

Het 2e leven van spoorstaven in een modulaire  
demontabele spoortraverse

**DEELRAPPORT 2**  
**LITERATUURONDERZOEK**

MARTIJN ZEGERS

## Contactinformatie

### **Afstudeerder:**

Martijn Zegers

Studentnummer: 500723411

E: [martijn.zegers@hva.nl](mailto:martijn.zegers@hva.nl)

M: +31 6 54696863

### **Afstudeerbegeleiders:**

1<sup>e</sup> begeleider HvA:

Dr. Ir. M.P. Horikx

[m.p.horikx@hva.nl](mailto:m.p.horikx@hva.nl)

2<sup>e</sup> begeleider HvA:

Ing. J. Falek MSE

[j.falek@hva.nl](mailto:j.falek@hva.nl)

Werkvelddeskundige:

Ir. A. van der Sluis

[a.vdsluis@vanrossumbv.nl](mailto:a.vdsluis@vanrossumbv.nl)

### **Hogeschoolgegevens:**

Hogeschool van Amsterdam

Adres: Weesperzijde 190, 1097 DZ Amsterdam

Telefoon : 020 5951111

Website: [www.hva.nl](http://www.hva.nl)

Faculteit: Techniek

Opleiding: Master Structural Engineering

Vakcode: Module 3.4 Proeve van bekwaamheid

## Inhoudsopgave

1.	Inleiding literatuuronderzoek .....	3
2.	Duurzaamheid en circulariteit .....	3
2.1	Beleid omtrent duurzaam bouwen.....	3
2.2	Van een lineair naar een circulair bouwproces .....	8
2.3	Categorieën voor milieu-effecten.....	10
2.4	Rekentools voor het kwantificeren van milieu-effecten .....	12
2.5	CO <sub>2</sub> berekeningen .....	14
2.6	Conclusie .....	15
3.	Spoorstaven .....	16
3.1	Uitgangspunten voor het ontwerp van spoorstaven.....	17
3.2	Doorsnede- en materiaaleigenschappen spoorstaven.....	18
3.3	Degradatie materiaaleigenschappen van de spoorstaaf ten gevolge van het gebruik. ....	22
3.4	Degradatie doorsnede van de spoorstaaf door het gebruik. ....	24
3.5	Conclusie .....	27
4.	Ontwerpeisen modulaire, demontabele en herbruikbare traverse.....	28
4.1	Afmetingen van de traverse. ....	28
4.2	Belastingen op de traverse. ....	30
4.3	Betrouwbaarheid van een constructie. ....	31
4.4	Modulair, demontabel bouwen.....	32
4.5	Slimme en demontabele verbindingen. ....	34
4.6	Conclusie .....	35
5.	Referentieproject tijdelijke traverse station Driebergen-Zeist .....	36
6.	Bibliografie .....	39

## 1. Inleiding literatuuronderzoek

Om inzicht te creëren in de diverse aspecten die een rol spelen voor het kunnen beantwoorden van de onderzoeksvraag is er literatuuronderzoek verricht. Hierbij is, zoals in het plan van aanpak is bepaald, gekeken naar volgende 4 hoofdonderwerpen:

- Duurzaamheid en circulariteit.
- Gegevens spoorstaven.
- Eisen aan een spoortraverse.
- Referentieproject: “spoortraverse Driebergen – Zeist”.

## 2. Duurzaamheid en circulariteit

De traditionele wijze waar de duurzaamheid van bouwwerken op was gebaseerd is levensduur en schadelijke invloeden uit de omgeving. De benodigde grondstoffen en (fossiele) energie waren voldoende aanwezig en het besef voor een leefbaar klimaat was in zijn algemeenheid laag.

Tegenwoordig wint de toepassing van duurzame technische ontwikkelingen steeds meer aan populariteit. Naast aandacht voor een sterke economische groei, Profit, welke niet (volledig) ten koste mag gaan van de omgeving, Planet, wil men een gezonder leefklimaat voor de mens, People. Al hoewel de bouwkosten van een duurzaam bouwproject in zijn algemeenheid hoger zijn dan van een niet duurzaam bouwproject, zijn de lange termijnkosten en netto kosten voor de samenleving lager, wat uiteindelijk leidt tot een hogere welvaart.

### 2.1 Beleid omtrent duurzaam bouwen.

Op wereldniveau is in Parijs op 12 december 2015 een klimaatakkoord, door 174 landen, overeengekomen met de volgende doelstelling voor 2050:

*Holding the increase in the global average temperature to well below 2 °C above pre-industrial levels and pursuing efforts to limit the temperature increase to 1.5 °C above pre-industrial levels. (Hagelaars, 2015)*

Op 5 maart 2018 is dit klimaatakkoord door 195 landen ondertekend.

Echter een éénduidige definiëring van opwarming was er nog niet gemaakt. Daarom zijn voor 2020 de volgende concrete doelstellingen op Europees niveau vastgelegd ter beperking van de temperatuurstijging van de aarde:

- 20% minder CO<sub>2</sub>-uitstoot ten opzichte van 1990
- 20% minder energieverbruik
- 20% van het totale energiegebruik moet afkomstig zijn uit hernieuwbare energie, zoals wind- en zonne-energie.

In de 2<sup>e</sup> helft van 2015 is de *Circulaire Economie* tot een Europese milieuprioriteit gemaakt met de gedachte: Een circulaire economie of kringlooeconomie, biedt een nieuwe kijk op afvalverwerking. Het uitgangspunt is minder vervuiling en minder verspilling.

Het Europese actieprogramma Circulaire Economie bevat het volgende prioritaire programmadeel Bouw en Sloop:

*De commissie neemt een reeks maatregelen om terugwinning van waardevolle hulpbronnen en passend afvalbeheer in de bouw- en sloop te waarborgen en om de beoordeling van de milieuprestaties van gebouwen te vergemakkelijken.*  
(Europese commissie, 2015)

De Nederlandse bijdrage (Nationaal klimaatakkoord) aan het klimaatakkoord van Parijs houdt in:

- In 2030 is de uitstoot van broeikasgassen met ten minste 49 % terug gebracht ten opzichte van de uitstoot in 1990. Gewenst is een verscherpte ambitie van 55 % in plaats van 49 %.
- In 2050 moet de reductie van de uitstoot van broeikasgassen 95 % zijn van het niveau van 1990.
- In 2050 moet de elektriciteitsproductie CO<sub>2</sub>-neutraal zijn.

Nederland heeft in september 2016 het rijksbrede programma *Nederland Circulair in 2050* (Ministerie Economische zaken) vastgesteld om de afgesproken doelen te behalen. Hierin staan de volgende vijf prioriteiten:

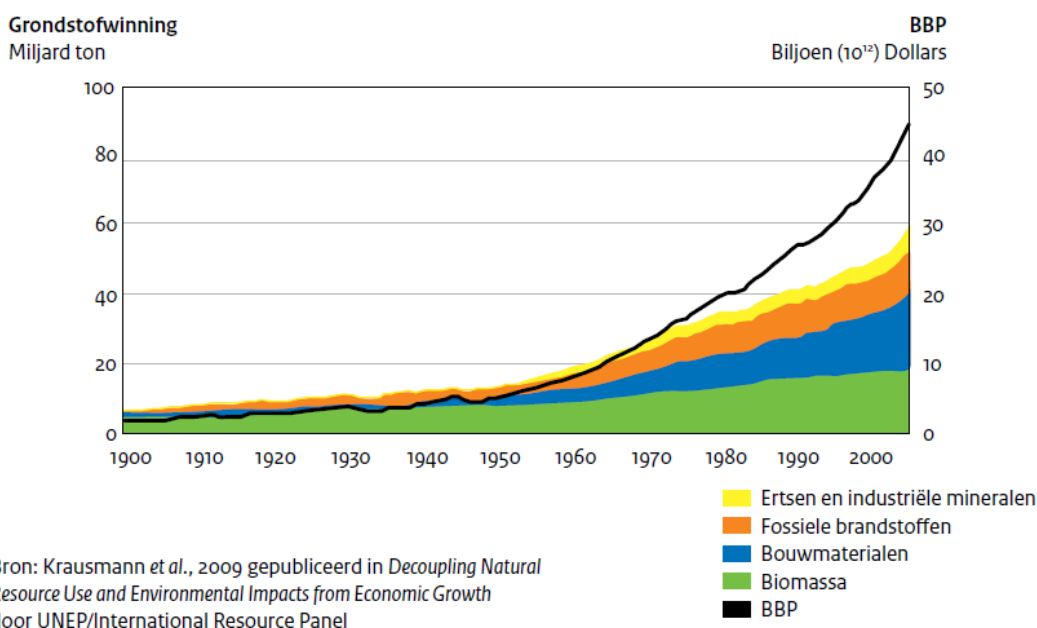
- Biomassa en voedsel
- Kunststoffen
- Maakindustrie
- Bouw
- Consumptiegoederen

De noodzaak voor een circulaire economie volgens *Nederland Circulair in 2050*, ontstaat door:

- Een wereldwijde explosieve groei naar grondstoffen, zie Figuur 2-1. Te zien is het grote aandeel dat de bouw (blauw) voor zijn rekening neemt.
- Nederland (en Europa) is grondstofafhankelijkheid van grondstoffen van derden, zie Figuur 2-2.
- Samenhang met klimaat, met name uitstoot CO<sub>2</sub>. De jaarlijkse uitstoot van CO<sub>2</sub> is om en nabij 200 megaton CO<sub>2eq</sub>. Volgens Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, RVO, kan met een efficiencyverbetering in grondstof- en materiaalketens, circa 17 megaton CO<sub>2eq</sub>, 9% van de jaarlijkse Nederlandse uitstoot, bespaard worden.

Met name dit laatste punt is een belangrijk item voor het onderzoek naar het 2<sup>e</sup> leven van spoorstaven voor een modulaire demontabele spoortraverse.

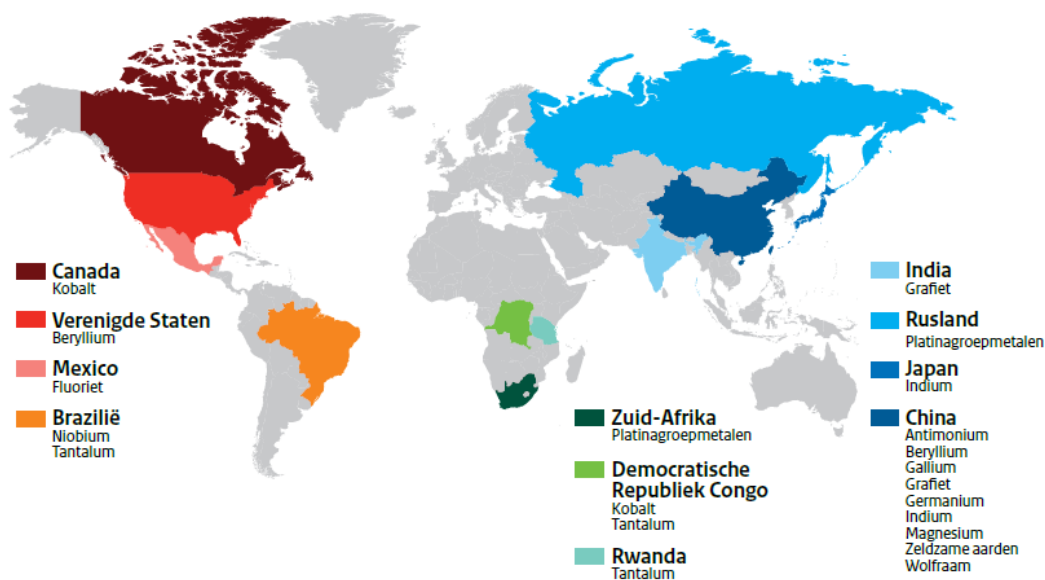
## Grondstofwinning wereldwijd in miljard ton, 1900-2005



Figuur 2-1: Explosieve vraag naar grondstoffen (Ministerie Economische zaken)

## Productieconcentratie van kritieke materialen

Europa is afhankelijk van andere continenten



Bron: Europese Commissie, 2010

Figuur 2-2: Grondstofafhankelijkheid van Nederland (en Europa) van derden (Ministerie Economische zaken)

In hoofdstuk 5 van *Nederland Circulair in 2050*, staan de ambities beschreven voor de 5 prioriteiten, biomassa en voedsel, kunststoffen, maakindustrie, bouw en consumptiegoederen.

Voor bouw, goed voor circa 35 % van de CO<sub>2</sub>-uitstoot, is de volgende visie 2050 opgesteld:

*'In 2050 is de bouw bij ontwerp, ontwikkeling, gebruik, beheer en demontage van bouwwerken zo georganiseerd dat deze objecten duurzaam worden gebouwd, (her)gebruikt, onderhouden en ontmanteld. Bij bouwen wordt gebruik gemaakt van duurzame materialen en wordt aangesloten bij de dynamische wensen van de gebruikers. Het streven is naar een energie neutrale gebouwde omgeving in 2050 conform de Europese afspraken. Bouwwerken maken zoveel mogelijk gebruik van ecosysteemdiensten (natuurlijk kapitaal zoals het waterbergend vermogen van de ondergrond).'*

Voor het realiseren van deze visie heeft het kabinet de volgende doelstellingen opgesteld:

- De burgerlijke en utiliteitsbouw B&U en de grond-, weg- en waterbouw GWW maken vooral gebruik van hernieuwbare grondstoffen.
- Materiaalgebruik is over de hele levensduur van het bouwwerk geoptimaliseerd (waardebehoud, minder kosten, meer hergebruik en minder milieu-impact).
- De bouw reduceert zoveel mogelijk CO<sub>2</sub>-emissies, zowel in de bouw – als in de gebruiksfase.
- De bouw is een innovatieve sector die proactief inspeelt op veranderingen in de samenleving en de vraag van markt en consument.

De bouwfase moet zich dus zoveel mogelijk richten op reductie van grondstoffen, waar mogelijk gebruik maken van hernieuwbare grondstoffen en meer hergebruik van grondstoffen.

Op dit moment beperkt de B&U- en de GWW-sector zich, bij hergebruik, met name bij het verwerken van bouwpuin tot granulaten. Deze worden met name gebruikt als funderingsmateriaal in de GWW-sector, zie Figuur 2-3.

Inmiddels vervult Nederland een voortrekkersrol op het gebied van circulaire economie in Europa. Dit is ook terug te vinden in het regeerakkoord van 2017.

Op 10 juli 2018 is een voorstel voor de, door de grote politieke partijen breed gedragen, klimaatwet gepresenteerd.

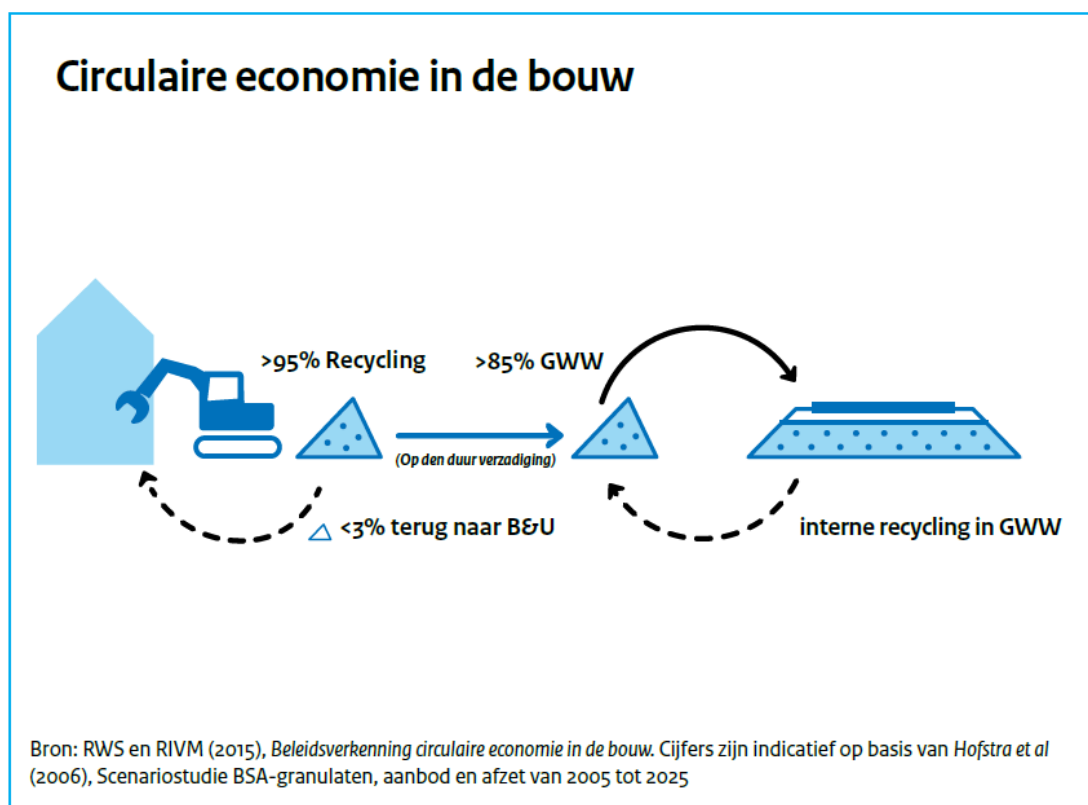
Hierin staan de doelen genoemd uit het nationaal klimaatakkoord. Op “klimaatprinsjesdag”, iedere 4<sup>e</sup> donderdag van oktober, zal de controle op de gestelde doelen gepresenteerd worden.

Om de doelen te bereiken, moet er door 5 sectortafels, voor iedere prioriteit (Ministerie Economische zaken), een plan van aanpak op hoofdlijnen gemaakt worden.

Door de sectortafel gebouwde omgeving is het volgende doel opgesteld:

*‘Wijk voor wijk aan de slag met de transformatie van 7 miljoen huizen en 1 miljoen gebouwen in goed geïsoleerde woningen en gebouwen, die we met duurzame warmte verwarmen en waarin schone elektriciteit gebruikt wordt bij voorkeur zelfopgewekt.’*

Hierin is echter weinig tot niets terug te vinden over hergebruik van bouwmaterialen.



Figuur 2-3: Huidige situatie van circulaire economie in de bouwsector (Ministerie Economische zaken)



## 2.2 Van een lineair naar een circulair bouwproces

In het traditionele lineaire bouwproces kunnen 6 verschillende fasen onderscheiden worden. Een schema van een lineair bouwproces is weergegeven in Figuur 2-4 (Jonkers, 2018).

**Fase 1:** Delven van natuurlijke grondstoffen op speciale wingebieden. Denk hierbij aan het winnen van kalksteen, klei, hout, ijzererts etc. Hierbij wordt gebruik gemaakt van groot materieel die aangedreven worden door fossiele brandstoffen.

**Fase 2:** Productie van halffabricaten in speciale fabrieken.

- Kalksteen wordt ontbonden tot portlandklinker en kooldioxide,  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ .
- Klei wordt gebakken tot stenen,
- Hout wordt gezaagd tot balken en planken.
- IJzererts met koolmonoxide wordt gesmolten tot ruwijzer,  $3\text{CO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$ .

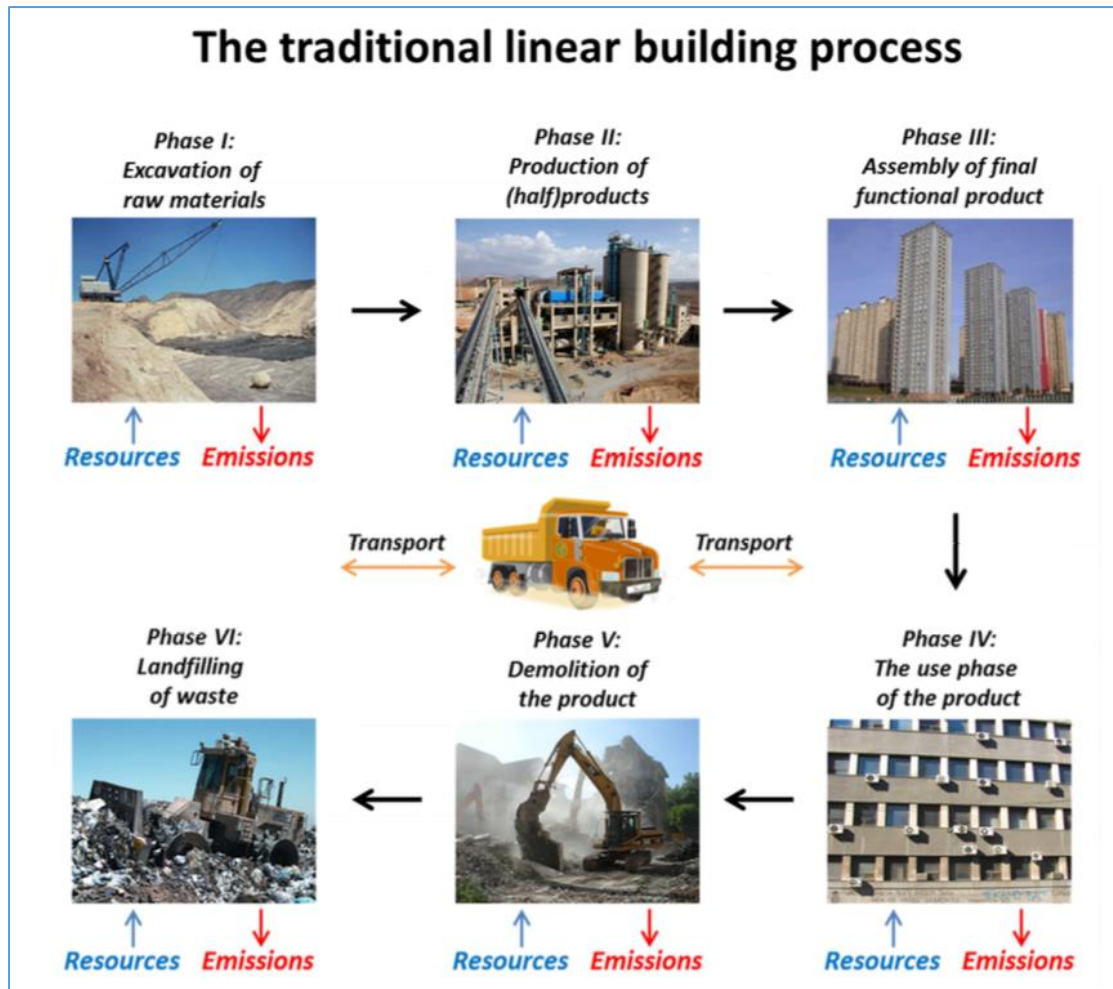
**Fase 3:** Assembleren van halffabricaten tot eindproduct op de bouwplaats. Hiervoor zijn mankrachten, machines en energie nodig

**Fase 4:** De gebruiksfase van het uiteindelijke product. In deze fase worden onderhouds- en reparatiewerkzaamheden uitgevoerd gedurende de gehele levensduur. Hiervoor is eveneens energie en materiaal nodig.

**Fase 5:** Slopen aan het einde van de (economische) levensduur. De producten voldoen niet meer aan de vereiste verwachtingen of zijn helemaal niet meer nodig. Het bouwwerk wordt gesloopt tot kleinere delen en afgevoerd. Hiervoor is energie benodigd.

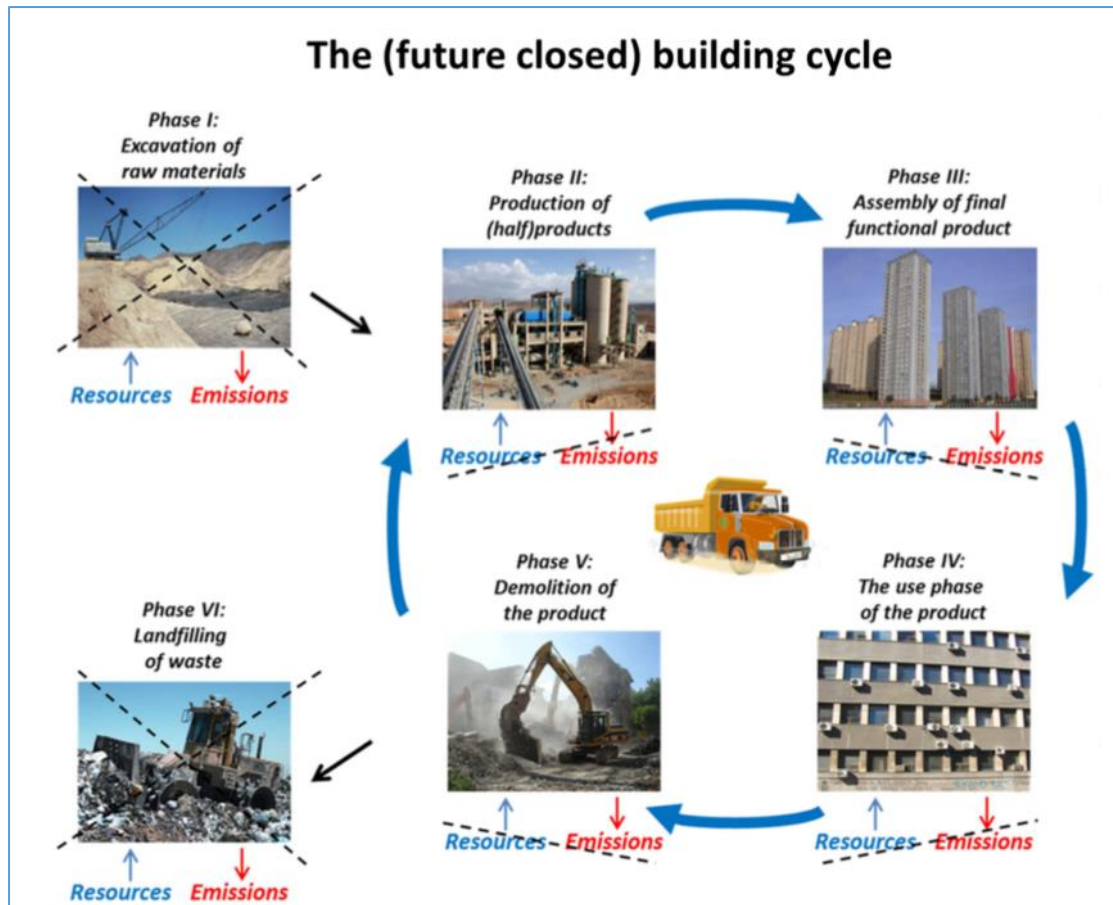
**Fase 6:** Het overtollige materiaal wordt opgeslagen op een stortplaats voor onbepaalde tijd.

In al deze fasen is behalve transport en arbeid ook gebruik van gereedschappen nodig en worden nieuwe grondstoffen gebruikt. Verder worden in alle fasen afvalstoffen in de vorm van vaste stoffen, vloeistoffen en gassen geproduceerd. Indien dit niet goed wordt geregeld komen deze terecht in onze (leef)omgeving, bijvoorbeeld in oppervlaktewater, bodem of lucht.



Figuur 2-4: Schema lineair bouwproces (Jonkers, 2018)

In begin van de jaren 70 ging realiseerde men dat het gebruik van grondstoffen niet oneindig door kon gaan en de beperkte verkrijgbaarheid van de grondstoffen alsmede die van fossiele brandstoffen gingen leiden tot hogere prijzen. Verder werd men steeds meer bewust van een groter wordende aanslag op de leefomgeving. Niet alleen grondstoffen maar ook processen en impact op de leefomgeving moesten worden uitgedrukt in geld. Door efficiënter met grondstoffen en afval om te gaan, kan verspilling, vervuiling en bedreiging van de leefomgeving tegengegaan worden en kan de welvaart positief beïnvloed worden. Het moderne circulaire (bouw)proces is, Figuur 2-5, een feit.



Figuur 2-5: Schema circulair bouwproces (Jonkers, 2018)

Op dit moment wordt een volledige implementatie van het circulaire bouwproces gehinderd door:

1. Technische begrenzingsen.
2. Onbegrip voor hogere kostprijzen van duurzame producten.
3. Terughoudendheid om innovatieve technologieën te implementeren.

### 2.3 Categorieën voor milieu-effecten

In totaal zijn er ongeveer 10 categorieën opgesteld voor milieueffecten.

Voor de bouw zijn de belangrijkste:

1. Global Warming Potential (GWP), opwarming van de aarde.
2. Ozone Layer Depletion Potential (ODP) verdunning van de ozonlaag.
3. Human Toxicity Potential (HTP), uitstoot schadelijke stoffen in lucht water en bodem.

In het kader van de CO<sub>2</sub>-last is in dit onderzoek alleen GWP belangrijk en wordt alleen hier verder op ingegaan.

*Global Warming Potential* is gedefinieerd als het effect van emissies door menselijke activiteiten op de 'warmtestralingsabsorptiecapaciteit' van de lagere atmosfeer. Het zogenaamde broeikas effect vergroot de warmtestralingsabsorptiecapaciteit waardoor de temperatuur aan het aardoppervlak stijgt. Het effect van

broeikasgassen op de klimaatverandering is afhankelijk van de volgende drie factoren; concentratie, atmosferische levensduur, warmte absorberend vermogen. Zie voor een vergelijking van vier specifieke broeikasgassen Tabel 2-1.

*Tabel 2-1: Vergelijking specifieke broeikasgassen op warmte absorberend vermogen (Jonkers, 2018)*

Compound:	Concentration (ppm):	Life time (Years):	Absorptive strength:	Total effect (% of total):
CO <sub>2</sub>	380	100	1	56
CH <sub>4</sub>	2	10	21	18
N <sub>2</sub> O	0,3	300	310	6
CFC's	<<0,1	100	12.500	13

Te zien is dat CFC's, chloorfluorkoolwaterstoffen, bij een hele lage concentratie al een hele grote impact hebben op het broeikas effect. CFC's komen met name vrij bij poederblussers, koelkasten, spuitbussen etc. dus weinig bouwgerelateerd. Om bijdrage van verschillende broeikasgassen aan het broeikas effect onderling te kunnen vergelijken, wordt de uitstoot van broeikasgassen uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten, afgekort CO<sub>2</sub>-eq. Uit Tabel 2-2 is af te leiden dat bijvoorbeeld methaan een GWP heeft van 21. Dit betekent dat 1 kg methaan over een periode van 100 jaar 21 maal meer aan het broeikas effect bijdraagt dan 1 kg CO<sub>2</sub>.

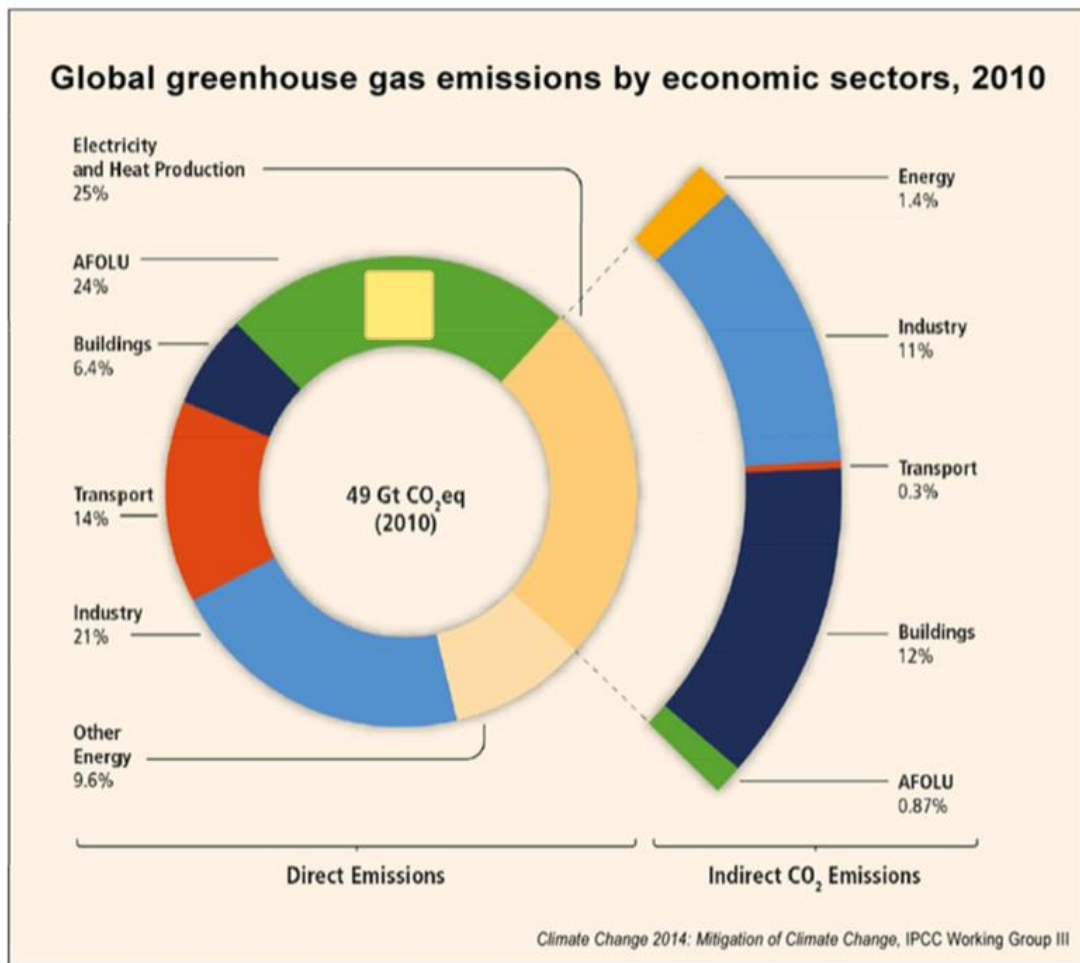
*Tabel 2-2: Broeikasgassen uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-eq*

Broeikas-gas		GWP [CO <sub>2</sub> -eq]
Kooldioxide	CO <sub>2</sub>	1
Methaan	CH <sub>4</sub>	21
Stikstof	N <sub>2</sub> O	310
zwavelhexafluoride	SF <sub>6</sub>	223900

Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) heeft in 2010 een uitstoot van broeikasgassen berekend van 49 Gton CO<sub>2</sub>-eq (49\*10<sup>12</sup> kg). (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). De verhoogde concentraties aan broeikasgassen in de atmosfeer versterken het natuurlijke broeikas effect en leiden bijgevolg tot een verhoging van de gemiddelde aardtemperatuur én dus tot een globale klimaatverandering. Dit verschijnsel noemt men het versterkte of antropogene broeikas effect.

De antropogene bijdrage aan het broeikas effect kan worden verdeeld over verschillende categorieën, Figuur 2-6.

De bijdrage van de bouw en de civiele techniek zijn opgenomen in de "buidings"-, "transport"- en industrial" sector.



Figuur 2-6: Verdeling van de antropogene bijdrage aan het broeikaseffect (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014)

## 2.4 Rekentools voor het kwantificeren van milieu-effecten

Uit de vorige paragrafen is het effect van het gebruik van bouwmaterialen en toepassen van bouwprocessen op de leefomgeving aan de orde gekomen. Een belangrijke vraag die resteert is: Kunnen deze milieueffecten worden gekwantificeerd?

Tot op bepaalde hoogte dit inderdaad mogelijk. Een internationale methode is om de milieu-impact van bouwwerken en processen uit te drukken in geld. Op deze wijze kan een beeld gevormd worden van de milieuschade van een gebouw gedurende zijn levensduur. Indien deze zogenaamde "schaduwkosten" niet in de verkoopprijs worden opgenomen, komen deze kosten uiteindelijk voor rekening van de gemeenschap (externalisation). Worden deze schaduwkosten wel in de verkoopprijs opgenomen, dan kunnen deze gelden gebruikt worden voor preventie tegen de milieuschade of gebruikt worden voor het herstel van de schade (internalization), ofwel "de vervuiler betaalt".

Volgens het bouwbesluit 2012, moeten voor alle woningen en kantoorgebouwen met een gebruiksoppervlak groter dan 100 m<sup>2</sup>, die na 1 januari 2013 worden

gebouwd, een milieuprestatie berekening gemaakt worden, volgens de “Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW (grond-, weg- en waterbouw)werken”.

Hiervoor zijn in Nederland al enkele tools op de markt beschikbaar, voorbeelden zijn: MRPI Free Tool, GPR Buildings, GreenCalc+, DGBC -Breeam Materials Tool en DuboCalc. Deze tools maken het mogelijk de milieu impact van materialen, constructie-elementen en volledige constructies in te schatten, indien ze toegang hebben tot een database met informatie over de milieueffecten van de basismaterialen en de -processen. In Nederland kan hiervoor de Nationale milieudatabank gebruikt worden.

De milieudatabank beschouwt de producten op 11 hoofd- en op 5 subcategorieën.

Tabel 2-3: Categorieën waarop het milieueffect wordt vertaald naar schaduwkosten. (SBR-CUR-net, 2015)

Milieueffectcategorie	Equivalent eenheid	Weegfactor [€ / kg equivalent]
Uitputting abiotische grondstoffen (exclusief fossiele energiedragers) – ADP	Sb eq	€ 0,16
Uitputting fossiele energiedragers – ADP	Sb eq	€ 0,16
Klimaatsverandering – GWP 100 j.	CO <sub>2</sub> eq	€ 0,05
Aantasting ozonlaag – ODP	CFK-11 eq	€ 30
Fotochemische oxidantvorming – POCP	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> eq	€ 2
Verzuring – AP	SO <sub>2</sub> eq	€ 4
Vermesting – EP	PO <sub>4</sub> eq	€ 9
Humane toxiciteit – HTP	1,4-DCB eq	€ 0,09
Zoetwater aquatische ecotoxiciteit – FAETP	1,4-DCB eq	€ 0,03
Mariene aquatische ecotoxiciteit – MAETP	1,4-DCB eq	€ 0,0001
Terrestrische ecotoxiciteit – TETP	1,4-DCB eq	€ 0,06

Volgens Tabel 2-3 zijn de schaduwkosten voor 1 kg CO<sub>2</sub>-eq € 0,05.

Opgemerkt moet worden dat de milieu impact van de materialen en processen bedoeld zijn om een inschatting te maken en om te vergelijken, maar GEEN werkelijke kosten zijn, omdat het onmogelijk is alle milieueffecten nauwkeurig uit te drukken in Euro's. De waarde van de milieu-impact uitgedrukt in Euro's wordt de MKI-waarde genoemd, ofwel de “Milieu Kosten Indicator”

Uit commercieel oogpunt kan met een gemanipuleerde LCA, Life-Cycle-Assessment, een te positief beeld naar voren gebracht worden, dit wordt ook “greenwashing” genoemd. Om greenwashing te voorkomen zijn er internationale standaarden gedefinieerd, die gevolgd moeten worden voor het assessment.

In NEN-EN 15804 is de procedure aangegeven, die gevolgd moet worden om de milieulast te kwantificeren.

De 5 genoemde tools zijn recentelijk getuned zodat ze allen identiek werken. Echter verschillen in de tools zijn de subcategorieën van de milieucategorieën, waarop deze tools de producten beoordelen. Hierdoor worden deze voor verschillende toepassingen ingezet.

*DuboCalc*, ontwikkeld door Rijkswaterstaat (RWS), gebruikt naast de gegevens over grondstoffen en (half)producten ook informatie over de gevolgde processen, zoals gebruik van speciale gereedschappen, machines, transport, grondverplaatsingen etc. Hierdoor is *DuboCalc* de ideale tool voor de onderwerpen: materialen en energie die nodig zijn in het bouwproces van een constructie, dus GWW-werken.

Zo wordt *GreenCalc+* met name gebruikt voor gebouwen en stadswijken, *DGBC* en *Breeam* voor management, gezondheid, transport, vervuiling etc., en is daardoor met name geschikt voor institutionele gebouwen, kantoren winkels en scholen.

*GPR Buildings* is geschikt voor de onderwerpen energie, omgeving, gezondheid en toekomstbestendigheid en is daardoor geschikt voor woningen, kantoren en scholen. *MRPI* beschouwd omgevingsaspecten van speciale bouwmaterialen en elementen.

## 2.5 CO<sub>2</sub> berekeningen

*‘ProRail stelt sinds 2009 innovatieve eisen aan leveranciers in aanbestedingstrajecten op basis van de CO<sub>2</sub>-prestatieladder. Zelf wil ProRail ook invulling geven aan de eisen van deze prestatieladder. DHV heeft voor ProRail de CO<sub>2</sub>-emissies binnen scope 1 en 2 bepaald (over 2008), waarmee (na certificering) ProRail invulling heeft gegeven aan de eis 3A1 van de prestatieladder. Het komend jaar wil ProRail voldoen aan de eisen voor niveau 4.’ (DHV, 2010)*

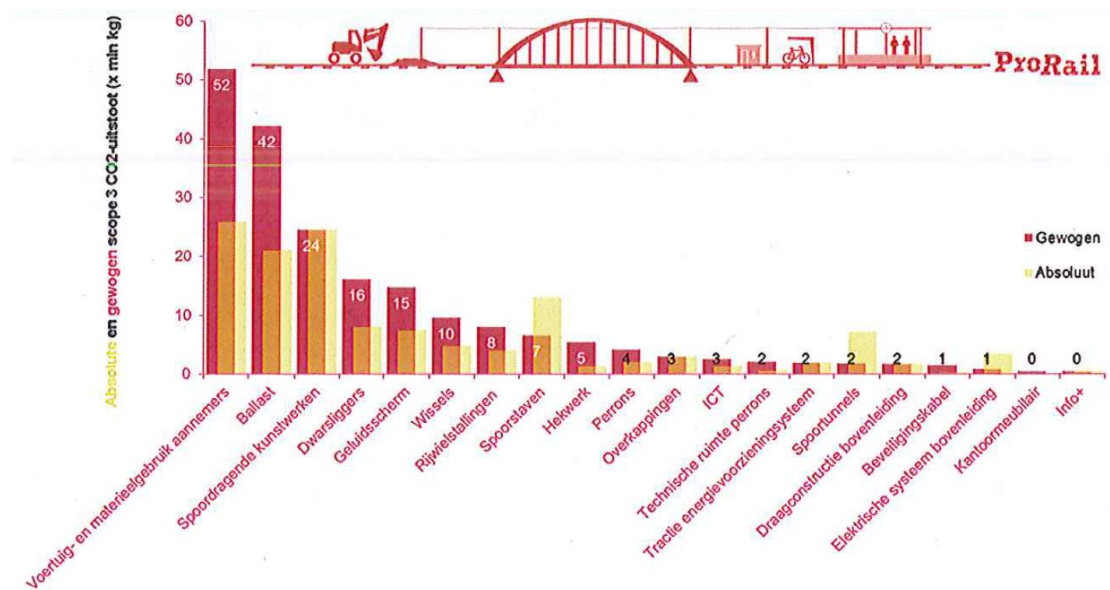
Scope 1 bevat alle directe broeikasemissies uit bronnen in eigendom of onder controle van ProRail.

Scope 2 bevat alle broeikasemissies van ingekochte elektriciteit, stoom en warmte/koude.

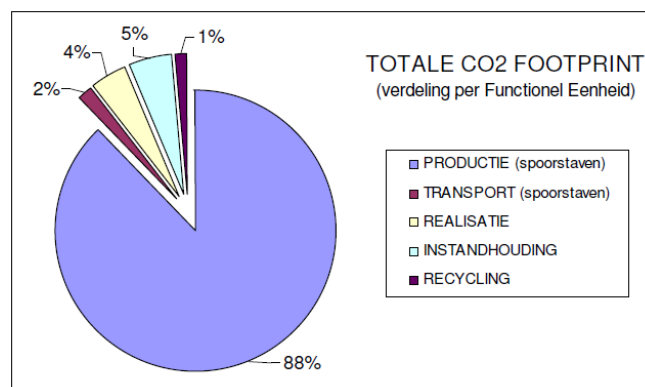
Scope 3 emissies zijn overige indirecte CO<sub>2</sub>-emissies, die een gevolg zijn van de activiteiten van ProRail, maar die voort komen uit emissiebronnen, die geen eigendom van ProRail zijn of door ProRail beheert worden. Het is niet mogelijk om een volledige inventarisatie van deze emissies te maken. Daarom is hiervoor een dominantieanalyse opgesteld. In deze dominantieanalyse scope 3 CO<sub>2</sub>-emissies is de top 20 van de meest dominante emissies van ProRail weergegeven, (RHDHV, 2017). Te zien is in Figuur 2-7 dat spoorstaven 7% van de CO<sub>2</sub>-emissies van ProRail leveren.

Een verdeling van de CO<sub>2</sub>-emissies van spoorstaven is gegeven in Figuur 2-8. De productie van spoorstaven draagt voor 88% bij aan de CO<sub>2</sub>-emissies. Het hoogovenproces is al dermate geoptimaliseerd dat op dit aspect weinig winst te behalen is. Hierbij is echter geen rekening gehouden met recycling van afgeschreven spoorstaven.

In de ketenanalyse is de CO<sub>2</sub> footprint voor transport, realisatie en instandhouding methodisch beschreven. Deze methodiek is gebruikt om de CO<sub>2</sub> - emissie te berekenen in het onderzoek. De methodiek wordt verder uitgelegd in het deelrapport 6 met CO<sub>2</sub> berekeningen.



Figuur 2-7: Top 20 meest dominante scope 3 CO<sub>2</sub>-emissies van ProRail (RHDHV, 2017)



Figuur 2-8: Verdeling CO<sub>2</sub>-emissies van spoorstaven (per functionele eenheid), (DHV, 2010)

## 2.6 Conclusie

Broeikasgassen, waaronder CO<sub>2</sub> valt, spelen een grote rol bij de opwarming van de aarde. In diverse internationale en nationale akkoorden is vastgesteld dat de doelstelling voor 2020 met betrekking tot de CO<sub>2</sub> uitstoot met 20% verminderd moet zijn ten opzichte van 1990.

Om dit te bereiken wil men een transitie van een lineaire naar een circulaire economie. Dit wil zeggen dat, na de levensduur van een bouwwerk, bruikbare bouwdelen worden gedemonteerd, opgewaardeerd en opnieuw worden gebruikt. Overige bouwdelen worden niet meer gesloopt en als afval opgeslagen maar gerecycled met duurzame energie.

Voor het berekenen van de milieukostenindicatie MKI, zijn verschillende softwarepakketten ontwikkeld. Hierbij worden naast CO<sub>2</sub>, ook effecten zoals landgebruik etc. meegewogen. Derhalve zullen deze pakketten niet gebruikt worden, voor de CO<sub>2</sub> berekening in dit onderzoek. De ketenanalyse (DHV, 2010), gecombineerd met de berekeningsmethode van de NEN-EN 15804 worden hiervoor gebruikt.



### 3. Spoorstaven

Jaarlijks komen ca 250 tot 300 km spoorstaven vrij uit vervangingsprojecten, die geïnitieerd worden door de spoorwegbeheerder ProRail.

ProRail beheert een database, waarin alle spoorstaven zijn opgenomen met unieke nummers, locatie, leeftijd en slijtage gegevens. Met behulp van deze database worden tenders uitgezet voor de vervangingsprojecten. De redenen van de vervangingsprojecten kunnen zijn:

- Einde levensduur
- Aanpassingen aan het spoor
- Instandhouding van het spoor (PGO, Prestatie Gericht Onderhoud)

Voor het PGO worden met behulp van een meetrein jaarlijks 2 maal de slijtage- en corrosiegegevens gemeten en kan bepaald worden of een spoorstaaf nog voldoet aan vastgestelde waarden. Voldoen de staven niet meer dan moeten ze vervangen worden.

Railpro is onderdeel van het Oostenrijkse Voestalpine en leverancier van ca 95 % van de spoorstaven voor het Nederlandse spoor. Momenteel koopt Railpro de afgedankte staven op en verkoopt het als schroot aan de hoogste bidder. Het gros van de spoorstaven worden geëxporteerd naar China, India etc. waar het vaak in de hoogovens terecht komt. Dit alles levert een grote milieulast op.

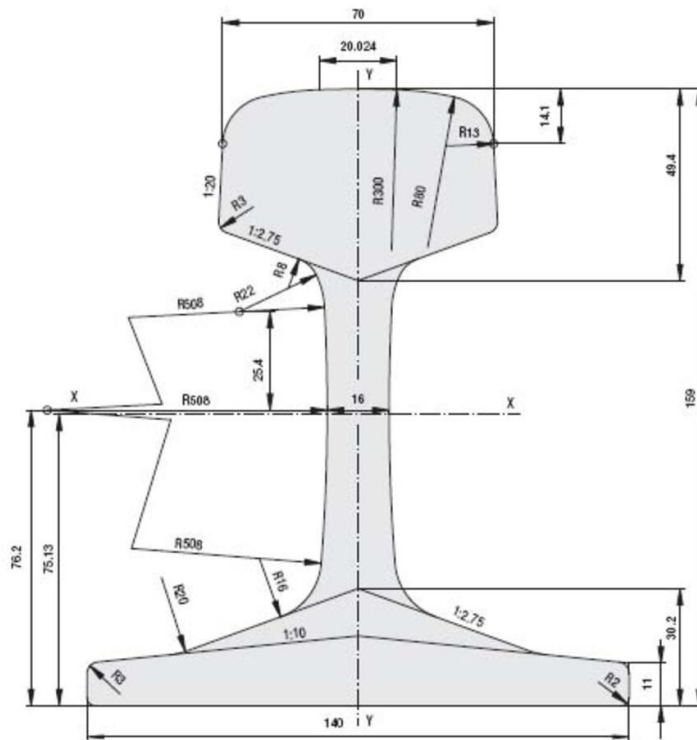
Sinds 2009 stelt ProRail aan aanbestedingstrajecten innovatieve eisen op, op basis van de CO<sub>2</sub>-prestatieladder. Zelf wil ProRail hier ook invulling aan geven door de CO<sub>2</sub>-emissies te laten voldoen aan niveau 4 van de CO<sub>2</sub>-prestatieladder.

Uit de dominantie-analyse (DHV, 2010) blijkt dat spoorstaven een van de grootste bijdragen leveren aan de totale CO<sub>2</sub> uitstoot van de railinfrastructuur.

Op basis van bovenstaande mogen spoorstaven uit vervangingsprojecten, zonder beschadigingen en met minimale slijtage en corrosie hergebruikt worden op het spoorwegennet. Dit is slechts ca 15 % van de 250 tot 300 km spoorstaven die jaarlijks vrijkomen. **Resteert ca 230 km voor toepassing voor een 2<sup>e</sup> leven.**

Momenteel bestaat 67% van het Nederlandse spoorwegennet uit type 54<sup>E1</sup>. Van de nieuw toe te passen spoorstaven is meer dan 90% van dit type. Daarom is het onderzoek op dit type spoorstaaf gericht. Voor de maatvoering wordt verwezen naar Figuur 3-1.

## 54E1 (UIC54)

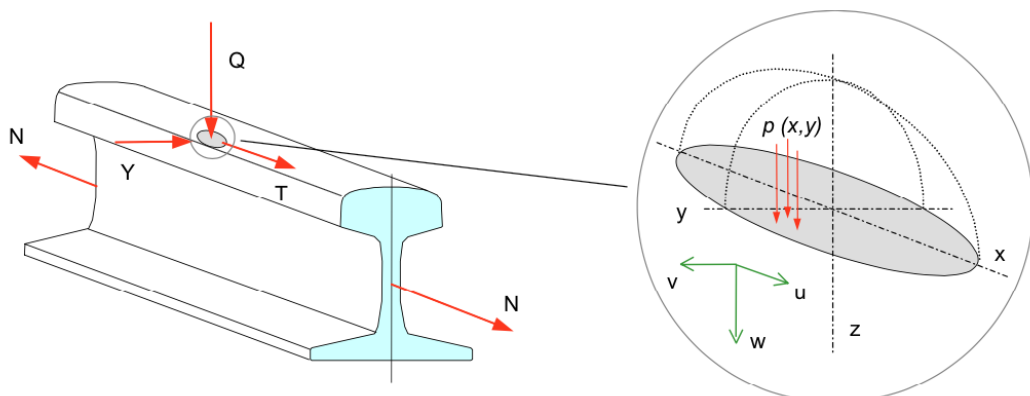


Figuur 3-1: Doorsnede spoorstaaf type 54E1, (<https://www.railpro.online/p/spoorstaaf-54e1>)

### 3.1 Uitgangspunten voor het ontwerp van spoorstaven.

Spoorstaven worden gebruikt om treinstellen te geleiden. De wielen van de treinstellen veroorzaken verschillende krachten op de spoorstaven, verticale krachten  $Q$ , langskrachten  $T$  en dwarskrachten  $Y$ . Deze krachten veroorzaken een elipsvormige contactspanningsverdeling.

Verder kunnen er ook temperatuurskrachten  $N$  optreden, zie Figuur 3-2.

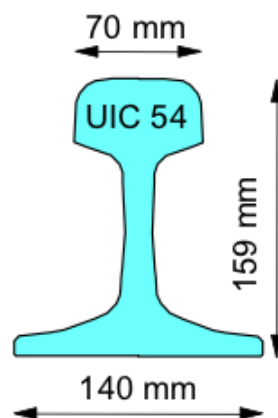


Figuur 3-2: Krachten op een spoorstaaf (Esveld, 2005)

Zoal eerder vermeld, komen voor hergebruik de veel toegepaste spoorstaven type 54<sup>E1</sup> vrij. Dit profiel is internationaal bekend onder UIC 54. UIC staat voor Union International des Chemin de Fer.

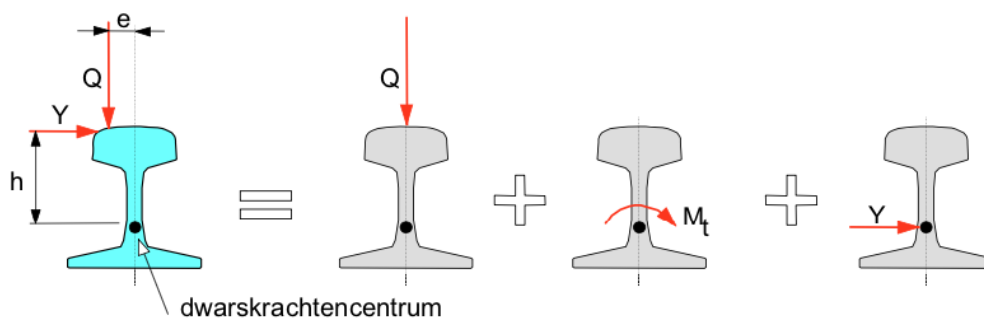
Voor de globale afmetingen van de doorsnede wordt verwezen naar Figuur 3-3. Dit zogeheten Vignole railprofiel kan functioneel gezien in 3 delen worden gescheiden:

- Railkop: vorm afgestemd op een goede samenwerking met het wielbandprofiel. De afmeting moet voldoende groot zijn in verband met “slijtagereserve”.
- Raillijf: dikte bepaald door de stijfheidseis tegen buiging en plooiën en door verlies door corrosie
- Railvoet: breedte moet groot zijn vanwege de standzekerheid van het railprofiel, de drukverdeling op de dwarsligger en de buigstijfheid tegen zijdelingse vervorming. De dikte is onderhevig aan corrosie.



Figuur 3-3: Globale doorsnede spoorstaaf UIC 54. (Esveld, 2005)

In Figuur 3-4 wordt duidelijk gemaakt hoe de belastingen gesplitst kunnen worden om handmatig de verschillende spanningen in de doorsnede te kunnen bepalen.



Figuur 3-4: Belastingplitsing (Esveld, 2005)

Dit type Vignole-profiel is ontwikkeld om de genoemde krachten te kunnen trotseren en de rails te kunnen monteren op dwarsliggers.

### 3.2 Doorsnede- en materiaaleigenschappen spoorstaven.

“Railway applications – Track – Rail Part 1: Vignole railway rails 46 kg/m and above” (NEN-EN 13674-1:2011 + A1:2017, 2017) is de Europese norm waarin de normen staan vermeld waar de spoorstaven in Europa aan moeten voldoen.

Vignole is een serie profielvormen welke toegepast worden voor verkeer dat zich per spoor voortbeweegt. Ander vergelijkbare profielvormen zijn bijvoorbeeld blokrails,

hoge en lage kraanbaanrails. In het verder onderzoek wordt uitsluitend Vignole profiel verder beschouwd.

In Tabel 3-1 staan de staalsoorten die voor het Vignole profiel gebruikt mogen worden. Rood omkaderd zijn de staalsoorten die door Voestalpine gebruikt worden voor het UIC54 profiel.

Tabel 3-1: Staalsoorten voor het vignole-profiel. (NEN-EN 13674-1:2011 + A1:2017, 2017)

**Table 1 — Steel grades**

Steel grade <sup>a</sup>		Hardness range (HBW)	Description	Branding lines
Steel name	Steel number			
R200	1.0521	200 to 240	Non-alloy (C-Mn) Non heat treated	No branding lines
R220	1.0524	220 to 260	Non-alloy (C-Mn) Non heat treated	-----
R260	1.0623	260 to 300	Non-alloy (C-Mn) Non heat treated	--- -----
R260Mn	1.0624	260 to 300	Non-alloy (C-Mn) Non heat treated	----- -----
R320Cr	1.0915	320 to 360	Alloy (1 %Cr) Non heat treated	----- ----- -----
R350HT	1.0631	350 to 390 <sup>b</sup>	Non-alloy (C-Mn) Heat treated	--- -----    -----
R350LHT	1.0632	350 to 390 <sup>b</sup>	Non-alloy (C-Mn) Heat treated	--- -----    ----- ---
R370CrHT	1.0992	370 to 410	Alloy (C-Mn) Heat treated	--- -----    ----- -----
R400HT	1.1254	400 to 440	Non-alloy (C-Mn) Heat treated	----- -----    -----

<sup>a</sup> See Table 5 a) and Table 5 b) for chemical composition/mechanical properties.  
<sup>b</sup> See Table 6 for hardness requirements.

In Tabel 3-2 worden de chemische samenstelling en de mechanische eigenschappen van de staalsoorten weergegeven.

Tabel 3-2: Chemische samenstelling en de mechanische eigenschappen (NEN-EN 13674-1:2011 + A1:2017, 2017)

Table 5 a) — Chemical composition and mechanical properties

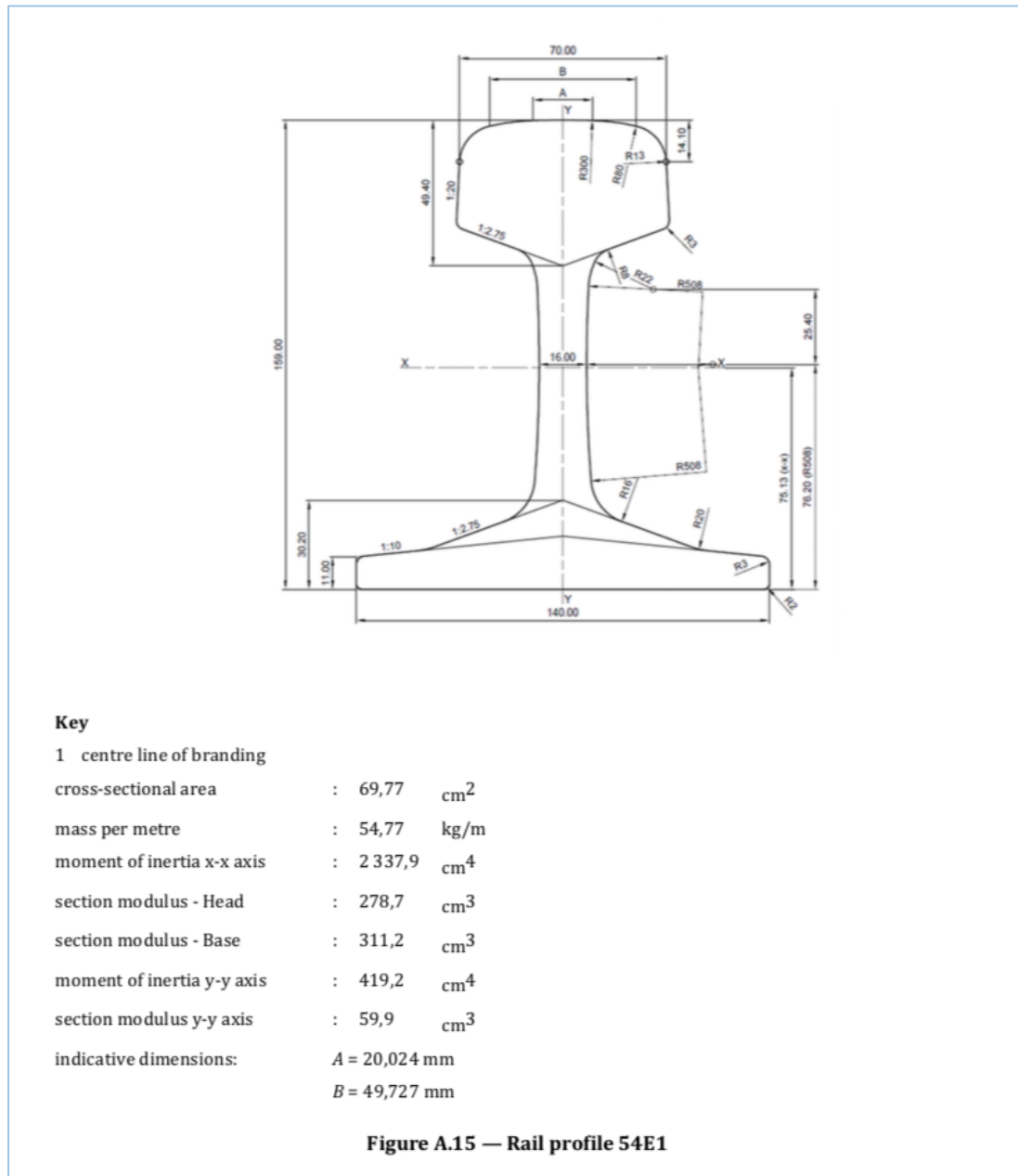
Steel grade		% by mass									10 <sup>-4</sup> % (ppm) by mass max.		Tensile strength R <sub>m</sub> min. MPa	Elongation A min. %	Hardness of the rail running surface, centre line <sup>c</sup> HBW
Steel name	Sample	C	Si	Mn	P max.	S max.	Cr	Al max	V max	N max	O <sup>a</sup>	H <sup>b</sup>			
R200	Liquid	0,40 to 0,60	0,15 to 0,58	0,70 to 1,20	0,035	0,035	≤ 0,15	0,004	0,030	0,009	20	3,0			
	Solid	0,38 to 0,62	0,13 to 0,60	0,65 to 1,25	0,040	0,040	≤ 0,15	0,004	0,030	0,010	20	3,0	680	14	200 to 240
R220	Liquid	0,50 to 0,60	0,20 to 0,60	1,00 to 1,25	0,025	0,025	≤ 0,15	0,004	0,030	0,009	20	3,0			
	Solid	0,48 to 0,62	0,18 to 0,62	0,95 to 1,30	0,030	0,030	≤ 0,15	0,004	0,030	0,010	20	3,0	770	12	220 to 260
R260	Liquid	0,62 to 0,80	0,15 to 0,58	0,70 to 1,20	0,025	0,025	≤ 0,15	0,004	0,030	0,009	20	2,5			
	Solid	0,60 to 0,62	0,13 to 0,60	0,65 to 1,25	0,030	0,030	≤ 0,15	0,004	0,030	0,010	20	2,5	880	10	260 to 300
R260Mn	Liquid	0,55 to 0,75	0,15 to 0,60	1,30 to 1,70	0,025	0,025	≤ 0,15	0,004	0,030	0,009	20	2,5			
	Solid	0,53 to 0,77	0,13 to 0,62	1,25 to 1,75	0,030	0,030	≤ 0,15	0,004	0,030	0,010	20	2,5	880	10	260 to 300
R320Cr	Liquid	0,60 to 0,80	0,50 to 1,10	0,80 to 1,20	0,020	0,025	0,80 to 1,20	0,004	0,18	0,009	20	2,5			
	Solid	0,58 to 0,82	0,48 to 1,12	0,75 to 1,25	0,025	0,030	0,75 to 1,25	0,004	0,20	0,010	20	2,5	1 080	9	320 to 360
R350HT	Liquid	0,72 to 0,80	0,15 to 0,58	0,70 to 1,20	0,020	0,025	≤ 0,15	0,004	0,030	0,009	20	2,5			
	Solid	0,70 to 0,82	0,13 to 0,60	0,65 to 1,25	0,025	0,030	≤ 0,15	0,004	0,030	0,010	20	2,5	1 175	9	350 to 390
R350LHT	Liquid	0,72 to 0,80	0,15 to 0,58	0,70 to 1,20	0,020	0,025	≤ 0,30	0,004	0,030	0,009	20	2,5			
	Solid	0,70 to 0,82	0,13 to 0,60	0,65 to 1,25	0,025	0,030	≤ 0,30	0,004	0,030	0,010	20	2,5	1 175	9	350 to 390
R370CrHT	Liquid	0,70 to 0,82	0,40 to 1,00	0,70 to 1,10	0,020	0,020	0,40 to 0,60	0,004	0,030	0,009	20	1,5			
	Solid	0,68 to 0,84	0,38 to 1,02	0,65 to 1,15	0,025	0,025	0,35 to 0,65	0,004	0,030	0,010	20	1,5	1.280	9	370 to 410
R400HT	Liquid	0,90 to 1,05	0,20 to 0,60	1,00 to 1,30	0,020	0,020	≤ 0,30	0,004	0,030	0,009	20	1,5			
	Solid	0,88 to 1,07	0,18 to 0,62	0,95 to 1,35	0,025	0,025	≤ 0,30	0,004	0,030	0,010	20	1,5	1.280	8 8	400 to 440

<sup>a</sup> See 9.1.3.3.  
<sup>b</sup> See 9.1.3.2.  
<sup>c</sup> See Figure 8.

Voestalpine gebruikt hoofdzakelijk de staalsoort R260Mn. De huidige trend is toepassing van staalsoort R370CrHT, waarbij HT staat voor HeadTreated. Door een snelle afkoeling van de kop van de spoorstaaf na het walsen wordt de lamelstructuur van het staal veel fijner, waardoor de weerstand tegen scheuren langs de korrelgrenzen veel groter wordt. Omdat deze staalsoort pas sinds kort op beperkte schaal wordt toegepast wordt hier niet verder op ingegaan. Omdat spoorstaven uit vervangingsprojecten hoofdzakelijk van staalsoort R260Mn zijn gemaakt, wordt uitsluitend deze staalsoort verder beschouwd.

Behalve de staalsoorten en de daarbij behoren eigenschappen zijn in NEN-EN 13674 ook doorsnede-eigenschappen en toleranties van de profielen genormeerd.

In Figuur 3-5 zijn voor het profiel 54<sup>E</sup>1 de maatvoering en de doorsnedegrootheden zoals oppervlakte van de doorsnede, traagheidsmomenten om de 2 buigingsassen en weerstandsmomenten weergegeven.



Figuur 3-5: Afmetingen en doorsnedegrootheden profiel 54<sup>E</sup>1, UIC 45 (NEN-EN 13674-1:2011 + A1:2017, 2017) Tabel 2-1

Samenvattend geldt voor de spoorstaven van Railpro:

Tabel 3-3: Materiaal- en doorsnede-eigenschappen spoorstaaf UIC54.

Profiel UIC 54			
materiaaleigenschappen R260Mn			
treksterkte	880		N/mm <sup>2</sup>
Breukrek	10		%
Brinell hardheid	260 - 300		--
Doorsnedegrootheden			
A	6977		mm <sup>2</sup>
h	159		mm
b	140		mm
I <sub>y</sub>	2338	*10 <sup>4</sup>	mm <sup>4</sup>
z <sub>y,o</sub>	75,1		mm
z <sub>y,b</sub>	83,9		mm
W <sub>y,o</sub>	311,3	*10 <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup>
W <sub>y,b</sub>	278,7	*10 <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup>
I <sub>z</sub>	419	*10 <sup>4</sup>	mm <sup>4</sup>
z <sub>z</sub>	70		mm
W <sub>z</sub>	59,9	*10 <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup>
G	54,8		kg/m

### 3.3 Degradatie materiaaleigenschappen van de spoorstaaf ten gevolge van het gebruik.

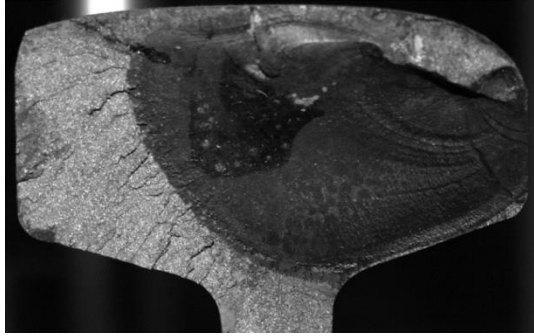
Tijdens het gebruik van het spoor kunnen er oppervlakkige beschadigingen, ontstaan aan de spoorstaven, zoals head check's, squats en studs.

Een head check is het gevolg van het contact tussen treinwiel en spoorstaaf in de buitenbochten. Hier ontstaan verhoogde spanningen waardoor kleine scheurtjes ontstaan aan de zijkant van de spoorstaaf, zie Figuur 3-6.



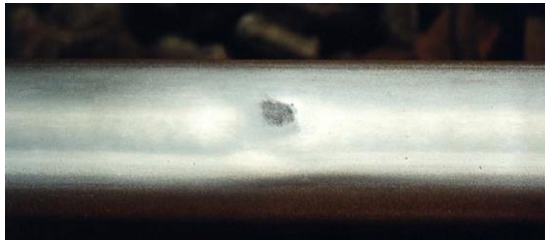
Figuur 3-6: Head check (ProRail, 2016)

Deze scheurtjes kunnen doorgroeien in de kop, waardoor een deel van de kop kan afscheuren zie Figuur 3-7: Doorsnede over een head check



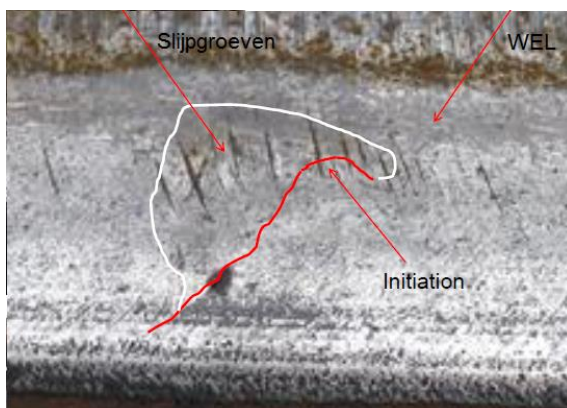
Figuur 3-7: Doorsnede over een head check (ProRail, 2016)

Een squat is een typisch lokaal en op zichzelf staand defect. De locatie van squats is bij een rechtstand van het spoor. Hoewel de oorzaak nog niet wetenschappelijk is aangetoond, wordt deze gezien als het gevolg van stijfheidsverschillen in het spoor. Hierdoor ontstaan versnellingen van treinen die voor “wielbrandwonden” zorgen.



Figuur 3-8: Squat (ProRail, 2016)

Een stud is een vrij nieuw type defect. Het heeft overeenkomsten met de squat maar miste de ruwe beschadigingen en bevinden zich in het midden van de spoorkop.



Figuur 3-9: Stud (ProRail, 2016)

Zonder preventief onderhoud kunnen deze defecten op den duur leiden tot grotere gebreken. Preventief onderhoud gebeurt door het slijpen van de spoorstaven door een slijptrein.

Het slijpen van de spoorstaven heeft invloed op de materiaaleigenschappen van de spoorstaven. De diepte van de invloed beperkt zich tot het oppervlak van de staaf en is na een aantal treinpasseringen afgesleten.

Het rijden van de treinen veroorzaakt een dynamische belasting op de spoorstaven. Hierbij blijft de gemiddelde spanning in de spoorstaaf erg laag. Ter plaatse van het wielcontact op de staaf ontstaan wel hoge piekspanningen. De invloed van de



dynamische belasting op de materiaaleigenschappen is hierdoor waarschijnlijk verwaarloosbaar. Voor zover bekend is hier geen onderzoek naar gedaan. Aanbeveling is om de materiaaleigenschappen van de staven opnieuw vast te stellen.

### 3.4 Degradatie doorsnede van de spoorstaaf door het gebruik.

Door wrijving tussen wielen van de treinstellen en ten gevolge van corrosie neemt gedurende de gebruiksfase de doorsnede af. Deze degradatie van de doorsnede zal voor beide oorzaken nader worden beschouwd. De railkop zal met name onderhevig zijn aan slijtage en het raillijf en de railvoet aan corrosie. Indien de doorsnede-degradatie te groot geworden is, zullen de materiaalspanningen in de spoorstaaf, ten gevolge van de belastingen uit Figuur 3-2 en Figuur 3-4, de materiaalsterkte overschrijden, waardoor de veilige berijdbaarheid van het spoor in geding komt. Belangrijker is dat ten gevolge van slijtage van de railkop de speling tussen treinwiel en railkop dermate groot wordt dat er extra slijtage op de treinwielen ontstaat.

Prorail heeft diverse documenten opgesteld om veiligheid van reizigers te waarborgen tegen falen van de spoorwegen en om vertragingen ten gevolge van treinvuurt te minimaliseren.

In document OHD00033 “Instandhoudingsspecificaties” (ProRail, 2015) is, de te realiseren levensduur van onder andere de spoorstaven vastgelegd, de wijze waarop de geometrische ligging moet worden gemonitord en de toetsing aan de bodemwaarden (BW) en de veiligheidswaarde (VW).

Document IHD00018 “Instandhoudingsdocument” (ProRail Productbeheer, 2005) geeft de definities van de Bodemwaarde en de Veiligheidswaarde.

Bodemwaarde BW: kwaliteitswaarde als minimum norm door Prorail gesteld, welke niet mag worden gepasseerd.

Veiligheidswaarde VW: Waarde welke onder geen beding mag worden gepasseerd omdat daarmee de veilige berijdbaarheid van het spoor in het geding komt.

De acties die gevolgd moeten worden bij het bereiken van een van de waarden zijn:  
BW: Uiterlijk 6 weken na constatering een onderhoudsplan voor de periode tot vervanging vaststellen.

VW: Direct een Tijdelijke SnelheidsBeperking TSB instellen, van  $V_{max} = 40$  km/u EN de spoorstaaf binnen 48 uur vervangen.

De minimale te realiseren levensduur is 25 jaren, de maximale te realiseren levensduur 70 jaren. Men gaat uit van een gemiddelde levensduur van ca 40 jaren. Een meettrein UFM120 meet ultrasoon de kopslijtage, indien nodig wordt deze exacter bepaald door mallen of een meettrolley.

In de Tabel 3-4 zijn voor de horizontale en de verticale slijtage de bodem- en de veiligheidswaarden weergegeven.

Op basis van een snelheid van 41 tot 100 km en uitgaande van de conservatieve veiligheidswaarde is bij de slijtageberekening rekening gehouden met de kopslijtage van 15 mm rondom.

Tabel 3-4: Bodem- en veiligheidswaarden voor horizontale en verticale slijtage (ProRail, 2015)

#### Horizontale en verticale slijtage spoorstaven

Slijtage van (in mm):	Horizontaal		Verticaal	
	BW	VW	BW	VW
Onbew. delen in 46E3 t/m 40 km/uur	16	18	12	14
Onbew. delen in 46E3 41 t/m 100 km/uur	13	15	10	12
Onbew. delen in 46E3 101 t/m 160 km/uur	10	12	10	12
Onbew. delen in 54E1 t/m 40 km/uur	16	18	15	17
Onbew. delen in 54E1 41 tot 100 km/uur	13	15	13	15
Onbew. delen in 54E1 101 t/m 160 km/uur	10	12	13	15
Onbew. Delen in 60E1/E2-40 t/m 40 km/uur	16	18	19	23
Onbew. Delen in 60E1/E2-40 41 t/m 100 km/uur	13	15	16	20
Onbew. Delen in 60E1/E2-40 101 t/m 160 km/uur	10	12	16	20

Met behulp van document RLN00036-V002 “Spoorstaafgebreken” (ProRail, 2012) worden breuken, scheuren en beschadigingen geclassificeerd, de mogelijkheden vermeld hoe deze vastgesteld kunnen worden en welke maatregelen hierbij getroffen moeten worden.

Spoorstaafgebreken worden in de volgende categorieën ingedeeld:

*Beschadigde spoorstaaf:* noch gescheurd, noch gebroken maar andere gebreken die zich over het algemeen bevinden aan de oppervlakte van de spoorstaaf.

*Spoorstaaf met scheuren:* één of meerdere scheurtjes, zichtbaar of onzichtbaar welke binnen afzienbare tijd tot een breuk kunnen leiden.

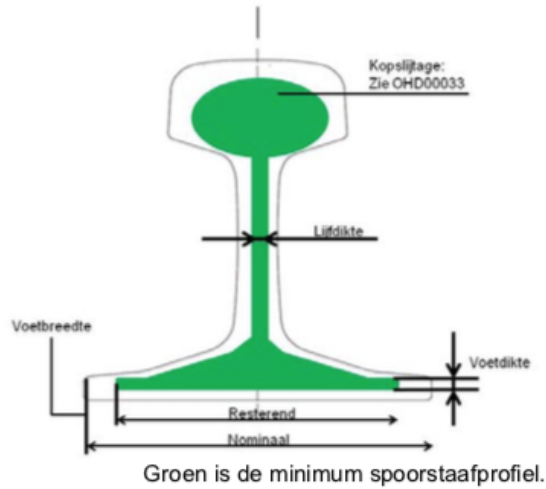
*Gebroken spoorstaaf:* een spoorstaaf die in 2 of meerdere delen uiteengevallen is of waarvan een stuk heeft losgelaten waardoor in het loopvlak een hiaat is ontstaan met een lengte meer dan 50 mm en een diepte van meer dan 10 mm.

**Uitsluitend staven onder de categorie: beschadigde spoorstaaf kunnen in aanmerking komen voor een eventueel 2<sup>e</sup> leven.**

In het document RLN00399 “Identificatie en typering van spoorstaafgebreken” (ProRail, 2016) heeft ProRail de meest voorkomende defecten benoemd met identificatie en typering. Ook de corrosie van de voet en lijf van het railprofiel, die ontstaat als gevolg van een reactie met zuurstof maakt onderdeel uit van dit rapport. In Figuur 3-10 zijn de normen weergegeven van de minimale resterende profielafmetingen.

## Normblad voor corrosie

Normen voor minimaal resterende profielafmetingen ( zie ook deel 1 RLN00399)



	54 <sup>E1</sup> // 54 <sup>E5</sup>			46 <sup>E3</sup>			60 <sup>E1</sup>		
	Nom	BW	VW	Nom	BW	VW	Nom	BW	VW
<b>Bevestiging</b>	Bevestiging moet altijd nog volledig grip hebben op de spoorstaafvoet en voldoende klemkracht uitoefenen.								
<b>Lijfdikte</b>	16	12	10	14	11	10	16,5	12	10
<b>Voetdikte</b>	11	7	6	11,5	7	6	11,5	7	6
<b>Voetbreedte</b>	140	94	70	120	81	60	150	101	75

**Nom = Nominaal:** Nieuwbouwwaarde met tolerantie volgens SPC00011 en RLN00002 (EN13674).

Figuur 3-10: Minimaal resterende profielafmetingen (ProRail, 2016)

De gegeven normwaarde omvat de minimumwaarden van de doorsnede afmetingen waarbij de spoorstaven vervangen worden bij een grootschalig vervangingsproject.

### **Conclusie:**

Bij de bepaling van de degradatie wordt een slijtage van de railkop aangehouden van 15 mm rondom. Voor corrosie worden resterende maten voor lijfdikte van 12 mm, voetdikte van 7 mm en voetbreedte van 94 mm aangehouden bij de berekening van de nieuwe doorsnede.

### 3.5 Conclusie

De functie van de spoorstaaf is een langdurige, veilige en stabiele geleiding van treinen van A naar B. Hiervoor is een speciaal Vignola profiel ontwikkeld met een staalsoort, speciaal voor spoorstaven, R260Mn.

Uitsluitend spoorstaven uit vervangingsprojecten, categorie *Beschadigde spoorstaaf*, komen mogelijk in aanmerking voor hergebruik voor andere doeleinden zoals bijvoorbeeld constructieve doelen.

De beschadigde spoorstaaf is onderhevig aan slijtage en corrosie, waardoor de doorsnede van de spoorstaven is afgenomen en niet meer voldoet aan de bodem- of veiligheidswaarde, die Prorail aan de spoorstaven stelt.

Bij gebruik van de spoorstaven voor een andere functie, zoals bijvoorbeeld een voetgangerstraverse, zullen de doorsnedegrootheden van de gereduceerde doorsnede berekend moeten worden.

Staalsoort R260Mn is de meest gebruikte staalsoort van de spoorstaven die vrijkomen bij grote vervangingsprojecten. Door een andere chemische samenstelling van R260Mn ten opzichte van constructiestaal, zullen de mechanische eigenschappen van deze staalsoort vergeleken moeten worden met de gebruikelijke staalsoorten voor bouwconstructies zoals S235 en S355. Verder zal getoetst moeten worden in hoeverre deze voldoen aan de eisen vermeld in NEN-EN 1993-1-1, incl. NB.

De invloed van het slijpen van de spoorstaven (onderhoud) en de dynamische belastingen (gebruik), waarop de spoorstaven onderhevig zijn, kan verandering van de korrelstructuur van het staal veroorzaken en daarmee een degradatie van bepaalde mechanische eigenschappen.

## 4. Ontwerpeisen modulaire, demontabele en herbruikbare traverse.

De te ontwerpen traverse wordt gebouwd over een nieuw te realiseren eilandperron als een tijdelijk bouwwerk gedurende de bouw van het eilandperron en de naast gelegen sporen. Het profiel van vrije ruimte, onder de traverse, is dus afhankelijk van het te bouwen perron en de eisen met betrekking tot de naastgelegen sporen met de bovenleidingconstructie.

Het profiel van vrije ruimte van de traverse zelf is afhankelijk van het aantal mensen dat gelijktijdig gebruik maakt van de traverse. Behalve de traverse zullen er per zijde ook 2 verticale stijpunten gecreëerd moeten worden door middel van een trap en een lift per zijde.

Vanwege de tijdelijke aard en de herbruikbaarheid van de traverse worden eisen gesteld ten aanzien van modulering, vervoerbaarheid, montage- en demontage-snelheid van de traverse.

### 4.1 Afmetingen van de traverse.

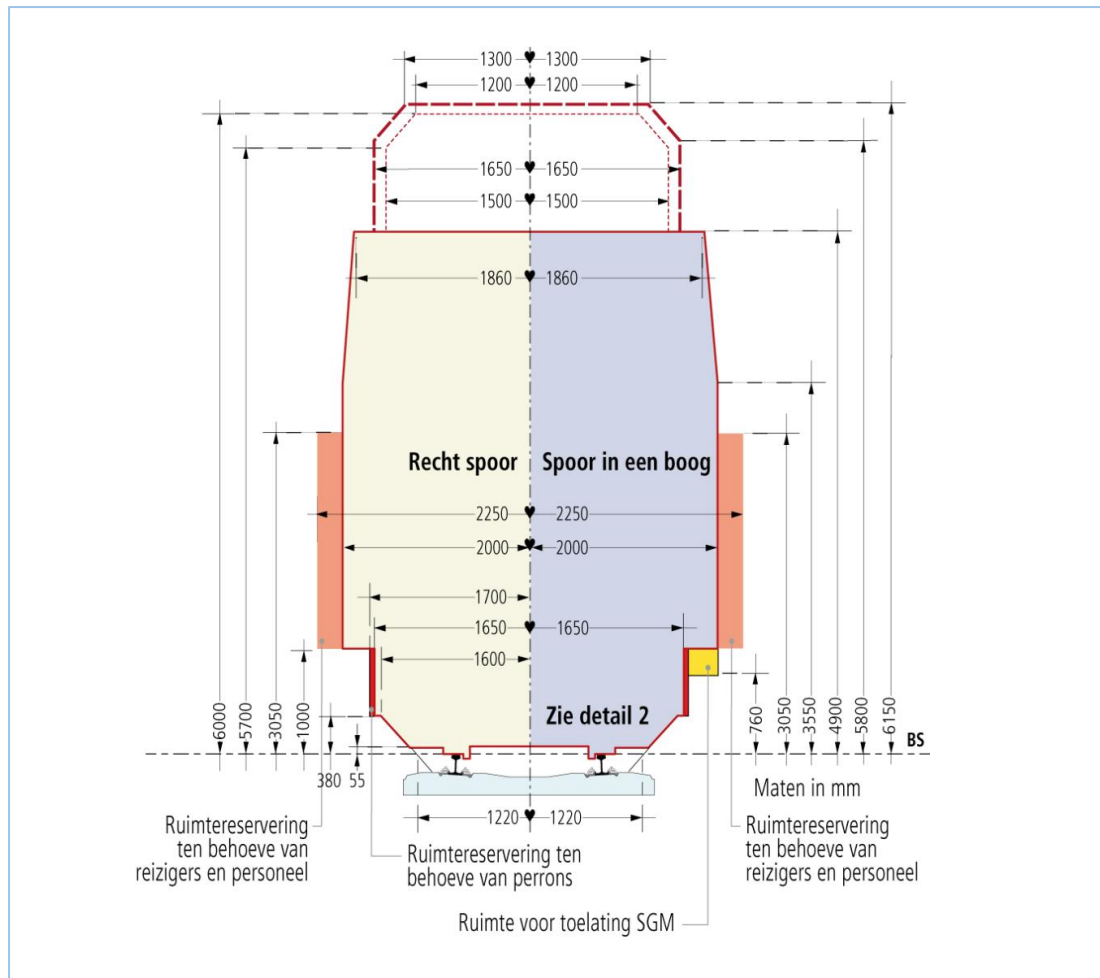
De ontwerpvoorschriften van Prorail geven minimale maten aan voor de breedte van het perron en de stijpunten. De minimale ruimte tussen een stijpunt en de rand van het perron bij het spoor bedraagt 2,4 m. De streefwaarde voor de vrije breedte van het perron is 3,2 m, voor afvalbakken en bankjes 0,75 m. De minimale breedte van een stijpunt wordt bepaald door het aantal mensen dat gebruik maakt van de perrons en het aantal aanwezige stijpunten. Een maat die veelvuldig voorkomt bij dergelijke eilandperrons is ca. 4,0 m.

Totaal wordt hierdoor de breedte van het perron  
 $3,2 + 0,75 + 4,0 + 0,75 + 3,2 = \text{ca. } 12 \text{ m}$

Voor de sporen wordt verwezen naar het matenkaartje Figuur 4-1 . Deze breedte moet vergroot worden met de ruimte van een onderhoudspad/vluchtroute van ca. 1,0 m. Het profiel van vrijruimte van een dubbel spoor bedraagt:  
 $2*(2,25+2,25) + 1,0 = \text{ca } 10 \text{ m.}$

De werkruimte voor het bouwen van het eilandperron en de sporen bedraagt ca. 2,5 m per zijde.

De breedte b, van het profiel van vrije ruimte onder de traverse, wordt hierdoor:  
 $b = 2,5 + 10 + 12 + 10 + 2,5 = \text{ca } 37 \text{ m}$



Figuur 4-1: Profiel van vrije ruimte. (<https://matenkaartje.railcenter.nl>)

De vrije hoogte onder de traverse wordt vastgelegd ten opzichte van een vaste maat namelijk bovenkant nieuw te realiseren spoor (BK = Bovenkant Spoor). De minimale rijdraadhoogte is volgens de ontwerpvoorschriften 5,1 m. Voor het doorhangen van de rijdraad, transformatoren, hoogte van de portaalligger, onderhoudsruimte etc. wordt tezamen 0,7 m aangehouden. Voor de doorbuiging van de traverse wordt  $0,002 \times 3,7 = 0,1$  m aangehouden. De hoogte van het perron ten opzichte van bovenkant spoor is in verband met de (rolstoel) toegankelijkheid 0,8 m. Echter de perrons worden meestal hoger gelegd, zodat het verticale alignment van het spoor zoveel mogelijk het maaiveld volgt. Het hoogteverschil met de perrons kan hierdoor buiten de berekening van de vrije hoogte vastgesteld worden. Ook hier is werkruimte voor de bouw van de portalen etc. van 2,5 m nodig.

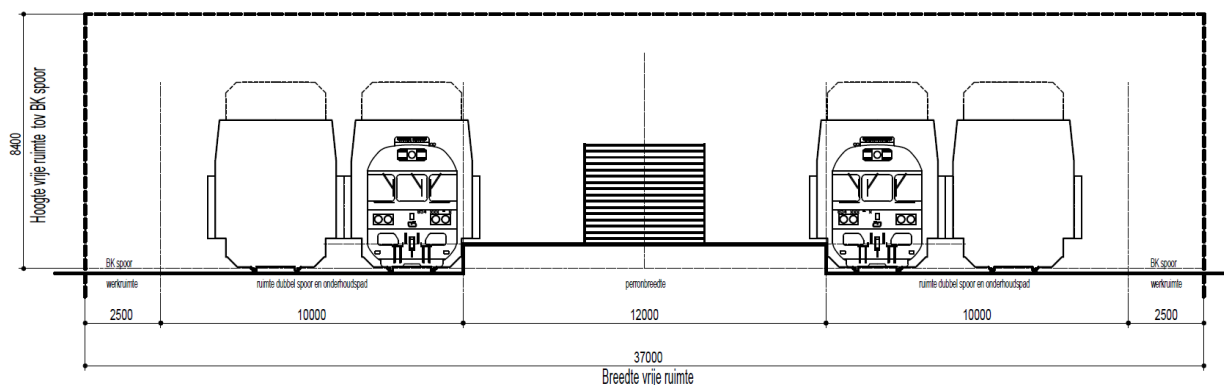
De hoogte  $h$ , van het profiel van vrije ruimte onder de traverse tot bovenkant spoor wordt:

$$h = 5,1 + 0,7 + 0,1 + 2,5 = 8,4 \text{ m.}$$

Voor de vrije breedte van de stijpunten en breedte van de tijdelijke traverse wordt, vanwege het tijdelijke karakter een maat van 3,5 m. aangehouden. De vrije hoogte wordt 3,0 m.

Tabel 4-1: Overzicht van maten ontwerp traverse

Onderdeel	Literatuuronderzoek
Vrije breedte onder de traverse	37,0 m
Vrije hoogte onder de traverse tov bk spoor	8,4 m
Vrije inwendige breedte van de traverse	4,0 m
Vrije inwendige hoogte van de traverse	3,0 m
Vrije breedte van het stijgpunt trap	4,0 m



Figuur 4-2: Vrije ruimte onder de traverse

## 4.2 Belastingen op de traverse.

De belasting die door de traverse gedragen moeten worden bestaan uit:

- Permanente belastingen: deze worden bepaald per alternatief dat uitgewerkt wordt.
- Opgelegde belastingen volgens NEN-EN 1991-1-1 NB: klasse C5, grote mensenmassa's op de traversevloer. Er zijn geen zwaardere eisen gevonden in Prorail-eisen.
  - $P_{Qk} = 5,0 \text{ kN/m}^2$
  - $F_{Qk} = 7,0 \text{ kN}$
  - $\Psi_0 = 0,6$ ; vluchtroute,  $\Psi_0 = 0,6$ ; normaal gebruik,  $\Psi_1 = 0,7$   $\Psi_2 = 0,6$
- Windbelasting volgens NEN-EN 1991-1-4 NB: Vanwege de herbruikbaarheid zal de stuwdruk voor gebied 1, onbebouwd worden gehanteerd, bij een hoogte van 8,0 m (7,6 m hoogte perron + 0,4 m hoogte perron t.o.v. maaiveld). Deze bedraagt:  $q_p(12,5) = 1,09 \text{ kN/m}^2$ .
- Sneeuwbelasting volgens NEN-EN 1991-1-3 NB: op traverse dak : geen sneeuwophoping  $P_{Q,sn} = 0,8 * 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$ .
- Regenbelasting, niet maatgevend t.o.v. sneeuwbelasting door het toepassen van voldoende afschot, afvoeren en noodafvoeren.

### Conclusie:

Waarden uit Tabel 4-2 worden gehanteerd.

Tabel 4-2: Waarden belastingen op de traverse

Belastingen op traverse :								
	Afkorting	Dak	Vloer	Gevels	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$	opm.
		kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>				
Permanent	$P_{Gk}$	wordt later vast gesteld			1,0	1,0	1,0	
Opgelegd vloer	$P_{Qk}$		5,00		0,6	0,7	0,6	wordt gezien als vluchtroute
Sneeuw	$P_{Qk;sn}$	0,56			0,0	0,2	0,0	
Wind	$P_{Qk;w}(12,5)$	1,09	1,09	1,09	0,0	0,2	0,0	

### 4.3 Betrouwbaarheid van een constructie.

NEN-EN 1990 NB bepaalt aan welke waarde de betrouwbaarheid van een constructie moet voldoen en hoe deze betrouwbaarheid moet worden aangetoond. De gehele betrouwbaarheidsfilosofie van de NEN-EN 1990, is gebaseerd op kansberekening en statistische berekeningen.

Hierbij wordt gekeken naar kans en gevolgen van specifieke situaties.

Om de kans op overschrijding van een belasting voldoende klein te houden wordt de kans berekend over een referentieperiode. Dit is de periode waarin de constructie moet blijven functioneren. Is deze periode klein dan is ook de kans klein op "overbelasting" van de constructie. Ook het gevolg van een overbelasting is een belangrijk item in de veiligheidsfilosofie. Is het gevolg klein, weinig leed voor mens en dier en/of weinig economische schade dan kan men een groter risico lopen dan bij een groot gevolg. Hiervoor moet een constructie in een risicoklasse worden ingedeeld. Er wordt in de norm een

Voor de traverse is het volgende vastgesteld:

Omdat de traverse meerdere keren gebruikt moet gaan worden wordt een referentieperiode van 50 aangehouden.

Omdat grote mensenmassa's gelijktijdig de traverse moeten kunnen gebruiken is de voorwaarde van Prorail dat de traverse onder Gevolgklasse CC 3 valt, dus het hoogste risico met groot gevolg. In de nationale bijlage van NEN-EN 1990 worden, voor de toetsing van de uiterste grenstoestand "sterkte van een constructie" 2 vergelijkingen aangegeven waarmee de belastingen op een constructie moeten worden berekend:

$$6.10.a \quad E_d = \gamma_{FG} * G_k + \gamma_{FQ,1} * \Psi_{0,1} * Q_{k,1} + (\sum \gamma_{FQ,i} * \Psi_{0,i} * Q_{k,i})$$

$$6.10.b \quad E_d = \zeta * \gamma_{FG} * G_k + \gamma_{FQ,1} * Q_{k,1} + (\sum \gamma_{FQ,i} * \Psi_{0,i} * Q_{k,i})$$

In vele gevallen kan na invulling van de belastings ( $\gamma$ )-, combinatie ( $\Psi$ )- en reductiefactoren ( $\zeta$ ) de vergelijkingen geschreven worden voor CC3

$$6.10.a \quad E_d = 1,5 * G_k + 1,65 * \Psi_{0,1} * Q_{k,1}$$

$$6.10.b \quad E_d = 1,35 * G_k + 1,65 * Q_{k,1}$$



#### 4.4 Modulair, demontabel bouwen.

In de literatuur komt de term IFD-bouwen veelvuldig voor. IFD staat voor Industrieel Flexibel en Demontabel. Hiervoor is (Bouwen met staal, 2001) bestudeerd.

Met industrieel wordt bedoeld dat elementen in fabrieken worden geproduceerd en op bouwplaatsen worden geassembleerd. Hierbij wordt ook vaak de term clean, lean en mean gebruikt. Met clean wordt bedoeld het werken in een fabriek onder schone en geklimatiseerde omstandigheden. Lean wil zeggen dat procesmatig alles geoptimaliseerd wordt. Hierbij wordt gedacht aan het snel assembleren op de bouwplaats, zodat een korte bouwtijd gerealiseerd kan worden en zo efficiënt mogelijk met arbeid en materieel wordt omgegaan. Met mean bouwen wordt slim bouwen met zo min mogelijk verspilling bedoeld. Uit presentaties van IMD raadgevend ingenieurs bij STUfib over demontabel bouwen, is de kennis opgedaan, dat voor de efficiëntie de modules zo groot mogelijk gekozen moeten worden. Het voorbeeldproject waarbij deze stelling aan de orde is gekomen, is onder andere het tijdelijke gerechtsgebouw in Amsterdam.

Onder flexibel wordt verstaan dat het bouwwerk snel kan worden aangepast aan de behoeften van de gebruiker. Dit houdt in dat door het bouwen in modules het bouwwerk kan worden uitgebreid door modules toe te voegen of verkleind kan worden door modules weg te nemen. Dit is voor de traverse op dit moment NIET relevant.

Om de industriële modules te kunnen assembleren en de flexibiliteit te waarborgen moeten de verbindingen snel en eenvoudig te monteren en demonteren zijn, dit verstaan we onder demontabel bouwen.

De modules worden in een fabriek onder goede arbeids- en weersomstandigheden gebouwd waardoor kwalitatief goede producten gemaakt kunnen worden. Daarna moeten de elementen naar de bouwplaats vervoerd worden. Voor de traverse zijn 2 mogelijke vervoersmethoden. Over het spoor en over de weg. Aan zowel vervoer het spoor als over de weg zitten beperkingen aan de maximale afmetingen die vervoerd kunnen worden. Omdat de tijdelijke traverse onder beheer gaat vallen van Railpro, is het vervoersitem met Dhr. D. Roufs besproken. Hieruit is naar voren gekomen dat gezien de drukte op het spoor, vervoer over de weg als enige optie wordt gezien. In deze literatuuronderzoek zal alleen deze optie beschouwd worden.

In de regelingen voertuigen artikel 5.18.11 t/m 5.18.18 van de RDW staan de maximale afmetingen van voertuigen vermeld. Dit zijn de maten van de voertuigen opleggers etc. Inclusief de lading.

Om de afmetingen van specifiek de lading te bepalen, moeten de afmetingen gecorrigeerd worden met bijvoorbeeld de eigen hoogte van oplegger. Dit is merk gebonden.

Via sites van vervoerders zijn wel richtmaten van belading te achterhalen.

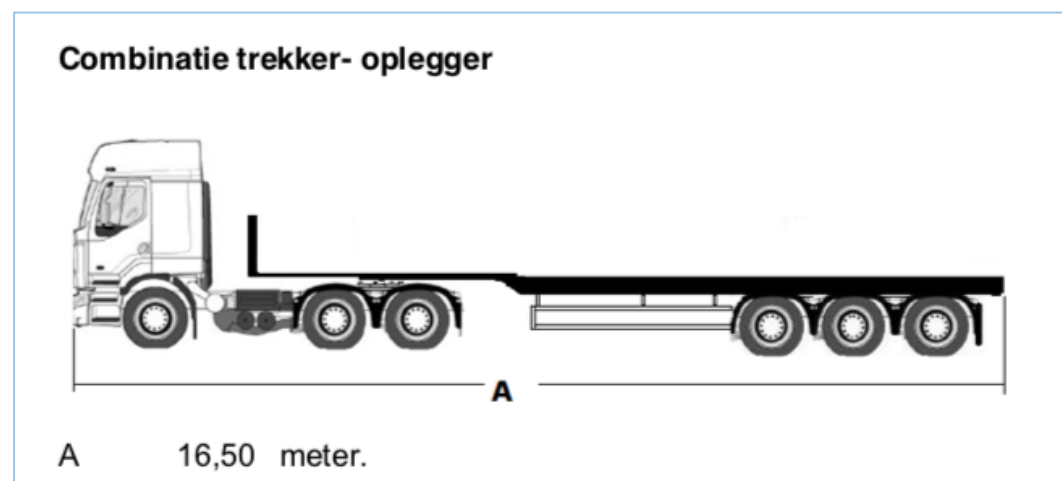
Bijvoorbeeld: <https://martenstransport.nl/exceptioneel-transport/vergunningen> .

Moet er lading vervoerd worden die groter, breder of hoger is dan kan hiervoor door het vervoersbedrijf ontheffing worden aangevraagd. Voor dit speciaal transport kan de vervoerder een doorlopende of een incidentele vergunning aanvragen.

In Tabel 4-3 is een overzicht gegeven van vervoer zonder ontheffing, met doorlopende ontheffing en incidentele ontheffing.

Tabel 4-3: Gewichten en afmetingen transport over de weg

<b>Gewichten en afmetingen transport over de weg</b>			
<b>Zonder ontheffing</b>			
	trailer	semi-dieplader	Euro- dieplader
Lengte	16,5 m	n.v.t.	n.v.t.
Breedte	2,55 m	n.v.t.	n.v.t.
Hoogte	4,0 m	n.v.t.	n.v.t.
Gewicht	50.000 kg	n.v.t.	n.v.t.
<b>Doorlopende ontheffing</b>			
	trailer	semi-dieplader	Euro- dieplader
Lengte	27,0 m	27,0 m	27,0 m
Breedte	3,50 m	3,50 m	3,50 m
Hoogte	4,25 m	4,25 m	4,25 m
Gewicht	50.000 kg	63.000 kg	100.000 kg
<b>Incidentele ontheffing</b>			
	trailer	semi-dieplader	Euro- dieplader
Lengte	27,0 m	40,0 m	> 40,0 m
Breedte	3,50 m	4,50 m	> 4,50 m
Hoogte	4,20 m	4,50 m	> 4,50 m
Gewicht	100.000 kg	100.000 kg	> 100.000 kg



Figuur 4-3: Maximale lengte combinatie trekker – oplegger (RDW, 2012)

In Figuur 4-3 is de maximale combinatielengte weergegeven waarbij zonder ontheffing lading vervoerd mag worden.

Maximale lengte van de lading bedraagt ongeveer lengte combinatie -cabine + achteroverstek =  $16,5 - 2,3 + 1,0 = 15,2$  m.

Maximale breedte van de lading ongeveer 2,5 m. Hoogte  $4,0 - 0,7 = 3,3$  m.

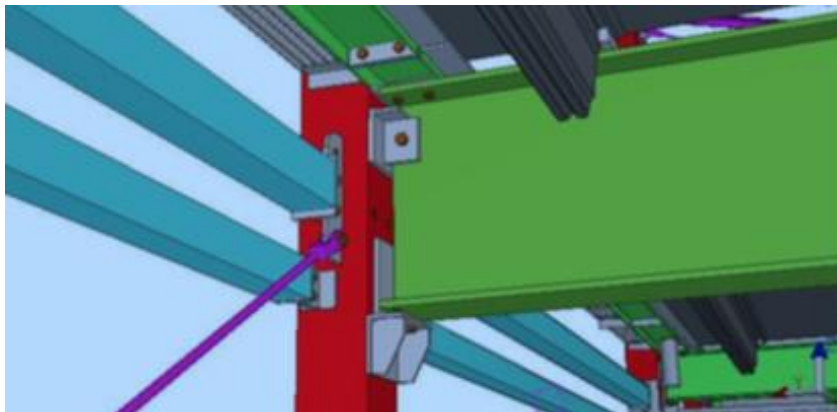
#### 4.5 Slimme en demontabele verbindingen.

Om “lean” te kunnen assembleren zijn slimme en demontabele verbindingen een vereiste. De eisen die aan de demontabele verbindingen gesteld moeten worden, zijn:

- De elementen zijn zonder beschadigingen, niet vervuild te monteren en demonteren.
- De componenten moet zodanig ontworpen worden dat de verbindingen bereikbaar zijn en blijven.
- Herbruikbaar zijn voor volgende gebruikssituaties.

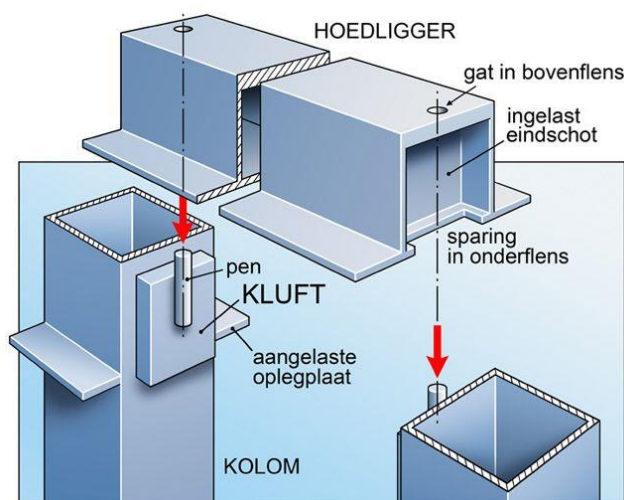
Dit houdt in dat droge verbindingen, dus geen las en/of gietverbindingen, toegepast moeten worden, Figuur 4-4.

Vaak resulteert dit in verbindingen die slechts in geringe maten momenten kunnen overbrengen tussen de te verbinden componenten en zal de stabiliteit van de gehele constructie hierop ontworpen moeten zijn.



Figuur 4-4: Demontabele verbinding voor een demontabele parkeergarage (Aan de Stegge BV, 2018)

Een mogelijke type slimme verbinding is te zien in Figuur 4-5:



Figuur 4-5: Kluft verbinding (Grunbauer, 2018)

## 4.6 Conclusie

Om een modulaire, demontabele en herbruikbare traverse te bouwen, worden er eisen gesteld aan de elementen, die samen de traverse gaan vormen.

De maten van de tijdelijke traverse zijn gebaseerd op het profiel van vrije ruimte onder en binnen in de traverse.

Het profiel van vrije ruimte onder de traverse is bestemd voor de bouw van een eilandperron met aan weerszijden een dubbel spoor met bovenleidingen en rondom een werkruimte. Verder moet de traverse voldoende capaciteit bieden en voldoende draagkracht bezitten zodat een mensenmassa veilig de tijdelijke perrons kan bereiken.

In Tabel 4-1: Overzicht van maten ontwerp traverse, staan de afmetingen waaraan de traverse moet voldoen.

Tabel 4-2: Waarden belastingen op de traverse, vermeldt de belastingen waarop de traverse ontworpen moet worden. De traverse valt onder de hoogste gevolgklasse CC3, waardoor de volgende belastingsfactoren voor toetsing van de uiterste grenstoestand gebruikt moeten worden:

- Vgl. 6.10.a.:  $\gamma_{FG} = 1,50$  en  $\gamma_{FQ} = 1,65$ ,  $\psi_0 = 0,6$
- Vgl. 6.10.b.:  $\gamma_{FG} = 1,35$  en  $\gamma_{FQ} = 1,65$ ,  $\psi_0 = 1,0$

De traverse moet ontworpen worden uit grote elementen met zoveel mogelijk vaste modulematen. De maximale afmeting is gelimiteerd tot de afmeting die over de weg vervoerbaar is. Gekozen is voor transport zonder ontheffing. Hierbij zijn de maximale afmetingen van de lading:  $L \times B \times H = 15,2 \times 2,5 \times 3,3$  m.

Om effectief herbruikbaar te bouwen zijn, behalve de grote afmetingen, ook slimme verbindingen noodzakelijk die voldoen aan de volgende eisen:

- Verbindingen zijn en blijven bereikbaar en ervoor zorgen dat de elementen zonder beschadigingen gemonteerd en gedemonteerd kunnen worden.
- De verbindingen zijn herbruikbaar voor de volgende gebruikssituatie.

## 5. Referentieproject tijdelijke traverse station Driebergen-Zeist

Op dit moment wordt het station Driebergen-Zeist omgebouwd en voorzien van een eilandperron. Zie Figuur 5-1.

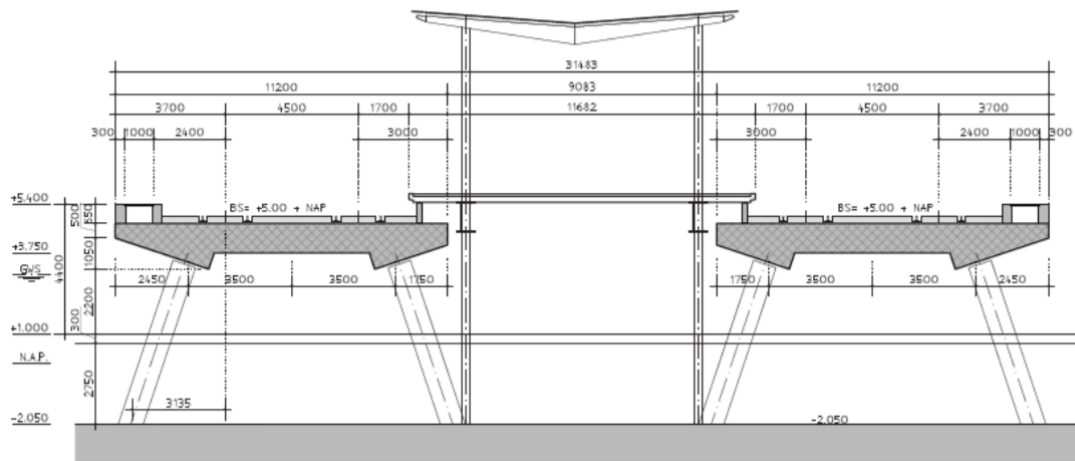


*Figuur 5-1: Artist impression van het verlaagde stationsgebied met eilandperron (Arcadis, 2011)*

Verschil met een standaard eilandperron is de verhoogde ligging van het perron met verlaagd stationsgebied. Zie [animatie van het stationsgebied Driebergen-Zeist](#). (stationsgebied Driebergen-Zeist, 2018) (Arcadis, 2011)

In 2011 is door Arcadis deze planstudie afgerond genaamd: Stationsgebied Driebergen-Zeist Planstudie Fase 2B, met nummer 0756646080:C (Arcadis, 2011). In dit document staan de uitgangspunten voor het hele plangebied inclusief het ontwerp voor de doorsnede van de nieuwe sporen en perrons.

In Figuur 5-2 is de doorsnede weergegeven. Te zien is het eiland perron met overkapping en 2 maal 2 sporen. De aan de perrons gelegen sporen voor de stoptreinen en de 2 buitenste sporen voor de intercity's.



Figuur 5-2: Doorsnede nieuwe situatie perron met spoordekken. (Arcadis, 2011)

Om tijdens de realisatie van het nieuwe perron met sporen de functionaliteit van het bestaande station te waarborgen is een tijdelijke traverse gebouwd. Zie Figuur 5-3.

Vergelijkbaar met de wijze van paragraaf 1.3.1. is, op basis van de ontworpen doorsnede, de vrije breedte  $b$ , onder de traverse te bepalen door  $b = 2,5 + 31,5 + 2,5 = 36,5$  m.



Figuur 5-3: Foto tijdelijke traverse Driebergen-Zeist

In maart 2018 zijn tijdens een opname de volgende maten van de tijdelijke traverse opgemeten, Tabel 5-1.

Tabel 5-1: Hoofdafmetingen traverse

Onderdeel	Opgemeten Driebergen-Zeist
Vrije breedte onder de traverse	33,5 m
Vrije hoogte onder de traverse tov bk spoor	8,8 m
Vrije inwendige breedte van de traverse	3,7 m
Vrije Inwendige hoogte traverse	3,4 m
Breedte stijgpunt trap	3,8 m

Het perron heeft in het midden een vide voor trappen, zie impressie Figuur 5-4. De trappen verbinden het lagergelegen stationsgebied met de perrons. Ter plaatse van de vide is ruimte ontstaan voor een tussensteunpunt voor de traverse. Omdat dit specifiek het geval is voor de situatie van Driebergen-Zeist, wordt hier bij het ontwerp van de modulaire tijdelijke traverse geen rekening mee gehouden.



*Figuur 5-4: Impressie perron nieuw station Driebergen-Zeist. (Arcadis, 2011)*

## 6. Bibliografie

- Aan de Stegge BV. (2018). *www.adst.nl*.
- Arcadis. (2011). *Stationsgebied Driebergen-Zeist Fase 2B*.
- Arcadis. (2011). *Stationsgebied Driebergen-Zeist Planstudie fase 2B, 0756646080:C*. Amersfoort.
- Bouwen met staal. (2001). *Demonstratieproject IFD-bouwen in vernieuwende staalframebouw*. Bouwen met staal.
- DHV. (2010). *Dominantie-analyse scope 3*. Amersfoort.
- en.demarec.nl. (2018, maart 6). *en.demarec.nl*. Opgehaald van Demarec RC-30 Rail Cutter: <http://en.demarec.nl/portal/products/rail-cutter>
- Esveld, P. C. (2005). *Geometrisch en constructief ontwerp van wegen en spoorwegen Deel D*. Delft: TU Delft.
- Europese commissie. (2015). *Mededeling van de commissie aan het Europees parlement, de Raad, het Europees economisch en sociaal Comité en het comité van de Regio's*. Brussel: Europese Commissie.
- Grunbauer. (2018). Opgehaald van <http://www.grunbauer.nl/ned/thq-kolomverbinding.htm>.
- Hagelaars, J. (2015, december 14). *Klimaatverandering*. Opgehaald van COP21-Het klimaatakkoord van Parijs: <https://klimaatverandering.wordpress.com/2015/12/14/cop21-het-klimaatakkoord-van-parijs-2015/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change*. WMO UNEP.
- Janssens, B. (2014, oktober 12). *Over duurzaamheid*. Opgehaald van zeelandnet.nl: <http://www.zeelandnet.nl/weblog/bduurzaam/bericht/215315?setcookie=true>
- Jonkers, D. H. (2018). *Materials & Ecological Engineering*. Delft: TU Delft Faculty of Civil Engineering & Geosciences.
- Ministerie Economische zaken. (sd). *Nederland Circulair in 2050*. Den Haag.
- Nederlandse Norm. (2017). *NEN-EN 13674-1+A1*. NEN.
- (2017). *NEN-EN 13674-1:2011 + A1:2017*. NEN.
- ProRail. (2012). *Spoorstaafgebreken*.
- ProRail. (2015). *Instandhoudingsspecificaties*. ProRail.
- ProRail. (2016). *Identificatie en typering van spoorstaafdefecten*.
- ProRail Productbeheer. (2005). *Instandhoudingsdocument*.
- RDW. (2012). *regelingen voertuigen*.
- RHDHV. (2017). *Dominantieanalyse scope 3 CO2 - emissies*. Amersfoort: RHDHV.
- SBR-CUR-net. (2015). *Bepaling van de milieuprestaties van gebouwen en gww-werken*. stationsgebied Driebergen-Zeist. (2018). Opgehaald van <https://www.youtube.com/watch?v=ZOfGapzIif0>
- Stufib - Stutech. (2015). *Duurzaamheid als ontwerpcriterium voor beton - toegespitst op CO2*. Delft: Stufib.
- TNO. (2014). *Visie op de circulaire economie voor de spoorsector*. Utrecht: TNO.



Treinreiziger.nl. (2009, november 17). *ProRail bouwt perron nieuwe stijl op station Leiden Centraal*. Opgehaald van [Treinreiziger.nl](https://www.treinreiziger.nl/prorail-bouwt-perron-nieuwe-stijl-op-station-leiden-centraal/):  
<https://www.treinreiziger.nl/prorail-bouwt-perron-nieuwe-stijl-op-station-leiden-centraal/>