

LCA Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase

Spoorstaven

Versie/datum rapportage:

Versie 1: 19 februari 2021

Versie 2: 10 mei 2021

Versie 3: 4 september 2023

- actualisatie spoorstaaf staal, termietlassen en onderhoud

- update omschrijving

Datum publicatie in de NMD:

n.t.b.

Versie Bepalingsmethode:

1.0 met wijzigingsblad oktober 2020

Versie Ecoinvent database:

3.5

Opdrachtgever:

ProRail

Opdrachtnemer(s):

SGS Search

Auteur(s):

Branco Schipper, SGS Search

Jeroen ter Meer, ProRail

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	2
1 Inleiding	3
1.1 Doelstelling en doelgroep	3
1.2 Verantwoording	4
1.3 Leeswijzer	4
2 Methode	5
2.1 Aanpak	5
2.2 Scope	5
2.2.1 Functionele eenheid	5
2.3 Productbeschrijving	5
2.4 Systeemgrenzen	6
3 Levenscyclusinventarisatie (LCI)	8
3.1 Dataverzameling	8
3.2 Decompositie in materialen en processen	8
3.3 Baan en bovenbouw	9
3.3.1 Spoorstaaf 54E1	9
4 Resultaten	17
4.1 Berekening milieuprofiel	17
4.2 Gewogen resultaten	17
4.3 Zwaartepuntanalyse	18
5 Referenties	19
6 Bijlagen	20
6.1 Bijlage Gekarakteriseerde resultaten per product	20

1 Inleiding

Deze LCA¹-rapportage beschrijft de uitgangspunten en resultaten voor de categorie 3 data van spoorstaven in de Nationale Milieudatabase². De actualisering van een voorgaande versie van deze LCA volgt op het initiatief van Rijkswaterstaat en de Stichting Nationale Milieudatabase (Stichting NMD), welke in 2020 zijn gestart met het actualiseren van de categorie 3 data voor de Spoor-, Grond-, Weg- en Waterbouw (GWW) in de Nationale Milieudatabase (NMD). Deze rapportage beschrijft de uitkomsten daarvan.

De GWW-data in de Nationale Milieudatabase wordt gebruikt voor het berekenen van de MKI-waarde van materialen, producten en processen voor de realisatie van een GWW-werk. Deze MKI-waarde wordt berekend door middel van de bepalingen in de 'Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken'³. Met software-instrumenten zoals DuboCalc⁴ kan met behulp van de Nationale Milieudatabase de MKI-waarde voor een product, object en een compleet project berekend worden.

Oprachtgevers in de GWW-sector gebruiken deze MKI-berekeningen om in de ontwerpfase van het project afwegingen te kunnen maken tussen verschillende materialen of ontwerpopties. Ze vergelijken dan de MKI-waarde van de verschillende oplossingen en kunnen vervolgens voor het duurzaamste materiaal (het product met de laagste MKI-waarde) kiezen. Ook kan in de aanbesteding van een project een gunningscriterium toegepast worden waarbij de inschrijver met de laagste MKI-waarde de hoogste fictieve korting krijgt⁵.

Stichting NMD wil regelmatig de categorie 3 data in de Nationale Milieudatabase actualiseren en verbeteren. Hierop kan iedereen inspraak geven. In paragraaf 1.2 wordt toegelicht hoe verbeterpunten voor de categorie 3 data bij Stichting NMD kunnen worden aangedragen.

Categorie 3 data wordt automatisch geactualiseerd als Stichting NMD de Achtergrondprocessendatabase actualiseert, als gevolg van een update van de Ecoinvent database. Dit kan betekenen dat de waarden die in deze rapportage zijn beschreven, zullen verouderen. In dit rapport staat beschreven welke versies van de Ecoinvent database en van de Bepalingsmethode zijn gebruikt voor het opstellen van de data en deze rapportage. De meest actuele categorie 3 data kan altijd ingezien worden in de gevalideerde rekeninstrumenten, zoals DuboCalc.

1.1 Doelstelling en doelgroep

In deze studie is een milieuprofiel opgesteld van spoorstaven. Het doel van de studie is het aanvullen en verbeteren van de categorie 3 productkaarten in de Nationale Milieudatabase (NMD). De onderhavige rapportage heeft tot doel om de gemaakte keuzes in materialen en milieudata te documenteren als verantwoording. De rapportage zal, naast de ingevoerde productkaarten, worden aangeboden aan de NMD en via de rekeninstrumenten en de website beschikbaar worden gemaakt aan de sector.

¹ LCA = Levenscyclusanalyse. Meer informatie, zie bijvoorbeeld <https://www.rivm.nl/life-cycle-assessment-lca/wat-is-lca>

² Meer informatie over de Nationale Milieudatabase: <https://milieudatabase.nl/>

³ Meer informatie over de Bepalingsmethode: <https://milieudatabase.nl/milieuprestatie/bepalingsmethode/>

⁴ Meer informatie over DuboCalc: <https://www.dubocalc.nl/>

⁵ Meer informatie over het gebruik van de MKI-waarde als gunningscriterium: <https://www.dubocalc.nl/hoer-dubocalc-toepassen/>

De studie is opgesteld voor de volgende doelgroepen:

- Stichting NMD als beheerder van de NMD.
- Opdrachtgevers in de GWW-sector als basis voor referentieontwerpen, verkennende (ontwerp)studies en voor gebruik in aanbestedingen.
- Marktpartijen zoals ingenieurs- en adviesbureaus en aannemers actief in de GWW-sector als informatiebron voor het gebruik van de NMD-data via rekeninstrumenten.
- Opstellers van LCA's om inzicht te krijgen in de uitgangspunten van de categorie 3 data.

1.2 Verantwoording

De LCA is uitgevoerd conform de eisen en richtlijnen uit de *Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken versie 1.0 (juli 2020) inclusief het wijzigingsblad d.d. oktober 2020*, en het *NMD-toetsingsprotocol (versie 1.0, juli 2020)*. De Bepalingsmethode is gebaseerd op de *ISO 14040 - ISO14044* en de *NEN-EN 15804:2012 + A1 (2013) + A2 (2020)* ⁶.

De LCA is uitgevoerd in samenwerking met ProRail. Deze LCA is uitgevoerd door SGS Search.

Het LCA-dossier dat in het kader van deze studie is opgesteld is niet getoetst door een externe derde partij. Echter de studie is wel intern getoetst door een tweede team van deskundigen. In deze crosscheck is gekeken naar o.a. de uitgangspunten van productsamenstelling en materiaalgebruik op basis van ontwerp- en praktijkkennis. Ook is de rekenwijze gecontroleerd.

De productkaarten zoals deze op basis van deze studie zijn ingevoerd, zijn in beheer bij Stichting NMD. De studie is met de nodige zorgvuldigheid uitgevoerd. Indien echter een derde van mening is dat de ingevoerde productkaarten en/of de onderhavige rapportage fouten bevatten, dan kan er een verzoek tot rectificatie worden ingediend bij Stichting NMD. Deze zal een dergelijk verzoek conform haar procedures afwikkelen. Hiervoor kan een e-mail gestuurd worden aan info@milieudatabase.nl.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de methode voor de LCA beschreven. Hierin zijn onder andere de scope, systeemgrenzen en de functionele eenheid vastgelegd.

In hoofdstuk 3 staat de levenscyclusinventarisatie. De productbeschrijving, productsamenstelling en de inventarisatie van de levenscyclusanalyse komen hierin aan bod.

In hoofdstuk 4 zijn de resultaten en de gevoeligheidsanalyse beschreven.

⁶ Alleen het optellen van milieu-impactscores tot een totaalscore (de MKI, zie hoofdstuk 4.6) valt buiten de ISO14044.

2 Methode

2.1 Aanpak

De LCA-berekening is opgesteld met SimaPro v9.1 software. De toegepaste referentiedatabases zijn:

- Processendatabase Nationale Milieudatabase (NMD) versie 3.2
- Ecoinvent database versie 3.5

2.2 Scope

Dit LCA-rapport omvat de volgende producten:

- Spoorstaven

Uitgangspunten

- De analyse gaat uit van spoorstaven van het type UIC 54E1.
- Het frezen van spoorstaven is opgenomen in deze LCA
- Lassen die nodig zijn om de spoorstaven onderling met elkaar te verbinden zijn meegenomen in deze LCA.
- Ontsporingseleiders zijn niet meegenomen in deze LCA
- Hulpspoorstaven bij spoorsecties die tijdelijk worden gebruikt en direct na de aanleg weer worden verwijderd, en worden geretourneerd aan de leverancier, zijn niet meegenomen in deze LCA.
- Bevestigingsmaterialen om de spoorstaaf aan dwarsliggers te monteren behoren toe aan de dwarsligger en zijn niet opgenomen in deze LCA

2.2.1 Functionele eenheid

De functionele eenheid betreft één meter spoorstaaf type 54E1, met een levensduur van 42 jaar.

2.3 Productbeschrijving

Spoorstaaf 54E1

In de LCA zijn spoorstaven van het type UIC 54E1 R260Mn berekend, waar 54 het gewicht in kg/m aanduidt, 260 de hardheid in HBW (Brinellhardheid, wolfram kogel) en Mn de chemische aanduiding voor mangaan in de legering is. 54E1 betreft ongeharde spoorstaven. Hoewel in bogen soms geharde spoorstaven worden gebruikt is deze hoeveelheid kleiner dan 10% en daarom wordt er voor alle hoeveelheden uitgegaan van een ongeharde spoorstaaf.

2.4 Systeemgrenzen

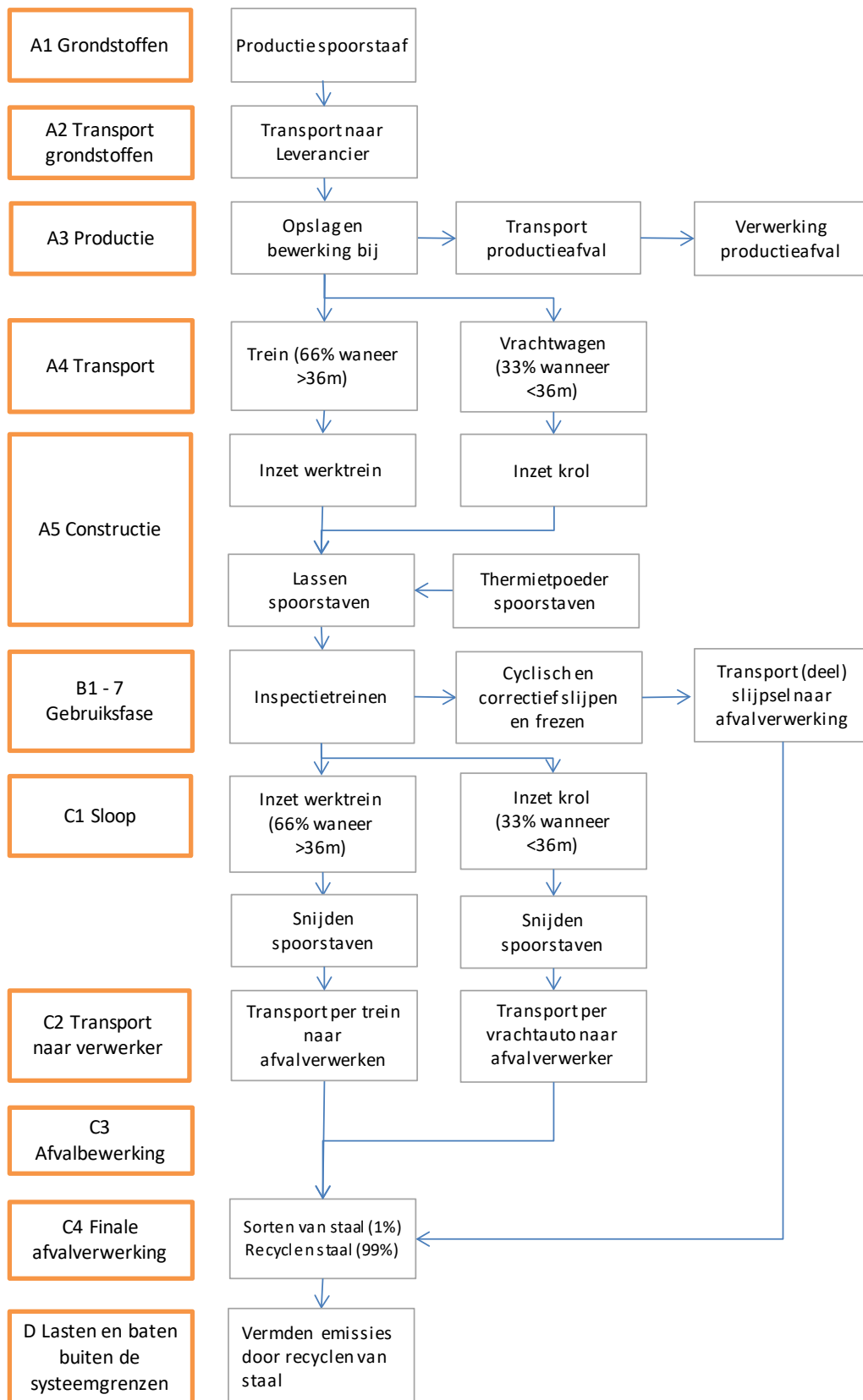
De processen die binnen de LCA worden bekeken zijn afgebakend met zogenaamde systeemgrenzen. De systeemgrenzen bepalen welke fasen en processen van de levenscyclus worden meegenomen in de LCA. In tabel 3, volgend uit de *EN 15804* en de *Bepalingsmethode*, staat vastgelegd welke informatie er per levenscyclusfase beschouwd moet worden. In deze LCA is de milieu-impact over de gehele levenscyclus meegenomen.

	Productiefase			Bouwfase		Gebruiksfase					Sloop- en verwerkingsfase				Volgende productiesysteem
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
	Winning van grondstoffen	Transport	Productie	Transport	Bouw- en installatie	Gebruik	Onderhoud	Reparatie	Vervangingen	Verbouwingen	Sloop	Transport	Afvalverwerking	Finaleafvalverwerking	Mogelijkheden voor hergebruik, terugwinning en recycling
Cradle-to-cradle	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabel 1: Systeemgrenzen (X: Module meegenomen in LCA-studie, ND: module niet gedeclareerd)

In de gebruikte achtergrondprocessen zijn ten minste de volgende ingrepen meegenomen in de analyse:

- emissies naar de lucht bij het gebruik van thermische energie van CO₂, CO, NO_x (NO en NO₂), SO₂, C_xH_y en fijnstof (PM10 deeltjes < 10µm);
- emissies naar water van CVZ, BZV, P-totaal, N-totaal en vaste stoffen (PM10: deeltjes < 10µm);
- emissies naar bodem van PAK en zware metalen.



Figuur 1 Procesboom van spoorstaaf

3 Levenscyclusinventarisatie (LCI)

In dit hoofdstuk worden de productbeschrijving, productsamenstelling en de decompositie besproken van de onderdelen die horen bij spoorstaven

3.1 Dataverzameling

Voor het bepalen van de productsamenstelling, het materiaalgebruik en de bijbehorende processen is gebruik gemaakt van ontwerp- en praktijkkennis van deskundigen van ProRail.

Voor het berekenen van de levenscyclusanalyse zijn gegevens verzameld van de verschillende productieprocessen die binnen de systeemgrenzen van deze LCA-studie vallen. Hierbij is in de uitwerking aandacht besteed aan de *precisie, compleetheid, representativiteit, consistentie en reproduceerbaarheid* van de gegevens.

Vanuit deze processendatabase geeft de Bepalingsmethode ook forfaitaire waarden voor de meest belangrijke achtergrondprocessen waarmee gerekend moet worden als specifieke gegevens niet beschikbaar zijn. Het betreft hierbij voornamelijk de processen voor energieopwekking en transport.

3.2 Decompositie in materialen en processen

Voor de beschouwde deelproducten zijn de input- en output stromen per levensfase/module geïnterpreteerd. De berekende LCI is opgenomen in deze paragraaf waarbij is beschreven welke uitgangspunten hiertoe zijn gehanteerd. In Tabel 3 wordt aangegeven welke materialen, processen en referenties gehanteerd zijn.

3.3 Baan en bovenbouw

3.3.1 Spoorstaaf 54E1

Productiefase (A1-A3)

De spoorstaaf betreft een warmgewalste stalen legering met mangaan. Doorgaans wordt een spoorstaaf geproduceerd in een hoogoven. Met deze twee gegevens lijkt het meest geschikte ecoinvent profiel de productie van laag-gelegeerd staal in een hoogoven. Echter dit profiel gaat uit van een staal legering met 2% chroom, 1% mangaan en 1% nikkel. Alhoewel de verschillen met de legering van spoorstaven klein zijn ($\leq 0,15\%$ Cr, 1,3-1,7% Mn), heeft toevoeging van chroom een aanzienlijk groot effect op de milieuprofiel. Bovendien wordt voor chroom een bovenste limiet aangegeven, en wordt dit niet opzettelijk toegevoegd. Aanwezig chroom in spoorstaven zal uit schroot afkomstig zijn. Om beter aan te sluiten op de daadwerkelijke legering is het ecoinvent profiel daarnaar aangepast. Volgens EN13674-1 dient staalsoort R260Mn de volgende legeringselementen te bevatten:

- C: 0,55 – 0,75 %
- Si: 0,15 – 0,6%
- Mn: 1,3 – 1,7%

Aanwezigheid van andere elementen zijn vervuiling afkomstig uit schroot, hiervoor zijn maximum waarden opgenomen in de norm in de orde grote van maximaal 0,03% (m.u.v. van Chroom, waarvoor een bovenste limiet van 0,15% bestaat). In het aangepaste ecoinvent kan de hoeveelheid koolstof en silicium niet worden beïnvloed met de ingrediënten, maar hoeveelheden van mangaan kan wel aangepast worden. Als worst-case benadering is een hoeveelheden ferromangaan gekozen zodat hun maximale toegestane hoeveelheid aanwezig is in de spoorstaaf (1,7% mangaan). Ingrediënten die zijn aangepast vergeleken met het originele ecoinventproces zijn weergegeven in Tabel 2. Niet genoemde bestanddelen in het milieuprofiel zijn gelijk gelaten.

Spoorstaven worden voor gebruik gefreesd om de bovenste ontkoolde laag te verwijderen. Volgens experts van RailPro wordt ongeveer 0,07mm staal verwijderd. Uitgaande van een freesbreedte van 65mm (schatting omtrek kop), en een soortelijk gewicht van staal van 7800 kg/m^3 , is berekend dat ca. 35,5 g staal per meter spoorstaaf wordt weggefreest. Het staalstof wordt opgevangen en gerecycled. Het energie verbruik van de freesmachine is ca. 30kW en freest 6 meter/minuut ($=0,0833 \text{ kWh/m}$). Spoorstaven worden op maat gemaakt met behulp van afbrandstuiklassen (voor lengtes langer dan 100-120m), of korter gezaagd (lengtes korter dan 100-120m). Het energieverbruik van deze acties is echter verwaarloosbaar per meter spoorstaaf ($<0,0001 \text{ kWh/m}$).

Aanlegfase (A4-A5)

Voor transport naar locatie is uitgegaan van 66,6% per trein voor grotere projecten en 33,3% transport per vrachtwagen voor kleinere projecten. Per trein kunnen lengtes tot 360m worden vervoerd. Per vrachtwagen is de maximale lengte 24 tot 36 meter. Er is gerekend met een forfaitaire afstand van 150 km.

Voor transport en plaatsen van materiaal en materieel wordt in grotere projecten gebruik gemaakt van een werktrein, terwijl bij kleinere projecten een krol volstaat. Het brandstofverbruik van de werktrein is bepaald aan een diesel verbruik van 600L per nacht, en gemiddeld plaatsen van 613 m spoor per nacht. Het diesilverbruik van een krol is ca. 15L/uur. Per project van gemiddeld 76m spoorstaven is 6 uur krolinzet nodig. De eerdere verdeling tussen grootschalig (66,6%) en kleinschalig (33,3%) project is tevens meegenomen om tot een totaal diesel verbruik van 1,04L per meter spoorstaaf te komen.

Spoorstaven worden in bestaand spoor gezet d.m.v. thermietlassen. Hoeveel thermietlassen nodig zijn hangt af van de spoorstaaf lengte en de project grote. Spoorstaven worden in ver uiteenlopende lengtes aangeleverd, afhankelijk van de project grote en het vervoermiddel. De range ligt tussen de 24m en 360m, maar in sommige gevallen wordt ook een passtuk van 6 meter in de baan gezet. De project grote zal minstens zoveel variëren, maar ligt doorgaans tussen de 200m en 700m spoor. We gaan ervan uit dat per meter spoorstaaf gemiddeld 0,02 thermietlassen worden gezet. Dat correspondeert met een spoorstaaf lengte van 60m in een project grote van 300m spoor (2x300m spoorstaaf; 12 lassen per 600m spoorstaaf).

Bij het zetten van een thermiet las wordt de spoorstaaf eerst aan beide zijden van de las voorverwarmd met een propaanbrander. Hiermee wordt per las 0,94 kg propaan verbrand (33kg per 35 lassen). Vervolgens wordt een mal geplaatst waar thermietpoeder aan wordt toegevoegd, welke wordt ontstoken. De reactie die plaatsvindt houdt zichzelf in stand. Het thermietpoeder toegepast bij lassen van spoorstaven bestaat uit ijzer(III)oxide en aluminiumpoeder. Bij reactie oxideert het aluminium en vormt het ijzer de nieuwe las. De massaverhouding ijzeroxide en aluminium is 3:1. De standaard thermietlas vindt plaats met een SoW-5 systeem/mal. De afstand tussen spoorstaven bij deze mal is standaard 29mm [8]. Vermenigvuldigd met een oppervlak van de doorsnede van een spoorstaaf (6981 mm² [9]), en het soortelijk gewicht van ijzer (7800 kg/m³), wat de las vormt, is berekend dat 1,579 kg ijzer tussen spoorstaven zal zitten. Het ijzer gehalte in ijzer(III)oxide is (110,97/159 g/mol =) 69,8%. Om voldoende ijzer voor de las te hebben is dan tenminste $1,579/69,8\% = 2,263$ kg ijzeroxide nodig en $2,263/3 = 0,754$ kg aluminium. Meestal is er echter fors overschot thermietpoeder, om de reactie voldoende lang gaande te houden. Er is aangenomen dat het overschot 50% betreft. Per thermietlas wordt dan gerekend met 3,394 kg ijzeroxide, en 1,131 kg aluminium. Achtergrond databases bevatten echter geen ijzeroxide, zodoende is gietijzer als dichtstbijzijnde referentieprofiel gekozen. Dat wordt beschouwd als een 'worst-case' benadering. Naderhand wordt de las ontdaan van overtollig materiaal m.b.v. een slijptol (ca. 0,5L diesel per las).

Verder is 3% bouwafval berekend volgens de bepalingsmethode.

Gebruiksfase (B1-B7)

Het onderhoud is een belangrijke stap om de levensduur van spoorstaven te kunnen verlengen. Het belangrijkste onderhoud aan het spoor is het slijpen en/of frezen van de bovenste laag om beginnende defecten/scheurtjes weg te halen zodat deze niet groeien en uiteindelijk vroegtijdige vervangen van de spoorstaaf nodig is. Er zijn drie vormen van slijpen en/of frezen. Het spoor wordt cyclisch geslepen en gefreesd, waarbij de frequentie van slijpen afhankelijk is van de drukte van het baanvak. Druk bereden spoor zoals Amsterdam-Utrecht wordt twee keer per jaar geslepen, terwijl de spoorlijn Leeuwarden – Harlingen haven slechts eens in de 5 tot 9 jaar geslepen wordt. Het verschil tussen frezen en slijpen is vrij eenvoudig, spoorstaven in tunnels worden gefreesd, waarbij het staalstof direct wordt opgevangen. Al het andere spoor wordt geslepen, waarbij het gros van het staalstof neerdaalt in de omgeving, zonder dat het opgevangen wordt.

Naast regulier cyclisch slijpen en frezen, wordt het spoor tevens geïnspecteerd op defecten. Wanneer een defect wordt ontdekt door de inspectietreinen, wordt de bovenste laag van de spoorstaaf gefreesd om het defect tijdig te verhelpen. In dat geval spreekt men van correctief frezen. Bij het frezen zal een dikkere laag staal worden verwijderd. De freestrein zal minder snelheid kunnen maken om voldoende staal te verwijderen, dit proces kost dan ook meer tijd en brandstof. Ook bij dit type frezen geldt dat correctief frezen vaker zal voorkomen op druk bereden spoor.

Volgens gegevens over 2013 is voor inspectie 240.000 L diesel verbruikt om 12634 km spoor te inspecteren, dat zijn gegevens van meerdere soorten inspectietreinen. Wanneer men corrigeert voor het feit dat op elk meter spoor, twee spoorstaven liggen, is het brandstof verbruik van inspectietreinen ca. 0,01L per meter spoorstaaf per jaar. Bij een levensduur van 42 jaar, is dat dus 0,42L diesel voor inspectie van het spoor.

De gemiddelde frequentie van cyclisch slijpen is lastig te bepalen. Volgens gegevens van Mathijs Doesberg wordt per jaar ± 420 keer een slijptrein ingezet waarbij de gemiddelde slijpafstand ca. 8km per inzet is. Hierin zijn grote lengtes met grotere treinen, en slijpen van wissels, spoorwegovergangen en dergelijk met kleinere treinen opgenomen. We gaan er vanuit dat voor cyclisch slijpen eenzelfde gemiddelde lengte per inzet geldt, ondanks de hogere snelheid. Totaal wordt er dan jaarlijks 3360 km spoor geslepen of gefreesd. Verdeeld over 7097 km spoor is het gemiddelde ongeveer 0,5 keer per jaar.

Het aantal keer dat er cyclisch en correctief wordt gefreesd verschilt per jaar. De schatting is dat er jaarlijks $\pm 50-100$ correctieve freesinzetten plaatsvinden en ± 30 cyclische freesinzetten. De lengte die op een nacht wordt gefreesd is wel een stuk lager, aangezien het freesproces intensiever is, en bij lagere snelheden gebeurd. gemiddelde productielengte is ongeveer 1,5km, ofwel jaarlijks 45km en 112,5km respectievelijk cyclisch en correctief frezen. Cyclisch frezen gaat over specifieke stukken spoor (nl. tunnels), maar aangezien we een gemiddelde berekening van spoorstaven maken verdelen we de jaarlijkse lengtes over het gehele spoornetwerk. Cyclisch en correctief frezen tezamen gebeurd bij deze jaarlijkse lengtes 0,93 keer gedurende de hele levensduur (42 jaar). We ronden dit naar boven af: 1 maal gedurende de levensduur van een spoorstaaf.

Het brandstofverbruik van freestrelinen is in een rapport van Vossloh Rail Maintenance [9] in kaart gebracht. In de eerste helft van 2020 werd 41.859L diesel verbruikt om 221,214 km spoor te frezen [10] (maal 2 spoorstaven = 442,428 km spoorstaven). Dat brandstof verbruik is exclusief transport van freestrelinen naar freeslocatie. Per kilometer spoorstaaf wordt, per freesbeurt, $(41.859/442,428 =)$ 94,61 liter diesel verbruikt. Voor transport gebruiken de freestrelinen 40 tot 60 L diesel per 100 km. Uitgaande van een transport afstand van 150km wordt voor heen- en terugreis ca. 150L diesel verbruikt. Verdeeld over een freesbeurt waar gemiddeld 1,5km wordt gefreesd is dat 50L diesel per kilometer gefreesd spoor extra $(94,61 + 50 = 144,61L)$.

Over het brandstofverbruik van slijptrelinen zijn geen gedetailleerde gegevens bekend. Het is aannemelijk dat het brandstofverbruik lager ligt, aangezien het slijpproces minder intensief is vergeleken met een freesbeurt. Freestrelinen opereren bij lage snelheid (5-15 km/u) omdat meer materiaal gefreesd moet worden. Slijptrelinen halen doorgaans minder staal van de bovenste laag en kunnen bij hogere snelheden opereren. Ook worden zoals genoemd kleinere slijptrelinen ingezet voor slijpen van kleine stukken spoor (wissels, overgangen e.d.). Het brandstofverbruik wordt daarom geschat op de helft van het brandstofverbruik van een freesbeurt. Dat is 47,30L/km. Dit wordt gezien als een conservatieve schatting, waarmee het brandstofverbruik zeer waarschijnlijk niet te laag wordt ingeschat. De brandstofkosten voor transport naar slijplocaatie zullen vergelijkbaar zijn met een freestrein: 150L diesel verbruik voor de heen- en terugreis, welke wordt verdeeld over de gemiddelde lengte van 8km. Dat komt neer op 9,38L/km extra brandstof voor transport. $47,30 + 9,38 = 56,68$ L/km.

Volgens experts van RailPro wordt bij een slijpbeurt ongeveer 0,1mm staal weggehaald. Bij een correctieve freesbeurt is dat ongeveer 0,3 tot 0,4mm staal om alle defecten voldoende weg te halen. Vermoedelijk zal freesdiepte ook afhangen van frequentie van frezen en de eventuele defecten. Voor de benadering voor frezen wordt gerekend met een worst-case scenario waarin altijd 0,4mm wordt gefreesd. Uitgaande van een freesbreedte van 65mm (schatting omtrek kop), en een soortelijk gewicht van staal van 7800 kg/m³, is berekend dat ca. 50,7g staal per slijpbeurt of ca. 202,8 g staal per freesbeurt per meter spoorstaaf wordt weggehaald. Dit verdwijnt deels als staalstof in het milieu neerdaalt of het wordt opgevangen dan wel naderhand verzameld om te worden gerecycled. Het grove uitgangspunt is dat 50% verloren gaat in het milieu, en 50% wordt opgevangen ter recycling. De baten van recyclen zijn opgenomen in module D.

Sloop- en verwerkingsfase (C1-C4)

Voor sloop van spoorstaven (ter vervanging) wordt hetzelfde materieel ingezet als bij aanleg. Wederom een werktrein of krol afhankelijk van de project grote. Dezelfde gegevens zijn in C1 toegepast. De spoorstaven worden in stukken gezaagd om ze te kunnen afvoeren, waarbij de lengte afhankelijk is van het transportmiddel. Het uitgangspunt is dat ca. 0,04 zaagsneden per meter spoorstaaf nodig zijn (stukken van ca. 25-30 meter), waarbij het diesilverbruik ca. 0,5 L per snede. Dit wordt beschouwd als een worst-case aanname.

Spoorstaven worden in veruit de meeste gevallen gerecycled. Alhoewel wordt gestreefd om spoorstaven zoveel als mogelijk te hergebruiken in zijsporen, is de vraag naar vervanging in die sporen beperkt. Het transport vindt plaats deels per trein (66,6%) en deels per vrachtwagen (33,3%), afhankelijk van project grote. Bij het te transporteren gewicht is rekening gehouden met verlies van staal door slijpen en frezen. Over de levensduur gaat volgens de eerder gegeven benadering 10,22 kg staal verloren als staalstof, waarvan de helft wordt opgevangen. Voor het gerecyclede aandeel is uitgegaan van een forfaitair scenario waarin 99% wordt gerecycled en 1% gaat verloren (stort).

Baten en lasten buiten de systeemgrenzen (D)

De baten en lasten buiten de systeemgrenzen zijn berekend volgens Bepalingsmethode. De spoorstaaf bestaat voor 12% uit secundair materiaal, waarvoor geen baten gerekend mogen worden bij recyclen. Verlies van secundair materiaal is toegerekend als last, dit gaat om 1% verlies van spoorstaaf en verlies als slijpafval.

Tabel 2 Aangepast milieuprofiel voor spoorstaafstaal productie (o.b.v. Steel, low-alloyed {RER}) per kg productie

Spoorstaven staal 54E1 R260Mn, met 1,7% Mn (o.b.v. Steel, low-alloyed {RER}) steel production, converter, low-alloyed Cut-off, U)					
Materiaal / element	Milieuprofiel	Originele hoeveelheid	Hoeveelheid nieuw profiel	Eenheid	Uitgangspunten
Chroom	Ferrochromium, high-carbon, 68% Cr {GLO} market for Cut-off, U	0,032853	0	kg	Er wordt geen chroom toegevoegd. Wanneer wel aanwezig is, betreft het een vervuiling
Mangaan	Ferromanganeze, high-coal, 74.5% Mn {GLO} market for Cut-off, U	0,015278	0,02601660064	kg	Hoeveelheid afgestemd op 1,7% Mn
Nikkel	Ferronickel, 25% Ni {GLO} market for Cut-off, U	0,045	0	kg	Er wordt geen nikkel toegevoegd. Wanneer wel aanwezig is, betreft het een vervuiling
Schroot	Iron scrap, sorted, pressed {GLO} market for Cut-off, U	0,12501	0,12501	kg	Hoeveelheid schroot onveranderd gelaten
Ruw ijzer	Pig iron {GLO} market for Cut-off, U	0,9	0,96711469936	kg	Meer ruw ijzer nodig door in mindering brengen van legeringselementen

Tabel 3 Hoeveelheden en referentieprofielen spoorstaaf per meter

Spoorstaaf 54E1						
Materiaal c.q. proces	Fase	Milieuprofiel	Database/Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Productie staal	A1	Spoorstaven staal 54E1 R260Mn, met 1,7% Mn (o.b.v. Steel, low-alloyed {RER}) steel production, converter, low-alloyed Cut-off, U)	Ecoinvent	54,77	kg	Zie tekst en Tabel 2
Warmwalsen	A1	0433-pro&Walsen, staal, warmwalsen (o.b.v. Hot rolling, steel {RER}) processing Cut-off, U)	NMD	54,77	kg	
Transport per trein	A2	0133-tra&Transport, vrachttrein (o.b.v. Transport, freight train {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U)	NMD	54,77	tkm	Uitgaande van 1000 km transport uit buitenland

Spoorstaaf 54E1						
Materiaal c.q. proces	Fase	Milieu-profiel	Database/Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Frezen spoorstaven	A3	0124-pro&1 kWh, uit stopcontact (o.b.v. Electricity, low voltage {NL} market for Cut-off, U)	NMD	0,08333	kWh	Op basis van 30 kW, en 6 meter/minuut
Afvoeren slijpsel	A3	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	NMD	0,00177	tkm	50 km transport afvoer naar recycling
Recyclen slijpsel	A3	0282-reD&Module D, staal, per kg NETTO geleverd ongelegeerd schroot (World Steel methode obv Steel, low-alloyed {RER&RoW} steel production, electric, low-alloyed Cut-off, U - Steel, unalloyed {RER&RoW} steel production, converter, unalloyed Cut-off, U)	NMD	0,0355	kg	Recycling freesstof
Transport per trein	A4	0133-tra&Transport, vrachttrein (o.b.v. Transport, freight train {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U)	NMD	$54,73 * 150 * 2/3 = 5,42$	tkm	Transport per trein (2/3 van gevallen)
Transport per vrachtwagen	A4	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	NMD	$54,73 * 150 * 1/3 = 2,71$	tkm	Transport per vrachtwagen (1/3 van gevallen)
Diesilverbruik werktrein	A5	0095-pro&Diesel, gasolie, gebruik, liter (o.b.v. 35,8 MJ Diesel, burned in building machine {GLO} processing Cut-off, U)v	NMD	0,65	L	Per nacht 600 l diesel voor inzet werktrein, 613 meter per nacht (grote projecten = 66,6%)
Diesilverbruik krol	A5	0095-pro&Diesel, gasolie, gebruik, liter (o.b.v. 35,8 MJ Diesel, burned in building machine {GLO} processing Cut-off, U)	NMD	0,39	L	Per project wordt gem 76 m spoorstaaf getild. Per project 6 uur inzet van één krol a 15 l diesel per uur (kleine projecten = 33,3%)
Voorverwarmen las (Propaan)	A5	0434-pro&Propaan, gebruik, per MJ (o.b.v. Propane, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, U)	NMD	$(33/35) \text{ kg} * 50 \text{ MJ/kg} * 0,02 = 0,943$	MJ	Voorverwarmen las met propaan. Ca. 33 kg propaan per 35 lassen. LHV = 50 MJ/kg. 0,02 lassen per meter
Thermietpoeder - ijzeroxide	A5	0220-fab&Gietijzer (o.b.v. Cast iron {GLO} market for Cut-off, U)	NMD	$3,394 * 0,02 = 0,0679$	kg	Ijzeroxide aandeel thermietpoeder. 0,02 lassen per meter
Thermietpoeder - aluminium	A5	0151-fab&Aluminium (o.b.v. Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U; 20% primair, 80% scrap)	NMD	$1,131 * 0,02 = 0,0226$	kg	Aluminiumpoeder aandeel thermietpoeder. 0,02 lassen per meter
Slijpen las	A5	0095-pro&Diesel, gasolie, gebruik, liter (o.b.v. 35,8 MJ Diesel, burned in building machine {GLO} processing Cut-off, U)	NMD	$0,5 * 0,02 = 0,01$	L	Slijpen van de las. 0,02 lassen per meter
Forfaitair constructieverlies	A5	A1-A4, C2-C4	-	0,03	m	3% constructieverlies
Inspectietreinen	B	0095-pro&Diesel, gasolie, gebruik, liter (o.b.v. 35,8 MJ Diesel, burned in building machine {GLO} processing Cut-off, U)	NMD	0,42	L	Inspectietrein diesel verbruik, 0,01L/m per jaar

Spoorstaaf 54E1						
Materiaal c.q. proces	Fase	Milieu-profiel	Database/Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Cyclisch frezen/slijpen	B	0095-pro&Diesel, gasolie, gebruik, liter (o.b.v. 35,8 MJ Diesel, burned in building machine {GLO} processing Cut-off, U)	NMD	$0,05668 * 42 * 0,5 = 1,19$	L	Cyclisch slijpen en frezen, diesilverbruik
Correctief frezen	B	0095-pro&Diesel, gasolie, gebruik, liter (o.b.v. 35,8 MJ Diesel, burned in building machine {GLO} processing Cut-off, U)	NMD	$0,14461 * 1 = 0,827$	L	Correctief frezen diesilverbruik, aannahme gelijk aan cyclisch slijpen met andere frequentie
Transport freesafval	B	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	NMD	$(0,0507 * 42 * 0,5 + 0,2028 * 1) * 0,5 * 100 \text{ km} = 0,0634$	tkm	Transport slijpsel naar recycling
Emissie freesafval	B	Emissie Iron naar bodem	-	$(0,0507 * 42 * 0,5 + 0,2028 * 1) * 0,5 = 0,634$	kg	Emissie slijpsel naar bodem
Diesilverbruik werktrein	C1	0095-pro&Diesel, gasolie, gebruik, liter (o.b.v. 35,8 MJ Diesel, burned in building machine {GLO} processing Cut-off, U)v	NMD	0,65	L	Per nacht 600 l diesel voor inzet werktrein, 613 meter per nacht (grote projecten = 66,6%)
Diesilverbruik krol	C1	0095-pro&Diesel, gasolie, gebruik, liter (o.b.v. 35,8 MJ Diesel, burned in building machine {GLO} processing Cut-off, U)	NMD	0,39	L	Per project wordt gem 76 m spoorstaaf getild. Per project 6 uur inzet van één krol a 15 l diesel per uur (kleine projecten = 33,3%)
Transport naar verwerking (trein)	C2	0133-tra&Transport, vrachttrein (o.b.v. Transport, freight train {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U)	NMD	$100 \text{ km} * 54,73 - (0,0507 * 42 * 0,5 + 0,2028 * 1) \text{ kg} * 0,66 = 3,53$	tkm	Transport per trein (66,6%). Gewicht gecorrigeerd voor slijpen en frezen spoorstaaf
Transport naar verwerking (vrachtwagen)	C2	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	NMD	$100 \text{ km} * 54,73 - (0,0507 * 42 * 0,5 + 0,2028 * 1) \text{ kg} * 0,33 = 1,76$	tkm	Transport per vrachtwagen (33,3%). Gewicht gecorrigeerd voor slijpen en frezen spoorstaaf
Stort staal	C4	0253-sto&Stort staal (o.b.v. Scrap steel {Europe without Switzerland} treatment of scrap steel, inert material landfill Cut-off, U)	NMD	$54,73 - (0,0507 * 42 * 0,5 + 0,2028 * 1) \text{ kg} * 1\% = 0,535$	kg	1% verlies als stort volgens forfaitair afvalscenario bepalingsmethode.

Spoorstaaf 54E1						
Materiaal c.q. proces	Fase	Milieuprofiel	Database/Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Recyclen spoorstaven	D	0282-reD&Module D, staal, per kg NETTO geleverd ongelegeerd schroot (World Steel methode obv Steel, low-alloyed {RER&RoW}) steel production, electric, low-alloyed Cut-off, U - Steel, unalloyed {RER&RoW}) steel production, converter, unalloyed Cut-off, U)	NMD	$54,73 - (0,0507 * 42 * 0,5 + 0,2028 * 1) \text{ kg} * (0,89 * 0,99 - 0,11 * 0,01)$ = 47,05	kg	Recyclen spoorstaaf exclusief afgefreesde deel. Spoorstaaf is 11% secundair materiaal
Recyclen slijp en freesafval	D	0282-reD&Module D, staal, per kg NETTO geleverd ongelegeerd schroot (World Steel methode obv Steel, low-alloyed {RER&RoW}) steel production, electric, low-alloyed Cut-off, U - Steel, unalloyed {RER&RoW}) steel production, converter, unalloyed Cut-off, U)	NMD	$(0,0507 * 42 * 0,5 + 0,2028 * 1) \text{ kg} * (0,89 * 0,5 - 0,11 * 0,5)$ = 0,49	kg	Recyclen opgevangen slijp en freesafval. Spoorstaaf is 11% secundair materiaal. Lasten van verlies secundair materiaal verrekend.
Recyclen constructieafval	D	0282-reD&Module D, staal, per kg NETTO geleverd ongelegeerd schroot (World Steel methode obv Steel, low-alloyed {RER&RoW}) steel production, electric, low-alloyed Cut-off, U - Steel, unalloyed {RER&RoW}) steel production, converter, unalloyed Cut-off, U)	NMD	$54,73 * 0,03 * (0,89 * 0,99 - 0,11 * 0,01)$ = 1,44	kg	3% van spoorstaaf, afval in A5

4 Resultaten

4.1 Berekening milieuprofiel

In deze LCA zijn de volgende rekenprocedures toegepast:

- De berekeningen in deze LCA zijn gemaakt volgens de eisen en richtlijnen van NEN-EN 15804 en de Bepalingsmethode Milieuprestaties Gebouwen en GWW-werken.
- De milieu-ingrepen zijn berekend met de methoden die zijn omschreven in NEN-EN 15804 aangevuld met karakterisatiefactoren uit de CML-VLCA-rekenmethode (versie juli 2020, NMD 3.2).
- Indien van toepassing zijn de regels voor allocatie bij multi-input, -output, recycling- en hergebruikprocessen uit NEN-EN 15804 gevolgd, overeenkomstig de NEN-EN-ISO 14044.
- De LCA-berekeningen zijn uitgevoerd met SimaPro 9.1.
 - Ecoinvent processen zijn doorgerekend inclusief infrastructuurprocessen en kapitaalgoederen.
 - Ecoinvent processen zijn doorgerekend exclusief lange termijn (>100 jaar) emissies.
- Conform paragraaf 3.5 van de Bepalingsmethode zijn deze effectcategorieën omgerekend naar een milieukosten indicator (MKI) in euro's.

4.2 Gewogen resultaten

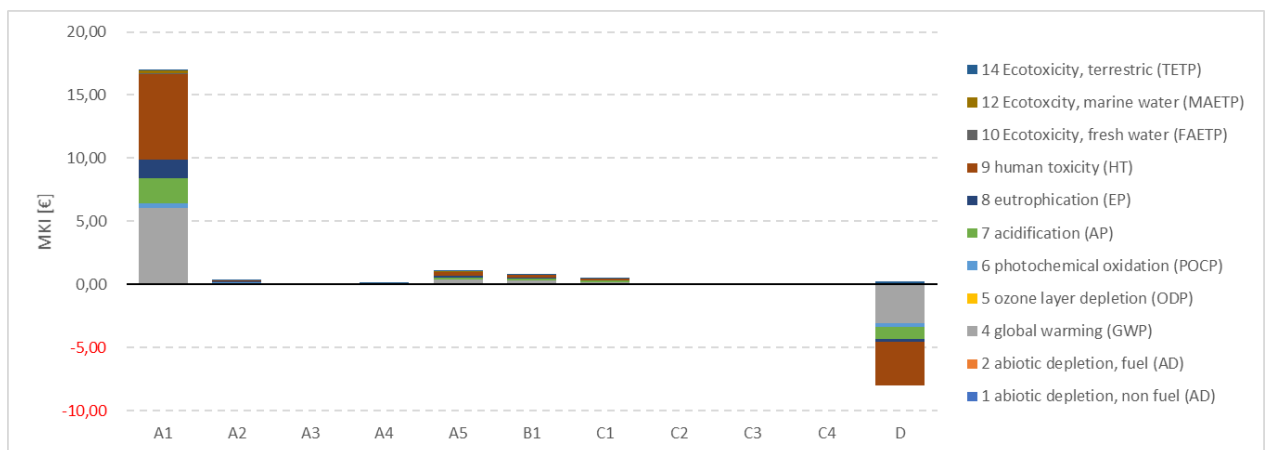
Het wegen van resultaten is een proces waarbij de resultaten van verschillende milieueffectcategorieën worden omgezet naar een 1 punt' score zodat ze integraal beschouwd kunnen worden. In deze studie wordt, conform de Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW werken, gebruikgemaakt van de Milieu Kosten Indicator (MKI) om de verschillende effectcategorieën te wegen tot één eindpunt. De uitgebreide gekarakteriseerde resultaten per levensfase zijn opgenomen in bijlage A.

Tabel 4 Gewogen resultaten per functionele eenheid

Effectcategorie	Spoorstaaf 54E1
	Per meter
Totaal (MKI-waarde)	€ 11,95
A1 Grondstoffen en productie	€ 16,97
A2 Transport naar NL	€ 0,34
A3 Productie / bewerking in NL	€ 0,00
A4 Transport naar werk	€ 0,08
A5 Constructie	€ 1,03
B1-7 Gebruiksfase	€ 0,77
C1 Sloop	€ 0,46
C2 Transport naar verwerking	€ 0,05
C3 Afvalbewerking	€ 0,00
C4 Finale afvalverwerking	€ 0,00
D Baten- en lasten buiten de systeemgrens	-€ 7,74

4.3 Zwaartepuntanalyse

In onderstaande zwaartepunt analyse figuur valt goed te zien dat het zwaartepunt met name op productie van de spoorstaaf ligt. Ondanks verregaande analyse van met name de constructiefase en de onderhoudsfase, hebben deze slechts een beperkt effect op de totale MKI. Desondanks is het onderhoud wel belangrijk om de levensduur van 42 jaar te kunnen halen.



Figuur 2 Gewogen resultaten spoorstaaf 54E1 per meter naar levensfase en impact categorie

5 Referenties

- [1] NEN-EN-ISO 14040 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework (ISO 14040:2006,IDT), juli 2006
- [2] NEN-EN-ISO 14044 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines (ISO 14044:2006,IDT), juli 2006
- [3] NEN-EN 15804+A1:2013+A2:2019 Duurzaamheid van bouwwerken – Milieuverklaringen van producten – Basisregels voor de productgroep bouwproducten, november 2013
- [4] Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken versie 1.0, juli 2020, met wijzigingsbladen d.d. oktober 2020
- [5] Processendatabase Nationale Milieudatabase (NMD) versie 3.2
- [6] Ecoinvent Database versie 3.5
- [7] WMB Consultancy - Inventarisatie uitgevoerde onderzoeken rondom terugwinning van zink bij de recycling van verzinkt staal(schroot). Nr. 50040051303. 31 maart 2008.
- [8] THERMIT welding processes, Goldschmidt Smart Rail Solutions, SoW-5, beschikbaar op: <https://www.elektro-thermit.de/en/rail-joining/thermitr-welding-processes/> (geraadpleegd 9-2-2021)
- [9] Het 2^e leven van spoorstaven in een modulaire demontabele spoortraverse, constructieve uitwerking, p8, tabel 2-4, Martijn Zegers, HvA, 2018
- [10] CO₂ management plan 2020, cyclic and corrective rail milling for ProRail, Vossloh Rail Maintenance, 21-10-2020

6 Bijlagen

6.1 Bijlage Gekarakteriseerde resultaten per product

Spoorstaaf 54E1

Tabel 5 Milieuprofiel set 1 spoorstaaf per meter

Impact category	Eenheid	Totaal	A1	A2	A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
1 abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	1,29E-03	1,20E-03	4,33E-06	7,60E-08	1,44E-06	4,36E-05	1,97E-06	1,17E-06	9,35E-07	0,00E+00	3,18E-09	4,07E-05
2 abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	5,84E-01	8,14E-01	1,78E-02	1,61E-04	4,41E-03	5,11E-02	4,00E-02	2,41E-02	2,87E-03	0,00E+00	4,13E-05	-3,71E-01
4 global warming (GWP)	kg CO2 eq	7,79E+01	1,18E+02	2,58E+00	1,49E-02	6,09E-01	7,42E+00	5,77E+00	3,48E+00	3,97E-01	0,00E+00	2,82E-03	-6,08E+01
5 ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	7,60E-06	7,34E-06	3,25E-07	1,15E-09	9,82E-08	8,84E-07	1,05E-06	6,31E-07	6,39E-08	0,00E+00	1,02E-09	-2,79E-06
6 photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	7,29E-02	1,94E-01	1,80E-03	-8,26E-05	3,88E-04	9,64E-03	5,84E-03	3,53E-03	2,53E-04	0,00E+00	3,07E-06	-1,42E-01
7 acidification (AP)	kg SO2 eq	4,04E-01	4,96E-01	1,76E-02	-1,12E-05	3,28E-03	4,31E-02	4,38E-02	2,64E-02	2,13E-03	0,00E+00	2,13E-05	-2,28E-01
8 eutrophication (EP)	kg PO4--- eq	1,73E-01	1,64E-01	3,45E-03	1,60E-05	6,51E-04	1,11E-02	9,84E-03	5,94E-03	4,24E-04	0,00E+00	4,03E-06	-2,31E-02
9 human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	4,48E+01	7,53E+01	1,10E+00	-1,93E-02	2,54E-01	3,75E+00	2,08E+00	1,25E+00	1,66E-01	0,00E+00	1,23E-03	-3,91E+01
10 Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	1,60E+00	9,73E-01	1,58E-02	4,78E-04	5,78E-03	5,00E-02	2,90E-02	1,75E-02	3,76E-03	0,00E+00	2,97E-05	5,04E-01
12 Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	3,47E+03	2,52E+03	6,23E+01	1,01E+00	2,12E+01	1,47E+02	9,79E+01	5,89E+01	1,38E+01	0,00E+00	1,04E-01	5,44E+02
14 Ecotoxicity, terrestrial (TETP)	kg 1,4-DB eq	3,63E+00	2,02E-01	5,86E-03	2,44E-03	1,08E-03	1,33E-02	3,45E-03	2,07E-03	7,03E-04	0,00E+00	3,07E-06	3,40E+00
101. Energy, primary, renewable (MJ)	MJ	7,21E+01	5,92E+01	3,18E+00	8,36E-02	3,72E-01	2,40E+00	4,89E-01	2,95E-01	2,42E-01	0,00E+00	7,10E-04	5,88E+00
102. Energy, primary, non-renewable (MJ)	MJ	1,20E+03	1,39E+03	4,15E+01	4,67E-01	9,98E+00	1,01E+02	8,96E+01	5,40E+01	6,50E+00	0,00E+00	9,22E-02	-4,93E+02
104. Water, fresh water use (m3)	m3	1,09E+00	1,22E+00	2,01E-02	4,46E-04	3,03E-03	4,62E-02	1,16E-02	6,98E-03	1,97E-03	0,00E+00	9,05E-05	-2,23E-01
106 Waste, hazardous (kg)	kg	2,55E-03	1,03E-02	5,35E-05	-3,23E-06	8,80E-06	4,03E-04	3,76E-05	2,27E-05	5,73E-06	0,00E+00	5,81E-08	-8,31E-03
105 Waste, non hazardous (kg)	kg	1,49E+01	1,61E+01	4,70E-01	-8,29E-05	3,83E-01	6,24E-01	9,76E-02	5,42E-02	2,49E-01	0,00E+00	5,34E-01	-3,64E+00
107 Waste, radioactive (kg)	kg	4,53E-03	2,91E-03	2,45E-04	1,84E-06	6,15E-05	4,60E-04	5,86E-04	3,53E-04	4,00E-05	0,00E+00	5,74E-07	-1,31E-04

Tabel 6 Milieuprofiel set 2 spoorstaaf per meter

Impact category	Eenheid	Totaal	A1	A2	A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
Climate change	kg CO2 eq	7,99E+01	1,24E+02	2,63E+00	1,39E-02	6,17E-01	7,64E+00	5,83E+00	3,52E+00	4,02E-01	0,00E+00	2,89E-03	-6,47E+01
Climate change - Fossil	kg CO2 eq	7,98E+01	1,24E+02	2,62E+00	1,27E-02	6,16E-01	7,65E+00	5,83E+00	3,52E+00	4,01E-01	0,00E+00	2,88E-03	-6,52E+01
Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	-1,68E-02	-4,40E-01	1,28E-02	1,20E-03	1,37E-03	-1,30E-02	9,64E-04	5,81E-04	8,93E-04	0,00E+00	4,92E-06	4,18E-01
Climate change - Land use and LU change	kg CO2 eq	6,39E-02	3,79E-02	2,94E-03	3,32E-05	3,97E-04	2,04E-03	4,97E-04	2,99E-04	2,59E-04	0,00E+00	7,78E-07	1,95E-02
Ozone depletion	kg CFC11 eq	8,42E-06	6,99E-06	3,64E-07	1,38E-09	1,19E-07	1,04E-06	1,32E-06	7,95E-07	7,75E-08	0,00E+00	1,28E-09	-2,28E-06
Acidification	mol H+ eq	5,28E-01	6,17E-01	2,37E-02	1,32E-05	4,38E-03	5,76E-02	6,11E-02	3,69E-02	2,86E-03	0,00E+00	2,79E-05	-2,76E-01
Eutrophication, freshwater	kg P eq	3,85E-02	3,86E-02	1,65E-04	3,03E-06	2,17E-05	1,20E-03	4,46E-05	2,69E-05	1,41E-05	0,00E+00	5,07E-08	-1,57E-03
Eutrophication, marine	kg N eq	1,40E-01	1,16E-01	7,70E-03	-1,49E-06	1,48E-03	1,99E-02	2,65E-02	1,60E-02	9,62E-04	0,00E+00	9,16E-06	-4,82E-02
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	1,70E+00	1,45E+00	9,07E-02	2,48E-04	1,69E-02	2,24E-01	2,91E-01	1,76E-01	1,10E-02	0,00E+00	1,02E-04	-5,59E-01
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	4,93E-01	6,59E-01	2,31E-02	-1,68E-04	4,54E-03	6,97E-02	7,99E-02	4,83E-02	2,96E-03	0,00E+00	2,96E-05	-3,95E-01
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	1,29E-03	1,20E-03	4,33E-06	7,60E-08	1,44E-06	4,36E-05	1,97E-06	1,17E-06	9,35E-07	0,00E+00	3,18E-09	4,07E-05
Resource use, fossils	MJ	1,12E+03	1,31E+03	3,93E+01	4,28E-01	9,42E+00	9,50E+01	8,44E+01	5,09E+01	6,14E+00	0,00E+00	8,68E-02	-4,75E+02
Water use	m3 depriv.	4,02E+01	4,80E+01	5,16E-01	-2,70E-04	9,04E-02	1,79E+00	4,55E-01	2,74E-01	5,89E-02	0,00E+00	3,83E-03	-1,10E+01
Particulate matter	disease inc.	1,08E-05	1,02E-05	2,00E-07	-1,39E-09	5,20E-08	1,29E-06	1,60E-06	9,65E-07	3,39E-08	0,00E+00	5,22E-10	-3,53E-06
Ionising radiation	kBq U-235 eq	4,29E+00	2,67E+00	2,19E-01	2,09E-03	4,52E-02	3,15E-01	3,64E-01	2,19E-01	2,95E-02	0,00E+00	3,59E-04	4,24E-01
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	3,55E+03	5,38E+03	3,68E+01	-7,68E-01	7,61E+00	1,99E+02	9,41E+01	2,88E+01	4,96E+00	0,00E+00	5,13E-02	-2,20E+03
Human toxicity, cancer	CTUh	7,66E-07	7,44E-07	2,45E-09	7,06E-12	3,93E-10	2,46E-08	1,64E-09	9,89E-10	2,56E-10	0,00E+00	1,13E-12	-8,08E-09
Human toxicity, non-cancer	CTUh	1,81E-05	4,22E-06	4,39E-08	9,00E-09	9,39E-09	1,81E-07	4,16E-08	2,51E-08	6,12E-09	0,00E+00	3,64E-11	1,36E-05
Land use	Pt	3,04E+02	3,38E+02	2,53E+01	1,20E-01	7,11E+00	1,84E+01	1,08E+01	6,44E+00	4,63E+00	0,00E+00	1,66E-01	-1,08E+02