestaande passerelle wordt een interwijkverbinding zonder toegang perrons.
- Stationshallen komen aan beide zijden van het spoor.
- Hellingen vanaf stationshallen naar voetgangerstunnel.
- Er komen nieuwe liften, roltrappen en trappen .
- Nieuwe bushalte met nieuwe kap.
- Perron 8 wordt toegevoegd, de bestaande perrons blijven.
- De ondergrondse fietsenstalling krijgt nieuwe entrees.

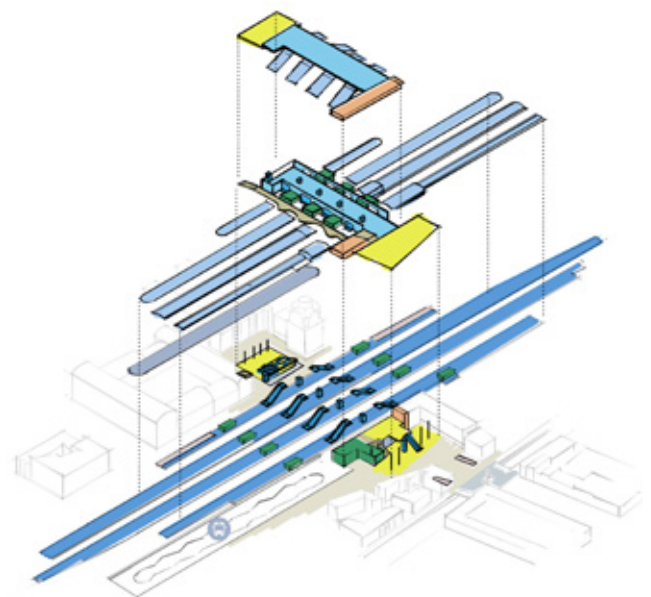


Variant 2A - Passerelle hoog
station 19.160.000 kg CO₂eq
omgeving 2.335.000 kg CO₂eq



- Een nieuwe hoge passerelle met commerciële ruimtes en een parallel daaraan geplaatste losse interwijkverbinding.
- Het stationsgebouw aan de stadszijde wordt volledig vernieuwd met een grote hal. Aan de Paleiskwartierzijde komt een grote luifel boven het ontvangstdomein.
- Er komen nieuwe liften, roltrappen en langere trappen (in verband met de hoogte van de passerelle) naar de perrons.
- Nieuwe bushalte met nieuwe kap.
- Perron 6, 7 en 8 worden vernieuwd en voorzien van kappen.
- De bestaande fietsenstalling krijgt een upgrade/nieuwe ingangen.

Variant 3A - Passerelle lager
station 17.305.000 kg CO₂eq
omgeving 2.445.000 kg CO₂eq



- Een nieuwe lagere (1.4 meter) passerelle met commerciële ruimtes en een parallel daaraan geplaatste losse interwijkverbinding.
- Optimaal hergebruik van het bestaande stationsgebouw.
- Aan beide zijden een luifel boven de ontvangstdomeinen.
- Nieuwe liften, trappen en roltrappen.
- Nieuwe bushalte met nieuwe kap.
- Perrons en kappen 1-5 blijven zoals ze zijn, perron 6 en 7 nieuwe perronkappen, nieuw perron 8 + nieuwe kap.
- Nieuwe buitenfietsenstalling.
- De bestaande fietsenstalling krijgt een upgrade/nieuwe ingangen.

Conclusie conventioneel 's-Hertogenbosch

OV-knooppunt



OV-knooppunt: 's-Hertogenbosch
Ontwerp: TeamV/Arup

Berekening conventioneel

Bij de analyse van de materiaalgebonden CO₂-impact per bouwsteen is uitgegaan van conventioneel bouwen met niet duurzame materialen, dat wil zeggen met name met nieuw beton, staal en glas. Per bouwsteen is de CO₂-uitstoot in kaart gebracht volgens een uniforme kleurcodering die aansluit bij de stationsdomeinen uit het Stationsconcept. Zowel het station zelf als de omgeving is daarbij meegenomen.

Daarnaast is het nationale reductiedoel voor 2030 – een vermindering van 55% CO₂ – als referentie meegenomen. Om dit doel op een evenwichtige manier te toetsen, is gekozen om het gemiddelde van de drie varianten als uitgangspunt (100%) te hanteren, voor zowel nieuwbouw als hergebruik van bestaande bouw. Vervolgens is berekend welke reductie ten opzichte van dit gemiddelde wordt bereikt.

De varianten zijn doorgerekend op basis van tekeningen uit oktober 2024. De varianten in de MIRT-verkenning zijn bij het verschijnen van deze samenvatting (medio 2025) verder doorontwikkeld. De voorkeursvariant komt op hoofdlijnen overeen met variant 3A/3B.

Hoofdconclusies per variant

Variant 1A - Tunnel

GWPa station: 24.450.000 kgCO₂eq
GWPa omgeving: 2.250.000 kgCO₂eq
BVO station/omgeving: 62.450/19.350 m²
- Door de tunnel veel GWPa.
- Commercie in tunnel veel GWPa.

Variant 2A - Passerelle hoger

GWPa station: 19.160.000 kgCO₂eq
GWPa omgeving: 2.335.000 kgCO₂eq
BVO station/omgeving: 61.375/20.550 m²
- Door passerelle flinke GWPa-reductie t.o.v. tunnel.

Variant 3A - Passerelle lager

GWPa station: 17.305.000 kgCO₂eq
GWPa omgeving: 2.445.000 kgCO₂eq
BVO station/Omgeving: 62.880/21.550 m²
- Meer hergebruik.
- Minder roltrappen, daardoor minder GWPa.
- Minder gevel stationshal, daardoor minder GWPa.
- Minder commercie, minder GWPa.

Bouwstenen met de grootste GWPa impact zijn (aflopend):

- Variant 1A-Tunnel: voetgangerstunnel, commercie in tunnel, stijgpunten.
- Variant 2A-Passerelle hoger: stijgpunten, perronkappen, stationshal.
- Variant 3A-Passerelle lager: stijgpunten, perronkappen stationshal.

GWPa-conventioneel nieuw gemiddelde drie varianten
21.010.000 kgCO₂eq

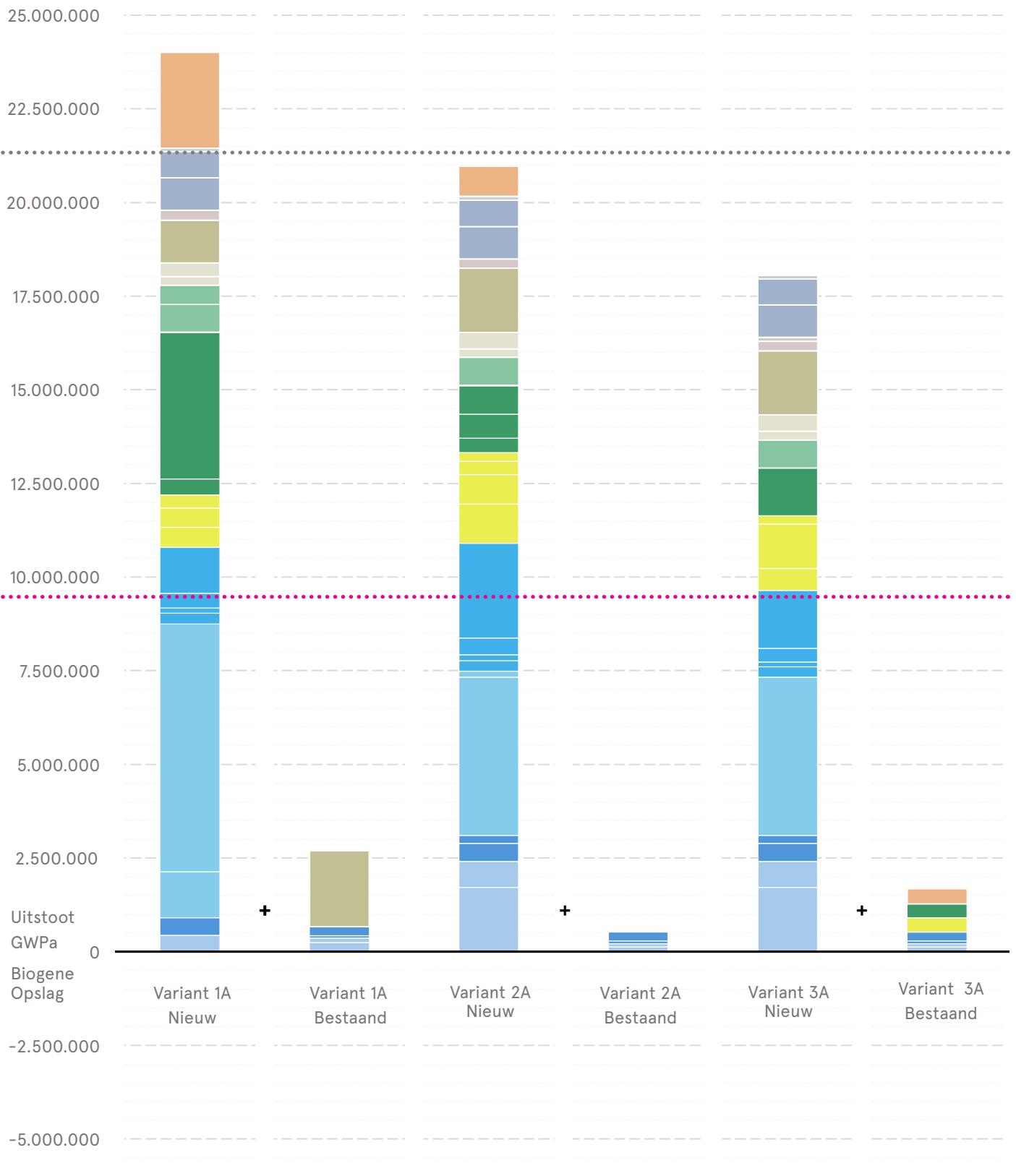
-55%



GWPa-doel nieuw -55% gemiddelde drie varianten
9.455.000 kgCO₂eq

Legenda bouwstenen

- Kantoor op station
- Logistiek en hulpdiensten
- Interwijk auto
- P+R
- Taxi en K&R
- Tram
- Bus
- Interwijk fiets
- Fietsenstalling
- Interwijk voetganger
- Stationsplein
- Ondersteunend / techniek
- Commercie
- Stationshal
- Stijgpunten
- Tunnel / Passerelle
- Perron
- Perronkappen



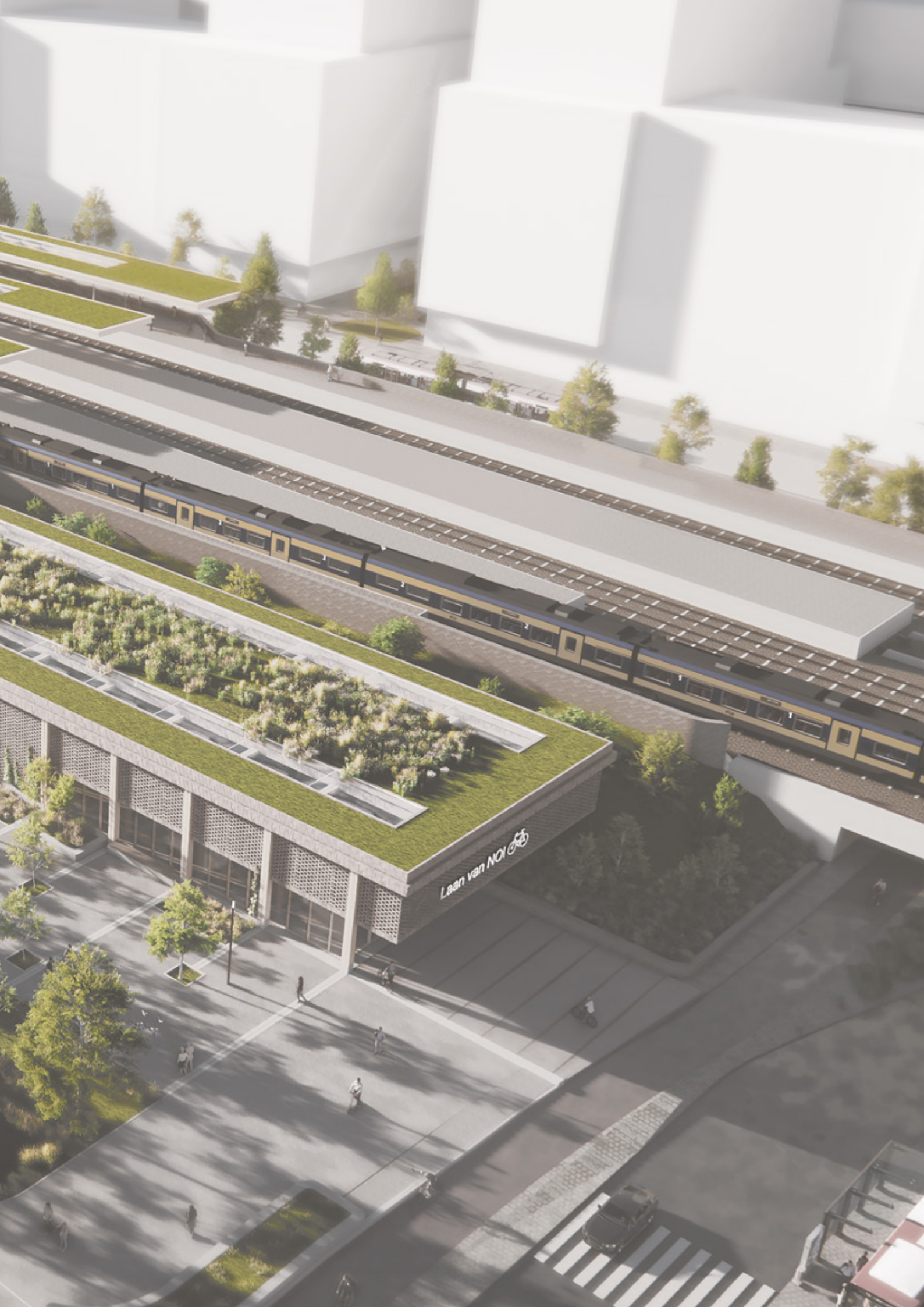
GWPa station en omgeving en GWPa per bouwsteen.

Er is per variant onderscheid gemaakt tussen nieuwbouw (linkerkolom) en aanpassing van bestaande bouwdelen (rechterkolom). De kolommen zijn verder onderverdeeld in drie onderdelen: stationsoppervlak (blauw/geel/groen), de directe stationsomgeving (grijs) en vastgoed op het station (oranje). Vastgoedontwikkeling in de bredere omgeving van het station is wel onderzocht door GROUP A, maar niet in deze samenvatting opgenomen. Er is berekend wat de materiaalgelinkte CO₂-uitstoot (GWPa) is, uitgaande van conventioneel bouwen met voornamelijk nieuw beton, staal en glas. De resultaten laten zien dat hergebruik van bestaande gebouwen leidt tot een GWPa reductie ten opzichte van volledige nieuwbouw.

OV-knooppunt Den Haag Laan van NOI
Team V / Arcadis



Een van de varianten uit de MIRT-verkenning



Laan van NOI 

Resultaat conventioneel Den Haag Laan van NOI

OV-knooppunt



OV-knooppunt: Den Haag Laan van NOI
Ontwerp: Team V / Arcadis

Er zijn drie varianten onderzocht. In alle drie de varianten worden nieuwe tunnels gemaakt. Deze zijn in de eerste stap doorgerekend met conventionele materialen als staal en beton.

Variant 1A en 3A lijken op elkaar, het grootste verschil zit in de breedte van de tunnel. Variant 2A is echt anders, daar zijn twee tunnels getekend als reizigersdomein van het station. Ook is een extra interwijkttunnel toegevoegd.

Tijdelijke voorzieningen, zoals tijdelijke passerelles in de bouwfase die nodig zijn in variant 2 en 3 en die zorgen voor extra CO₂-uitstoot, zijn niet meegerekend.

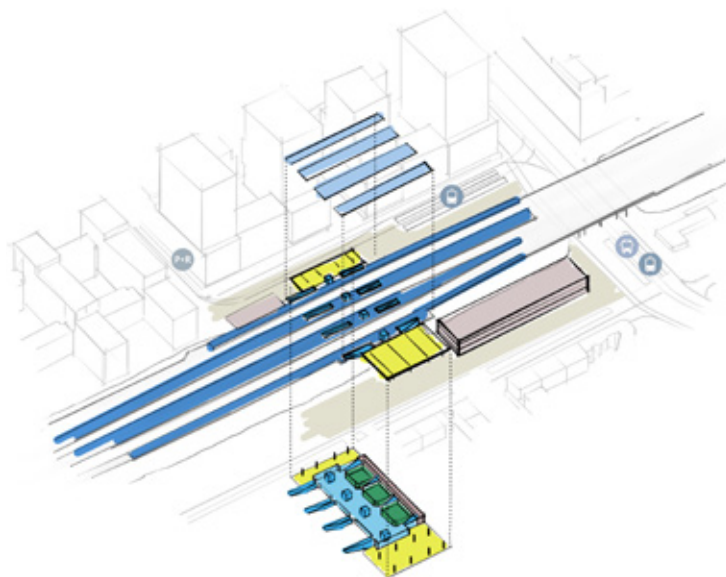
De varianten zijn doorgerekend op basis van tekeningen van oktober 2024. De varianten in de MIRT-verkenning zijn bij verschijnen van deze samenvatting (medio 2025) verder doorontwikkeld, maar op hoofdlijnen nog steeds hetzelfde.

Het station zelf heeft de grootste GWPa. De omgeving is, afhankelijk van de ingreep uiteraard, minder CO₂-intensief.

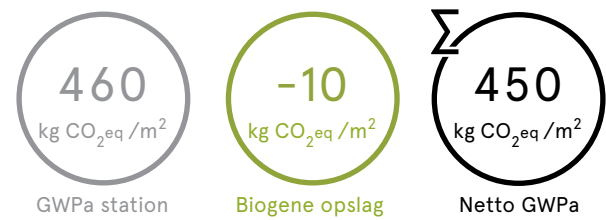
In vergelijking met het originele rapport van GROUP A zijn de getallen afgerond.



Variant 1A - Basis
station 7.855.000 kg CO₂eq
omgeving 645.000 kg CO₂eq

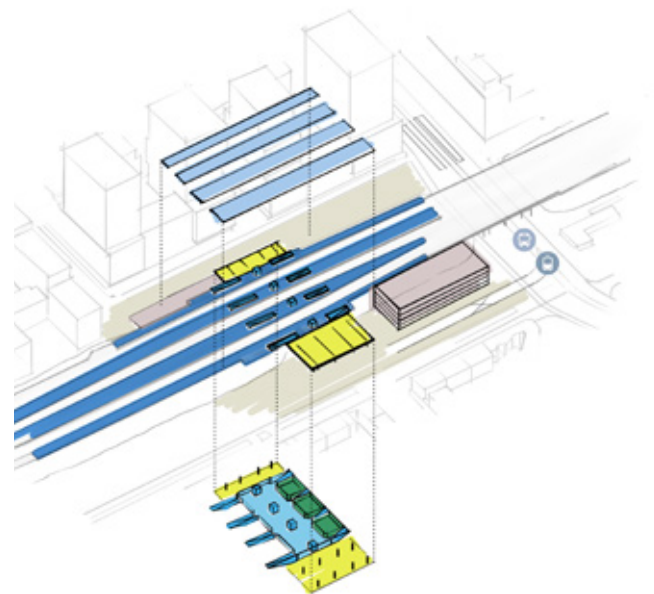
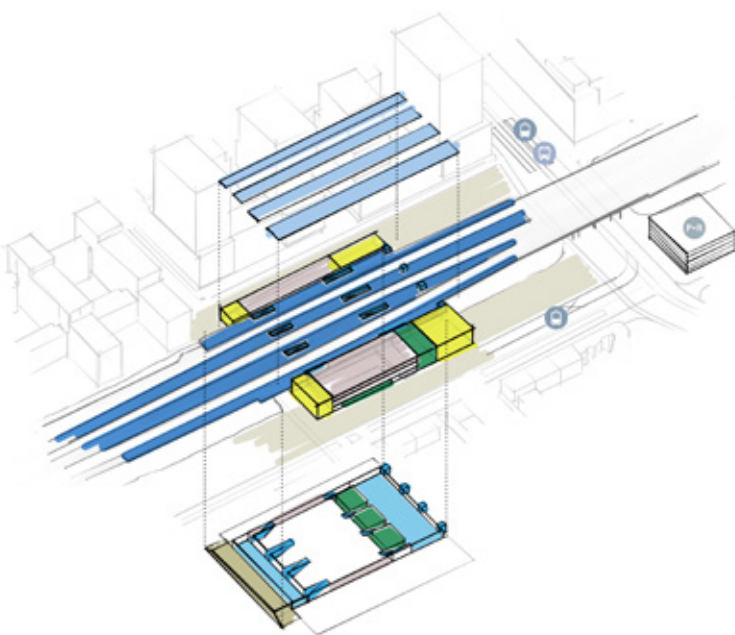


- De bestaande tunnel (4 meter breed) wordt gebruikt voor logistiek of techniek.
- Nieuwe brede reizigerstunnel met commercie gemaakt.
- Nieuw 3-laags fietsparkeergebouw met dichte gevels. Dit gebouw staat los van het spoortalud.
- Nieuwe ontvangstdomeinen (buiten, gevelloos overdekt), onder luifels aan beide uiteinden tunnel.
- Stijpunten: 4 liften en 8 trappartijen.
- Perrons alleen nieuw op de delen boven de nieuwe tunnel.
- Perronkappen deels vernieuwd.
- Bus, tram als bestaande situatie.
- Parkeren in gebouwen van stationskwartier.



Variant 2A - Verbinder
station 13.975.000 kg CO₂eq
omgeving 2.045.000 kg CO₂eq

Variant 3A - Toegangspoort
station 10.300.000 kg CO₂eq
omgeving 640.000 kg CO₂eq



- De bestaande tunnel wordt gesloopt.
- Twee nieuwe tunnels op begane grond niveau onder spoortalud met reizigerstunnel, interwijkverbinding voetgangers en fiets.
- Commercie zowel in tunnel als buiten de tunnel.
- Nieuw 2-laags fietsparkeergebouw noordzijde + 3-laags fietsparkeergebouw in talud aan zuidzijde.
- Nieuwe ontvangstdomeinen in stationshallen, beide zijdes.
- 4 liften en 8 trappartijen.
- Perrons alleen nieuw op de delen boven nieuwe tunnel.
- Perronkappen volledig vernieuwd van tunnel tot tunnel.
- Bus, tram aangepast met nieuwe keerlus.
- Een nieuwe 5-laags parkeergarage aan zuidoostzijde.

- De bestaande tunnel wordt gesloopt.
- Nieuwe brede tunnel ligt op plek oude tunnel met daarin commercie en voetgangerstunnel, alles op begane grond niveau onder spoortalud.
- Nieuw 3-laags fietsparkeren met dichte gevels naast talud.
- Klein deel buitenfietsparkeren aan noordzijde station.
- Nieuwe ontvangstdomeinen (buiten, gevelloos overdekt) onder de luifels aan beide uiteindes van de tunnel.
- 4 liften en 8 trappartijen.
- Perrons alleen nieuw boven de nieuwe tunnel.
- Perronkappen geheel vernieuwd.
- Bus, tram aangepast, als variant 2.
- Parkeren in gebouwen van stationskwartier.

Conclusie conventioneel Den Haag Laan van NOI

OV-knooppunt



OV-knooppunt: Den Haag Laan van NOI
 Ontwerp: Team V / Arcadis

Berekening conventioneel

Bij de analyse van de materiaalgebonden CO₂-impact per bouwsteen is uitgegaan van conventioneel bouwen met niet duurzame materialen, dat wil zeggen met name met nieuw beton, staal en glas. Per bouwsteen is de CO₂-uitstoot in kaart gebracht volgens een uniforme kleurcodering die aansluit bij de stationsdomeinen uit het Stationsconcept. Zowel het station zelf als de omgeving is daarbij meegenomen.

Daarnaast is het nationale reductiedoel voor 2030 – een vermindering van 55% CO₂ – als referentie meegenomen. Om dit doel op een evenwichtige manier te toetsen, is gekozen om het gemiddelde van de drie varianten als uitgangspunt (100%) te hanteren, voor zowel nieuwbouw als hergebruik van bestaande bouw. Vervolgens is berekend welke reductie ten opzichte van dit gemiddelde wordt bereikt.

Conclusie per variant

Variant 1A

GWP_a station: 7.855.000 kgCO₂eq
 GWP_a omgeving: 645.000 kgCO₂eq
 BVO station/omgeving: 21.785/8.405 m²
 Deze variant heeft de kleinste tunnel dus ook de laagste GWP_a.
 De fietsenstalling draagt ook aanzienlijk bij aan de GWP_a.

Variant 2A

GWP_a station: 13.975.000 kgCO₂eq
 GWP_a omgeving: 2.046.000 kgCO₂eq
 BVO station/omgeving: 25.620/14.320 m²
 Twee tunnels zorgen voor een hogere GWP_a.

Variant 3A

GWP_a station: 10.300.000 kgCO₂eq
 GWP_a omgeving: 640.000 kgCO₂eq
 BVO station/omgeving: 22.470/6.710 m²
 Een bredere tunnel zorgt voor een hogere GWP_a dan variant 1.

Er is in variant 1A (Basis) een verlaging van de GWP_a mogelijk: een verbreding van de tunnel door commercie kan voorkomen worden door de commercie aan beide uitgangen te plaatsen, tussen de entreezones en de fietsenstallingen in. De meerlaagse fietsenstallingen zijn bij Den Haag Laan van NOI ook een bottleneck qua CO₂. Bij geen van de varianten kan de doelstelling van 55% reductie gerealiseerd.

GWP_a-conventioneel nieuw gemiddelde drie varianten
 11.530.000 kgCO₂eq

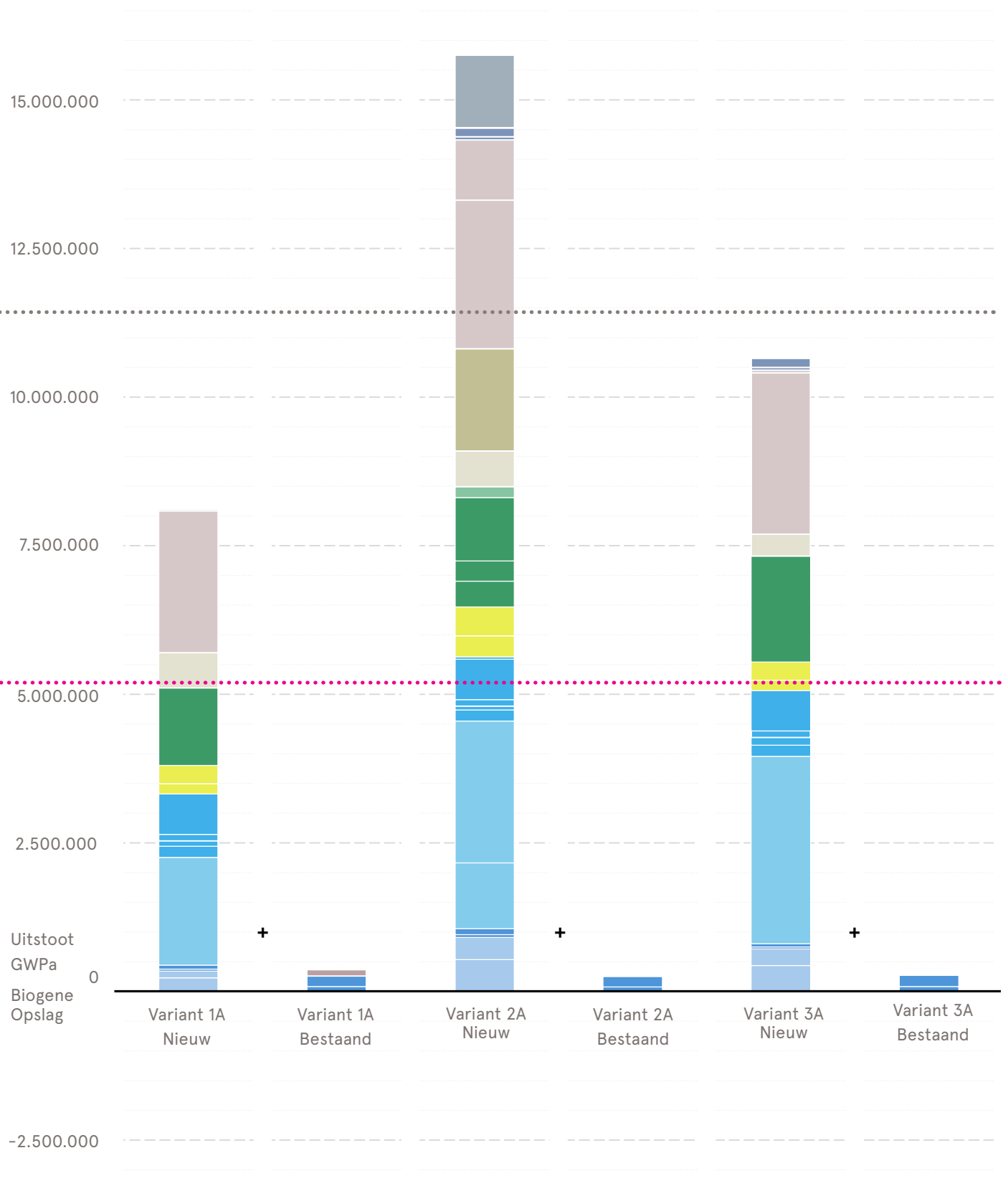
-55%



GWP_a-doel nieuw -55% gemiddelde drie stations
 9.500.000 kgCO₂eq

Legenda bouwstenen

- Kantoor op station
- Logistiek en hulpdiensten
- Interwijk auto
- P+R
- Taxi en K&R
- Tram
- Bus
- Interwijk fiets
- Fietsenstalling
- Interwijk voetganger
- Stationsplein
- Ondersteunend / techniek
- Commercie
- Stationshal
- Stijgpunten
- Tunnel / Passerelle
- Perron
- Perronkappen



GWPa station en omgeving en GWPa per bouwsteen.

Er is per variant onderscheid gemaakt tussen nieuwbouw (linkerkolom) en aanpassing van bestaande bouwdeelen (rechterkolom). De kolommen zijn verder onderverdeeld in drie onderdelen: stationsoppervlak (blauw/geel/groen), de directe stationsomgeving (grijs) en vastgoed op het station (oranje). Vastgoedontwikkeling in de bredere omgeving van het station is wel onderzocht door GROUP A, maar niet in deze samenvatting opgenomen. Er is berekend wat de materiaalgelinkte CO₂-uitstoot (GWPa) is, uitgaande van conventioneel bouwen met voornamelijk nieuw beton, staal en glas. De resultaten laten zien dat hergebruik van bestaande gebouwen leidt tot een GWPa reductie ten opzichte van volledige nieuwbouw.

OV-knooppunt Dordrecht,
VenhoevenCS





Resultaat conventioneel Dordrecht

OV-knooppunt



OV-knooppunt: Dordrecht
Ontwerp: VenhoevenCS

Er zijn drie varianten onderzocht:

- Variant 1A, Basis
- Variant 1B, Monument
- Variant 1C, Duurzaamheid

Deze zijn in de eerste stap doorgerekend met conventionele materialen als staal en beton. De verschillen in CO₂-footprint worden vooral veroorzaakt door de toepassing van een tunnel versus een passerelle en het verschil in de mate van hergebruik.

Daarmee scoort de variant 3A, Duurzaamheid voor wat betreft het station, het beste op zowel de totale CO₂-footprint, als op de GWPa.

Het station zelf heeft de grootste GWPa. De omgeving is, afhankelijk van de ingreep uiteraard, minder CO₂-intensief.

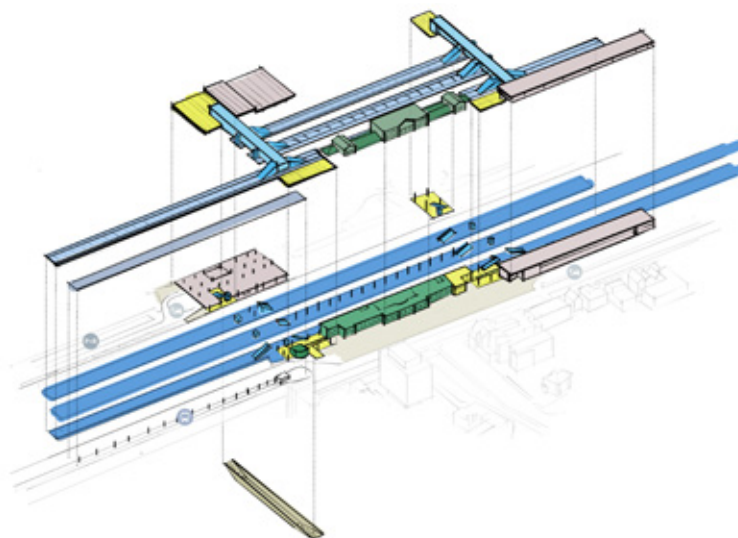
De varianten zijn doorgerekend op basis van tekeningen van oktober 2024 (onderdeel Nota Kansrijke Oplossingsrichtingen).

De varianten in de MIRT-verkenning zijn bij verschijnen van deze samenvatting (medio 2025) verder doorontwikkeld, maar op hoofdlijnen nog steeds hetzelfde.

In vergelijking met het originele rapport van GROUP A zijn de getallen afgerond.



Variant 1A - Basis
station 9.610.000 kg CO₂eq
omgeving 265.000 kg CO₂eq

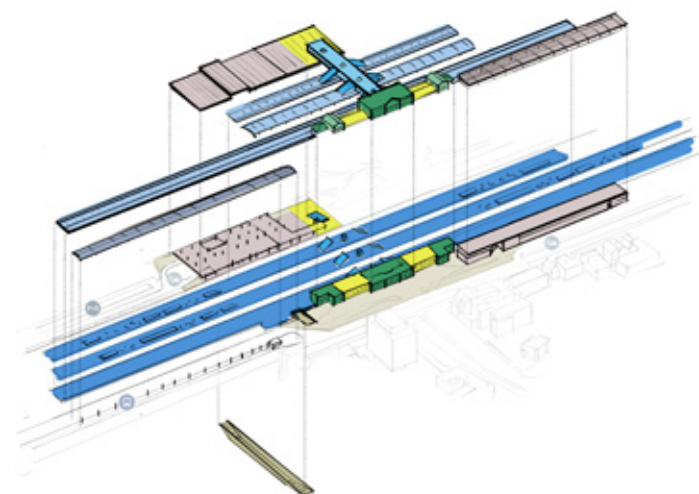
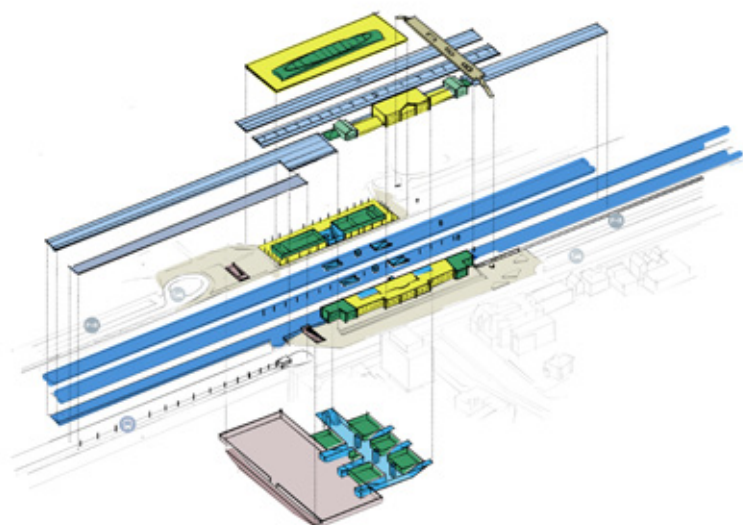


- Twee nieuwe passerelles die overspannen van stationsplein tot Weizigtpark.
- Verbinding passerelle met nieuwe fietsenstalling (2024) aan parkzijde.
- Optopping huidige fietsenstalling aan centrumzijde.
- Hergebruik bestaand gebouw vooral als commerciële ruimte. Entrees naar passerelles en perrons niet meer via het monumentale gebouw, maar met entrees aan de passerelles.
- 8 liften en 10 trappartijen.
- Perron aan monumentale gebouw wordt verbreed naar stadskant.
- Renovatie perronkap 1 ter hoogte monumentale gebouw, verplaatsing en modificatie perronkap 2 (toevoegen glazen middendeel), overige kappen nieuw.
- Bus, auto en K&R als bestaand.
- Behoud bestaande tunnel als interwijkverbinding fiets.



Variant 2A - Monument
station 23.070.000 kg CO₂eq
omgeving 400.000 kg CO₂eq

Variant 3A - Duurzaamheid
station 9.570.000 kg CO₂eq
omgeving 925.000 kg CO₂eq



- Een nieuwe centrale reizigerstunnel met aan weerszijde van de tunnel opgangen naar perrons, commercie in tunnel.
- Ondergronds fietsparkeren.
- Sloop van alle bestaande fietsenstallingen.
- Extra interwijkpasserelle voor voetgangers zonder stijgpunten perrons.
- Hergebruik bestaande gebouw vooral als commercie en stationshal met stijgpunten naar de tunnel.
- Nieuw stationsgebouw met commercie en stationshal aan parkzijde met stijgpunten naar de tunnel.
- 4 liften en 7 trappartijen.
- Perron aan monumentale gebouw wordt verbreed naar stadskant.
- Renovatie perronkap 1, aanpassen perronkap 2, overige kappen nieuw.
- Bus, auto en K&R als bestaand.

- Nieuwe centrale, brede passerelle.
- Verbinding passerelle met monumentaal stationsgebouw en met verlengde fietsenstalling aan parkzijde.
- Optopping en uitbreiding huidige fietsenstalling aan centrumzijde.
- Hergebruik bestaande gebouw vooral als commerciële ruimte en stationshal.
- 4 liften en 10 trappartijen ZONDER roltrappen.
- Perron aan monumentale gebouw wordt verbreed naar stadskant en de parkkant, alle andere perrons schuiven op naar parkkant.
- Alle perronkappen nieuw.
- Bus, auto en K&R als bestaand, kap busstation is nieuw.
- Behoud bestaande tunnel als interwijkverbinding fiets.

Conclusie conventioneel Dordrecht

OV-knooppunt



OV-knooppunt: Dordrecht
 Ontwerp: VenhoevenCS

Berekening conventioneel

Bij de analyse van de materiaalgebonden CO₂-impact per bouwsteen is uitgegaan van conventioneel bouwen met niet duurzame materialen, dat wil zeggen met name met nieuw beton, staal en glas. Per bouwsteen is de CO₂-uitstoot in kaart gebracht volgens een uniforme kleurcodering die aansluit bij de stationsdomeinen uit het Stationsconcept. Zowel het station zelf als de omgeving is daarbij meegenomen.

Daarnaast is het nationale reductiedoel voor 2030 – een vermindering van 55% CO₂ – als referentie meegenomen. Om dit doel op een evenwichtige manier te toetsen, is gekozen om het gemiddelde van de drie varianten als uitgangspunt (100%) te hanteren, voor zowel nieuwbouw als hergebruik van bestaande bouw. Vervolgens is berekend welke reductie ten opzichte van dit gemiddelde wordt bereikt.

Conclusies per variant

Variant 1A-Basis
 GWP_a station: 9.610.000 kgCO₂eq
 GWP_a omgeving: 265.000 kgCO₂eq
 BVO station/omgeving: 41.120/20.030 m²
 Variant 1 en 3 hebben een vergelijkbare hoeveelheid GWP_a met ieder iets andere bouwstenen en iets andere m² bestaande en nieuw.

Variant 2A-Monument
 GWP_a station: 23.070.000 kgCO₂eq
 GWP_a omgeving: 400.000 kgCO₂eq
 BVO station/omgeving: 45.710/19.965 m²
 De centrale tunnel en de ondergrondse stalling zorgen voor een grote verhoging van de GWP_a.

Variant 3A-Duurzaamheid
 GWP_a: 9.570.000 kgCO₂eq
 GWP_a omgeving: 925.000 kgCO₂eq
 BVO station/omgeving: 42.880/21.415 m²
 De passerelle heeft een flinke GWP_a-reductie ten opzichte van de tunnel.

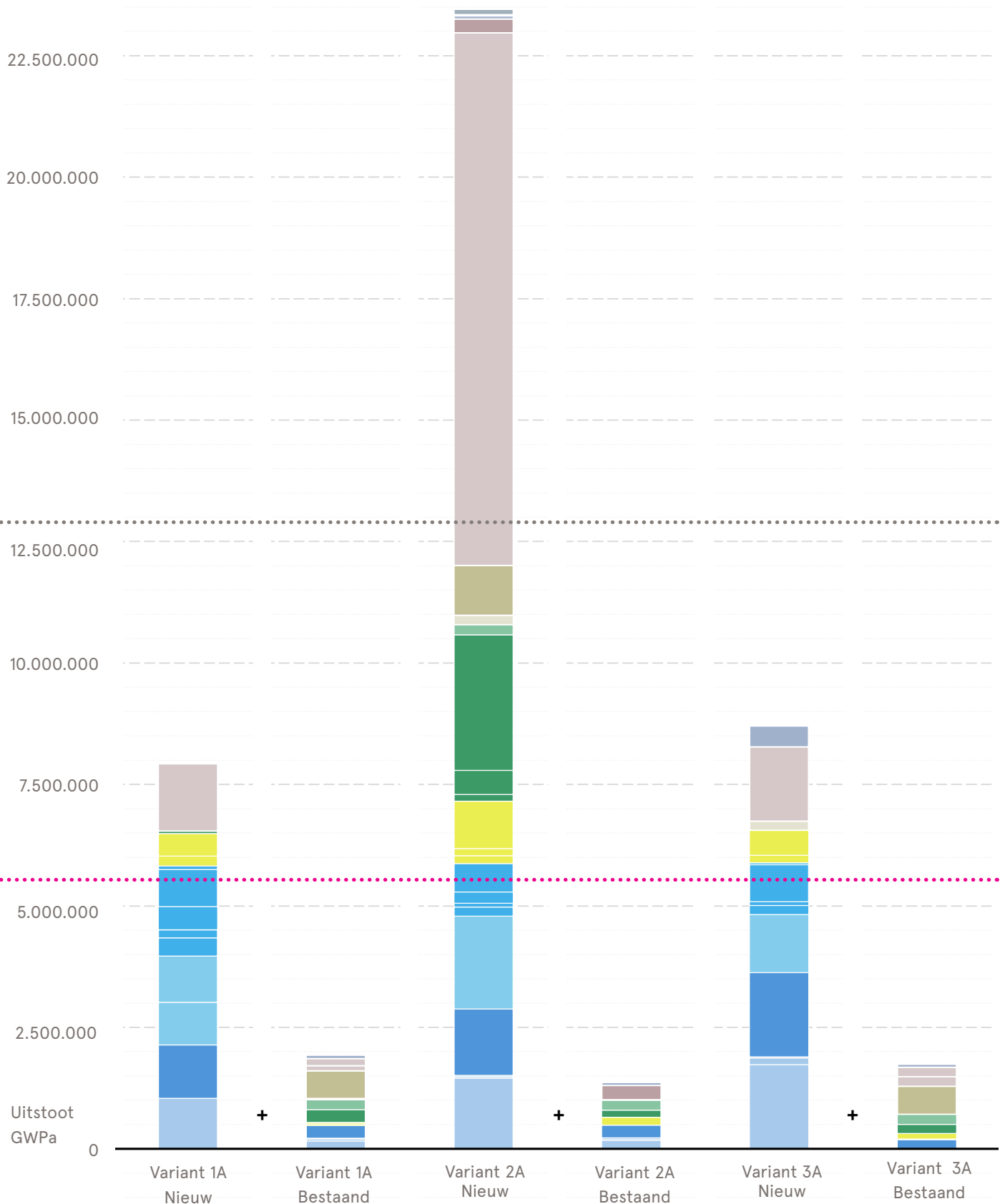
Met conventioneel bouwen wordt met de varianten 1 en 3 de doelstelling van 55% reductie bijna gerealiseerd. Dat geeft wel een enigzins vertekend beeld, omdat variant 2 een hoge footprint heeft.

.....
 GWP_a-conventioneel nieuw gemiddelde drie varianten
 12.905.000 kgCO₂eq



.....
 GWP_a-doel nieuw -55% gemiddelde drie varianten
 5.805.000 kgCO₂eq

- Legenda bouwstenen
- Kantoor op station
 - Logistiek en hulpdiensten
 - Interwijk auto
 - P+R
 - Taxi en K&R
 - Tram
 - Bus
 - Interwijk fiets
 - Fietsenstalling
 - Interwijk voetganger
 - Stationsplein
 - Ondersteunend / techniek
 - Commercie
 - Stationshal
 - Stijgpunten
 - Tunnel / Passerelle
 - Perron
 - Perronkappen



GWPa station en omgeving en GWPa per bouwsteen.

Er is per variant onderscheid gemaakt tussen nieuwbouw (linkerkolom) en aanpassing van bestaande bouwdelen (rechterkolom). De kolommen zijn verder onderverdeeld in drie onderdelen: stationsoppervlak (blauw/geel/groen), de directe stationsomgeving (grijs) en vastgoed op het station (oranje). Vastgoedontwikkeling in de bredere omgeving van het station is wel onderzocht door GROUP A, maar niet in deze samenvatting opgenomen. Er is berekend wat de materiaalgebonden CO₂-uitstoot (GWPa) is, uitgaande van conventioneel bouwen met voornamelijk nieuw beton, staal en glas. De resultaten laten zien dat hergebruik van bestaande gebouwen leidt tot een GWPa reductie ten opzichte van volledige nieuwbouw.

Circulair beton

Uitleg circulair en cementloos beton in rekenvoorbeelden

In Opgave 1 en 2 is berekend wat het effect is van maximaal circulair beton op de milieubelasting (GWPa) in infrastructurele projecten, met name voor onderdelen die per se in beton moeten worden uitgevoerd, zoals tunnels. Maximaal gebruik van circulair beton – bestaande uit gerecycled granulaat, hergebruikt cement, zand en staal – kan de GWPa met circa 80% verlagen ten opzichte van traditioneel beton.

Omdat dit type beton nu en de toekomst slechts beperkt beschikbaar is, is het in de studie enkel toegepast op constructies waar beton onvermijdelijk is. Voor andere onderdelen is gekeken naar vervanging van beton door biobased alternatieven. Zo wordt zowel in Opgave 1 als Opgave 2 het bovengrondse beton grotendeels vervangen door biobased materialen, wat leidt tot een reductie van 60–85% in betonvolume voor de bovengrondse delen.

De beschikbaarheid van maximaal circulair beton is een knelpunt. Er zijn op dit moment maar een paar leveranciers: Rutte Urban Mining, C2CA Technology, ABC mortel en Reduux.

Zelfs als al het sloopbeton in Nederland zou worden hergebruikt, zou dat slechts in 20% van de jaarlijkse betonvraag kunnen voorzien. De rest blijft afhankelijk van nieuw materiaal, tenzij de vraag naar beton drastisch (met 80–88%) afneemt.

Daarnaast wordt binnen ProRail onderzocht of cementloos beton (zoals geopolymeerbeton of zwavelbeton) een alternatief kan zijn. Geopolymeerbeton is qua impact vergelijkbaar met circulair beton, maar is nu nog veel duurder en beperkt toepasbaar. ProRail verwacht rond 2030 de eerste toepassingen.

Conclusie

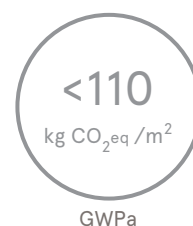
Circulair beton is waardevol, maar nu nog beperkt beschikbaar. Hoewel circulair beton technisch haalbaar is – met inzet van gerecycled materiaal zoals betongranulaat, zand, gravel en cement. Of bijvoorbeeld met geopolymeren en CO₂-arm cement – blijft de opschaling in de praktijk beperkt. De beleidsambitie van 100% circulair beton in 2030 is begrijpelijk als richtinggevend doel, maar in de praktijk onhaalbaar – niet alleen vanwege technische en economische belemmeringen, maar ook door de beperkte beschikbaarheid van geschikt secundair materiaal. Op basis van kritische literatuur en sectorrapporten zijn de volgende realistische schattingen te maken voor 2030:

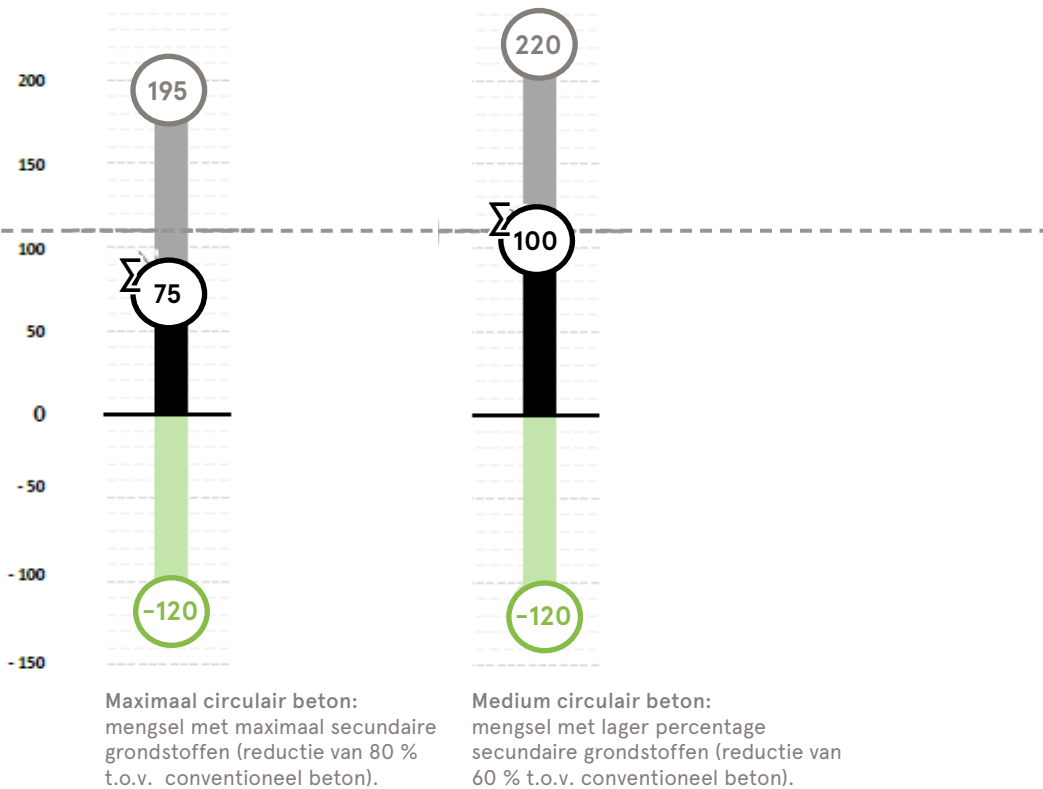
- In 2024 wordt circa 10% van het gesloopte beton hergebruikt voor nieuw beton. Er is potentieel om dit te verhogen naar 20–25% in 2030.
- Bij 25% hergebruik van sloopbeton blijft het aandeel circulair beton in de totale nieuwbouw naar verwachting tussen de 5 en 7%.
- Zelfs bij 100% hergebruik van beschikbaar sloopbeton kan maximaal 20% van de totale betonvraag hiermee worden afgedekt.

Wanneer in de ontwerpfase te gemakkelijk 100% circulair beton als oplossing wordt ingezet, worden fundamentele keuzes vermeden. Op papier lijkt dan een forse CO₂-reductie haalbaar, maar in de verdere uitwerking blijkt die reductie vaak onrealistisch.

De grootste en meest realistische CO₂-winst ligt in het voorkomen van gewapend beton. Daarom is het essentieel dat in de vroege projectfasen – zoals in MIRT-verkenningen en haalbaarheidsstudies – bewust wordt gestuurd op het minimaliseren van beton. Alleen dan kan de CO₂-uitstoot daadwerkelijk aanzienlijk worden teruggedrongen.

Paris Proof 2030





Rekenvoorbeeld Den Haag Laan van NOI, variant 3: GWPa van het hele station. Links met toepassing van maximaal circulair beton met lagere GWPa en rechts medium circulair beton met hogere GWPa. Conclusie is de beschikbaarheid van circulair beton heeft grote invloed op de totale GWPa.

Resultaten maximaal circulair en biobased

OV-knooppunt 's-Hertogenbosch

Nadat alle varianten zijn uitgerekend met conventionele materialen, is de GWPa doorgerekend van maximaal circulaire en biobased varianten. Daardoor wordt de GWPa lager. Maar de Paris Proof doelen zijn nog lastig te realiseren.

Op de volgende pagina is de GWPa in $\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{m}^2$ weergegeven voor alleen de bouwdelen station, dus zonder omgeving.



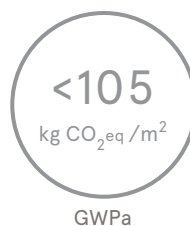
GWPa totaal conventioneel

- De verschillen tussen de variant tunnel en de andere twee varianten zijn groot. (tot 33%).
- Varianten 2A en 3A liggen veel dichterbij elkaar. Een verschil is dat variant 2A meer GWPa heeft door een hogere ligging van de passerelle en meer roltrappen. Daarnaast heeft variant 2A een gesloten entreehal.
- Variant 3A heeft door deze conventioneel te bouwen de laagste absolute GWPa.

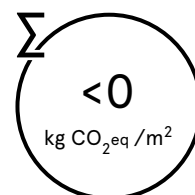
GWPa totaal maximaal circulair en biobased

- Het verschil tussen variant 1A en varianten 2B en 3B neemt procentueel toe, maar variant 1A blijft de grootste uitstoter.
- Variant 3B heeft door deze maximaal circulair en maximaal biobased uit te voeren de laagste absolute GWPa.
- Variant 2B heeft de meeste potentiële biogene opslag.

Paris Proof 2030



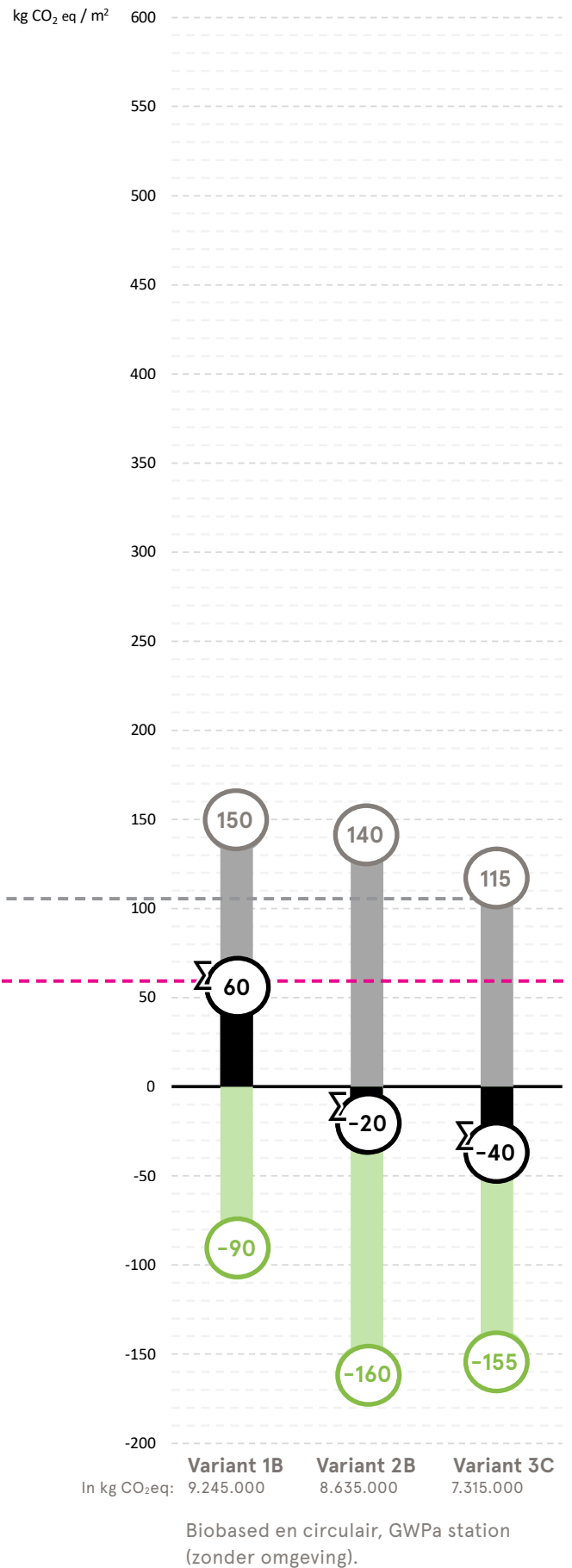
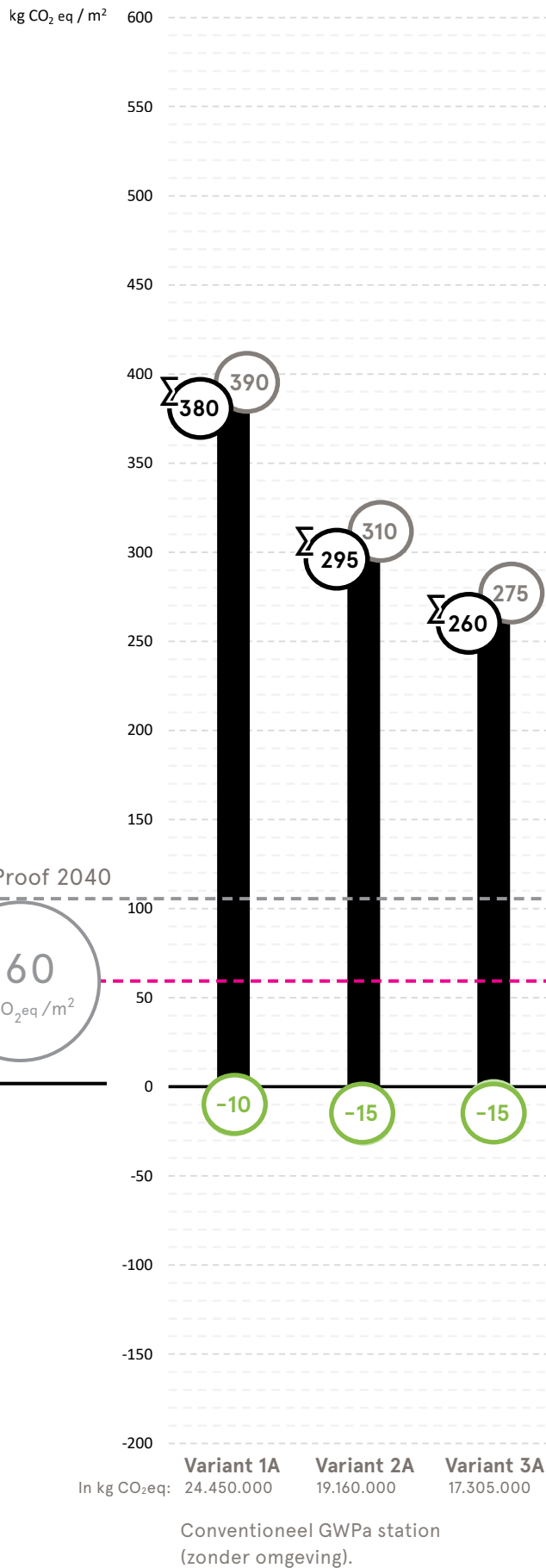
Klimaatneutraal



Paris Proof 2030
GWPa $\text{kg CO}_2\text{eq}/\text{m}^2$



Nieuw Bestaand



Resultaten maximaal circulair en biobased

OV-knooppunt Den Haag Laan van NOI

Nadat alle varianten zijn uitgerekend met conventionele materialen, is de GWPa doorgerekend van maximaal circulaire en biobased varianten. Dat zorgt voor een aanzienlijke reductie van CO₂-emissies. Echter doordat er in het ontwerp gekozen is voor een tunnel, is de CO₂-uitstoot van het ontwerp hoger dan de Paris Proof normen.

Op de naastgelegen pagina is de GWPa in kgCO₂eq/m² weergegeven voor alleen de bouwdelen station, dus zonder omgeving.



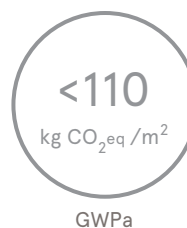
GWPa totaal conventioneel

- Hoe meer programma en hoe meer tunnel hoe meer GWPa totaal. Alternatief 1 (het basisalternatief) heeft door deze conventioneel te bouwen de laagste absolute GWPa.

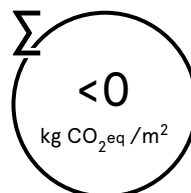
GWPa totaal maximaal circulair en biobased

- Alternatief 1 (basis) heeft door deze maximaal circulair te bouwen de laagste absolute GWPa.
- Variant 2 (verbinder) heeft de meeste potentiële biogene opslag.
- Hoe groter en complexer de variant, hoe groter de absolute GWPa-impact.
- Target 55% reductie: Varianten 1 en 3 kunnen door maximaal circulair en biobased te bouwen een absolute reductie van 55% of meer halen ten opzichte van de basis uitstoot van de 3 varianten conventioneel gebouwd.

Paris Proof 2030



Klimaatneutraal

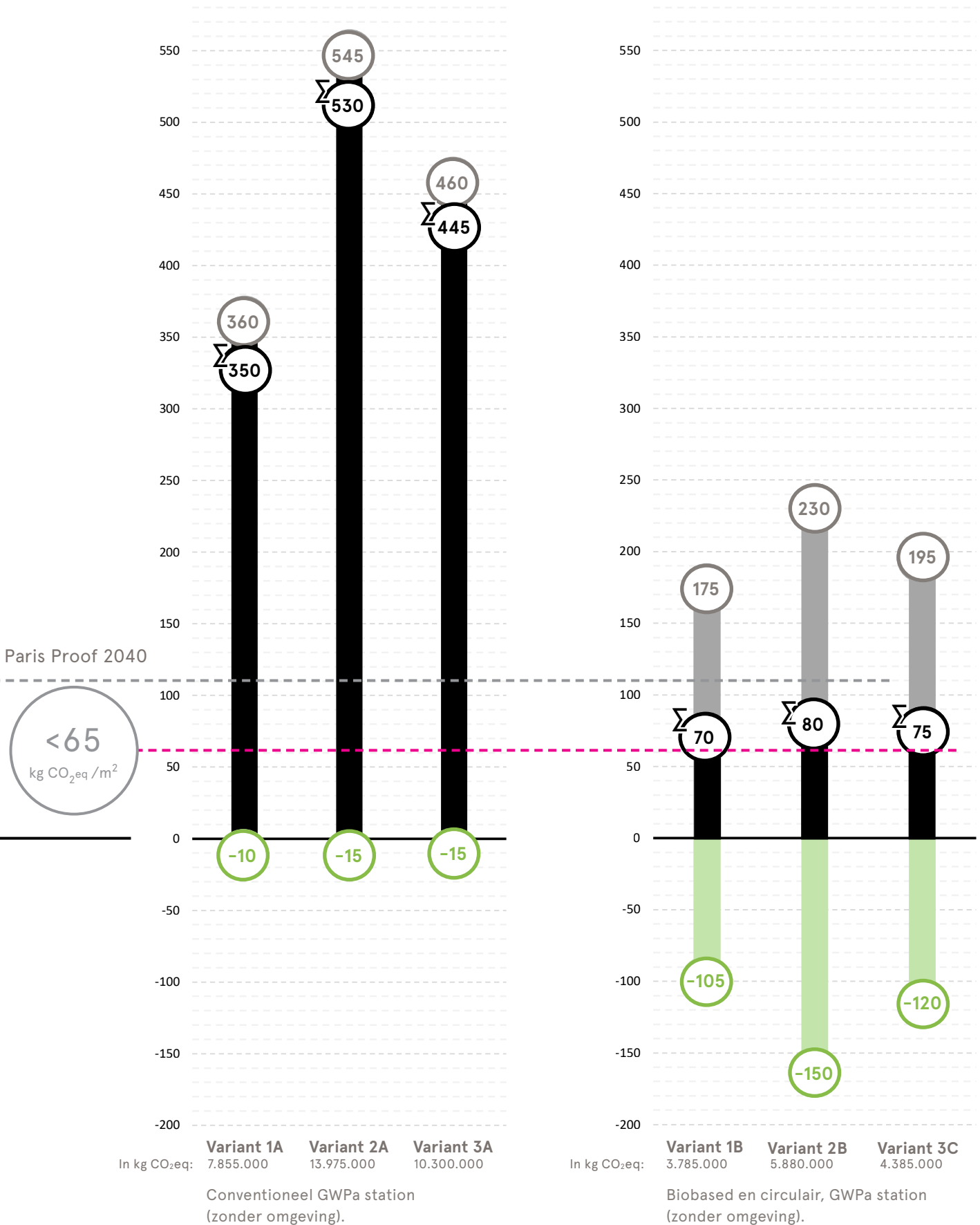


Paris Proof 2030
GWPa kg CO₂eq/m²



Nieuw

Bestaand



Resultaten maximaal circulair en biobased

OV-knooppunt Dordrecht

Nadat alle varianten zijn uitgerekend met conventionele materialen, is de GWPa doorgerekend van maximaal circulaire en biobased varianten. Dat maakt wel het verschil: voor sommige varianten komt Paris Proof 2030 daarmee in het zicht. Op de volgende pagina is de GWPa in kgCO₂eq/m² weergegeven voor alleen de bouwdelen station, dus zonder omgeving.



GWPa totaal conventioneel

- Variant 3 heeft door deze conventioneel te bouwen de laagste absolute GWPa. Dat komt vooral door de passerelle en de (bovengrondse) fietsenstalling en commercie.
- Variant 3 heeft een flinke hoeveelheid zonnepanelen die andere varianten niet hebben. Om redenen van vergelijkbaarheid zitten de zonnepanelen niet in de berekeningen verwerkt. Als deze wel meegerekend moeten worden dan zouden ze een enorme invloed hebben op de GWPa. Maar dan moeten ook aannames worden gedaan over PV-cellen in de andere twee varianten.

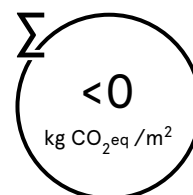
GWPa totaal maximaal circulair en biobased

- Variant 3 (Duurzaamheid) heeft door deze maximaal circulair maximaal biobased te bouwen de laagste absolute GWPa.
- Variant 3 heeft de meeste potentiële biogene opslag.
- Variant 3 kan bijna klimaatneutraal worden uitgevoerd als er flinke stappen worden gezet in circulair materiaalgebruik.

Paris Proof 2030



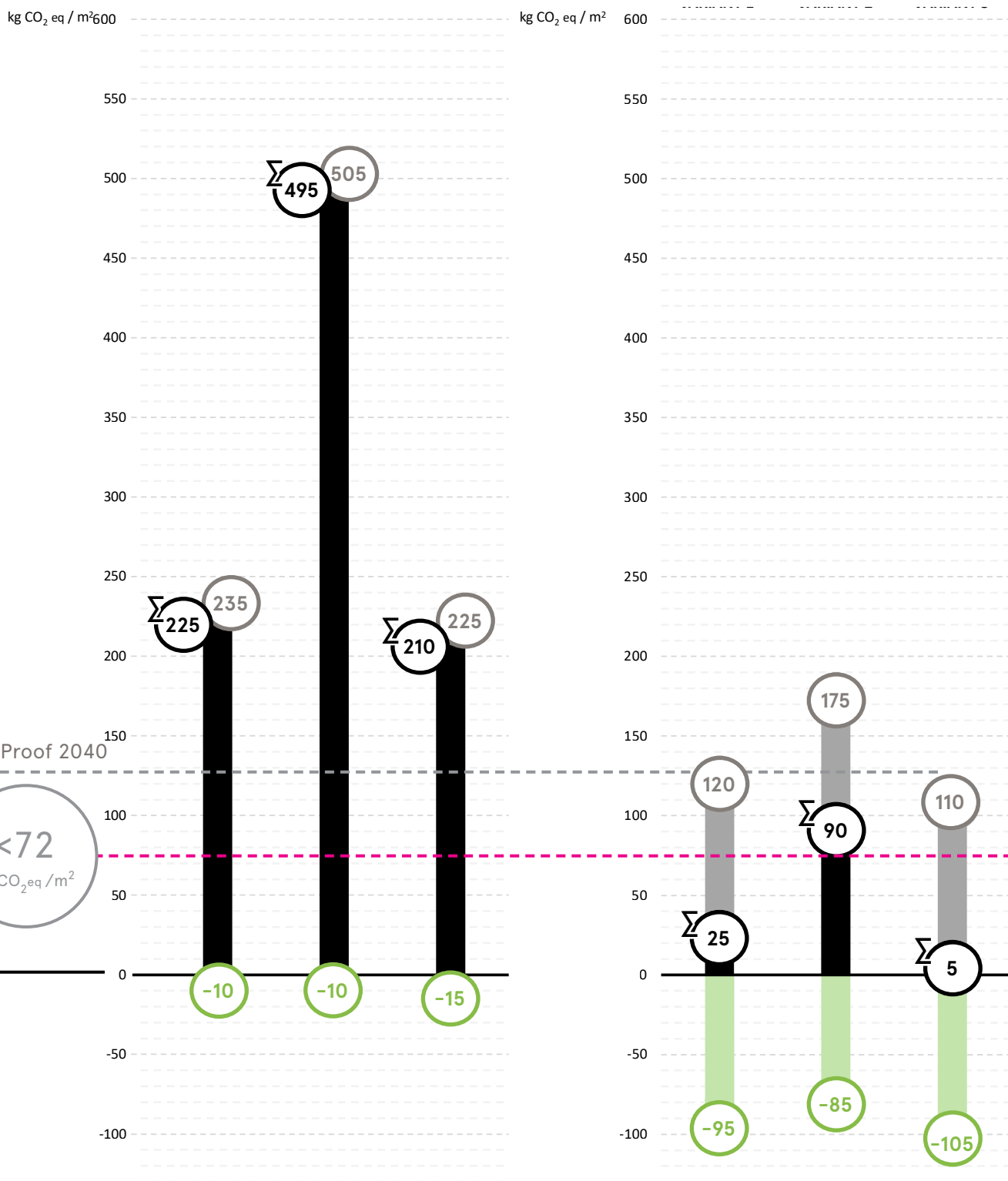
Klimaatneutraal



Paris Proof 2030
GWPa kg CO₂eq /m²



Nieuw Bestaand



Variant 1A **Variant 2A** **Variant 3A**
 In kg CO₂eq: 9.610.000 23.070.000 9.570.000

Conventioneel GWPa station
 (zonder omgeving).

Variant 1B **Variant 2B** **Variant 3C**
 In kg CO₂eq: 4.965.000 7.910.000 4.670.000

Biobased en circulair, GWPa station
 (zonder omgeving).

Conclusie onderzoek

Hoe wil ProRail haar ambities realiseren?

Nu de resultaten van het ontwerp onderzoek naar Paris Proof OV-knooppunten bekend zijn, is het interessant deze aan te leggen tegen de ambities van ProRail en het Rijksbeleid. Het uitgangspunt is een reductie van 55% in 2030.

Uit dit ontwerp onderzoek blijkt dat het mogelijk is om met een reeks stevige ontwerpingsrepen op niveau van materiaalkeuze en bouwsteenconfiguratie een stationsontwikkeling zodanig aan te passen dat deze gerealiseerd kan worden binnen de gestelde reductiedoelstelling van 55%, mits de stap gemaakt wordt van conventionele naar circulaire materialen. Voor ondergrondse oplossingen wordt dat een stuk lastiger, omdat materialen zoals circulair beton wellicht nog onvoldoende voorhanden zijn.

De doelstelling van 100% reductie in 2050 is veel lastiger te behalen. Deze wordt met de kennis en rekenmethoden van dit moment niet gehaald, wanneer we alleen kijken naar de bruto emissie.

Dordrecht klimaatneutraal?

Tot nu toe hebben we alleen naar de GWPa gekeken en de biogene opslag apart in beeld gebracht, conform de huidige rekenregels en Paris Proof methode.

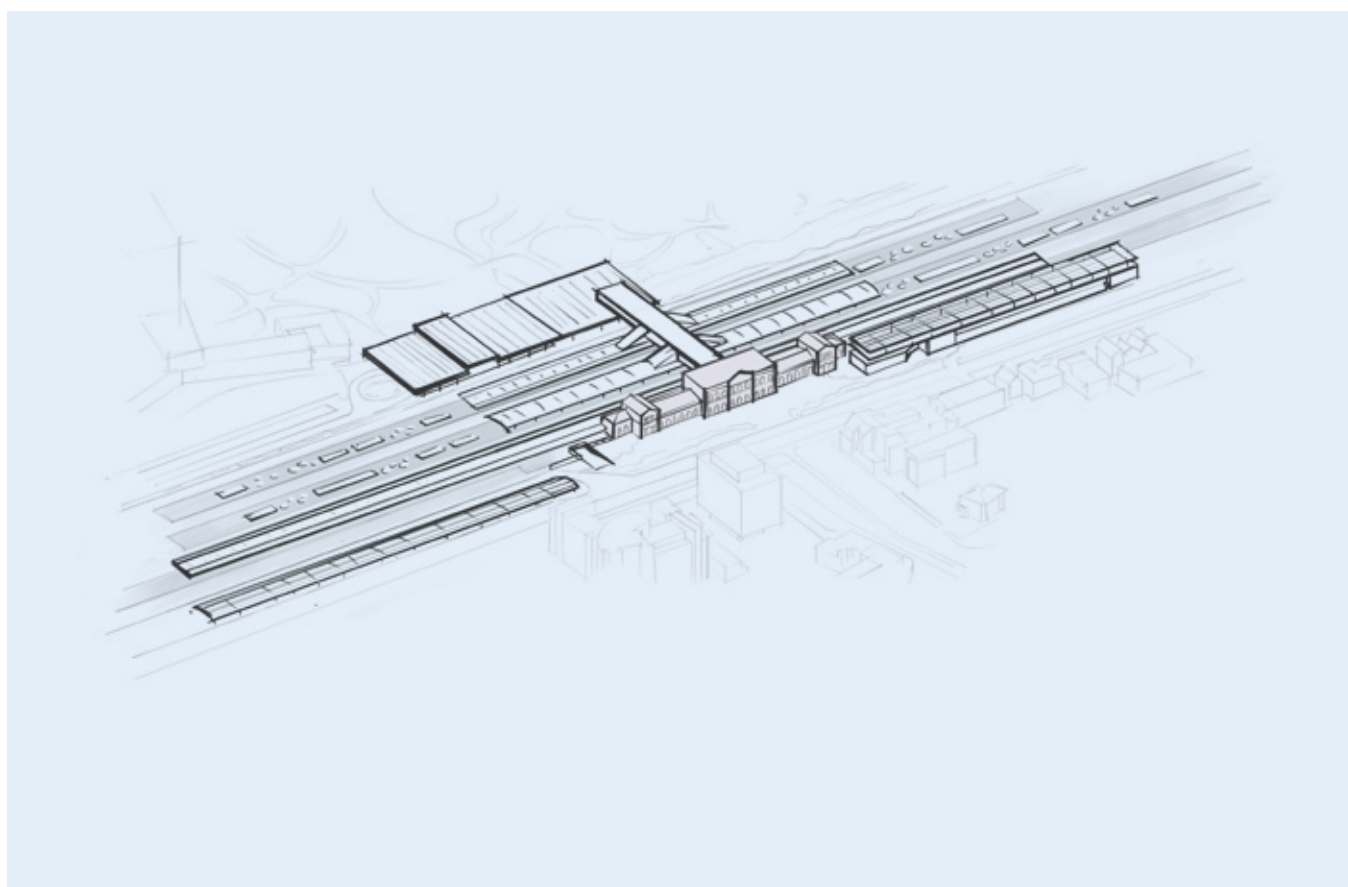
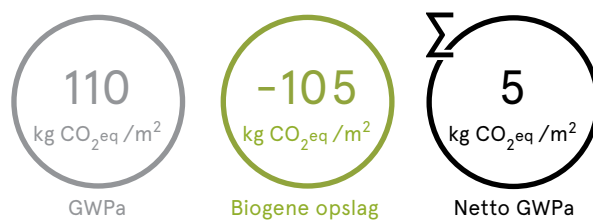
Als de biogene opslag volledig afgetrokken mag worden van de uitstoot- zie bijvoorbeeld de OV-knoop Dordrecht, variant 3 Duurzaamheid- dan lijkt klimaatneutraal bij sommige OV-knopen mogelijk.

Zo heeft Dordrecht een netto GWPa van 5 kg CO₂eq/m². Daarmee is dit station vrijwel klimaatneutraal. Het is zeer goed denkbaar dat deze variant met nog wat extra inspanning naar 0 of minder dan 0 kg CO₂ eq./m² kan zakken.

Voor de andere knopen wordt het een stuk lastiger, zonet onmogelijk, omdat er ondergrondse delen en tunnels met veel beton nodig zijn.

		2030	2050
Ambitie ProRail		55% reductie	100% reductie
Dordrecht	Conventioneel	225 kg CO ₂ eq /m ²	0 kg CO ₂ eq /m ²
		2030 Ambitie	2050 Ambitie

De ambities van ProRail voor Dordrecht voor 2030 zijn mogelijk als je van conventioneel naar maximaal circulair en biobased gebouwd uit gaat en kiest voor de meest duurzame variant (variant 3). Maar de opgave is wel zodanig groot dat deze invloed zal hebben op het Programma van Eisen (PvE) en materiaal- en ontwerpkeuzes.

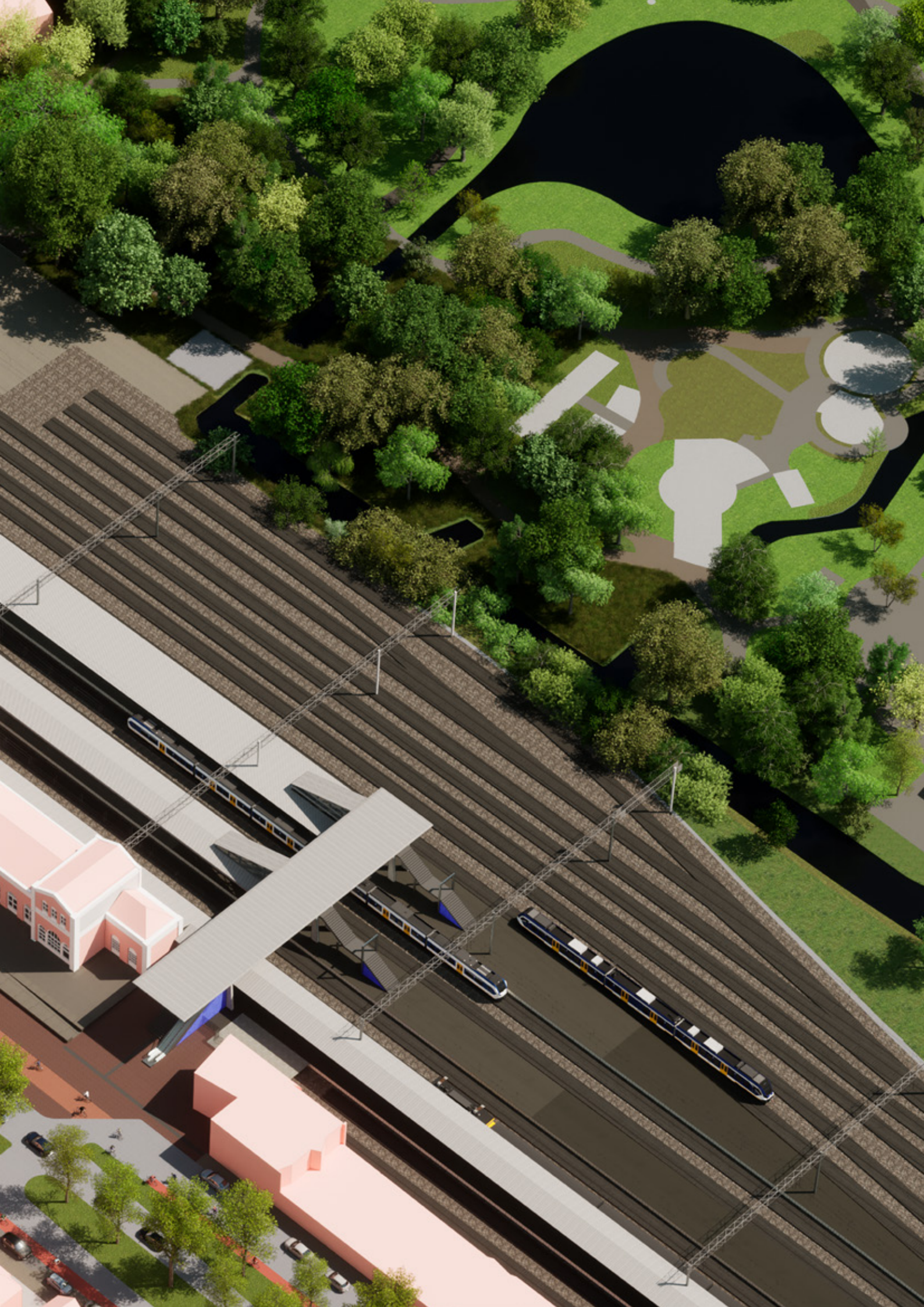


Dordrecht kan bijna klimaatneutraal worden uitgevoerd als er met maximaal circulaire en biobased materialen kan worden gebouwd.

OV-knooppunt Dordrecht, VenhoevenCS



Bestaande situatie



Reflecties van betrokken architecten

Team V / Arup, Anja Blechen 's-Hertogenbosch

De impactanalyse van materiaalgebonden CO₂-uitstoot helpt niet alleen duurzame materiaalkeuzes te maken in een vroege ontwerpfase, maar geeft vooral inzicht hoe met slimme ontwerpkeuzes en ruimtelijke configuraties de CO₂-uitstoot verlaagd kan worden.

Toen wij in 2023 begonnen aan deze MIRT-studie voor 's-Hertogenbosch waren de belangrijkste ontwerpvoorstellen: hoe faciliteer je de capaciteitsuitbreiding en hoe maak je een kwaliteitssprong in de stationsomgeving en wat heb je daarvoor nodig: een tunnel of een passerelle? De tunnelvariant scoorde toen al slecht op maakbaar- en haalbaarheid en daar kwam vanuit deze analyse ook nog de grote milieu-impact van beton bovenop.

Ook het inzicht dat met name - de glazen gevels van een nieuwe gesloten stationshal op maaiveld, de extra vierkante meters commerciële voorzieningen en de lengte en aantallen van roltrappen bij een nieuwe hogere passerelle - de CO₂-footprint vergroten is waardevol.

De inzet op hergebruik in het project (bestaande ondergrondse stallingen en hergebruik stationscasco) geeft een aanzienlijk lager CO₂-emissie dan nieuwbouw.

In de ontwerpvisie voor Bosch Centraal - het stationspark als groene verbinder voor iedereen- wordt aangetoond dat integratie van het bestaande - waarbij optimaal gebruik wordt gemaakt van wat er al ligt - niet hoeft te conflicteren met het realiseren van de ruimtelijk kwaliteit.

Het ligt voor de hand om bovenstaande bevindingen mee te laten wegen bij het opstellen van de onderzoeksvraag richting de planfase, zodat de expertise binnen de ontwerp- en adviesbureaus optimaal benut kan worden bij de uitwerking vanaf plan naar uitvoeringfase van de MIRT-projecten.

VenhoevenCS, Danny Esselman, Marten Wassmann, Dordrecht

De revitalisatie en optimalisatie van station Dordrecht kent drie samenhangende opgaven. Het gaat enerzijds om het stimuleren van het gebruik van het openbaar vervoer door te voldoen aan eisen op het gebied van veiligheid, functionaliteit en comfort. Anderzijds speelt het station een sleutelrol in de stedelijke ontwikkeling, mede vanwege het grote woningbouwprogramma in stad en regio. Als derde opgave wordt het monumentale station opnieuw gepositioneerd als betekenisvol mobiliteitsadres in Dordrecht - zowel fysiek als symbolisch. Die ligging maakt het uniek binnen de vier stations aan de Oude Lijn die momenteel worden onderzocht.

Vanuit het oogpunt van CO₂-reductie is een passerelle aantrekkelijker dan een tunnel. Tegelijkertijd zijn trappen naar passerelles doorgaans langer dan naar tunnels, wat ten koste gaat van comfort en daarmee van de aantrekkelijkheid van een station. Daarbij komt dat bovengrondse constructies zoals passerelles complexer zijn om esthetisch, functioneel en constructief in te passen, zeker bij monumentale stations als Dordrecht.

Het project vraagt om een integrale afweging van uiteenlopende vraagstukken als CO₂-uitstoot en -opslag, veiligheid, comfort, inpassing en kosten. In het geval van station Dordrecht is de oplossingsrichting met de laagste materiaalgebonden CO₂-uitstoot óók de financieel voordeligste qua bouwkosten. Lifecycle-kosten zijn nu slechts beperkt meegewogen.

De reflectie op CO₂-reductie en -opslag helpt ons om het afwegingskader te verbreden en te komen tot een oplossing die niet alleen duurzaam is in milieutechnische zin, maar ook in functioneel, sociaal en economisch opzicht.

Team V Architectuur/Arcadis, Ceren Kaya Den Haag Laan van NOI

De CO₂-impactanalyse van station Den Haag Laan van NOI levert inzicht in de verschillende ontwerpvarianten en materiaaltoepassingen, met als doel Paris Proof stations te realiseren. Deze analyse verdiept het inzicht in ontwerpbeslissingen die materiaalgebonden emissies beïnvloeden en laat zien hoe interventies in een vroeg stadium kunnen leiden tot duurzamere ontwerpen. Het onderzoek bevestigt, zoals verwacht de grote milieu-impact van conventionele materialen zoals beton, staal en glas. Maar ook de grote impact van specifieke elementen zoals roltrappen, dit leidde in het MIRT-project tot een heroverweging van de noodzaak van roltrappen. Ook de grote CO₂-footprint van een meerlaagse fietsenstalling laat de noodzaak zien van een zorgvuldige afweging bij toekomstige ontwerpkeuzes.

Het vergelijken van verschillende ontwerpvarianten laat zien hoe ruimtelijke beslissingen – zoals de afmetingen van tunnels en het opnemen van commerciële functies – direct van invloed zijn op de totale CO₂-uitstoot. Met name korte tunnels, in combinatie met commerciële ruimten blijkt minder effectief, zowel in termen van duurzaamheid als functionaliteit. Dit heeft ons ertoe aangezet om een meer gedetailleerde analyse van het programma en mogelijke ontwerpingrepen te doen.

Wij denken dat dit onderzoek het belang onderstreept van geïntegreerde, data-gestuurde ontwerpmethoden die de klimaatdoelstellingen ondersteunen. Het

opnemen van duurzaamheidscriteria vanaf het begin helpt om afwegingen transparanter te maken en ondersteunt beslissingen gebaseerd op zowel prestaties als milieu-impact op de lange termijn. Door ons te richten op ruimtelijke efficiëntie, het vermijden van onnodige componenten of volume en het gebruik van alternatieve materialen zoals hout en biobeton, kunnen we de uitstoot aanzienlijk verminderen, zonder afbreuk te doen aan de functionaliteit van een station.

In de toekomst zal Team V de nadruk blijven leggen op hergebruik van materialen, onnodige extra ruimtevraag beperken en CO₂-prestatie-eisen integreren in de projectaanpak. Op deze manier dragen we bij aan de ontwikkeling van verantwoorde en toekomstbestendige stationsontwerpen.

Duurzaam realisme

Verschillen tussen varianten groot

In Opgave 2 is onderzocht hoe de CO₂-uitstoot (GWPa) van OV-knooppunten kan worden beperkt. Uit de berekeningen en analyses blijkt dat er aanzienlijke verschillen bestaan tussen ontwerpvarianten binnen dezelfde OV-knoop. Het maken van slimme configuratiekeuzes blijkt de grootste invloed te hebben op de CO₂-footprint. Door daarnaast maximaal circulair en biobased materiaalgebruik toe te passen, kan de CO₂-uitstoot met wel 70% worden teruggebracht.

Het aanpassen van de configuratie van een station maakt het verschil: niet ondergronds bouwen, bestaande tunnels hergebruiken, kiezen voor passerelles in plaats van tunnels en het beperken van het aantal stijgpunten zijn effectieve strategieën om CO₂ te besparen. Ook bij fietsenstallingen is winst te behalen: bovengrondse stallingen met lichte, biobased constructies zijn aanzienlijk duurzamer dan zware, ondergrondse varianten.

Duurzaam realisme

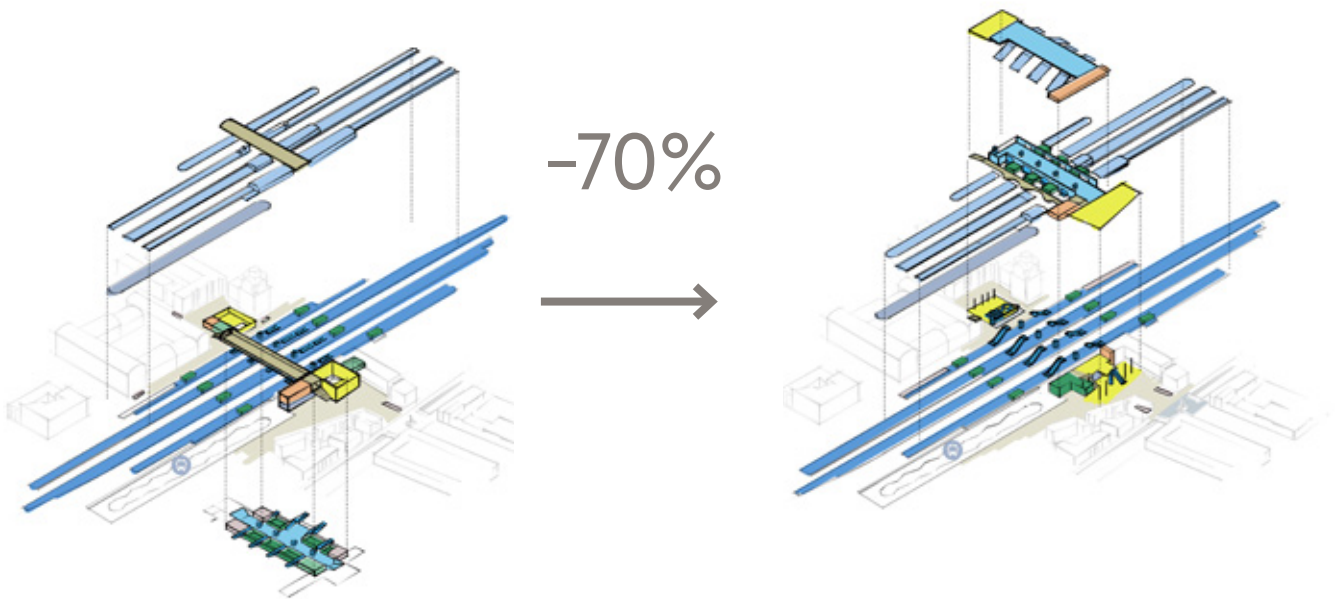
De ambitie van Paris Proof Stations vraagt om een nieuwe manier van denken: duurzaam realisme.

Plannen maken waarin slim hergebruik en een kritische blik op de omvang van de opgave centraal staan. Door tegelijk te sturen op CO₂-reductie en verstandig gebruik van middelen ontstaat niet alleen kostenbeheersing, maar vooral blijvende intrinsieke waarde voor de toekomst.

Minder grootschalige ingrepen blijken minstens zo aantrekkelijk voor de leefbaarheid en ruimtelijke kwaliteit.

Het idee dat 'haalbare' plannen minderwaardig zijn aan 'maximale' ontwerpen kan overboord. Het ideaal blijft: toegankelijke, aantrekkelijke stations die logisch verbonden zijn met hun omgeving en uitnodigen om te reizen met het openbaar vervoer

Interessant is dat varianten met een lagere CO₂-footprint vaak ook financieel gunstiger uitpakken. Minder complexe ontwerpen zijn dus niet alleen duurzamer, maar passen vaak ook beter binnen beschikbare budgetten en verlagen de druk op mensen en middelen in de bouwsector.



Variant 1, tunnel conventioneel
24.450.000 kg CO₂

Variant 3, passerelle biobased en circulair
7.305.000 kg CO₂

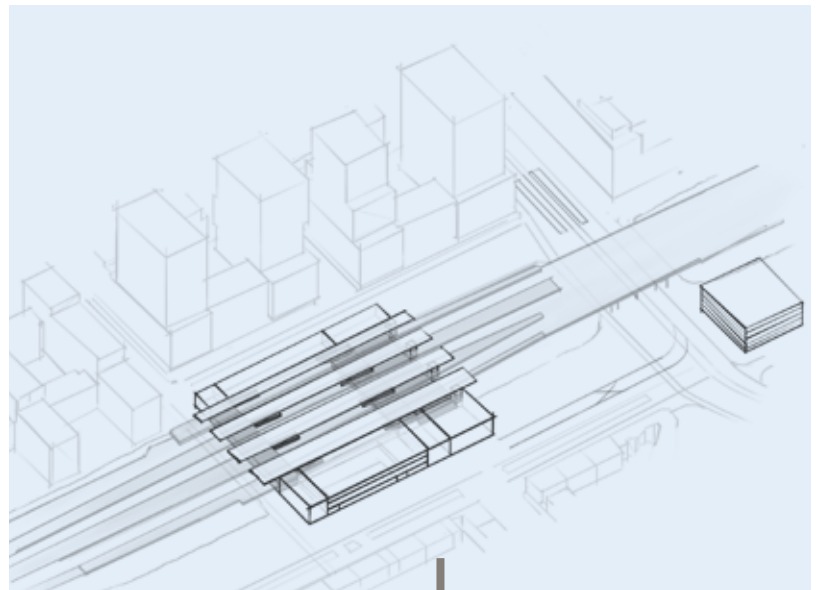
De verschillen tussen de varianten zijn groot, zoals bijvoorbeeld in 's-Hertogenbosch. Het verschil tussen een traditionele tunnel en een biobased traverse is circa 17.145.000 mio kg CO₂. Dat betekent een reductie van circa 70 %.

Begin met configuratie!

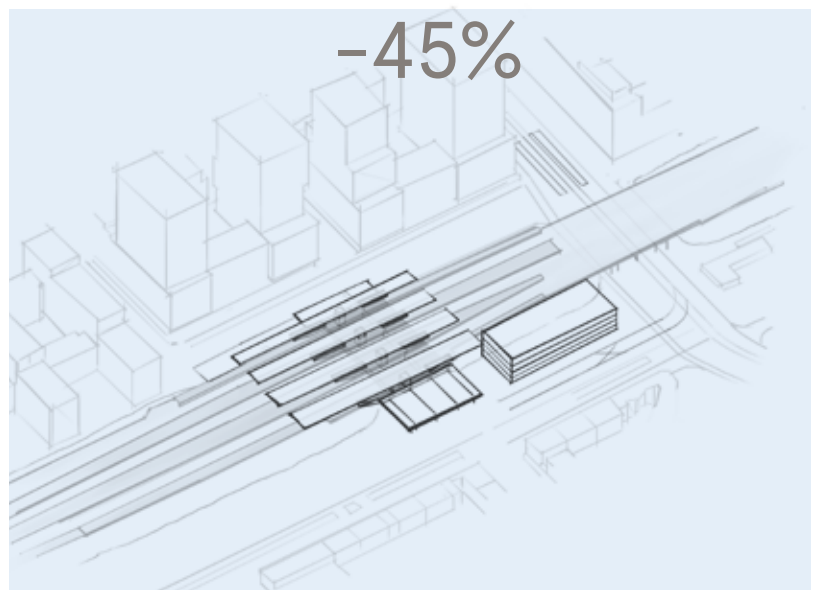
Hergebruik van bestaande gebouwen of gebouwdelen en het toepassen van een slimme configuratie van de bouwstenen zorgen voor een grote GWP_a-reductie.

- De belangrijkste plan- en ontwerpbeslissingen in relatie tot GWP_a worden helemaal vooraan in het proces genomen: bij het opstellen van het PVE en in de MIRT-fase.
- Begin met de GWP_a gedreven slimste configuratie van bouwstenen, voorkom tunnels en ander ondergronds programma.
- Beperk de ingreep.

Het voorbeeld hiernaast van Den Haag Laan van NOI laat zien dat er al een reductie van circa 45% mogelijk is als gekozen wordt voor een simpelere configuratie met één tunnel.

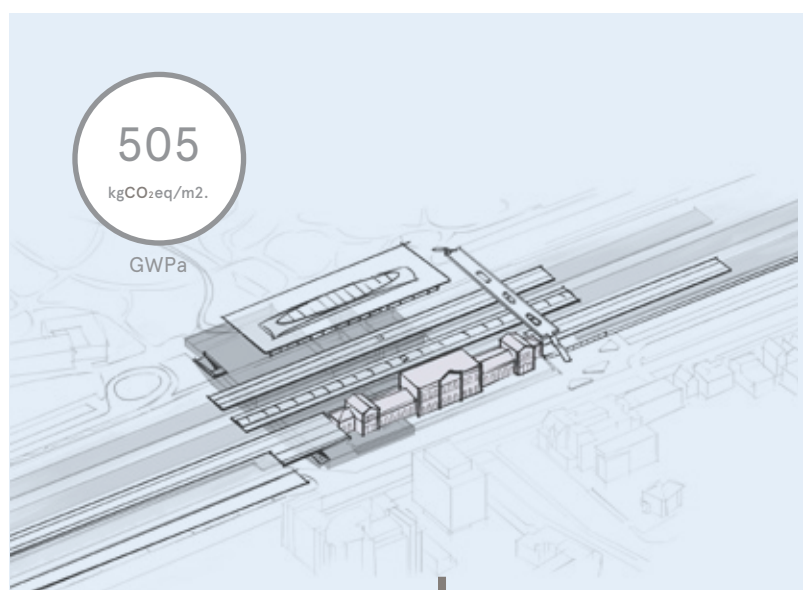


Den Haag Laan van NOI
Variant 2A-verbinder:
2 tunnels, conventioneel
gebouwd.

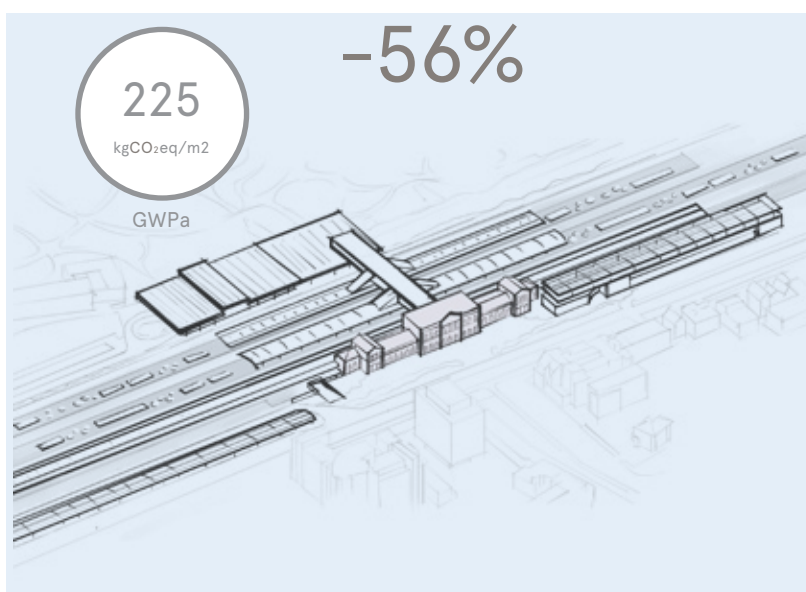


Den Haag Laan van NOI
Variant 1A-basis: 1 tunnel,
conventioneel gebouwd.

Voorkom tunnels en ondergronds bouwen



Dordrecht variant 2A-monument,
conventioneel gebouwd
23.070.000 kgCO₂eq.



Dordrecht variant 3A-duurzaamheid,
conventioneel gebouwd
9.570.000 kgCO₂eq.

Tunnels en ondergrondse gebouwen, zoals fietsenstallingen hebben grote impact op de GWPa.

Begin daarom tijdens de vroege ontwerpfase met een GWPa-gedreven en slimste configuratie van bouwstenen. Voorkom daarbij tunnels en ander ondergronds programma.

De grootste GWPa-reductie van de onderzochte OV-knopen is te vinden in de OV-knoop Dordrecht.

De meest duurzame variant in conventionele materialen (variant 3A, duurzaamheid heeft een GWPa die 56 % lager is dan de minst duurzame variant (variant 2A, monument).

De hoge GWPa wordt veroorzaakt door de ondergrondse tunnel, fietsenstallingen en commercie.

Als de meest duurzame variant ook nog volledig circulair en biobased gebouwd wordt is een verder reductie naar 109 kg CO₂eq/m² mogelijk. Een reductie van 78%.

Conclusies bouwstenen

Welke bouwstenen hebben de meeste impact?

Op basis van de berekeningen uit Opgave 1, is een reeks van referentiegetallen geformuleerd voor de bouwstenen. Een aantal bouwstenen heeft een fors hogere impact dan anderen.

Hoe meer biobased en circulair je kunt toepassen hoe lager de impact is. Voor passerelles is het makkelijker om biobased of circulair te bouwen dan voor een tunnel. We weten namelijk dat de vervanging van gewoon beton door circulair beton (met een fors lagere footprint) nu nog niet voor 100 procent toegepast kan worden (zie pagina 36).

De top 5 van bouwstenen, aflopend in orde van grootte van CO₂-impact:

1. Tunnel
2. Passerelle
3. Commercie
4. Stijpunten
5. Binnenfietsenstalling

Daarna volgen de sporenkap, de perronkap en de perrons.

Opvallend zijn de stijpunten, en dan met name de roltrappen. Deze zorgen voor een groot aandeel in de GWPa en ook in de kosten, energieverbruik en onderhoud zijn het grootverbruikers. Het loont om daarin ook al in de vroege fase te optimaliseren. Dit heeft in de MIRT-verkenning voor Den Haag Laan van NOI geleid tot het heroverwegen van roltrappen ten gunste van vaste trappen.

Ook fietsenstallingen, vooral ondergronds hebben een grote impact.

Tunnel Conventionele materialen



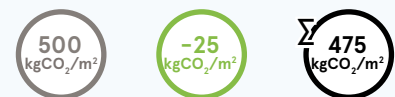
De tunnels zijn de grootste bron van GWPa: Veel gewapend beton dat grote krachten moet weerstaan van remmende treinen, staat gelijk aan hoge materiaalgebonden emissies, zowel per m² als in absolute zin.

Passerelle Conventionele materialen



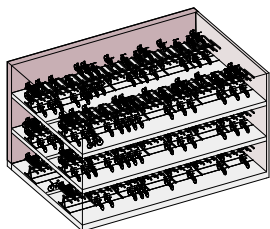
Passerelles zijn, indien uitgevoerd in voornamelijk staal en beton, een grote bron van GWPa. Als ze biobased en circulair worden gebouwd kan de GWPa met circa 50% omlaag, dus naar 650 kgCO₂/m²

Binnenfietsenstallingen Conventionele materialen

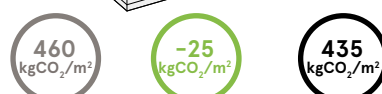
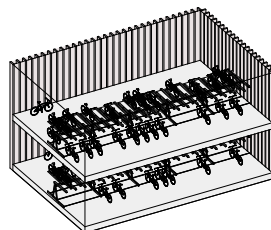


Fietsenstallingen zijn, uitgevoerd in beton en staal, gemiddelde GWPa uitstoters. Binnenfietsenstallingen worden bij de schaal basis en plus stations, behalve fundering, meestal geheel bovengronds uitgevoerd en bevatten relatief veel materiaal dat biobased uitgevoerd kan worden. Fietsenrekken bevatten veel staal, waardoor de GWPa uitstoot niet heel ver naar beneden kan en de netto materiaalgebonden CO₂ slechts bescheiden klimaatpositief is.

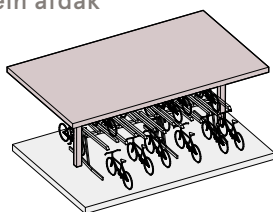
Fietsenstallingen binnen
gesloten gevel, 3 lagen



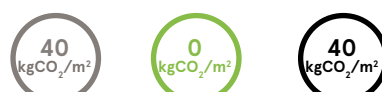
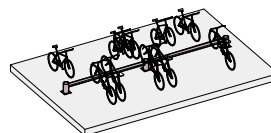
Fietsenstallingen binnen
semi-gesloten gevel, 2 lagen



Fietsenstallingen buiten
klein afdak



Fietsenstallingen buiten
dakloos



Ook binnen een bouwsteen kun je optimaliseren. Zo is er een groot verschil in GWPa van een stalling in een gebouwd volume of een tunnel ten opzichte van een fietsflat of maaiveldstalling.

Commercie
Conventionele materialen



Commercie is voor basis en plus stations een relatief klein onderdeel en heeft daarmee beperkte invloed op de score van het gehele station. Het is wel een relatief CO₂-intensief onderdeel. Zeker indien het ondergronds gelegen is.

Perronkap
Conventionele materialen



Dit betreft een traditionele perronkap waarvan de draagstructuur een combinatie is van stalen kolommen en een stalen dakconstructie. De perronkap is geheel bovengronds en bevat relatief veel materiaal dat biobased uitgevoerd kan worden. Daarmee heeft de perronkap in potentie een grote rol in het bereiken van netto nul voor het hele station.

Sporenkap
Mlx conventioneel/biobased materialen



Dit betreft een sporenkap waarvan de draagstructuur een combinatie is van stalen kolommen en houten primaire en secundaire liggers (zoals Ede-Wageningen). Maar wel nog veel staal zit in de afwerking van het dak. De sporenkap is geheel bovengronds en bevat relatief veel materiaal dat biobased uitgevoerd kan worden. Daarmee heeft de sporenkap in potentie een grote rol in het bereiken van netto nul voor het hele station.

CO₂-neutraal in de praktijk

Lessen en voorbeelden

Op basis van Opgave 1 en 2 zijn er al een aantal stappen gezet om de CO₂-footprint beter in beeld te brengen tijdens het ontwerpproces:

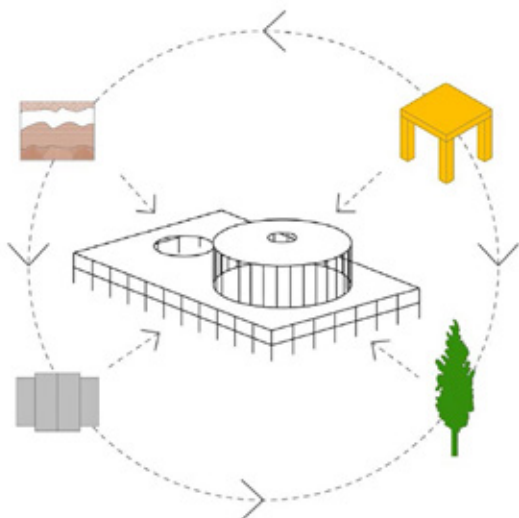
- Zo is de OVS Perronkappen aangepast en geeft deze streefwaardes aan voor de GWP_a en de Milieu Kosten Indicator (MKI) van perron- en sporenkappen.
- Is berekening van de CO₂-footprint in de MIRT-verkenning Oude Lijn verplicht geworden.
- Heeft de aanbesteding van de noordentree in Zwolle geresulteerd in een zeer duurzaam ontwerp met een lage CO₂-footprint.

Van Parijs naar Zwolle

Hoopgevend aan de huidige projecten is dat het niet bij metingen en intenties blijft. Hoewel nog op kleine schaal, voegde ProRail samen met NS stations, de gemeente Zwolle en de provincie Overijssel daad bij woord. Zo wordt de nieuwe noordentree van station Zwolle een duurzaam statement van jewelste, met dank aan een uitvraag waarin CO₂-reductie in materiaalgebruik en realisatie centraal stond.

Het winnende ontwerp van Studio Nauta bestaat uit louter hergebruikte en biobased materialen. Het wordt helemaal modulair gebouwd met groene daken en volle aandacht voor biodiversiteit. Nieuw en vooruitstrevend in de aanbesteding, en met een overtuigend resultaat dat laat zien dat Parijs dichterbij is dan we denken. Noem het duurzaam realisme met toekomstwaarde, dat er ook nog eens aantrekkelijk en mooi uitziet.

Een lagere CO₂-footprint zal vaak ook financieel gunstiger uitpakken. Minder complexe ontwerpen zijn dus niet alleen duurzamer, maar passen vaak ook beter binnen beschikbare budgetten en verlagen de druk op mensen en middelen in de bouwsector.





Beelden uit de inzending van de noordentree, Zwolle, architect Studio Nauta.

Aanbevelingen

CO₂ is een gamechanger

Een eerste observatie op basis van het ontwerpend onderzoek is dat de wettelijke CO₂-reductie opgave haalbaar is en Paris Proof stations in 2030 en ook richting 2040 mogelijk zijn.

Maar de opgave is wel zodanig groot dat deze invloed zal hebben op fundamentele PvE-, materiaal- en ontwerpkeuzes, maar ook op kosten als CO₂ in de toekomst wordt beprijsd: CO₂ is een echte gamechanger.

Duidelijk is dat al in een vroege fase sleutelbesluiten genomen dienen te worden waarmee Paris Proof stations mogelijk zijn, zoals: kan een bestaand gebouw behouden blijven en worden uitgebreid, of moet er sloop en nieuwbouw plaatsvinden? Is een tunnel nodig of kan er ook met een passerelle gewerkt worden? Is een ondergrondse fietsstalling nodig of kan deze ook in een gebouw op maaiveld worden geplaatst?

Het ontwerpend onderzoek van Opgave 2 toont aan dat werken met CO₂-budgetten een krachtig middel is om in vroege ontwerpfases inzicht te krijgen en te sturen op duurzaamheid. Dat kan dan per bouwdeel of met een budget van het station als geheel. Dit ontwerpend onderzoek laat zien dat deze werkwijze goed mogelijk is.

Bijkomend voordeel is dat met deze budgetwerkwijze, naast een positieve invloed op CO₂-beprijzing in toekomst, ook automatisch meer biobased en gerecyclede materialen worden toegepast. Dit heeft een positieve invloed op beleving en gezondheid van de omgeving en de reiziger.

Sturing op CO₂

Een algemene aanbeveling is om sturing op CO₂ verder te ontwikkelen. Als onderdeel daarvan kan een CO₂-budget voor stations of bouwdelen met plafondwaarden helpen om te sturen op duurzaamheid: zowel landelijk, strategisch als projectspecifiek.

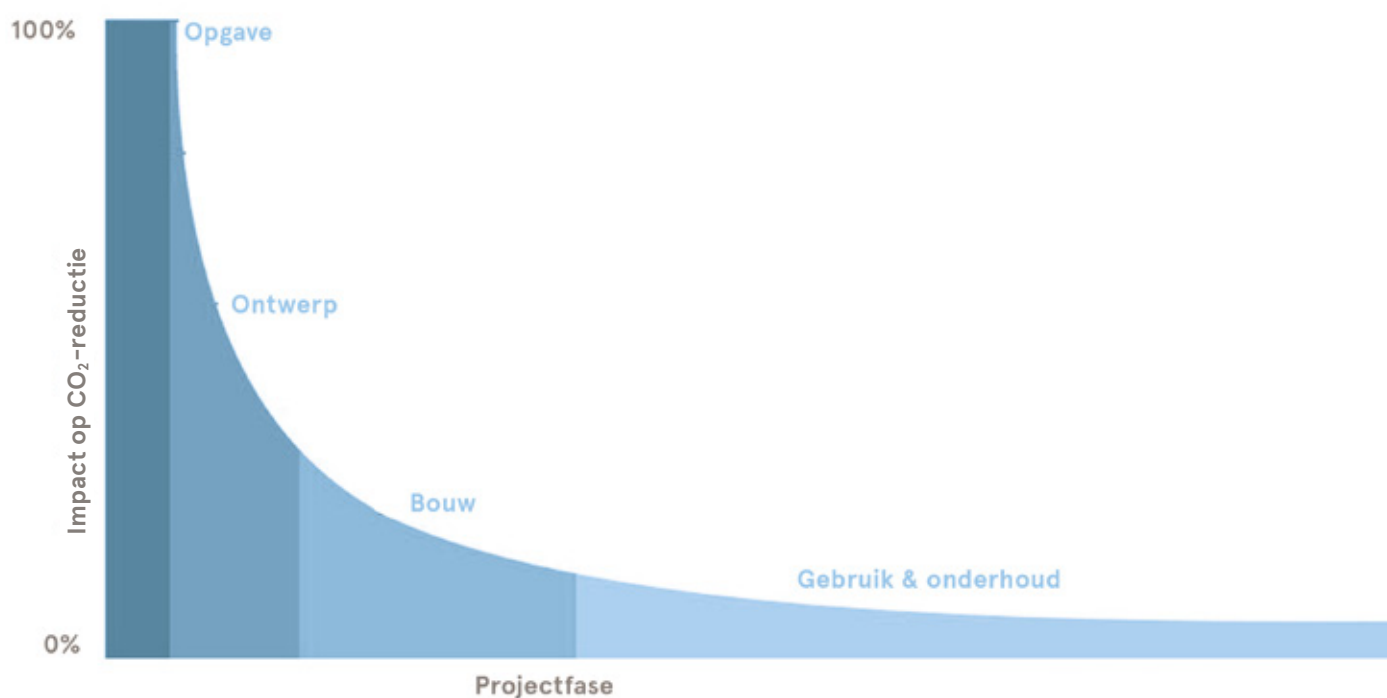
In opdracht van ProRail zijn de eerste stappen gemaakt in het concretiseren van deze sturing met de nieuwe OVS van de perronkappen. Onderdeel van deze OVS zijn plafondwaarden voor CO₂ en MKI. In 2025 zal dit mogelijk worden uitgebreid met plafondwaarden voor fietsenstallingen en perrons.

ProRail heeft als doelstelling om in 2030 een reductie van 50% op de MKI te realiseren in (stations)projecten. Daarvoor is een MKI-implementatieplan uitgewerkt. Onderdeel van dit plan is het vaststellen van MKI-en GWPa-grenswaardes voor de verschillende stations-assets en het borgen van MKI-reductie in de ontwerpfase.

Kosten en CO₂

Als laatste: wat is de invloed van CO₂ op de kosten? De verwachting is dat CO₂-beprijzing en materiaalprijzen een steeds grotere rol gaan spelen in de toekomst. Mogelijk worden duurzame ontwerpen straks wel 'goedkoper' door ontwikkelingen in de markt. We adviseren daarom verder onderzoek te doen naar:

- De ontwikkeling van materiaalprijzen.
- CO₂-beprijzing.



Tien leidende principes voor reductie CO₂:

1. Hergebruik gebouwen.
2. Minimaliseer de ingreep.
3. Neem de tijd voor een gedegen afweging over de configuratie van bouwstenen.
4. Maak houten draagconstructies.
5. Voorkom tunnels.
6. Bouw fietsenstallingen bij voorkeur bovengronds met lichte, biobased constructies.
7. Gebruik zo min mogelijk nieuw beton, staal en aluminium.
8. Kies waar mogelijk voor gerecyclede materialen.
9. Minimaliseer installaties.
10. Maak de afbouw met biobased materialen.

BVO station en omgeving

BVO station en omgeving

Ieder station is uniek. De definities van station, gebouw, domeinen, bouwstenen en lagen van Stewart Brand overlappen elkaar soms, en per station op een eigen wijze. Voor het berekenen van de materiaalgebonden CO₂ kan dat verwarrend zijn.

Zo is een fietsenstalling soms onderdeel van het gebouwensemble, maar valt formeel in het omgevingsdomein.

Om de eenheid kg CO₂ eq./m² BVO die gangbaar is in de bouwsector specifiek op stations toe te passen is een 'BVO Station' gedefinieerd.

Onder 'BVO station' vallen alle vierkante meters van het station die:

- Zich onder een dak bevinden.
- Zich in een tunnel bevinden om toegang tot perrons te verschaffen, en/of het in- en uitstappen mogelijk maken.
- Een overlap hebben met het stationsoppervlak, zoals bijvoorbeeld een interwijkverbinding (meestal onder of boven perrons).
- Meestal behoren tot het ontvangstdomein of reisdomein.

Alle spoorinfra waaronder rails en bovenleidingen die zich binnen deze afbakening bevinden zijn niet meegerekend.

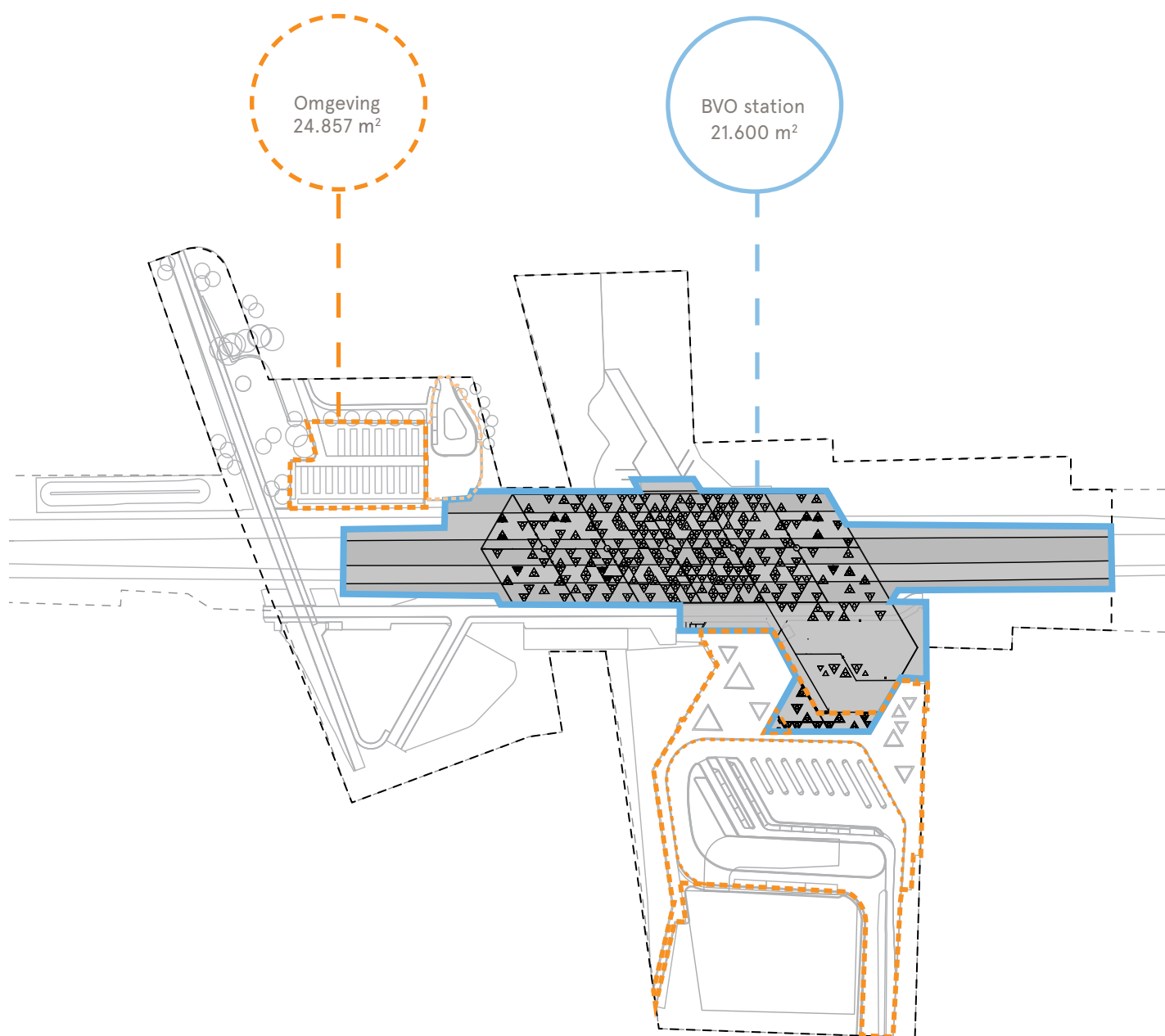
Onder 'BVO omgeving' vallen alle vierkante meters van het station die:

- Niet een constructie zijn.
- Niet behoren tot het vastgoeddomein.
- Meestal behoren tot het omgevingsdomein, het betreft o.a. fietsenstallingen en K&R.

In Opgave 2 is zowel het omgevingsdomein als het stationsdomein onderzocht.

Opgave 1 beperkt zich vooral tot het stationsdomein.

In de schema's en berekeningen is aangegeven welke delen van het station zijn meegenomen. In dit rapport is er voor gekozen vooral het BVO station in beeld te brengen. In het uitgebreide rapport van GROUP A wordt ook meer inzicht geboden in de BVO omgeving.



Schematische weergave van het onderscheid tussen BVO station en BVO omgeving in station Ede-Wageningen. De omgeving valt in dit onderzoek niet onder BVO station.

Begrippen

Paris Proof

Wat bedoelen we in deze studie met een Paris Proof station of OV-knooppunt? Een station waarvan (door het te bouwen) de materiaalgebonden CO₂-emissies vallen binnen het resterende materiaalgebonden CO₂-budget van de Nederlandse bouwsector, om binnen de 1,5 graden celsius temperatuurstijging van het Parijs-Akkoord (2015) te blijven. De operationele emissies zijn buiten beschouwing gelaten.

In dit onderzoek is het gemiddelde in de CO₂-grenswaarden van NIBE/DGBC genomen van gebouwtypes Kantoor (158), Retail (164) en Industrie (151) en afgerond naar boven naar het ronde getal 160 kg CO₂ eq./m² BVO voor 2030.

In 2040 zullen de Paris Proof waarden verder omlaag gaan naar circa 95 kg CO₂ eq./m² BVO.

Deze gebouwtypes samen vertegenwoordigen de schaal en complexiteit van stations met een vergelijkbare bouwtypologie, vaak vallend in de categorie van halte, basis of plusstation.

Klimaatneutraal

Een klimaatneutraal gebouw is een gebouw dat netto nul CO₂-emissie als resultaat heeft: Er wordt net zoveel CO₂ verwijderd uit de atmosfeer als dat er wordt uitgestoten. Paris Proof zoals hiervoor toegelicht is, is een strategie om de CO₂-footprint tussen 2021 en 2050 naar beneden te brengen. Bij ontwerpen en bouwen volgens de Paris Proof waarden wordt er dus hoe dan ook materiaalgebonden CO₂ uitgestoten en dus neemt daarmee de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer toe. Deze CO₂ blijft dertig tot honderden jaren in de atmosfeer aanwezig.

We spreken van een klimaatpositief proces als er meer CO₂ uit de atmosfeer wordt verwijderd dan er gedurende het proces wordt uitgestoten. Hierbij valt te denken aan groei van vegetatie (omzetting van CO₂ in plantaardige vezels met behulp van zonlicht, bladgroen en water), mineralisatie (omzetting van CO₂ in steen) en bijvoorbeeld de toepassing van hout in gebouwen.

Door CO₂ op te slaan in bouwmaterialen kunnen gebouwen dus meer CO₂ opslaan dan ze in het productie en bouwproces uitstoten.

Paris Proof grenswaarden	embodied carbon kg CO ₂ -eq. per m ²			
	2021	2030	2040	2050
Woning (eengezinswoning)	200	126	75	45
Woning (meergezinswoning)	220	139	83	50
Kantoor	250	158	94	56
Retail vastgoed	260	164	98	59
Industrie ⁵	240	151	91	54

160
kg CO₂eq/m²

95
kg CO₂eq/m²

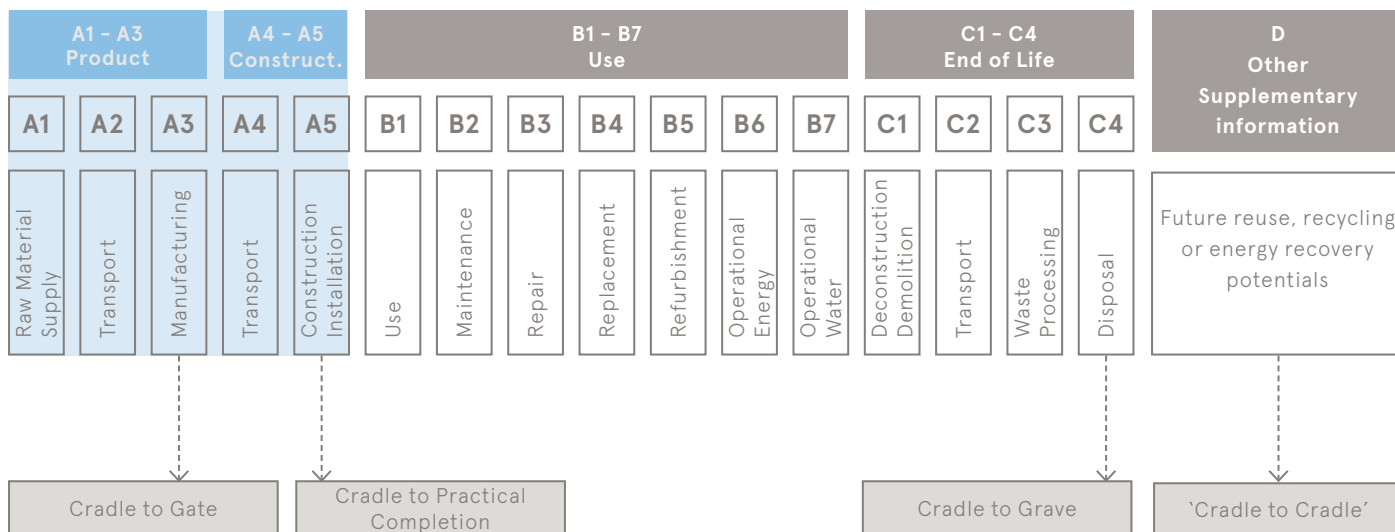
Paris Proof grenswaarden voor nieuwbouw door het DGBC. De onderste drie categorieën zijn qua technische complexiteit vergelijkbaar met stations. Dit onderzoek werkt met de afgeronde gemiddelden van de blauwe cellen voor 2030 en 2040: 160 kg CO₂eq/m² en 95 kg CO₂eq/m².

Materiaalgebonden CO₂

Wat is materiaalgebonden CO₂-emissie? Het is het totaal aan CO₂ dat wordt uitgestoten gedurende het productieproces van de materialen tot en met de bouw van een object: het delven van grondstoffen, transport naar verwerkingsfabrieken, opwerken van grondstoffen tot (half-)fabricaten, transport van (half-)fabricaten naar materiaalproducenten, omzetten halffabricaten tot bouwproducten, transport van bouwproducten naar bouwplaatsen, assemblage van de bouwproducten tot een (stations)gebouw. Materiaalgebonden emissie is dus een cumulatieve waarde, genaamd GWPa (Global Warming Potential) van modules A1 t/m 5 in een materialen-productkaart, uitgedrukt in kg CO₂ eq./m² BVO. Daarom kunnen we ook naar de materiaalgebonden emissie verwijzen als de GWPa. De GWPa is onderdeel van de door onder andere ProRail gehanteerde MKIa (Milieukosten Indicator, module A). De GWPa is een grote indicator binnen de MKIa.

CO₂-budget

Om de doelstelling van Parijs te halen - maximaal 1,5 graad opwarming- is er nog maar beperkt ruimte om CO₂ uit te stoten. We hebben, in andere woorden, een CO₂-budget dat we nog kunnen besteden voor we het doel definitief voorbijstreven. Materiaalgebonden emissies zijn verantwoordelijk voor 11% van de CO₂-uitstoot in Nederland. Binnen het scenario voor 1,5 graad opwarming hebben we wereldwijd nog een emissiebudget van 400 Gt CO₂-equivalent. Als we het budget toewijzen op basis van inwonersaantal, komen we voor Nederland uit op 909 Mt CO₂. Afgaand op het aandeel van de materiaalgebonden emissies, laat dit ruimte voor 100 Mt embodied CO₂-budget voor de Nederlandse bouwopgave (inclusief GWW-sector). Uit dit budget zal budgetruimte voor individuele projecten moeten volgen. Zonder reductie is het budget nog ruim voor 2030 op.



Overzicht van de verschillende data-modules in materialen-productkaart. Deze studie richt zich op A1 tot en met A5.

Biobased materialen

Biobased bouwmaterialen zijn bouwmaterialen die afkomstig zijn uit de levende natuur.

In dit ontwerpend onderzoek is vooral gekeken naar plantaardige materialen in verband met beschikbaarheid van materialen, data en toepasbaarheid in stations.

Hout is inmiddels een breed toepasbaar en steeds gangbaarder materiaal voor de draagstructuur en allerlei afwerkingen. Maar ook vlas, hennep, olifantsgras en vele andere vezelgewassen worden verwerkt tot toepasbare producten zoals plaatmaterialen, isolatiematerialen en afwerkingen.

Biogene opslag

Door het gebruik van biobased bouwmaterialen wordt CO₂ opgeslagen: de CO₂ die zo wordt vastgelegd in bouwmaterialen noemen we biogene opslag. Deze vastlegging wordt algemeen beschouwd als op korte termijn (komende 30 jaar) zeer positief voor het tegengaan van klimaatverandering. Daarom achten we deze opslag van belang voor de hele bouwsector en daarmee ook voor deze studie.

Gedurende de oogst en productie van biobased materialen wordt ook materiaalgebonden CO₂ (GWP) uitgestoten. In de MKI-berekeningen (waar GWPa-berekeningen onderdeel van uitmaken) worden deze emissies meegerekend. De biogene opslag daarentegen wordt nu nog onvoldoende meegenomen. Ook in de materiaalgebonden CO₂-budgetten (GWPa getallen) van de DGBC worden deze getallen onvoldoende meegenomen. De aanname is dat biobased materialen aan het einde van hun levensduur worden weggegooid of worden verbrand, en dat daarmee de biogene CO₂ die er in is opgeslagen weer wordt uitgestoten en bijdraagt aan opwarming van de aarde. Er is een wetenschappelijk debat gaande over hoe deze opslag moet worden meegenomen in de LCA-studies en CO₂-rapportages. ProRail en NS volgen dit debat en passen hun beleid en CO₂-rapportages hierop aan.

Binnen Nederland is het Rijksbeleid om in 2050 een volledig circulaire en klimaatneutrale economie te hebben bereikt. In een volledig circulaire economie worden biobased materialen naar verwachting niet weggegooid of verbrand maar hergebruikt of herverwerkt voor nieuwe toepassingen.

Daarom brengen we deze biogene opslag in deze studie als apart getal in beeld.

Plafondwaarden

Voor dit onderzoek gebruiken we de strategie van DGBC van Paris Proof grens- of plafondwaarden voor de CO₂-uitstoot. Om een totaalbudget voor CO₂ voor de spoorsector slim te gebruiken zou je het budget kunnen vertalen naar jaarlijkse plafondwaarden: maximale uitstootwaarden per vierkante meter BVO (Bruto Vloer Oppervlak) voor een bepaald type project. Deze plafondwaarden kunnen met de jaren stapsgewijs worden verlaagd. Op deze manier kan het budget over meer jaren worden uitgesmeerd dan wanneer het jaarlijks gelijk wordt verbruikt. Gradueel afschalen is wenselijk omdat er anders van het ene op het andere moment geen budget meer beschikbaar is en projecten stil zouden kunnen komen te liggen. Gradueel afschalen is bovendien realistisch omdat er met de jaren steeds meer mogelijk zal zijn op het gebied van duurzame bouwmaterialen en -methoden en omdat de kennis hierover zich zal verspreiden.

Meeteenheid

Gedurende het onderzoek is meerdere keren besproken of er ook een materiaalgebonden CO₂-eenheid denkbaar is die goed bij de specifieke stationsopgave past. Zo is onderzocht of een eenheid per reiziger of per perron zinvol is. Dit om te zien of dat meerwaarde zou kunnen opleveren in de gesprekken van NS en ProRail met specifieke belanghebbenden.

De eenheid kg CO₂/reiziger toont dat de materiaalgebonden CO₂-emissies per reiziger met toenemende reizigersaantallen afnemen. Maar de emissies zijn grotendeels eenmalig (bouw). Dus wanneer na tien jaar de reizigersaantallen zijn toegenomen of afgenomen, zijn de feitelijke emissies die in de atmosfeer gekomen dezelfde. De eenheid kg CO₂/perron toont aan dat de materiaalgebonden CO₂-emissies per reiziger met toenemende perronaantallen afnemen. De feitelijke emissies die in de atmosfeer zijn gekomen zijn dezelfde, aangevuld met de emissies nodig om een extra perron te realiseren.

De voorlopige conclusie in dit onderzoek is: Hanteer in de berekeningen in de basis de al geldende en door betrokken partijen gedeelde eenheid van kg CO₂ eq./m².

