



Ketenanalyse vergelijking tussen betonnen- en composietbruggen

Revisie: 3.0
Datum: 6 april 2021

Iv-Infra b.v.

Ingenieursbureau met Passie voor Techniek



Titel document: Ketenganalyse vergelijking tussen betonnen- en composietbruggen

Revisie: 3.0

Datum: 6 april 2021



Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1.	Leeswijzer	5
2	Doelstelling	6
3	Scope	7
3.1.	Onderwerp van de analyse	7
3.2.	Referentieproject	8
4	Systeemgrenzen en ketenpartners	10
4.1.	Ketenstappen	10
4.2.	Uitsluitingen	12
4.3.	Ketenpartners	13
5	Datacollectie en datakwaliteit	14
6	Kwantificeren van emissies	16
6.1.	Winning en productie van grondstoffen	16
6.2.	Transport	17
6.3.	Bouw	18
6.4.	Gebruik	18
6.5.	Overzicht van de keten	19
7	Onzekerheden	21
7.1.	Composietbrug	21
7.2.	Betonnen brug	22
8	Bronvermelding	23
BIJLAGEN		24
A.	Detailberekening CO2-emissie	24





1 Inleiding

In 2014 is door Iv-Infra, Iv-Water en Iv-Bouw (onderdelen van Iv-Groep en hierna aangeduid als 'Iv-Groep') het rapport "CO₂-Ketenanalyse Ontwerp van Bruggen" opgesteld waarin de duurzaamheidsambitie wordt uitgesproken het ladderniveau 5 te behalen van de CO₂-Prestatieladder van Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden en Ondernemen (SKAO). Het rapport uit 2014 beschrijft een ketenanalyse die Iv-Groep heeft uitgevoerd op het ontwerp van bruggen en onderzoekt de CO₂-reductiekansen. De ketenanalyses zijn uitgewerkt voor de bouwmaterialen glasvezelcomposiet en beton. Uit dit onderzoek blijkt dat de reductiekansen voornamelijk moeten worden gezocht in het reduceren van de CO₂-uitstoot bij winning van grondstoffen en productie van halffabricaten en bouwmaterialen, het verminderen van het materiaalgebruik en het gebruik van slijtage ongevoelige onderdelen zodat er minimale vervanging van bouwmaterialen vereist is. Iv-groep stelt in haar werkzaamheden de opdrachtgever zo goed mogelijk van advies en ondersteuning te willen voorzien omtrent CO₂-reductie. In dit nieuwe rapport is de analyse opnieuw uitgevoerd voor de composietbrug en de betonbrug met de, door SKAO aangepaste, conversiefactoren. Voor dit onderzoek is dezelfde referentiebrug uitgekozen als in het onderzoek uit 2014.

1.1. Leeswijzer

Dit document maakt deel uit van de implementatie van de CO₂-Prestatieladder. De deelonderwerpen van deze rapportage zijn als volgt.

Tabel 1-1 - Leeswijzer

Nr.	Hoofdstuk	Inhoud
1	Inleiding	Beschrijving aanleiding tot nieuwe analyse
2	Doelstellingen	Beschrijving van het doel van de ketenanalyse ²
3	Scope	Onderwerp van de ketenanalyse
4	Systeemgrenzen	Reikwijdte van de ketenanalyse
5	Allocatie	Toekennen van emissies aan delen van de keten
6	Datacollectie	Methode van dataverzameling en bronnen van informatie
7	Kwantificeren van CO ₂ -emissies en resultaten	Berekening en analyse van de CO ₂ -uitstoot in de keten
8	Onzekerheden	Onzekerheden en verbetermogelijkheden
9	Reductiemogelijkheden	Kansen om CO ₂ te reduceren die voortkomen uit de ketenanalyse en reductiedoelstellingen die zijn vastgesteld
10	Bronvermelding	Gebruikte bronnen



2 Doelstelling

De belangrijkste doelstelling voor het uitvoeren van deze ketenanalyse is het identificeren van CO₂-reductiekansen, het definiëren van reductiedoelstellingen en het monitoren van de voortgang op basis van hernieuwde conversiefactoren van de SKAO. Daarnaast biedt de analyse handvaten voor Iv-Groep om haar opdrachtgevers te adviseren over CO₂-besparing in de te realiseren ontwerpen.

Het verstrekken van informatie aan partners binnen de eigen keten en sectorgenoten die onderdeel zijn van een vergelijkbare keten van activiteiten is hier nadrukkelijk onderdeel van. Iv-Groep zal op basis van deze ketenanalyse stappen ondernemen om partners binnen de eigen keten te betrekken bij het behalen van de reductiedoelstellingen.



3 Scope

In een workshop ketenanalyses is de rangorde van de emissiecategorieën vastgesteld met een brede vertegenwoordiging vanuit Iv-Groep. Omdat Iv-Water, Iv-Bouw en Iv-Infra de grootste CO₂-uitstoters zijn binnen Iv-Groep, ligt de focus van Iv-Groep omtrent CO₂-emissie reductie op deze drie divisies. Iv-Infra, Iv-Water en Iv-Bouw zijn reeds op ladderniveau 5 van de CO₂-Prestatieladder gecertificeerd. Een belangrijk criterium voor de certificering op deze trede is het inzichtelijk maken van de Scope 3 emissies van de organisatie die de bouw en gebruiksfase omvatten. In het document 'Meest materiële emissies' zijn de meest materiële Scope 3 emissiecategorieën reeds in kaart gebracht, volgens de stappen zoals beschreven in de Corporate Value Chain (Scope 3) standaard van het GHG-protocol en conform de Branchegerichte toelichting voor ingenieursbureaus. In haar werkzaamheden kan Iv-Groep invloed uitoefenen op de volgende Scope 3 categorieën: winning van grondstoffen, winning van energie en gebruik van energie tijdens de levensduur.

Binnen de drie divisies zijn vuil water en bruggen twee van de veelvoorkomende typen projecten in de orderportefeuille van Iv-Groep. Het belang van CO₂-uitstoot bij deze twee typen projecten is groot voor de aanleg van het object, en voor vuil water ook groot tijdens het gebruik. Uit de inventarisatie van de meest materiële Scope 3 emissies komt naar voren dat Iv-Groep door haar ontwerpen en advies relatief veel invloed heeft op emissies voortkomend uit winning en productie van grondstoffen. Bij winning en productie van materialen wordt doorgaans veel CO₂-uitstoot veroorzaakt, vanwege de energie-intensieve winning- en productieprocessen. Door in de ontwerpfasen voor een bepaald materiaal te kiezen wordt in een vroeg stadium bepaald welke materialen in welke hoeveelheden gebruikt gaan worden voor de uiteindelijke realisatie van een ontwerp.

Op basis van de resultaten van de Scope 3 emissie berekeningen en de twee ketenanalyses worden reductiedoelstellingen geformuleerd. Binnen het energiemanagementsysteem dat is ingevoerd wordt actief gestuurd op het reduceren van de Scope 3 emissies.

3.1. Onderwerp van de analyse

In deze analyse wordt ingegaan op de invloed van materiaalkeuze op CO₂-emissie in de levenscyclus van een brug, omdat Iv-Groep hier veel invloed op kan uitoefenen en dit type project regelmatig voorkomt in de projectportefeuille van Iv-Groep. Voor het maken van bruggen zijn tegenwoordig naast de traditionele bouwmaterialen als beton, staal of hout ook alternatieve materialen beschikbaar. Composiet is de laatste jaren in opkomst als materiaalsoort voor bruggen en heeft vergelijkbare materiaaleigenschappen als beton. Indien blijkt dat composiet milieuvriendelijker is dan beton kan dit in de toekomst meegenomen worden in de keuze voor het materiaal bij het ontwerp van bruggen.

Composiet is een samenstelling van een hars en vezels. In het geval van bruggen wordt vaak gebruik gemaakt van een kunststof hars, doorgaans polyester, en glasvezel. De glasvezels maken het composiet sterk, en de omringende hars verbindt de glasvezels tot één geheel en zorgt voor verdeling van de krachten.

De eigenschappen van het composiet worden bepaald door de soort hars en vezel die gekozen wordt, de verhouding tussen deze twee bestanddelen, en de manier waarop de vezels in de hars worden geplaatst (richting, overlapping etc.).

3.2. Referentieproject

De keuze voor composiet als materiaal heeft invloed op verschillende fasen van de waardeketen. Om vast te kunnen stellen wat deze invloed is en hoeveel CO₂-uitstoot er in de levenscyclus van een composiet en betonnen brug wordt veroorzaakt, zal de analyse zich richten op een reeds uitgevoerd project van Iv-Infra in Leidsche Rijn. Door het gebruik van een referentieproject is er veel gedetailleerde informatie voorhanden om de analyse op te baseren. Belangrijk verschil met het onderzoek uit 2014 is dat nu nieuwe conversiefactoren zijn gebruikt. In het referentieproject zijn twee composietbruggen geplaatst, één voor voertuigen en één voor fietsers. De bruggen hebben een overspanning van 6,3 meter en zijn respectievelijk 9 en 5 meter breed. Het rijdek is geheel van composiet vervaardigd. De bruggen zijn ontworpen voor een levensduur van 80 jaar. Uitgangspunt voor de analyse is de brug voor voertuigen.



Figuur 3-1: Referentie brug te Leidsche Rijn

Om een indicatie te kunnen geven van het effect op de CO₂-uitstoot bij het kiezen voor composiet als materiaal, gaat de analyse ook in op de vraag hoe de CO₂-uitstoot van een composietbrug zich verhoudt tot een betonnen brug als alternatief voor de referentiebrug. Het doel hiervan is het kwantificeren van de reductiepotentie van een composietbrug. Een betonnen alternatief zou bestaan uit prefab betonnen liggers of platen met een betonnen druklaag. De fundering en onderbouw is gelijk aan die van de composietbrug. De bekleding van de rijweg zou dan bestaan uit asfalt. Een dergelijke betonnen brug zou ontworpen worden voor een levensduur van 100 jaar. Voor de vergelijking wordt uitgegaan van een levensduur van 80 jaar, zoals bij de composietbrug.



Naast de keuze om een brug wel of niet van een bepaald materiaal te maken zijn er mogelijk ook andere factoren die de CO₂-uitstoot in de levenscyclus van de brug positief of negatief beïnvloeden, zoals bijvoorbeeld de vorm, de fundering, de afwerking en de gebruiksfase, waar Iv-Groep in haar ontwerpen en adviezen invloed op kan uitoefenen. Indirect is er ook CO₂-emissie tijdens de ontwerpfase van de brug in de vorm van energie en brandstoffen voor kantoorgebouwen en de mobiliteit van betrokken partijen. Deze Scope 1 en Scope 2 emissies zijn echter naar verhouding klein en daarom in deze analyse niet meegenomen.

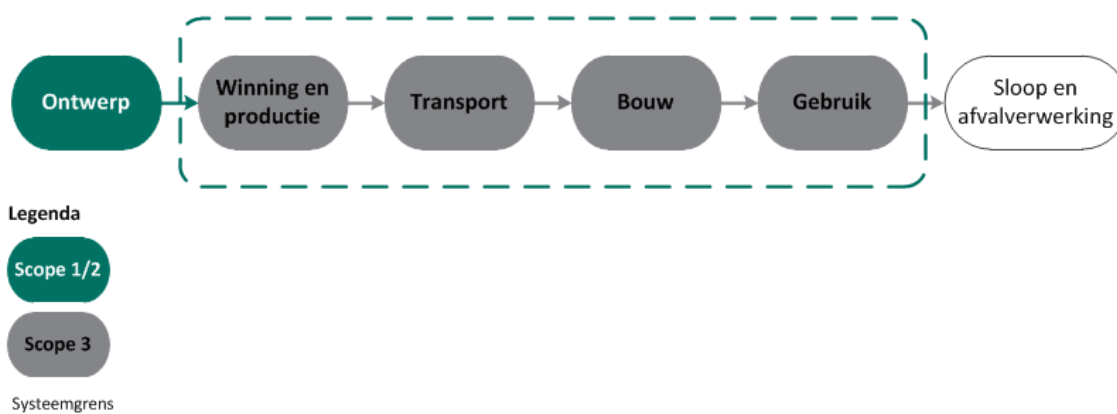


4 Systeemgrenzen en ketenpartners

Om de CO₂-uitstoot in de waardeketen van de composietbrug vast te stellen, moet eerst bepaald worden uit welke ketenstappen deze waardeketen bestaat en welke van deze stappen onderdeel uitmaken van de analyse.

4.1. Ketenstappen

De keten van een composietbrug ziet er als volgt uit:



Figuur 4-1: Ketenstappen Iv-Groep

Ontwerp

De activiteiten van Iv-Groep bevinden zich helemaal vóóraan in de keten, bij het maken van het ontwerp van de brug. Tijdens deze ontwerpfase wordt precies bepaald hoe de brug eruit komt te zien en welke materialen er in welke hoeveelheid gebruikt gaan worden. Het ontwerp is als het ware een voorfase waarin de rest van de keten van de brug precies gepland wordt. Er wordt in deze fase dan ook nog geen CO₂-uitstoot veroorzaakt door de brug. De uitstoot veroorzaakt door bijvoorbeeld het gebruik van kantoorgebouwen bij het ontwerpen van de brug is niet meegenomen in de analyse; naar verwachting is dit in verhouding zeer klein ten opzichte van de andere fasen in de keten, en deze uitstoot is al meegenomen in de Scope 1 en 2 footprint van Iv-Groep.

Winning en productie

Op basis van het gemaakte ontwerp wordt de brug opgebouwd uit materialen die een productieproces hebben doorlopen voordat ze in de brug worden verwerkt. Het belangrijkste bouw materiaal, composiet, wordt samengesteld uit een polyesterhars en glasvezel. Het composiet rijdek wordt in twee delen in de fabriek vervaardigd met behulp van een injectietechniek. De andere kleine brugonderdelen zoals de voegprofielen, coating en oplegging worden door een fabrikant vervaardigd. De CO₂-uitstoot in deze ketenstap wordt veroorzaakt door energiegebruik van de producenten van de brugonderdelen en valt binnen Scope 3.



Transport

De brugonderdelen worden van de productielocatie naar de bouwlocatie vervoerd. De CO₂-uitstoot in deze ketenstap valt binnen Scope 3.

Bouw

De aannemer bouwt de brug op basis van het ontwerp van Iv-Groep. Tijdens de bouw wordt materieel gebruikt om van de diverse brugonderdelen een brug te maken. De twee brugonderdelen van composiet worden aan elkaar gelijmd en op hun plek gehesen met een kraan. Het energiegebruik tijdens de bouw wordt veroorzaakt door het materieel en de bouwaansluitingen. De CO₂-uitstoot in deze ketenstap valt binnen Scope 3.

Gebruik

Als de bouw afgerond is kan de brug in gebruik genomen worden. Afhankelijk van het materiaal waaruit de brug bestaat en de mate waarin slijtage optreedt, kan het nodig zijn om tijdens de levensduur van de brug periodieke onderhoudswerkzaamheden uit te voeren. De CO₂-uitstoot die veroorzaakt wordt door dit onderhoud valt binnen Scope 3.

Sloop en afvalverwerking

Op een gegeven moment zal de brug zijn functie niet langer meer kunnen vervullen en zal dan worden gesloopt. De materialen die hierbij vrijkomen worden afgevoerd naar de afvalverwerker en zullen daar worden verwerkt, hergebruikt of gerecycled. De CO₂-uitstoot als gevolg van de sloop van de brug en de afvalverwerking van het vrijkomende materiaal valt binnen Scope 3.

Alternatief: betonnen brug

De levenscyclus van de betonnen brug bevat dezelfde ketenstappen als die van de composietbrug. Ook hier maakt Iv-Groep een ontwerp waarin de precieze samenstelling en afmeting van de brug wordt bepaald op basis van gelijk oppervlak en gelijkwaardige draagkracht. De prefab elementen worden door de betonproducent in de fabriek samengesteld en als geheel geleverd op de projectlocatie. De overige betonnen onderdelen worden op de projectlocatie gestort met behulp van een mortelwagen. De prefab elementen worden met een kraan op hun plek gehesen. Gedurende de levensduur van de betonnen brug moet deze periodiek gereinigd en eventueel gerepareerd worden. Het asfalt moet periodiek vervangen worden en eventueel moet de hydrofobeerlaag op de bovenzijde opnieuw aangebracht worden. Aan het einde van de levensduur wordt het beton en het asfalt doorgaans verwerkt tot puin of granulaat en hergebruikt, bijvoorbeeld als funderingsmateriaal of als toeslagmateriaal in nieuw te produceren beton of asfalt.



4.2. Uitsluitingen

De volgende onderwerpen worden niet behandeld in deze ketenanalyse

Fundering en onderbouw

Voor zowel de composietbrug als de alternatieve betonnen brug wordt dezelfde fundering en onderbouw gebruikt, namelijk een damwandconstructie met betonnen sloven. Omdat deze in beide situaties gelijk is, en er dus op dit punt geen verschil in CO₂-uitstoot bestaat, wordt hij niet meegenomen in de analyse en vergelijking.

Transport onderhoudsmaterialen

Transport van onderhoudsmaterialen wordt niet meegenomen in de analyse omdat deze CO₂-emissie naar verwachting verwaarloosbaar is ten opzichte van de totale CO₂-uitstoot in het project.

Einde levensduur

Iv-Groep kan middels haar ontwerp niet bepalen wat er aan het einde van de levensduur van de brug gebeurt en welke methode van afvalverwerking precies wordt gebruikt. Materiaalkeuze, wat aan bod komt in de ontwerpfase, heeft uiteraard wel invloed op de methode van afvalverwerking, maar voor beide grootste materiaalstromen in deze analyse (beton en composiet) zijn verschillende opties voor het verwerken en recyclen van het vrijkomende materiaal. Omdat onbekend is voor welke van deze opties gekozen wordt aan het einde van de levenscyclus van de brug en deze ketenstap zeer ver van Iv-Groep af staat kan er niet voldoende primaire data verzameld kan worden.

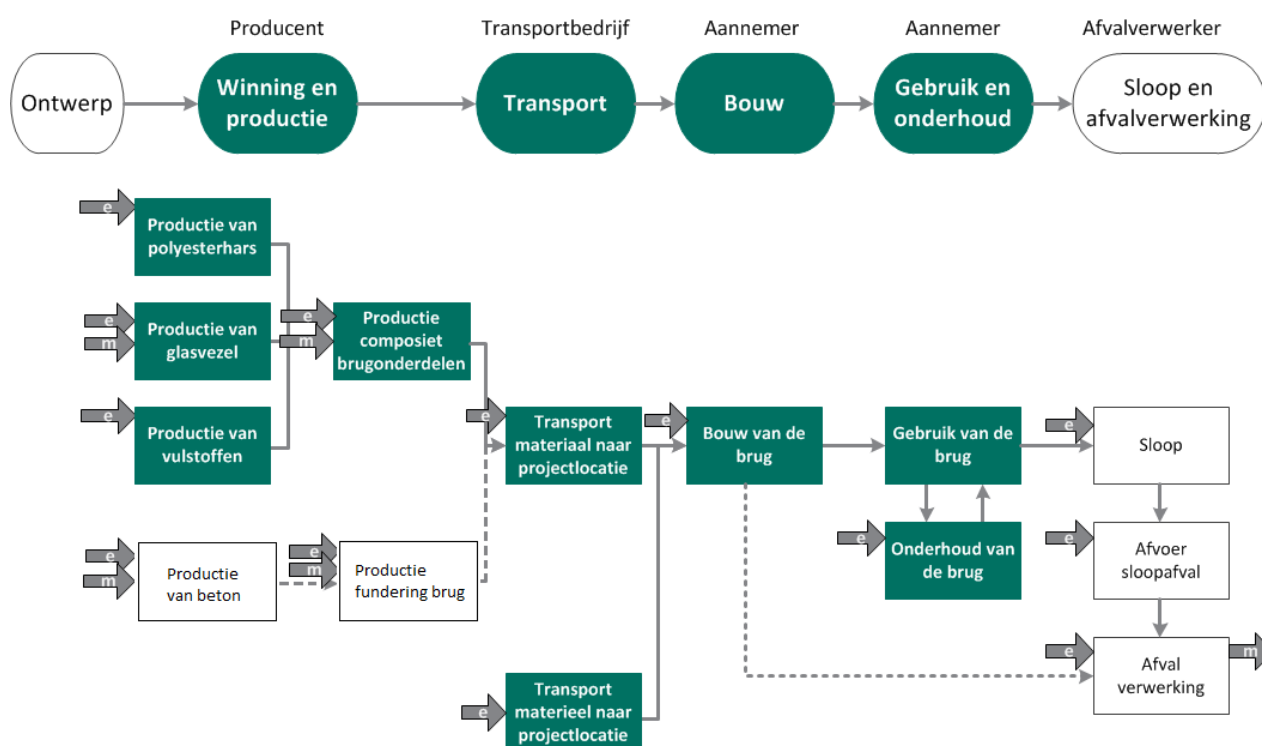
Daarnaast is het in het geval van composiet zeer moeilijk te voorspellen hoe de recyclingtechniek zich over lange tijd zal ontwikkelen, omdat het materiaal en dus het recyclingproces nog relatief nieuw is in vergelijking met andere materialen. Omdat composiet pas sinds kort in de GWW-sector wordt gebruikt, is er nog geen ervaring met bruggen die worden afgebroken. Vanwege deze zeer grote onzekerheid en het gebrek aan data wordt de afvalverwerking in deze analyse daarom niet gekwantificeerd.

De mogelijkheid om vrijkomende afvalstromen te hergebruiken kan echter wel een grote invloed hebben op de CO₂-uitstoot in deze of een volgende levenscyclus, als deze afvalstromen als grondstof toegepast kunnen worden. Daarom wordt deze ketenstap wel kwalitatief besproken in deze analyse, om een compleet beeld te geven van de impact van de materiaalkeuze. Op deze wijze kan Iv-Groep dit aspect wel meenemen in haar advies richting de opdrachtgever, op het moment dat er een keuze moet worden gemaakt voor een materiaal. Meer informatie over afvalverwerking en recycling van composiet is onder andere te vinden in de bronnen genoemd in Hoofdstuk 5.



4.3. Ketenpartners

De afbakening van de analyse zoals hierboven beschreven kan vertaald worden naar een processchema, waarin de verschillende processtappen schematisch weergegeven zijn. In onderstaand processchema is ook weergegeven welke ketenpartners op welk moment betrokken zijn gedurende de levensduur van de brug. De belangrijkste ketenpartners zijn de producent(en) van de brugonderdelen en de aannemer die de bouw en eventueel het onderhoud van de brug verzorgt. Bij het uitvoeren van deze ketenanalyse is de composietproducent nauw betrokken geweest.



Figuur 4-2: Ketenpartners Iv-Groep



5 Datacollectie en datakwaliteit

De sterke voorkeur bij de datacollectie ligt bij het gebruik van primaire data. Secundaire (proxy) data wordt alleen gebruikt als er geen andere gegevens aanwezig zijn. De volgorde waarin de datacollectie is uitgevoerd staat in de volgende lijst weergegeven:

- 1 Primaire data op basis van gemeten CO₂-uitstoot gegevens.
- 2 Primaire data op basis van gebruikte brandstoffen/energieverbruik. CO₂-uitstoot wordt berekend met een CO₂-conversiefactor.
- 3 Secundaire data op basis van gemeten CO₂-uitstoot gegevens.
- 4 Secundaire data op basis van brandstof/energieverbruik. CO₂-uitstoot wordt berekend met een CO₂-conversiefactor.
- 5 Secundaire data over CO₂-uitstoot uit algemene (sector)databases.

Een uitgangspunt bij elke ketenanalyse is dat de CO₂-uitstoot, binnen de ketenstappen die uitgevoerd zijn door het bedrijf dat de ketenanalyse maakt, gebaseerd moet zijn op primaire data. Aangezien alle ketenstappen niet uitgevoerd worden door Iv-Groep zelf was het binnen deze analyse lastig om primaire data te verzamelen. Om deze reden is ook gebruik gemaakt van secundaire data in de vorm van brandstof/energieverbruik van vergelijkbaar materieel en/of (sector)databases.

Binnen deze ketenanalyse is gebruik gemaakt van de Ecolnvent 3.6 database. Deze database bevat veel CO₂-uitstoot gegevens, voornamelijk over de winning van grondstoffen, productie en transport naar de gebruikslocatie van vele materiaalsoorten. Om een beeld te krijgen van de onzekerheid door het gebruik van deze database is deze getoetst op de criteria zoals genoemd in het GHG-protocol Product Accounting and Reporting Standard:

- 1 Technologisch representatief; De Ecolnvent database bevat gegevens over veel verschillende productiemethodes, waardoor meestal gegevens te vinden zijn die technologisch representatief zijn.
- 2 Temporaal representatief; De Ecolnvent database maakt gebruik van gegevens van meestal minder dan 10 jaar oud.
- 3 Geografisch representatief; Waar mogelijk is gekozen voor productiemethodes representatief voor West-Europa.
- 4 Compleetheid; De CO₂-uitstoot gegevens in de database zijn zeer compleet in het aantal processen dat is meegenomen.
- 5 Precisie; De CO₂-uitstoot gegevens in de database zijn gebaseerd op literatuur met veelal een onzekerheid van <5%.



Daarnaast wordt gebruik gemaakt van de Nationale Milieudatabase. De gegevens worden uit het programma DuboCalc 5.0 gehaald. De Nationale Milieudatabase wordt beheerd door de Stichting Bouwkwiteit.

- 1 Technologisch representatief; De Nationale Milieudatabase is opgebouwd uit gegevens die afkomstig zijn uit levenscyclusanalyses (LCA's). Deze LCA's worden opgesteld in opdracht van de bedrijven en/of brancheverenigingen die de betreffende producten produceren.
- 2 Temporaal representatief; De Nationale Milieudatabase wordt jaarlijks bijgewerkt op basis van de nieuwste inzichten.
- 3 Geografisch representatief; De LCA's die ten grondslag liggen aan de Nationale Milieudatabase zijn uitgevoerd voor de bedrijven en/of branches die in Nederland producten verkopen.
- 4 Compleetheid; Naast de CO₂-uitstoot van de producten worden ook andere milieu-indicatoren beschikbaar gesteld.
- 5 Precisie; De LCA's zijn opgesteld door professionele bureaus, wat een zekere precisie garandeert. Een afwijkingspercentage is niet beschikbaar.

Een derde database waar gebruik van gemaakt wordt is de BAM Project Carbon Calculator. Ook deze wordt hier getoetst op de criteria van datakwaliteit uit het GHG-protocol Product Accounting and Reporting Standard:

- 1 Technologisch representatief; De BAM PCC-tool bevat gegevens specifiek voor de bouwsector. Vaak zit hier vergelijkbaar materieel tussen als waar gegevens over nodig zijn.
- 2 Temporaal representatief; De gegevens in de BAM PCC-tool zijn gebaseerd op 28 projecten die minder dan 3 jaar geleden zijn uitgevoerd.
- 3 Geografisch representatief; De gegevens zijn afkomstig van materieel dat in Nederland is gebruikt en is daarmee geografisch representatief.
- 4 Compleetheid; De berekeningsmethodes achter de gegevens zijn niet overal beschikbaar, waardoor een goede uitspraak over de compleetheid lastig te geven is.
- 5 Precisie; De gegevens zijn gebaseerd op het gemeten brandstofverbruik en bezitten daardoor een goede precisie.

Naast deze databases is er ook informatiemateriaal verzameld over de levenscyclus van composiet. De toepassing van composiet in de bouwsector is nog relatief nieuw, vergeleken met traditionele bouwmaterialen als staal en beton. Om deze reden wordt er door verschillende partijen, waaronder producenten en onderzoeksinstituten, onderzoek gedaan naar de technische en milieu-eigenschappen van composiet als bouw materiaal. Hieronder worden de belangrijkste bronnen genoemd die in het kader van deze analyse zijn geraadpleegd:

- Polymer composites in construction, BRE Centre for Building Fabric, 2000
- Eindrapportage LCA Composietbrug, BECO Groep, 2009
- Life cycle assessment of CFGF – Continuous Filament Glass Fibre Products, PwC, 2012
- Do fiber-reinforced polymer composites provide environmentally benign alternatives? A life-cycle-assessment-based study, Materials Research Society Bulletin, Universiteit Leuven, 2012



6 Kwantificeren van emissies

Om te bepalen hoe Iv-Groep bij kan dragen aan het reduceren van CO₂-emissies in de keten, moet eerst bepaald worden hoeveel CO₂ er per ketenstap uitgestoten wordt in de waardeketen van de composietbrug en waar de meeste uitstoot wordt veroorzaakt. Hierbij worden de ketenstappen aangehouden zoals beschreven in Hoofdstuk 4. Een uitgebreidere berekening is toegevoegd in bijlage A. Hierbij zijn de bronnen van de gebruikte conversiefactoren aangegeven op het tabblad 'Conversiefactoren'. Zoals eerder vermeld wordt uitgegaan van een levensduur van 80 jaar. Dit betekent dat voor de betonbrug de winning en productie uitstoot wordt gerekend met 80% van de totale uitstoot voor winning en productie, omdat een betonbrug gemiddeld een levensduur van 100 jaar heeft. De uitstoot van de composietbrug wordt vergeleken met de uitstoot van een betonnen brug ontwerp met de zelfde capaciteiten en overspanning. De uitkomsten hiervan dragen mogelijk bij in de keuze van constructiematerialen in toekomstige projecten. De hoeveelheid uitstoot van het ontwerp is namelijk een belangrijk criterium voor de ENVI-score, samen met onder andere de kosten, de planning en de uitvoerbaarheid. Voor het beton wordt uitgegaan van CEMIII/A (hoogovencement met 36-65% hoogovenslak).

6.1. Winning en productie van grondstoffen

De brug wordt gemaakt van een composiet van glasvezel en polyester hars. Van deze materialen worden met behulp van een vacuüm infusie-techniek de brugdelen gemaakt. Deze brugdelen rusten op een fundering (geen onderdeel van de analyse). Voor de brug worden ook nog rubberen voegovergangen en opleggingen toegepast.

Tabel 6-1 Winning en productie - composietbrug

Type	Beschrijving	CO ₂ -uitstoot [ton]
Materialen brugdek	Polyester hars	5,12
	Glasvezel	10,42
	PU-schuimkern	2,64
	Topcoat rtho	0,63
Productie	Infusie	4,28
Oplegging en voegdichting	Neopreenstroken	0,00
	Voegafdichtingsprofiel	0,00
Totaal		23,09

De betonnen brug bestaat uit prefab liggers met een gewapende druklaag.



Tabel 6-2 Winning en productie - betonbrug

Type	Beschrijving	CO ₂ -uitstoot [ton]
Beton	Beton voor breedplaten	1,18
	Prefabricatie voorgespannen breedplaten	0,25
	Druklaag incl tonrondte	1,79
	Schampkanten	0,20
Staal	Voorspanstaal voor breedplaten	3,22
	Wapening druklaag	4,90
	Wapening schampkanten	0,56
Asfalt	Asfalt	0,32
Totaal		12,41

6.2. Transport

De composietbrug wordt vanaf de fabriek in twee delen per as naar de bouwlocatie vervoerd. Het beton wordt vanaf de betoncentrale met een betonmixer vervoerd.

Tabel 6-3 Transport - composietbrug

Onderdeel	Type transport	Afstand [km]	CO ₂ -uitstoot [ton]
Composiet onderdelen	Vrachtauto 3.5-10 ton (non bulk)	67	0,16

Tabel 6-4 Transport - betonbrug

Onderdeel	Type transport	Afstand [km]	CO ₂ -uitstoot [ton]
Prefab breedplaten	Vrachtauto > 20 ton	100	0,34
Druklaag incl tonrondte	Diesel	10	0,09
Wapening druklaag	Vrachtauto 3,5 -10 ton	10	0,01
Schampkanten	Diesel	10	0,04
Wapening schampkanten	Vrachtauto 3,5 -10 ton	10	0,00
Asfalt	Vrachtauto < 20 ton	25	0,06
Totaal			0,54



6.3. Bouw

De twee bruggdelen worden gelost, op de projectlocatie gelijmd en met behulp van een kraan geplaatst. Het beton wordt in het werk gestort vanaf de betonmixer.

Tabel 6-5 Bouw - betonbrug

Onderdeel	Type gereedschap	Tijd [uur] of oppervlakte [m2]	CO ₂ – uitstoot [ton]
Montage prefab platen	Mobiele kraan	4	0,48
Betonstorten	Vanaf mortelwagen of met een kraan + kubel (betonvat)	4	0,10
Asfaltspreidmachine		4	0,02
Hydrofoberen oppervlak	Impregneren, 3 tot 10 m ² /liter	61,2	0,62
Totaal			1,21

Tabel 6-6 Bouw - composietbrug

Onderdeel	Type gereedschap	Tijd [uur]	CO ₂ -uitstoot [ton]
Hijzen composietdelen	Mobiele kraan 15-25 ton	2	0,05
Lossen en opstellen	Mobiele kraan 15-25 ton	2	0,05
Totaal			0,10

6.4. Gebruik

De composietbrug is ontworpen voor een levensduur van 80 jaar. Bij composiet treedt er geen corrosie of verwerking op tijdens de levensduur en hoeft er geen onderhoud plaats te vinden, behalve om esthetische redenen. De voegovergangen moeten tijdens de levensduur periodiek vervangen worden. De slijtlaag van epoxy die op het rijdek is aangebracht, kan in geval van slijtage ook vervangen worden.

Tabel 6-7 Gebruik - composietbrug

Onderdeel	Aantal keren te vervangen	CO ₂ -uitstoot [ton]
Epoxy slijtlaag	2	1,25
Voegovergangen	2	0,00
Totaal		1,25

De betonbrug is ontworpen voor een levensduur van 100 jaar, maar in dit rapport wordt gerekend met een periode van 80 jaar om het vergelijk met de composietbrug te kunnen maken. Elke 10 jaar wordt de brug



gereinigd en opnieuw gehydrofobeerd. Reparatie vindt om de 20 jaar plaats en elke 30 jaar wordt de asfalt laag vervangen.

Tabel 6-8 Gebruik - betonbrug

Onderdeel	Aantal keren te vervangen of hoeveelheid oppervlakte [m2]	CO ₂ -uitstoot [ton]
Reiniging/opnieuw hydrofoberen	6	3,71
Inspectie en reparatie	3	0,43
Freemachine	4	0,20
Asfaltspreidmachine	4	0,04
Nieuw asfalt	3,1	0,81
Totaal		5,19

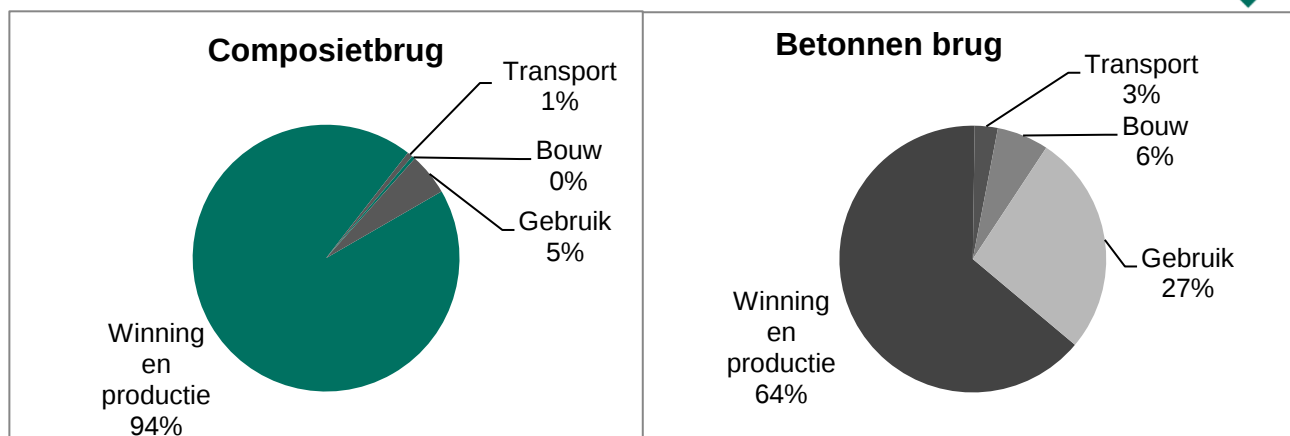
6.5. Overzicht van de keten

In deze paragraaf wordt een overzicht van de CO₂-emissie van de keten weergegeven. In het onderstaande vergelijk is de uitstoot van de composiet brug ten opzichte van de betonnen brug weergegeven.

Tabel 6-9 Totale emissie composietbrug en betonbrug

Onderdeel	CO ₂ -uitstoot composietbrug [ton]	CO ₂ -uitstoot betonbrug [ton]	CO ₂ -uitstoot composietbrug t.o.v. betonbrug
Winning en productie	23,09	12,41	186%
Transport	0,16	0,54	30%
Bouw	0,10	1,21	8%
Gebruik	1,25	5,19	24%
Totaal	24,60	19,36	127%

De composietbrug is ongunstig wat betreft de winning en productie van de constructieonderdelen. Op de ketenstappen transport, bouw en gebruik is de CO₂-uitstoot voor de composietbrug lager dan voor de betonbrug. Echter compenseert dit de grotere uitstoot voor winning en productie niet. De keten van de composietbrug omvat 27% meer emissie dan de keten van de betonbrug. Voor de composietbrug valt voornamelijk reductiewinst van CO₂-emissie te halen bij de winning en productie, terwijl voor de betonbrug ook in de gebruiksfase nog veel reductiewinst te halen valt.



Figuur 4 Verdeling CO₂ emissie per ketenstap voor composietbrug en betonbrug

De doelstelling is dus bij toekomstige ontwerpen te focussen op de CO₂-uitstoot in met name de 'winning en productie' fase voor zowel composiet- als betonbruggen en voor betonbruggen ook rekening te houden met CO₂-uitstoot in de gebruiksfase. Hierover zal Iv-Groep haar opdrachtgevers zo goed mogelijk adviseren.

Merk op dat in de ketenanalyse de end-of-life stap niet is meegenomen in de ketenanalyse omdat Iv-Groep hier geen representatieve data voor beschikbaar heeft. Toekomstscenario's schetsen echter wel mogelijkheden om beton en composiet te recyclen. Onderzoek van de TU Delft laat zien dat met een speciale scheidingsmethode (Advanced Dry Recovery) en bewerkingsmethode (Heating Air classification System) het betonafval zo gescheiden kan worden dat grind, zand en cement direct weer in de betonmixer kunnen worden gebruikt¹. Daarnaast kunnen composiet onderdelen worden afgebroken tot kleine brokken² die bijvoorbeeld tot stoeptegels of wandtegels kunnen worden geperst³. Deze vormen van recycling zouden kunnen bijdragen aan de reductie van CO₂ uitstoot in de toekomst.

¹ Technische Universiteit Delft. (31 maart 2021). *Van betonpuin tot betonnen gebouwen*. <https://www.tudelft.nl/stories/articles/van-betonpuin-tot-betonnen-gebouwen>

² Duflou, J.R., Duflou, J.R., Van Acker, K. *et al.* Do fiber-reinforced polymer composites provide environmentally benign alternatives? A life-cycle-assessment-based study. *MRS Bulletin* 37, 374–382 (2012). <https://doi.org/10.1557/mrs.2012.33>

³ Extreme Eco Solutions. (31 maart 2021). *Re-tile: circulaire sierbestrating en wandtegels*. <https://extreme-ecosolutions.com/>



7 Onzekerheden

Hieronder wordt per ketenstap de onzekerheden in de analyse beschreven. Deze onzekerheden komen onder andere voort uit:

- Het ontbreken van primaire data
- Het gebruik van incomplete gegevens
- Onzekerheden in de toepassing van het gekozen object

Bij het beschrijven van de onzekerheden wordt ook aangegeven wat de verwachte invloed is van deze onzekerheid op de uitkomst van de analyse.

7.1. Composietbrug

Voor de glasvezel is uitgegaan van gegevens gebaseerd op een analyse die representatief is voor 95% van de productie in Europa van het type glasvezel gebruikt in het composiet. Deze gegevens zijn daarom naar verwachting zeer betrouwbaar. De uitstoot van polyesterhars is gebaseerd op literatuuronderzoek. Hiervan is niet bekend of deze gegevens representatief zijn voor de Europese productie. De uitstoot van het PU-schuim is bepaald aan de hand van de EcolInvent database (zie hoofdstuk 6).

Bij het bepalen van de uitstoot voor voegovergangen en opleggingen is gebruik gemaakt van algemene gegevens van producenten van dergelijke producten, die zijn gebruikt om een schatting te maken. Deze materialen hebben nauwelijks invloed op de totale CO₂-uitstoot van de composietbrug. Voor de diverse toevoegingen in het composiet waren geen gedetailleerde CO₂-gegevens beschikbaar. Uit literatuur is af te leiden dat de hoofdcomponenten van het composiet (hars en met name glasvezel) verreweg de grootste impact hebben op de CO₂-uitstoot tijdens winning en productie. Het ontbreken van de toevoegingen heeft daarom naar verwachting geen significante invloed op de analyse.

De CO₂-uitstoot tijdens de productie van composiet uit glasvezel en hars is vastgesteld aan de hand van een gemiddelde waarde voor vacuüm injectie uit de EcolInvent database. De manier waarop deze techniek wordt toegepast en de gebruikte materialen en apparatuur hebben invloed op de CO₂-uitstoot. Hierover waren geen gegevens beschikbaar.

Voor het transport van de materialen is uitgegaan van de locatie van de producent en van een gemiddeld verbruik van een betonmixer. Het daadwerkelijke verbruik hangt af van de belading en precieze afstand. Transport heeft slechts een klein aandeel in de totale uitstoot. De invloed van deze onzekerheden zal dus gering zijn.



7.2. Betonnen brug

De uitstoot van de betonnen brug is bepaald op basis van een gedetailleerde uitwerking van de afmetingen en het benodigde materiaal voor de brug in dit specifieke project. Ook de bouwactiviteiten zijn bepaald op basis van de benodigdheden in het referentieproject.

Voor het transport van de materialen is uitgegaan van de locatie van de diverse leveranciers en van een gemiddeld verbruik van een betonmixer. Het daadwerkelijke verbruik hangt af van de belading en precieze afstand. Voor het asfalt was geen leverancier bekend. Hiervoor is een aanname gedaan op basis van een regionale leverancier. Transport heeft slechts een klein aandeel in de totale uitstoot. De invloed van deze onzekerheden zal dus gering zijn.

De hoeveelheden benodigde materialen en de transportafstanden kunnen per project verschillen. Dit heeft invloed op de vergelijking tussen de composietbrug en de betonnen brug.

Het benodigde onderhoud van de brug is ingeschat op een gemiddeld onderhoudsregime dat bestaat uit reiniging, coaten en kleine reparaties. Daarbij is uitgegaan van een volledige vervanging van het asfalt om de 30 jaar. De onderhoudsbehoefte is conservatief ingeschat. De precieze onderhoudsbehoeften van de brug zijn niet bekend, aangezien de brug niet daadwerkelijk is gerealiseerd. De frequentie en diepgang van het onderhoud bepaalt in sterke mate de CO₂-uitstoot in deze ketenstap. Deze onzekerheid heeft daarom invloed op de vergelijking tussen de composietbrug en de betonnen brug.



8 Bronvermelding

Tabel 8-1 – Overzicht gebruikte bronnen

Nr.	Bron	Kenmerk
1	Handboek CO ₂ -prestatieladder 3.0 (d.d. 10-05-2015)	Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden en Ondernemen (SKAO)
2	Corporate Accounting & Reporting standard	GHG-protocol
3	Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard	GHG-protocol
4	Product Accounting & Reporting Standard	GHG-protocol
5	Nederlandse norm Environmental management – Life Cycle assessment – Requirements and guidelines	NEN-EN-ISO 14044
6	Ecoinvent database v3.6	Algemene LCA-database
7	Diverse corporate LCA's	Zie hoofdstuk 5



BIJLAGEN

A. Detailberekening CO2-emissie



Waarderweg 40
2031 BP Haarlem
Nederland

Pettelaarpark 10-15
5216 PD 's-Hertogenbosch
Nederland

Fultonbaan 30
3439 NE Nieuwegein
Nederland

iv-Infra b.v.
Trapezium 322
3364 DL Sliedrecht
Nederland

Telefoon +31 88 943 3200

Trompstraat 36a
9190 Stekene
België

Westervoortsedijk 73
Gebouw CB
6827 AV Arnhem
Nederland

Postbus 135
3360 AC Sliedrecht
www.iv-infra.nl