

CO₂- en NO_x-emissies dieseltreinen Nederland in 2022 en zero-emissie oplossingen - publieksversie

Voor: ProRail

8-04-2024

Reference: SII/KvdH/7247/03-874058

Issue: 1.1

Documentgeschiedenis en autorisatie

Versie	Datum	Wijzigingen
1.0	22-02-2024	Definitieve versie
1.1	8-04-2024	Enkele wijzigingen op definitieve versie

Opgesteld door: Koen van der Horst en Martijn Wolf

Getekend: KvdH24003 & MW24007 Datum: 8-4-2024

Vrijgegeven door: Martijn Wolf

Getekend: MW24007 Datum: 8-4-2024

This document was prepared for ProRail.

Ricardo plc, its affiliates and subsidiaries and their respective officers, employees or agents are, individually and collectively, referred to in this clause as the 'Ricardo Group'. The Ricardo Group assumes no responsibility and shall not be liable to any person for any loss, damage or expense caused by reliance on the information or advice in this document or howsoever provided, unless that person has signed a contract with the relevant Ricardo Group entity for the provision of this information or advice and in that case any responsibility or liability is exclusively on the terms and conditions set out in that contract.

© Ricardo plc 2024



Samenvatting

Het Nederlandse spoor is overwegend geëlektrificeerd, maar een deel wordt nog bereden met diesel materieel. Uit de ProRail dominantie analyse [1] volgt dat dit materieel resulteert in de grootste CO₂-emissies voor ProRail, met betrekking tot scope 3. ProRail heeft als interne doelstelling om voor scope 1, 2 en 3 in 2050 volledig CO₂-neutraal te zijn en in 2030 een reductie van minimaal 55% te bereiken ten opzichte van 2015. Hiervoor zijn er twee stappen essentieel. Allereerst, **inzicht** verkrijgen in de verdeling en omvang van het dieselverbruik van de gebruikers. Gevolgd door mogelijke **zero-emissie oplossingen** om doelgericht tot realisatie van deze doelen te komen.

Stap 1, inzicht in de verdeling en omvang van het dieselverbruik:

Voor de emissies veroorzaakt door dieseltreinen in Nederland, is onderscheid gemaakt tussen reizigersvervoer, goederenvervoer en overig vervoer. In het jaar 2022 bedroeg de totale CO₂-uitstoot van diesel aangedreven treinen 98 miljoen kg, waarbij reizigersvervoer de grootste bijdrage leverde met ongeveer 55%. De goederensector was verantwoordelijk voor 37 miljoen kg CO₂-emissies, terwijl overige vervoerders, voornamelijk aannemers (en/ of infravervoerders), verantwoordelijk waren voor 7 miljoen kg CO₂-uitstoot per jaar. De jaarlijkse NO_x-emissies van dieseltransport bedragen 1322 ton/jaar, waarbij de goederenvervoerders (meestal ouder materieel) het grootste aandeel hebben met 53%.

Tabel 1 Samenvatting dieselverbruik en uitstoot per treincategorie.

Type vervoer	Afstand [miljoen km]	Diesel verbruik (fossiel) [miljoen L/jaar]	Diesel verbruik (HVO) [miljoen L/jaar]	CO ₂ -emissies [miljoen kg/jaar]	CO ₂ -emissies [%]	NO _x -emissies [ton/jaar]	NO _x -emissies [%]
Reizigers	16.12	14.88	2.99	53.57	54.6%	484	36.6%
Goederen	2.16	10.5	0	37.13	38.0%	700	52.9%
Overig	Onbekend	2.08	0.022	7.35	7.5%	139	10.5%
Totaal	18.28	27.46	3.01	98.1	100.0%	1 322	100.0%

Reizigersvervoer: Er zijn 17 unieke lijnen waarop er met dieselmaterieel gereden wordt. Deze zijn voornamelijk in het noorden en oosten van Nederland. Het traject Nijmegen – Roermond (Maaslijn) draagt het meest bij aan de totale CO₂-emissies, gevolgd door het traject Arnhem - Winterswijk. De derde grootste uitstoot komt van de lijn Leeuwarden – Groningen.

Goederenvervoer: De geografische concentratie van dieseltransport is met name hoog rondom de Haven van Rotterdam, waar veel rangeeractiviteiten plaatsvinden die niet elektrisch worden uitgevoerd. Daarnaast wordt er aanzienlijk dieseltransport waargenomen tussen Venlo en Maastricht op de Maaslijn, die (nog) niet geëlektrificeerd is. Voor langere afstanden is dieselvervoer beperkt, aangezien veel spoorlijnen zijn geëlektrificeerd.

Overig vervoer: Aannemers (en/ of infravervoerders) zijn jaarlijks verantwoordelijk voor een emissie uitstoot van ongeveer 7.35 miljoen kg CO₂. De rangeeractiviteiten op de werkplaatsen van NS hebben een verwaarloosbare impact op de CO₂-uitstoot, mede doordat deze activiteiten worden uitgevoerd met HVO en de inzet van deze locomotieven zeer beperkt is.

Stap 2, zero-emissie oplossingen:

Voor het **reizigersvervoer** in Nederland zijn drie zero-emissie oplossingen geïdentificeerd. Een deel van de dieseluitstoot kan vermeden worden door *volledige elektrificatie*, waarbij de treindiensten worden uitgevoerd door elektrische treinen met pantograaf. De Maaslijn is een voorbeeld hiervan. Voor een ander deel van de diesellijnen vormt een batterijtrein met *partiële elektrificatie* een duurzame en kosteneffectieve oplossing. In dit geval wordt de trein elektrisch gevoed via de pantograaf als deze beschikbaar is (onder de draad) of vanuit de on-board batterij die vervolgens op andere momenten voorzien wordt van energie. Een derde optie, *de waterstoffrein*, wordt momenteel onderzocht voor trajecten met relatief langere afstanden en korte keertijden. Een voorbeeld hiervan is in de provincie Groningen. Het is belangrijk op te merken dat een generiek besluit over de keuze tussen volledige elektrificatie, batterijtrein en waterstoffrein nog niet is genomen aangezien aanvullende onderzoeken, zoals netwerkanalyses, nog moeten worden uitgevoerd.

Voor de last mile en het korte afstand **goederenvervoer** zijn meerdere oplossingen en innovaties denkbaar of reeds in ontwikkeling. De line-haul wordt over het algemeen gedaan m.b.v. een elektrische locomotief.

Voor het **overig vervoer** zijn verschillende oplossingen. De *NS rangeer locomotieven* zijn overgestapt op HVO in plaats van fossiele diesel. In 2033, als de locomotieven 30 jaar oud zijn, gaat NS heroverwegen hoe tot zero-emissie te komen. Voor de speciale werktreinen van de *aannemers (en/ of infravervoerders)* is er nog geen voor de hand liggende oplossing. Voor de lichtere processen zijn batterijen in combinatie met een pantograaf de meest logische oplossing, voor de zwaardere processen juist combinatie van waterstof/ fuel cell met pantograaf. Gezien de internationale inzet van veel werktreinen is het advies om samen met internationale werkgroepen, zoals de UIC, naar zero-emissie mogelijkheden te kijken.

Inhoudsopgave

1. Introductie	6
2. Aanpak	7
3. Overzicht dieselverbruik per tankinstallatie	9
3.1 Methodes om tankvolume te bepalen	9
4. Reizigersvervoerders - Diesel/ HVO-verbruik	12
4.1 Verschillende diesellijnen reizigerstreinen	12
4.2 Dieselverbruik per lijn	12
5. Goederenvervoerders – Dieselverbruik	14
5.1 Goederenvervoer – Aanpak verdeling rangeren/line-haul	14
5.2 Goederenvervoerders – Overzicht goederenbewegingen met dieselmaterieel	15
5.3 Goederenvervoerders – rangeren in havengebied	16
6. Dieselverbruik overige dieselvervoerders	18
6.1 Aannemers (infravervoerders)	18
6.2 Dieselverbruik NS werkplaatsen	18
7. Samenvattend overzicht CO₂- en NO_x-emissies	19
8. Mogelijkheden om te komen tot zero-emissie vervoer	20
8.1 Oplossingen zero-emissie vervoer	20
8.2 Oplossing reizigersvervoer - per lijn	22
8.3 Goederenvervoer	24
8.4 Overige dieseltreinen	25
Bibliografie	26
Bijlage A Tractie-energievoorzieningssystemen [3]	27
Bijlage B Reizigersvervoerders en Concessies [3]	28
Bijlage C Tanklocaties [3]	29
Bijlage D Maturiteit tractie technologieën	31

1. Introductie

Het Nederlandse spoor is overwegend geëlektrificeerd, maar een deel wordt nog bereden met diesel materieel. Uit de ProRail dominantie analyse [1] volgt dat dit materieel resulteert in de grootste CO₂-emissies voor ProRail, met betrekking tot scope 3. ProRail heeft als interne doelstellingen om voor scope 1, 2 en 3 in 2050 volledig CO₂-neutraal te zijn en in 2030 een reductie van minimaal 55% te bereiken ten opzichte van 2015. Hiervoor zijn er twee stappen essentieel. Allereerst, **inzicht** verkrijgen in de verdeling en omvang van het dieselvebruik van de gebruikers. Gevolgd door mogelijke **zero-emissie oplossingen** om doelgericht tot realisatie van deze doelen te komen.

Deze rapportage geeft aan beide punten invulling:

1. Het landelijk brandstofverbruik van diesel en HVO en de CO₂- en NO_x-emissies per vervoerscategorie (reizigersvervoer, goederenvervoer en overig vervoer) zijn bepaald.
2. Advies geven hoe de CO₂-emissies tot nul te reduceren zijn, uitgesplitst naar personenvervoer, goederenvervoer en overig vervoer. Hierbij is ook rekening gehouden met de looptijd van de verschillende concessies en leeftijd van het materieel en al genomen besluiten voor verduurzaming zoals elektrificatie Maaslijn en aanschaf van waterstofftreinen in Groningen.

Daarnaast is in deze rapportage nog een verdere detaillering uitgewerkt:

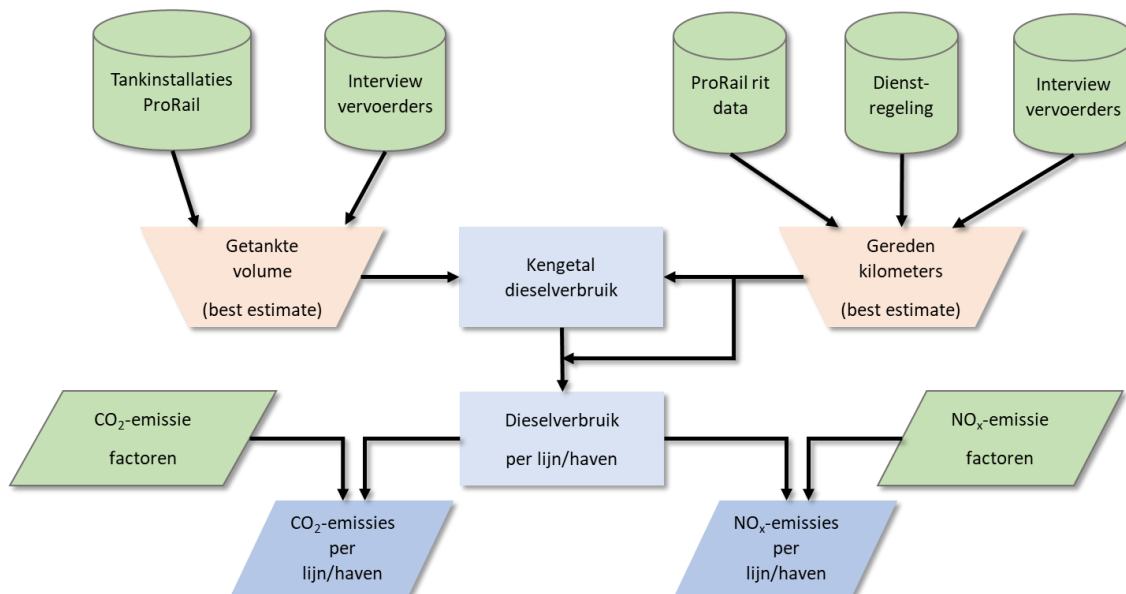
- Bij reizigersvervoer zijn het landelijke dieselvebruik en de bijbehorende emissies ingeschat.
- Bij goederenvervoer is het landelijk dieselvebruik in kaart gebracht. Daarnaast is tevens een inschatting gegeven van de emissies met betrekking tot rangeeractiviteiten in de havens (Amsterdam, Rotterdam, Sloe/Vlissingen, Terneuzen).
- Voor de categorie 'Overig':
 - Is het inzicht in dieselvebruik van aannemers (en/ of infravervoerders) gebaseerd op het onderzoek van Helix Consulting uit 2019 [2]. De aannemers (en/ of infravervoerders) vallen buiten de categorie "dieseltreinen" en is daarmee bijvangst en verder niet in detail bekeken.
 - Is het dieselvebruik van NS voor rangeren in de werkplaatsen bepaald.

De structuur van het rapport is als volgt opgebouwd: In hoofdstuk 2 wordt de gebruikte aanpak beschreven, gevolgd door hoofdstuk 3 waarin een overzicht wordt gegeven van het getankte dieselvolume. De analyse en resultaten voor reizigers- en goederenvervoerders worden respectievelijk behandeld in hoofdstuk 4 en hoofdstuk 5, terwijl hoofdstuk 6 het dieselvebruik van het overige railvervoer bespreekt. In hoofdstuk 7 staat een samenvatting van de CO₂- en NO_x-emissies van de verschillende treincategorieën.

Het tweede deel van de rapportage, dat zich richt op de mogelijkheden om te komen tot zero-emissie vervoer, wordt in hoofdstuk 8 beschreven.

2. Aanpak

Om inzicht te krijgen in de CO₂- en NO_x-emissies van het dieselmaterieel in Nederland zijn er verschillende stappen genomen. Deze stappen zijn schematisch weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Flowchart diagram van het proces om het dieselverbruik per lijn/ regio te bepalen.

Hieronder volgt een korte toelichting van de stappen voor het reizigersvervoer en goederenvervoer:

1. Het getankte dieselvolume in Nederland is bepaald aan de hand van de door ProRail verstrekte tankvolumes. Dit volume is vervolgens aangevuld en vergeleken met de aangeleverde gegevens van de vervoerders, zoals vermeld in punt (4).
2. Op basis van de ProRail treinrit data en dienstregeling is er een gedetailleerde analyse gemaakt van de gereden kilometers per vervoerder. In gevallen waar de informatie werd verstrekt door de vervoerder, hebben we deze vergeleken en getoetst aan de ProRail treinrit data.
3. Met behulp van de Netverklaring (zie Bijlage A, Bijlage B, en Bijlage C) [3], is er onderscheid gemaakt in het type en locatie van de tanklocaties.
4. Door middel van vragenlijsten en interviews met vervoerders is aanvullende informatie verkregen m.b.t. gereden kilometers, getankt volume en volume per tankinstallatie, inzicht in verdeling rangeren/line-haul ritten (ritten over langere afstanden dan rangeren in havengebieden/ op industrieterreinen).
5. Op basis van de gereden kilometers, het getankte volume en interne kennis van Ricardo Nederland, zijn er kengetallen opgesteld met betrekking tot de regio, materieel en vervoerder. Hieruit is het dieselverbruik van de verschillende vervoerders berekend.
6. Deze kengetallen zijn vervolgens toegepast om een inschatting te maken van het dieselverbruik per lijn/havengebied. Vervolgens zijn de kengetallen gevalideerd aan de hand van de gegevens die tijdens de interviews zijn verkregen.
7. Met behulp van de emissie factoren is een inschatting gemaakt van de CO₂- en NO_x-emissies van het dieselmaterieel.

Bij de productie en verbranding van dieselbrandstof komen verschillende emissies vrij, waaronder CO₂ en NO_x. Voor de CO₂-uitstoot wordt er in dit onderzoek gebruikgemaakt van well-to-wheel factoren. Deze omvatten alle CO₂-emissies gedurende de volledige levenscyclus van de diesel, vanaf winning tot gebruik in de trein [4]. Deze factor is voor alle type treinen hetzelfde. Voor de NO_x uitstoot is gebruik gemaakt van de tank-to-wheel emissie factor. Deze emissies verwijzen naar de NO_x-emissies die optreden bij de verbranding van de brandstof in de dieselmotor. De uitstoot is afhankelijk van verschillende factoren, waaronder de soort motor, toegepaste filters en type brandstof dat wordt gebruikt. Het doel van het onderzoek naar NO_x-emissies is inzicht te krijgen in de lokale uitstoot. De emissie factoren die zijn gebruikt in dit onderzoek zijn samengevat in Tabel 2.

Tabel 2 Emissiefactoren diesel en HVO. ^a Omgerekend van [g/kg] naar [g/L] met een dichtheid van diesel van 0.84 [kg/L].

	CO ₂ -emissie factor (well-to-wheel) [kg CO ₂ /L]	NO _x -emissie factor (tank-to-wheel) [g NO _x /L]	
	<i>Alle dieseltreinen</i> [4] (Tabel 42 p. 93)	<i>Reizigerstreinen</i> [5]	<i>Goederentreinen</i> + <i>Overig</i> [6]
Fossiel diesel	3.529	27.9	66.5 ^a
HVO	0.357	23.0	niet bekend

In dit rapport zijn verschillende termen belangrijk:

- **Lijn:** De term verwijst naar een specifieke dienst die wordt uitgevoerd van het ene station naar het andere, in overeenstemming met de dienstregeling voor reizigersvervoer.
- **Regio:** Een aanduiding die verwijst naar een groepering of combinatie van verschillende lijnen, vaak georganiseerd op basis van geografische locatie. Bij goederenvervoer is dit aangeduid per havengebied.
- **Rangeren:** In dit rapport verwijst deze term naar alle bewegingen van goederentreinen die plaatsvinden binnen de begrenzingen van een havengebied. Het omvat het organiseren, verplaatsen en rangschikken van goederenwagons binnen dit specifieke havengebied.
- **Line-haul:** Deze term wordt gebruikt om alle bewegingen van goederentreinen aan te duiden die (gedeeltelijk) buiten het havengebied plaatsvinden. Het betreft het transport over lange afstanden, waarbij goederentreinen vaak grote afstanden afleggen tussen verschillende regio's of bestemmingen, en niet beperkt blijven tot het lokale havengebied.
- **Reizigerstreinen:** Dit omvat alle treinen die direct betrokken zijn bij de uitvoering van de dienstregeling voor reizigers.
- **Goederentreinen:** Alle treinen die direct betrokken zijn bij het transporteren van goederen vallen onder deze categorie. Hierbij inbegrepen zijn reguliere locomotieven en rangeerlocomotieven die worden ingezet voor goederenvervoer.
- **Overige treinen:** Deze term verwijst naar alle treinen die worden geëxploiteerd door de aannemers (en/ of infravervoerders). Dit zijn onder andere meettreinen en werktreinen [2]. In deze categorie vallen ook de rangeerlocomotieven die actief zijn in de werkplaats van NS.

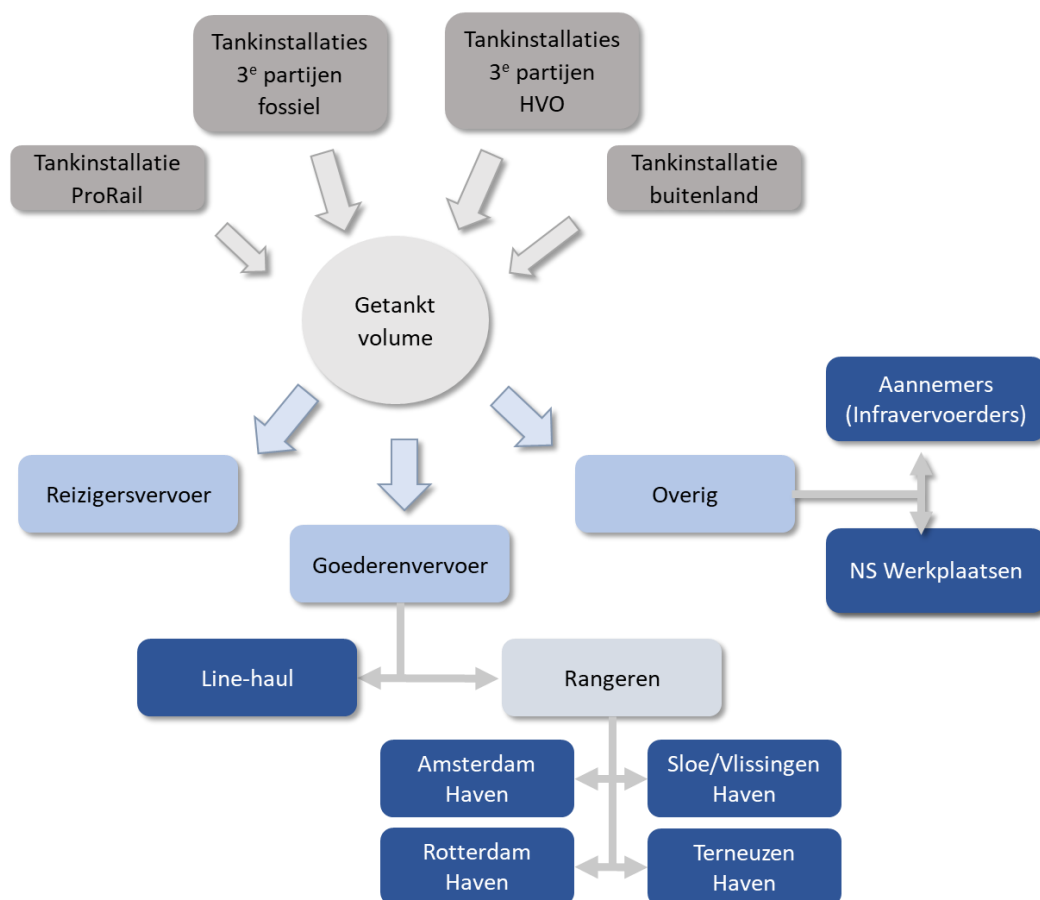
3. Overzicht dieselverbruik per tankinstallatie

3.1 Methodes om tankvolume te bepalen

In deze studie is uitgegaan van vier verschillende methoden voor het tanken van dieselbrandstof voor diesel materieel in Nederland. Dit zijn:

1. *Fossiele diesel via de vaste tankinstallaties van ProRail:* Gegevens hierover worden verstrekt door ProRail.
2. *Fossiele diesel via zowel vaste als mobiele tankinstallaties van derde partijen:* Een schatting gebaseerd op interviews met diverse vervoerders.
3. *HVO via zowel vaste als mobiele tankinstallaties van derde partijen:* Deze gegevens zijn verstrekt door verschillende vervoerders.
4. *Tanken via installaties in het buitenland:* Een schatting op basis van interviews met diverse vervoerders.

Deze stromen zijn weergegeven in Figuur 2. In dit rapport wordt er onderscheid gemaakt door drie verschillende type gebruikers: 1) reizigerstreinen, 2) goederenvervoer, onderverdeeld in rangeren in havengebieden en line-haul en 3) "Overig", hieronder vallen de aannemers (en/ of infravervoerders) en de rangeer activiteiten van NS werkplaatsen.



Figuur 2 Schematische weergave van diesel stromen binnen de scope van dit onderzoek.

3.2.1 Tankinstallaties ProRail

Het merendeel van de diesel wordt getankt bij de vaste tankinstallaties van ProRail (Bijlage C). Tabel 3 geeft een samenvatting weer van de onderverdeling van het tankvolume van de havengebieden en de rest van Nederland bij de ProRail-tankinstallaties.

Tabel 3 Onderverdeling tankvolume per treintype en havengebied van de vaste ProRail tankinstallaties.

Havengebied	Getankt volume reizigers [miljoen L/jaar]	Getankt volume goederen + overig [miljoen L/jaar]	Totaal [miljoen L/jaar]
Haven gebieden	0.00	7.04	7.04 (30.0%)
Rest van Nederland	14.6	1.79	16.4 (70.0%)
Totaal	14.6	8.83	23.4 (100%)

ProRail heeft ook tanklocaties speciaal ingericht voor mobiel tanken. Het tankvolume voor deze locaties is niet bekend bij ProRail en is daarom ingeschat op basis van interviews met de vervoerders.

3.2.2 Tankinstallaties 3^e partijen fossiel

Buiten de vaste tanklocaties van ProRail beheren derde partijen ook tankinstallaties en wordt diesel geleverd via mobiele installaties met behulp van tankwagens. Hier zijn geen harde gegevens over. De hoeveelheid getankte liters is daarom ingeschat op basis van interviews die zijn gehouden met diverse vervoerders, zoals weergegeven in Tabel 4.

Voor zover bekend zijn Chemelot en Geleen de belangrijkste tankinstallaties van derde partijen. Hier werd volgens ProRail opgave in 2021 voor 1.5 miljoen liter diesel getankt.

3.2.3 Tankinstallaties 3^e partijen HVO

Er zijn verschillende HVO tankinstallaties van 3^e partijen. Hier wordt via zowel vaste als mobiele tankinstallaties getankt.

3.2.4 Tankinstallaties buitenland

Voor de lijn Enschede – Gronau tankt de vervoerder in het buitenland. Op basis van ritgegevens is een inschatting gemaakt van de hoeveelheid liters die in Nederland gebruikt wordt. Verschillende goederen vervoerders geven aan dat ze niet of nauwelijks tanken in het buitenland. Desalniettemin verwachten wij een niet-significante hoeveelheid die mogelijk in België wordt getankt of via mobiele installaties voor de treinritten in de haven van Terneuzen. Op basis van de gereden kilometers in het havengebied is voor deze studie is uitgegaan van 0.06 miljoen liter diesel (verwerkt bij tankvolumes 3^e partijen).

Tabel 4 Tankvolumes onderverdeeld naar categorie vervoerders [miljoen L/jaar]. 0.00 Betekent dat er geen diesel is getankt op die locatie, - betekent niet voldoende informatie ontvangen.

Tankvolumes type vervoerders [miljoen L/jaar]	Reizigersvervoer	Goederenvervoerders	Overig vervoer
ProRail vaste installaties (fossiel)			
<i>Haven gebieden</i>	0.00	7.04	-
<i>Rest van Nederland</i>	14.6	1.79	-
Derde partijen (fossiel)			
<i>Haven gebieden</i>	0.00	0.13	-
<i>Rest van Nederland</i>	0.00	1.67	-
Derde partijen (HVO)			
<i>Haven gebieden</i>	0.00	0	0.012
<i>Rest van Nederland HVO</i>	2.99	0	0.01
Tankinstallaties buitenland ^a			
<i>Buitenland</i>	0.28 ^b	-	-
Totaal ProRail vast installaties: 23.4 [miljoen L/jaar]	14.6 (82%)	8.83 (83%)	-
Totaal derde partijen (fossiel): 1.81 [miljoen L/jaar]	0	1.81 (17%)	-
Totaal derde partijen (HVO): 3.01 [miljoen L/jaar]	2.99 (17%)	0	0.022 (1%)
Totaal buitenland: 0.28 [miljoen L/jaar]	0.28 (1%)	0	-
Totaal: 30.6 [miljoen L/jaar]	17.9	10.6	2.1 ^c

^a Diverse goederenvervoerders geven aan dat ze niet tanken in het buitenland. Desalniettemin verwachten wij een niet-significante hoeveelheid die mogelijk in België wordt getankt of via mobiele installaties voor de treinritten in de haven van Terneuzen.

^b Op basis van ritgegevens is een inschatting gemaakt van de hoeveelheid liters die in Nederland gebruikt worden.

^c Een deel is via vaste ProRail tanklocaties getankt en een deel via mobiel, zie hoofdstuk 6.

Op basis van bovenstaande gegevens is de verwachting dat er ongeveer 30.6 miljoen liter diesel getankt wordt door alle dieseltreinen in Nederland. Hiervan is minimaal 3.0 miljoen liter HVO in 2022.

4. Reizigersvervoerders - Diesel/ HVO-verbruik

4.1 Verschillende diesellijnen reizigerstreinen

In 2022 werden in Nederland in totaal zes concessies verleend voor treindiensten met dieselveertuigen. Binnen deze concessies worden 17 verschillende reizigerslijnen bereden, zie Figuur 3 en Figuur 4.

Sommige lijnen worden gereden met Hydrotreated Vegetable Oil (HVO). Het voordeel van HVO is dat de CO₂-emissies van well-to-wheel (0.357 kg/l) lager is dan die van fossiel diesel (3.529 kg/L) [4]. In 2022 heeft alleen het WINK-materieel op de Noordelijke lijnen op HVO gereden.

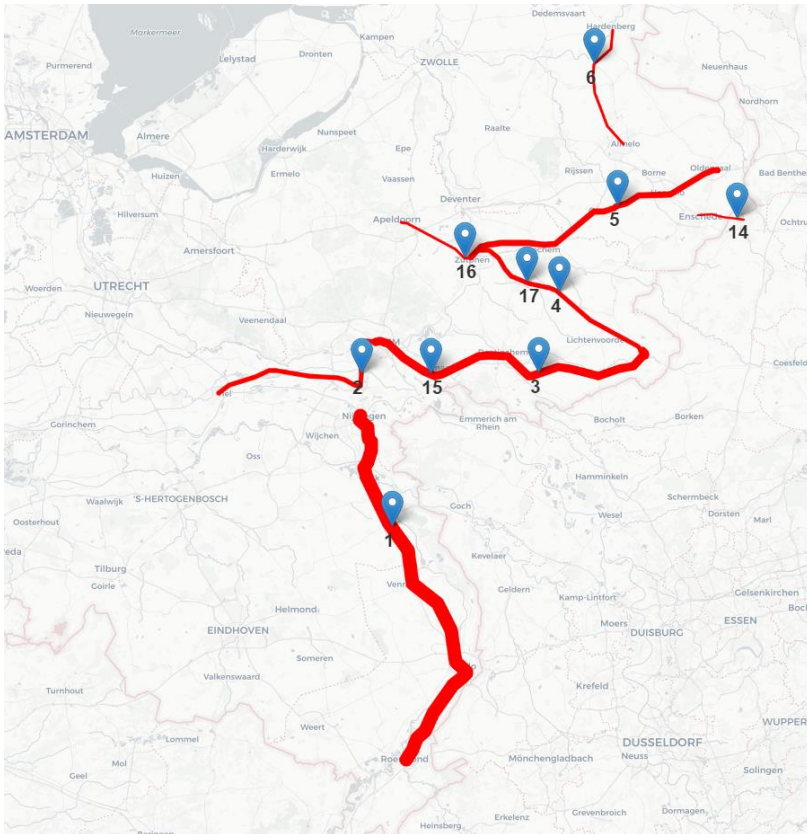
4.2 Dieselverbruik per lijn

Om een nauwkeurige inschatting te maken van het dieselverbruik per lijn zijn de volgende aannames gedaan:

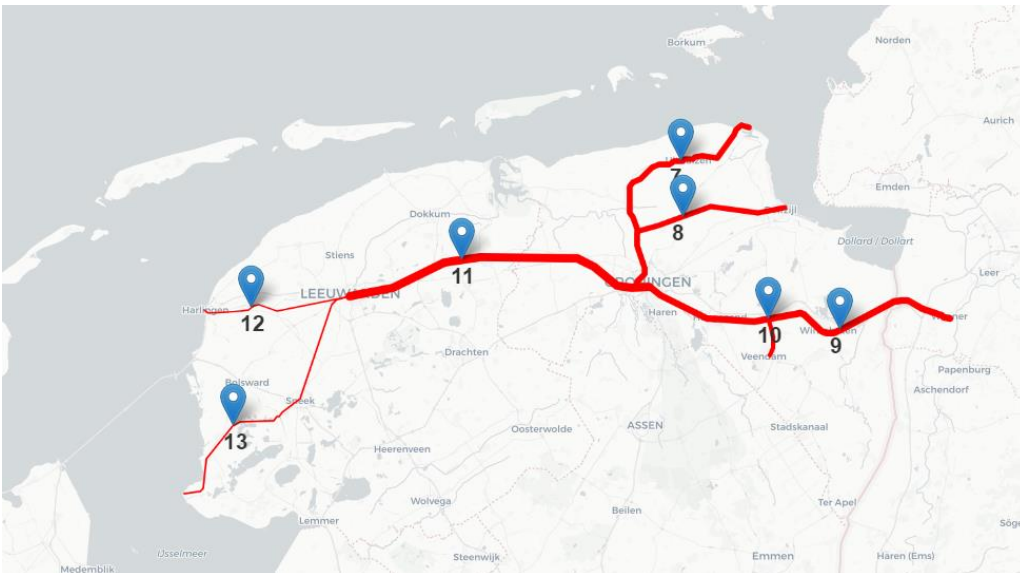
1. De gereden afstand per jaar per vervoerder is benaderd op basis van: interviews met de vervoerders, de dienstregeling en treinritdata ProRail (o.a. kilometers, routes).
2. Het getankte dieselvolumen per jaar is benaderd op basis van: interviews met de vervoerders en tankvolumes per tankinstallatie (bronnen zijn ProRail en vervoerders).
3. Voor de schatting van het verbruik (L/km) van het diesel materieel zijn diverse kengetallen gebruikt. Deze kengetallen zijn op basis van punt (1) en (2) bepaald. De kengetallen kunnen variëren op basis van de vervoerder, regio, dienstregeling, het gebruikte materieel en of treinen in samengestelde vorm rondrijden. De kengetallen geven een gemiddeld verbruik aan.
4. Het rangeren en de ritten van en naar het opstel terrein en werkplaatsen zijn meegenomen bij de berekening van het kengetal voor het dieselverbruik.
5. De trajecten Leeuwarden – Harlingen Haven en Leeuwarden – Stavoren worden enkel met WINK materieel gereden. Dit type trein rijdt 100% van de tijd op HVO.

Het traject Nijmegen – Roermond (Maaslijn) draagt het meest bij aan de totale CO₂-emissies, gevolgd door het traject Arnhem - Winterswijk. Opmerkelijk genoeg is de derde grootste uitstoot afkomstig van de lijn Leeuwarden – Groningen.

De totale CO₂-emissies van het reizigers materieel is 53.6 miljoen kg CO₂ en 483.9 ton NO_x in 2022. Figuur 3 en Figuur 4 geven een visuele weergave van de diverse lijnen, waarbij de dikte van elke lijn correspondeert met de hoeveelheid CO₂-emissies per lijn in het jaar 2022. Deze is afhankelijk van een combinatie van factoren namelijk: het kengetal, lengte van het traject, frequentie en type brandstof.



Figuur 3 ↑ Visualisatie (1/2) van de verschillende lijnen waar met dieselmaterieel gereden wordt (Oost-Nederland). De dikte van de lijn geeft de relatieve CO₂-emissies weer.



Figuur 4 ↑ Visualisatie (2/2) van de verschillende lijnen waar met dieselmaterieel gereden wordt (Noord-Nederland). De dikte van de lijn geeft de relatieve CO₂-emissies weer.

5. Goederenvervoerders – Dieserverbruik

In dit hoofdstuk is het dieserverbruik van goederenvervoer toegelicht.

5.1 Goederenvervoer – Aanpak verdeling rangeren/line-haul

In deze rapportage is er onderscheid gemaakt in twee type goederen vervoer: rangeren in de havengebieden¹ en line-haul². Er is tijdens deze studie onderscheid gemaakt in de emissies per treinkilometer voor beide categorieën.

Voor het rangeren is het aantal afgelegde kilometers niet doorslaggevend voor het dieserverbruik. Een diesel locomotief staat vaak stil (idling), maar verbruikt desondanks diesel. Het verbruik is tevens sterk afhankelijk van de aard van het rangeren (tonnage). Ook voor de line-haul is het van belang of er sprake is van ononderbroken rijden of frequent stoppen en optrekken, en hoe zwaar de lading is. De inschattingen van de kengetallen zijn vastgesteld aan de hand van gesprekken met vervoerders en expertise binnen Ricardo Nederland.

ProRail registreert de treinbewegingen van dienstregelpunt naar dienstregelpunt. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in Tabel 5 [7]. Als een treinrit zowel begint als eindigt binnen een bepaalde regio, wordt dit beschouwd als rangeren binnen het desbetreffende havengebied. Als de rit echter begint of eindigt in de regio van, of naar een dienstregelpunt buiten het betreffende havengebied, wordt de rit ingedeeld bij line-haul.

Tabel 5 Voorbeeld van individueel geregistreerde treinrit data ProRail [7].

Dag	Vervoerder	Treinumnummer	van dienst-regelpunt	naar dienst-regelpunt	Gewicht [ton]	Afstand [km]	Transport volume [tonkm]
X-Jan-22	Vervoerder A	94903	Kfhn	Mvtw	81	45.70	3701.7
X-Jan-22	Vervoerder B	45738	VI	Lutdsm	350	51.80	18130.0

Het is hierbij belangrijk om te benoemen dat de ritten die ‘achter’ een dienstregelpunt plaats vinden, niet geregistreerd worden. Denk hierbij aan lokale rangeer werkzaamheden. Deze zijn later aangevuld met informatie uit de interviews met de goederenvervoerders.

Vervolgens is op basis van de treinrit data een inschatting gemaakt van de gereden goederenbewegingen (paragraaf 5.2) en is de verdeling tussen rangeren in de havengebieden en line-haul gemaakt (paragraaf 5.3).

¹ Rangeren: Deze term verwijst naar alle bewegingen van goederentreinen die plaatsvinden binnen de begrenzings van een havengebied. Het omvat het organiseren, verplaatsen en rangschikken van goederenwagons binnen deze specifieke havengebied.

² Line-haul: Deze term wordt gebruikt om alle bewegingen van goederentreinen aan te duiden die (gedeeltelijk) buiten het havengebied plaatsvinden. Het betreft het transport over lange afstanden, waarbij goederentreinen vaak grote afstanden afleggen tussen verschillende regio's of bestemmingen, en niet beperkt blijven tot het lokale havengebied.

5.2 Goederenvervoerders – Overzicht goederenbewegingen met dieselmaterieel

Er zijn veel verschillende goederenvervoerders actief die met dieselmaterieel rijden in Nederland. In Figuur 5 is een visuele weergave gemaakt van de goederenbewegingen met diesel materieel. Hierbij correspondeert de dikte van de lijn met de hoeveelheid ton die over een bepaald spoorsegment is gereden in het jaar 2022. Deze is afhankelijk van twee factoren: de frequentie en het gewicht per treinrit.

Het meeste dieseltransport vindt plaats rondom de Haven van Rotterdam en Terneuzen omdat er veel rangeeractiviteiten nodig zijn die niet elektrisch uitgevoerd kunnen worden. Verder is er ook veel goederen dieseltransport tussen Venlo en Maastricht op de (nog) niet geëlektrificeerde Maaslijn. Voor de langere afstanden is het dieselvervoer beperkt omdat deze spoorlijnen geëlektrificeerd zijn.

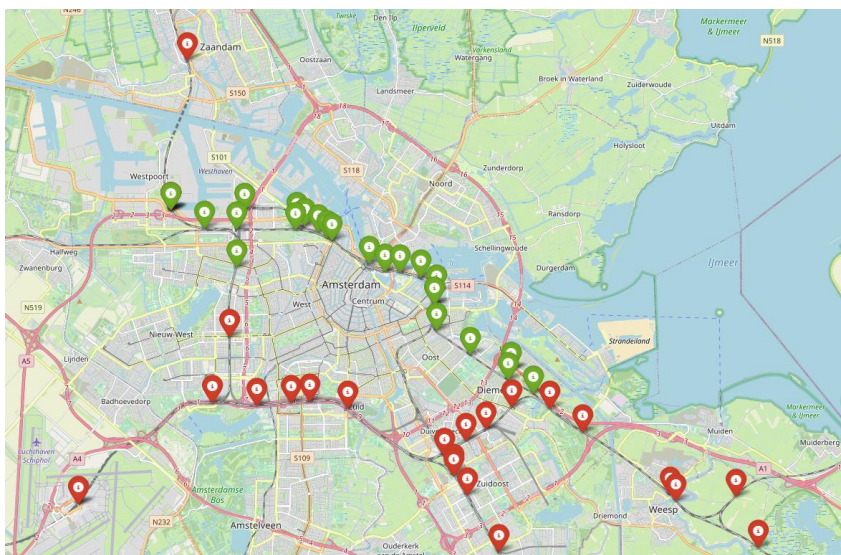


Figuur 5 Goederenvervoer - Visualisatie van het transportvolume. Hierbij correspondeert de dikte van de lijn met de hoeveelheid ton die over een bepaalde spoortak is gereden in het jaar 2022 door dieselmaterieel.

5.3 Goederenvervoerders – rangeren in havengebied

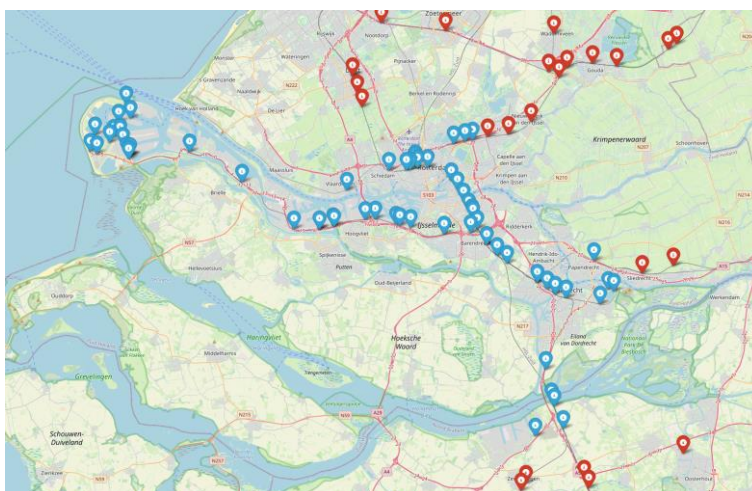
In deze paragraaf wordt het rangeren in de havengebieden toegelicht. Om onderscheid te maken tussen de emissies per havengebied, zijn de dienstregelpunten onderverdeeld in vier specifieke havengebieden:

1. Amsterdam Haven: Deze regio omvat de dienstregelpunten in en rondom de Amsterdamse haven (aangeduid met groen in Figuur 6) waar in 2022 een goederentrein van of naartoe heeft gereden. Hierbij is de aanname gedaan dat de dienstregelpunten rondom IJmuiden en Tata Steel niet mee tellen in deze regio.



Figuur 6 Dienstregelpunten in de regio Amsterdam Haven (groen).

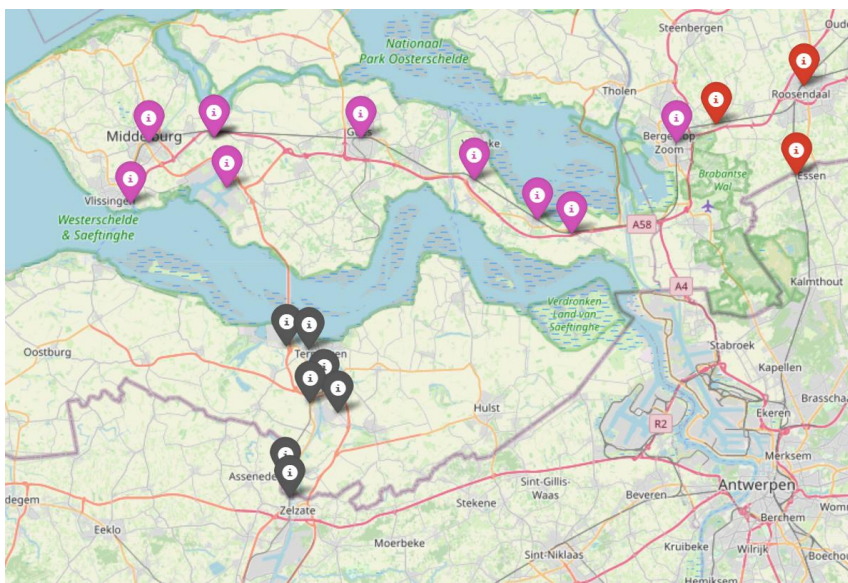
2. Rotterdam Haven: Dit omvat de dienstregelpunten in en rondom de Rotterdamse haven (aangeduid met blauw in Figuur 7) waar in 2022 een goederentrein van of naartoe heeft gereden. In dit onderzoek is ervoor gekozen om de Kijfhoek en Moerdijk in het Rotterdamse havengebied te laten vallen.



Figuur 7 Dienstregelpunten in de regio Rotterdam Haven (blauw).

3. Sloe/Vlissingen Haven: Hieronder vallen alle dienstregelpunten tussen Bergen op Zoom en Sloe/Vlissingen haven (aangeduid met paars in Figuur 8) waar in 2022 een goederentrein van of naartoe heeft gereden.

- Terneuzen Haven: Dit betreft de dienstregelpunten tussen Terneuzen en de Belgische grens (aangeduid met grijs in Figuur 8) waar in 2022 een goederentrein van of naartoe heeft gereden.



Figuur 8 Dienstregelpunten in de regio Sloe/Vlissingen Haven (paars) en Terneuzen Haven (grijs).

Met behulp van de kengetallen zijn de emissies per havengebied bepaald en samengevat in Tabel 6. Uit de tankinstallatiedata van ProRail, zoals weergegeven in Tabel 3, blijkt dat er 10.6 miljoen liter wordt getankt door goederenvervoerders (8.83 miljoen liter bij ProRail-tankinstallaties en 1.81 miljoen liter via andere installaties).

Tabel 6 Goederenvervoer - Overzicht CO₂- en NO_x-emissies per regio.

Regio	CO ₂ -emissie [miljoen kg/jaar]	NO _x -emissie [ton/jaar]
Amsterdam Haven	0.14 (0.38%)	2.68 (0.38%)
Rotterdam Haven	27.3 (73.7%)	515 (73.7%)
Sloe/Vlissingen Haven	0.00 (0.002%)	0.00 (0.002%)
Terneuzen haven	0.22 (0.59%)	4.11 (0.59%)
Rest van Nederland	9.56 (25.7%)	180 (25.7%)
Totaal	37.1 (100%)	699.6 (100%)

6. Dieselverbruik overige dieselvervoerders

De CO₂- en NO_x-emissies van de overige vervoerders die met diesel rijden zijn toegelicht in onderstaande paragrafen.

6.1 Aannemers (infravervoerders)

ProRail heeft in 2019 een studie laten uitvoeren naar het dieselverbruik bij aannemers [2]. Het doel van het onderzoek was het vaststellen van de totale CO₂-emissie van aannemers en de verdeling van deze emissies over hun werkzaamheden. Met deze informatie kan ProRail gerichte maatregelen nemen om de emissies te verminderen. De studie omvatte de gehele levenscyclus, van grondstofwinning tot sloop, en er werd een categorisering gemaakt op basis van het gebruikte materieel, variërend van autobusjes tot speciale werktreinen. Voor dit onderzoek wordt alleen gekeken naar de uitstoot van speciale werktreinen.

Uit de studie blijkt dat speciale werktreinen jaarlijks 7.35 miljoen kg CO₂ uitstoten, wat overeenkomt met een verbruik van 2.1 miljoen liter diesel. De verwachting is dat aannemers (en/of infravervoerders) deels via de vaste tankinstallaties van ProRail tanken maar ook mobiel tanken omdat ze bij een bouwlocatie regelmatig met een 'eiland' bedrijf werken. Hierbij wordt het werkmaterieel met behulp van een tankwagen getankt. In [2] is geen onderscheid gemaakt tussen de hoeveelheid brandstof die via de vaste ProRail-tankinstallaties is getankt en die via derde partijen/mobiel is verkregen.

6.2 Diesilverbruik NS werkplaatsen

Het materieel van NS voor reizigersvervoer is volledig elektrisch. Echter, voor de rangeerprocessen in de werkplaatsen wordt momenteel nog gebruikgemaakt van diesel locomotieven. In totaal beschikt NS over 9 locomotieven van het type DH700, waarvan er 8 actief in gebruik zijn. Deze locomotieven maken gebruik van HVO in plaats van fossiele diesel.

7. Samenvattend overzicht CO₂- en NO_x-emissies

Zoals eerder besproken, wordt er door verschillende vervoerders met dieselmaterieel gereden in Nederland. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen drie verschillende categorieën: reizigersvervoer, goederenvervoer en overig dieselvervoer. Tabel 7 geeft de emissies per categorie weer. Reizigersvervoer stoot rond de 54 miljoen kg CO₂ (55%) per jaar uit. Daarnaast is de goederensector verantwoordelijk voor 37 miljoen kg CO₂-emissies in het jaar 2022. De overige vervoerders, en met name de aannemers (en/ of infravervoerders), zijn verantwoordelijk voor 7 miljoen kg CO₂-emissies per jaar. De totale CO₂-uitstoot van dieseltreinen van 2022 is 98.1 miljoen kg. De jaarlijkse NO_x-emissies zijn 1 322 ton/jaar, waarbij de goederenvervoerders het meeste uitstoten (53%).

Tabel 7 Samenvatting dieselverbruik en uitstoot per treincategorie.

Type vervoer	Afstand [miljoen km]	Diesel verbruik (fossiel) [miljoen L/jaar]	Diesel verbruik (HVO) [miljoen L/jaar]	CO ₂ -emissies [miljoen kg/jaar]	CO ₂ -emissies [%]	NO _x -emissies [ton/jaar]	NO _x -emissies [%]
Reizigers	16.12	14.88	2.99	53.57	54.6%	484	36.6%
Goederen	2.16	10.5	0	37.13	37.9%	700	52.9%
Overig	Onbekend	2.08	0.022	7.35	7.5%	139	10.5%
Totaal	18.28	27.46	3.01	98.1	100.0%	1 322	100.0%

8. Mogelijkheden om te komen tot zero-emissie vervoer

Er zijn verschillende manieren om tot zero-emissie (geen CO₂-emissies) vervoer te komen. In dit hoofdstuk worden de verschillende oplossingen besproken. Zero-emissie is een combinatie van materieel en infrastructuur. Eerst zal het materieel toegelicht worden en daarna de infrastructuur.

In het tweede deel van dit hoofdstuk wordt per regio/lijn/type vervoer toegelicht wat de meest voor de hand liggende oplossing zou zijn om tot zero-emissie vervoer te komen.

8.1 Oplossingen zero-emissie vervoer

Ricardo heeft in 2020 voor de Europese Investeringsbank (EIB) een onderzoek uitgevoerd naar de verschillende zero-emissie tractie technologieën [8]. Het rapport kan gedownload worden op de website van de EIB: [Technical report on railway traction technologies \(eib.org\)](https://www.eib.org/press/2020/03/technical-report-on-railway-traction-technologies). In dit rapport wordt elke technologie beschreven inclusief een toelichting op de maturiteit, oftewel hoe “volwassen” de techniek is voor inzet in een operatie. Daarvoor is gebruik gemaakt van de methode Rail Industry Readiness Levels (RIRL). Dit is vergelijkbaar met Technology Readiness Levels (TRL) maar dan specifiek voor rail. In hoofdstuk 2 van het EIB rapport is deze methode toegelicht en is een samenvattend overzicht gegeven van elke techniek en de maturiteit. Deze is ook weergegeven in Bijlage D. Opgemerkt kan worden dat de afgelopen 3 jaar de uitrol van zero-emissie technieken nog verder is gegaan t.o.v. 2020 en dat nu meer ervaring opgedaan is. Omdat een stap omhoog in RIRL tijd kost is de EIB rapportage nog zeer bruikbaar om inzicht te krijgen in de toepasbaarheid van elke technologie maar is het wel goed om te beseffen dat het een conservatieve benadering is.

In Figuur 9 zijn de verschillende RIRL uitgezet tegen benodigde investering om de technologie verder te brengen. Vanaf level 7 is de kans dat een technologie slaagt steeds groter.

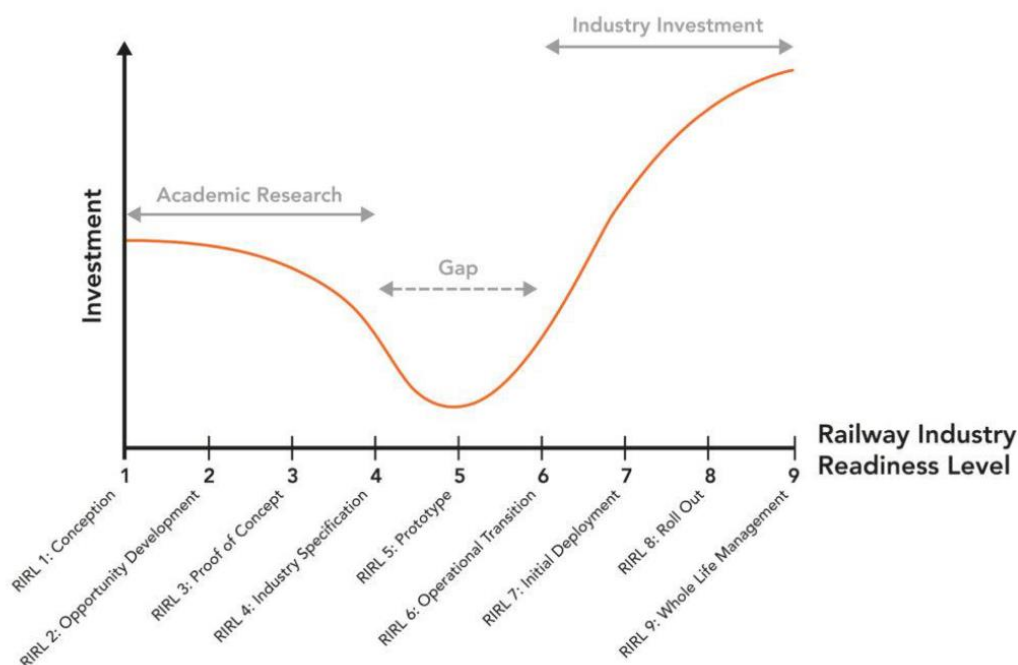


Figure 1 Valley of death (or innovation gap): the struggle to continue funding of development

Figuur 9 Inzicht in RIRL vs. het krijgen van budget om technologie verder te krijgen (uit [8]).

In onderstaande paragrafen is voor elke techniek een verwijzing opgenomen naar het juiste hoofdstuk uit de EIB rapportage waarin een gedetailleerde beschrijving van elke techniek kan worden gevonden, inclusief de voordelen en nadelen.

8.1.1 Elektrische treinen reizigers

(zie hoofdstuk 3.3 en Annex 4 van [9])

Elektrische treinen (Electric Multiple Unit, EMU) hebben elektrische tractiemotoren en krijgen de elektriciteit daarvoor via de bovenleiding. In Nederland is dit de meest gebruikte zero-emissie techniek. Het heeft RIRL level 9, het hoogste niveau.

8.1.2 Batterijtreinen reizigers

(zie hoofdstuk 3.7 en Annex 4 van [8])

Batterijtreinen (Battery Electric Multiple Unit (BEMU)) hebben elektrische tractiemotoren en krijgen de elektriciteit daarvoor via de bovenleiding of via een batterijpakket. Meest gebruikte methode om de batterij op te laden is via de pantograaf, zowel rijdend of bij stilstand bij een oplaadstation. Eventueel kan bij stilstand via een stekker geladen worden. Daarnaast wordt ook de remenergie in de batterij opgeslagen.

De techniek heeft RIRL 7-8 wat betekent dat de techniek al klaar is voor inzet in commerciële operatie. De maximale afstand die op een batterijlading gereden kan worden ligt momenteel rond de 100 km. Binnen het Europese onderzoeksprogramma ERJU wordt nu onderzoek gedaan om dit te verhogen tot minimaal 200 km.

Ook bestaat de mogelijkheid om bestaande dieselelektrische treinen of elektrische treinen om te bouwen naar batterijtreinen. Zie Annex 4 van [8]. Dit kan interessant zijn als de trein nog voldoende restlevensduur heeft.

8.1.3 Waterstoffreinen reizigers

(zie hoofdstuk 3.6 en Annex 5 van [7])

Waterstoffreinen (Hydrogen Electrical Multiple Unit (HEMU/ HEMU)) hebben elektrische tractiemotoren en krijgen de elektriciteit via omzetting van waterstof in elektriciteit m.b.v. een fuel cell in samenwerking met een batterij. De tractiemotoren kunnen eventueel gevoed worden via de bovenleiding m.b.v. een pantograaf, alhoewel deze combinatie nog niet vaak wordt toegepast.

De techniek heeft RIRL 7-8 wat betekent dat de techniek al klaar is voor inzet in commerciële operatie. De maximale afstand die op een tanklading gereden kan worden ligt momenteel tussen de 800-1000 km. Dit is vergelijkbaar met de afstand voor een dieseltrein.

Ook bestaat de mogelijkheid om bestaande dieselelektrische treinen of elektrische treinen om te bouwen naar waterstoffreinen. Zie Annex 5 van [8]. Dit kan interessant zijn als de trein nog voldoende restlevensduur heeft.

8.1.4 Locomotieven goederen

(zie hoofdstuk 3.4 en Annex 3 van [7])

Locomotieven voor de line-haul (oftewel lange afstand en over het algemeen internationaal) goederenvervoer in Nederland zijn over het algemeen elektrische locomotieven. Alleen voor de last-mile (o.a. voor de terminalbediening en/ of rangeerbewegingen op de emplacementen) is vaak nog een diesellocomotief nodig. Hybride locomotieven zijn in ontwikkeling die zowel voor de last-mile als de line-haul ingezet kunnen worden. Dit is niet alleen duurzamer, ook kosten efficiënter. Een voorbeeld is de locomotief die [CRRC](#) aan het bouwen is voor Rail Force One (bron: Rail Force One).

8.1.5 Zero-emissie rangeer locomotieven

(zie hoofdstuk 3.8 en Annex 6 van [7])

Zero-emissie alternatieven voor diesel rangeer locomotieven (shunting locomotives) zijn de batterij locomotief, een elektrische variant met pantograaf of een locomotief met aandrijving via waterstof. Daarnaast zijn er (semi) zero-emissie varianten als hybride locomotief (diesel-batterij).

8.1.6 Treinen met HVO

Alhoewel niet zero-emissie toch goed om te benoemen dat vervanging van de diesel met HVO tot een reductie van ~90% in CO₂-uitstoot (well-to-wheel) kan leiden. Wel leidt HVO nog steeds tot stikstof uitstoot (ongeveer 10% minder dan fossiele diesel [5]). Daarnaast zijn extra investeringen in de infrastructuur nodig omdat er een aparte HVO tankinstallatie moet komen.

8.1.7 Infrastructuur - Volledige elektrificatie

Bij volledige elektrificatie wordt het gehele traject van bovenleiding voorzien. Dit houdt in dat treinen over het gehele traject inclusief de last-mile (voor goederenvervoer) met een pantograaf onder een bovenleiding kunnen rijden. Opgemerkt kan worden dat in havengebieden bovenleiding vanuit praktische overwegingen (beladen van goederenwagens via kranen) vaak niet aanwezig is. Daarnaast zijn de havengebieden niet in eigendom van ProRail en zullen er afspraken gemaakt moeten worden met de beheerder over aansluitingen, onderhoud etc. Dit maakt het extra complex om bovenleiding aan te leggen.

8.1.8 Infrastructuur - Partiële elektrificatie

Bij partiële elektrificatie wordt slechts een deel van het traject van bovenleiding voorzien. Wanneer de trein zich niet onder de bovenleiding bevindt, zal de trein energie uit een andere bron moeten halen zoals batterijen of waterstof met fuel cell.

8.1.9 Infrastructuur – Waterstof tankstation

Als wordt overgestapt op waterstoffreinen is een waterstoftankstation nodig. Enkele aandachtspunten hierbij zijn o.a. de keuze van een veilige locatie, keuze voor bevoorrading (bijvoorbeeld via tubetrailers of leidingen), keuze opslag (grote opslag voor meerdere dagen of kleiner met om de dag vullen), keuze productie waterstof op locatie of elders, gebruik van tankstation voor alleen treinen of ook ander vervoer etc. Daarnaast is het tankproces nog niet gestandaardiseerd (o.a. type aansluiting, vulsnelheden) dus belangrijk om goed met gebruikers af te stemmen voordat een tankstation wordt gebouwd.

8.2 Oplossing reizigersvervoer - per lijn

In deze paragraaf worden de meest logische oplossingen benoemd om tot zero-emissie te komen voor reizigersvervoer. In hoofdstuk 4.1, wordt een clustering gepresenteerd van de diverse lijnen en concessies per regio. In onderstaande paragrafen wordt voor elke clustering geanalyseerd welke zero-emissie techniek het meest logisch is.

8.2.1 Friesland/ Groningen – Noordelijke lijnen

In reactie op de naderende veroudering van de GTW-vloot zijn de betrokken provincies actief bezig met het verkennen van emissievrije alternatieven.

De provincie Groningen en de Arriva onderzoeken gezamenlijk de mogelijkheid om waterstofftreinen in te zetten, en hebben hiervoor een aanbesteding gestart voor de aankoop van vier waterstofftreinen. Daarmee kan voor het einde van de concessie praktijkervaring opgedaan worden met het rijden van waterstofftreinen. Deze kennis kan vervolgens worden toegepast in de opvolgende concessie.

Parallel hieraan overweegt de provincie Fryslân voor de trajecten Leeuwarden – Harlingen Haven en Leeuwarden – Stavoren batterijtreinen te introduceren. Op dit moment worden deze routes gereden door WINK-treinen, die reeds zijn uitgerust met (kleine) batterijen en voorbereid zijn om als volwaardige batterijtreinen te opereren. De provincie en Arriva hebben voornemens om een proef te starten met twee omgebouwde WINK-treinen met grotere batterijcapaciteit die tussen Leeuwarden en Harlingen Haven zullen rijden. Hiermee kan met reizigers ervaring opgedaan worden. Bij positief resultaat kan de hele dienstregeling in Fryslân met WINK-batterijtreinen gereden worden.

Eerdere onderzoeken hebben aangetoond dat de business case voor volledige elektrificatie minder voordelig is dan die voor batterijtreinen of waterstofftreinen. De uiteindelijke keuzes zullen afhangen van de resultaten van beide proeven.

8.2.2 Overijssel

1. *Vechtdallijnen*: Almelo – Mariëenberg – (Hardenberg) (lijn 6 in Figuur 3)

Het huidige dieselmaterieel bereikt tegen 2030 het einde van zijn levensduur, wat ongeveer samenvalt met het einde van de concessie in 2027. Vanwege deze timing is de ombouw van bestaande dieseltreinen naar een zero-emissie alternatief geen haalbare optie.

Het niet-geëlektrificeerde deel van het traject is relatief kort, slechts 18,5 km, gevolgd door 8 km geëlektrificeerd spoor naar Hardenberg. Dit is een goed uitgangspunt voor een batterijtrein met opladen via een pantograaf.

Uit een Life Cycle Management Analyse (LCM) uitgevoerd door ProRail blijkt dat het milieu minder wordt belast bij de implementatie van batterijtreinen dan bij volledige elektrificatie of waterstofftreinen. Uit een TEV-analyse is gebleken dat ook voor de inzet van batterijtreinen het bovenleidingnetwerk op verschillende punten verzaamd moet worden. Als er gekeken wordt naar de totale levenscycluskosten is de verwachting dat een batterijtrein op dit traject voordeliger uitvalt dan elektrificatie. Ondanks deze voordelen is op basis van andere argumenten gekozen om dit traject volledig te elektrificeren. Binnenkort gaat ProRail, in opdracht van de provincie Overijssel, van start met de planuitwerking.

2. *Twente 1*: Zutphen-Hengelo-Oldenzaal (lijn 5 in Figuur 3)

Op dit traject zal het materieel eveneens tegen 2030 het einde van zijn levensduur bereiken, waardoor ombouw van de huidige dieseltreinen naar een zero-emissie oplossing niet haalbaar is. Op dit traject is tussen Zutphen en Hengelo een deel (~42 km) niet geëlektrificeerd. Echter bij vertrek uit Zutphen en tussen Hengelo en Oldenzaal is wel bovenleiding aanwezig. Dit is een goede uitgangspositie voor een batterijtrein met pantograaf. Ook uit de LCM studie van ProRail volgt dat partiële elektrificatie uit milieu oogpunt gunstiger is dan volledige elektrificatie of waterstofftrein. Wat betreft de totale levenscycluskosten is de verwachting dat een batterijtrein op dit traject ongeveer even kostbaar is als elektrificatie. Voor dit traject is eveneens gekozen om in te zetten op volledige elektrificatie.

3. *Twente 2*: Enschede – Gronau (D) (lijn 14 in Figuur 3)

Het materieel dat hier rijdt is rond het einde van de concessie in 2027 aan het einde van de levensduur en moet vervangen worden door een zero-emissie variant. Er is gekozen voor volledige elektrificatie van dit traject.

8.2.3 Gelderland

Het ingezette materieel, GTW 2/6 en GTW 2/8 is relatief nieuw (uit 2012) en heeft een beschikbare levensduur tot ongeveer 2042. De optie om tussentijds om te bouwen naar zero-emissie is voor onderstaande lijnen een mogelijkheid. Het zal afhangen van de kosten en een milieu impact analyse of ombouw of nieuwbouw de beste keuze is.

1. Arnhem - Doetinchem (lijn 15 in Figuur 3)
Dit traject is ongeveer 30 km lang waarvan ongeveer de helft geëlektrificeerd. Dit is een goede situatie voor de inzet van batterij treinen in combinatie met pantograaf.
2. Achterhoek-Rivierenland:
 - a. *Apeldoorn – Zutphen – Winterswijk (lijn 4, 16, 17 in Figuur 3)*
Dit traject is ongeveer 60 km en niet geëlektrificeerd. Alleen bij Zutphen is een heel klein deel (~ 1 km) van bovenleiding voorzien. Een batterijtrein in combinatie met partiële elektrificatie op een strategische locatie is mogelijk. Een gedetailleerde studie is nodig om te bepalen of een batterijtrein of volledige elektrificatie hier de beste oplossing is. Vooralsnog is de waterstoffrein, gezien de relatief korte lengte van het traject en de (operationele) kosten, niet de voorkeursoplossing.
 - b. *Arnhem – Doetinchem - Winterswijk (lijn 3, 15 in Figuur 3)*
De totale lengte is ongeveer 65 km waarvan de eerste 15 km van dit traject is geëlektrificeerd. Voor de overige 50 km is inzet van een batterijtrein met partiële elektrificatie op een strategische locatie mogelijk. Een gedetailleerde studie is nodig om te bepalen of een batterijtrein of volledige elektrificatie hier de beste oplossing is. Vooralsnog is de waterstoffrein, gezien de relatief korte lengte van het traject en de (operationele) kosten, niet de voorkeursoplossing.
 - c. *Tiel – Arnhem (lijn 2 Figuur 3)*
Het traject is ~44 km lang waarvan bijna 12 km geëlektrificeerd. Dit is een geschikt traject voor een batterijtrein met eventueel partiële elektrificatie op een strategische locatie. Vooralsnog is de waterstoffrein, gezien de relatief korte lengte van het traject en de (operationele) kosten, niet de voorkeursoplossing.

8.2.4 Limburg/Gelderland – Maaslijn: Roermond – Nijmegen (lijn 1 in Figuur 3)

Deze lijn wordt volledig geëlektrificeerd en dit zal naar verwachting eind 2027 gereed zijn. De dieseltreinen zullen vervangen worden door elektrische FLIRT treinen.

8.3 Goederenvervoer

Omdat het niet mogelijk is om met een elektrische locomotief een terminal op te rijden of rangeeractiviteiten uit te voeren op een emplacement omdat nog niet boven alle sporen bovenleiding hangt, wordt voor de last mile een diesellocomotief ingezet. Voor de line-haul wordt over het algemeen een elektrische locomotief ingezet en is daardoor al zero-emissie. Meerdere oplossingen en innovaties zijn denkbaar of reeds in ontwikkeling voor de last mile, om te komen tot zero-emissie, maar meerdere knelpunten en showstoppers zorgen ervoor dat deze nog niet gerealiseerd zijn. O.a. het proces van toelating van een nieuw voertuig is een dergelijk knelpunt.

8.4 Overige dieseltreinen

8.4.1 Aannemers (en/ of infravervoerders)

Voor de aannemers (en/ of infravervoerders) is het van belang om een bedrijfsspecifieke oplossing te hebben afhankelijk van het proces. Een mooi voorbeeld van de overstap naar zero-emissie is de pantograaf-batterij-locomotief van Strukton die bij werkzaamheden deze locomotief gaat inzetten als vervanger van diesel locomotieven. Momenteel loopt het toelatingsproces om op het hoofdrailnet te kunnen rijden.

In 2021 heeft ProRail vanuit UIC als medeorganisator de workshop "[Decarbonisation of Worktrains](https://uic.org/events/decarbonisation-of-work-trains)"³ georganiseerd. In de verschillende presentaties komt naar voren dat een combinatie van pantograaf en batterij mogelijk is voor de processen die niet te veel vermogen vragen. Wel is de bottleneck dat processen vaak lang duren en de batterijcapaciteit dan mogelijk niet voldoende is. Voor de groter vermogen vragende processen zal een combinatie van waterstof/fuel cell met pantograaf de oplossing kunnen zijn als vervanging van de huidige pantograaf/ diesel oplossing.

Voorbeelden van andere genoemde issues die zero-emissie voor speciale werktreinen moeilijk maken zijn o.a. dat de spanning op de bovenleiding vanwege veiligheid vaak wordt uitgeschakeld, mobiel opladen of bijvullen op de werklocatie nog niet goed geregeld is, regelgeving nog niet goed past, kleine oplages van speciale werktreinen dus ombouw/ vernieuwen is kostbaar, grote investeringen in nieuw materieel vs. nog te weinig vraag vanuit de markt.

Aangezien werktreinen vaak ook internationaal werken, is het advies om in samenspraak met internationale groeperingen, zoals UIC, verder te zoeken naar mogelijkheden voor zero-emissie werktreinen.

8.4.2 NS rangeerlocomotieven

De huidige NS rangeerlocomotieven zijn van het type DH700 en komen uit 2003. NS rijdt met HVO om op die manier de CO₂-uitstoot te verminderen. Aangezien het gebruik van de locomotieven beperkt is, wordt er voorlopig voor gekozen om het besluit, om naar 100% zero-emissie te gaan, uit te stellen naar het moment dat de locomotieven 30 jaar oud zijn, in 2033. Het aanbod van toegelaten, batterij rangeerlocomotieven zal dan ook voldoende zijn ter vervanging van de huidige diesel locomotieven.

Het lichtere rangeerwerk, zoals treinen naar de kuilwielenbank brengen, wordt nu al met batterij locomotieven van het type Niteq gedaan. Deze zijn echter niet toegelaten tot ProRail sporen en daarom geen serieus alternatief voor het zwaardere rangeerwerk.

³ <https://uic.org/events/decarbonisation-of-work-trains>, accessed 12-12-2023

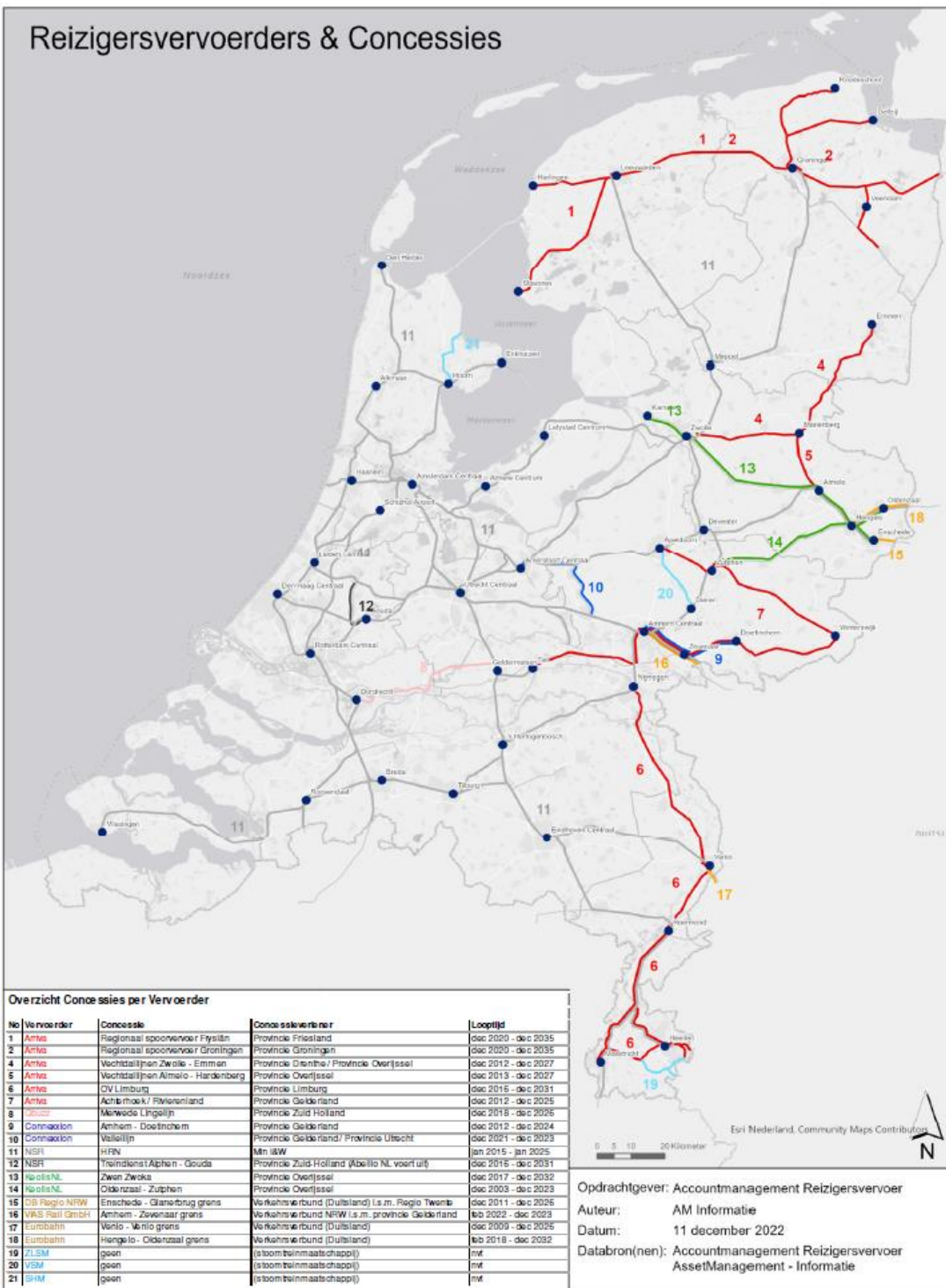
Bibliografie

- [1] C. Aardenburg en W. Drok, „Dominantieanalyse ProRail 2021,” Royal Haskoning DHV, Amersfoort, 2021.
- [2] H. Consulting, Dieselgebruik Aannemers ProRail, 2019.
- [3] ProRail, „Netverklaring,” ProRail, Utrecht, 2023.
- [4] CE Delft, „STREAM Personenvervoer Emissiekentallen modaliteiten 2022,” CE Delft, Delft, 2023.
- [5] N. E. Ligterink, P. Mensch en M. Elstgeest, „Emissiemetingen Stadler passagierstrein met diesel en HVO,” TNO, Den Haag, 2023.
- [6] D. Hilster, E. d. Boer, M. 'l. Hoen en M. Otten, „Review of Dutch rail diesel emissions calculation methodology,” CE Delft, Delft, 2020.
- [7] ProRail, *Treinrit registratie dieselmaterieel 2022*, Utrecht: ProRail, 2022.
- [8] Ricardo plc, „Technical report on railway traction technologies,” EIB, 2022.
- [9] N. Ligterink, T. Smit en J. Spreen, „Inzicht in het energieverbruik, de CO2-uitstoot en de NOx-uitstoot van het spoorgoederenvervoer,” TNO, Den Haag, 2018.
- [10] Treinposities, „Treinposities.nl,” 27 11 2023. [Online]. Available: <https://treinposities.nl/vertrektijden/groningen>. [Geopend 27 11 2023].
- [11] Wikipedia, „Nederlands Spoorwegmaterieel,” Wikipedia, 2022. [Online]. Available: https://nl.wikipedia.org/wiki/Nederlands_spoorwegmaterieel. [Geopend 6 12 2023].

Bijlage A Tractie-energievoorzieningssystemen [3]



Bijlage B Reizigersvervoerders en Concessies [3]



Overzicht Concessies per Vervoerder

No	Vervoerder	Concessie	Concessieverteer	Looptijd
1	Amtra	Regionaal spoorvervoer Fryslân	Provincie Fryslân	dec 2020 - dec 2035
2	Amtra	Regionaal spoorvervoer Groningen	Provincie Groningen	dec 2020 - dec 2035
4	Amtra	Wegstreeklijnen Zwolle - Emmen	Provincie Drenthe / Provincie Overijssel	dec 2012 - dec 2027
5	Amtra	Wegstreeklijnen Almelo - Hardenberg	Provincie Overijssel	dec 2013 - dec 2027
6	Amtra	DV Limburg	Provincie Limburg	dec 2016 - dec 2031
7	Amtra	Achthoek / Rivierland	Provincie Gelderland	dec 2012 - dec 2025
8	Amtra	Mechelse Lingelijn	Provincie Zuid-Holland	dec 2018 - dec 2026
9	Connexion	Amhem - Doetinchem	Provincie Gelderland	dec 2012 - dec 2024
10	Connexion	Valkilijn	Provincie Gelderland / Provincie Utrecht	dec 2021 - dec 2029
11	NSR	HRN	Mn i&W	jan 2015 - jan 2025
12	NSR	Treindienst Alpen - Gouda	Provincie Zuid-Holland (Abellio NL voert uit)	dec 2016 - dec 2031
13	NSR	Zwen Zwaks	Provincie Overijssel	dec 2017 - dec 2032
14	NSR	Oldenzaal - Zutphen	Provincie Overijssel	dec 2003 - dec 2029
15	DB Regio NRW	Emscheider - Graafschap grens	Verkehrsverbund (Duitsland) i.s.m. Regio Twente	dec 2011 - dec 2026
16	NSR	Amhem - Zwenstaal grens	Verkehrsverbund NRW i.s.m. provincie Gelderland	feb 2022 - dec 2023
17	Eurobahn	Verlo - Utricht grens	Verkehrsverbund (Duitsland)	dec 2009 - dec 2025
18	Eurobahn	Hengelo - Oldenzaal grens	Verkehrsverbund (Duitsland)	feb 2018 - dec 2022
19	ZLSM	geen	(stoomtreinmaatschappij)	nvt
20	VSM	geen	(stoomtreinmaatschappij)	nvt
21	SHM	geen	(stoomtreinmaatschappij)	nvt

Deze kaart geeft alleen reizigersvervoerders aan waar ProRail toegangsovereenkomsten mee heeft afgesloten. Goederenvervoerders en goederenbaanvakken zijn niet op deze kaart weergegeven. Op grensbaanvakken verleent de NL-overheid geen concessies.

Opdrachtgever: Accountmanagement Reizigersvervoer
 Auteur: AM Informatie
 Datum: 11 december 2022
 Databron(nen): Accountmanagement Reizigersvervoer
 AssetManagement - Informatie



Bijlage C Tanklocaties [3]












Informatie met betrekking tot opslagcapaciteit en debiet van tankinstallaties

Locatie	Opslagcapaciteit in m ³	Debiet in l/min (via vulpistool)	Debiet in l/min (via morsvrije aansluiting)
Groningen De Vork	2 x 40	120	200
Leeuwarden	1 x 40	90	200
Hengelo	2 x 60	90	200
Zutphen	2 x 40	90	200
Winterswijk	1 x 50	90	200
Amhem	2 x 50	90	200
Amersfoort	2 x 30	90	200
Amsterdam Westhaven	1 x 50	90	200
Maasvlakte	1 x 100	120	200
Botlek	1 x 25	80	200
Waalhaven Zuid	1 x 100	120	200
Kijfhoek	2 x 50	125	200
Roosendaal	2 x 50	90	200
Terneuzen*	1 x 30	90	200
Nijmegen	2 x 30	90	200
Venlo	2 x 100	90	200
Heerlen*	1 x 40	130	200


* Tankinstallatie is buiten gebruik genomen en zal naar verwachting in 2024 geamoveerd zijn.

Op enkele locaties is een HVO- of Ad-Blue-installatie aanwezig. Deze zijn in eigendom van een specifieke spoorwegonderneming.

Bijlage D Maturiteit tractie technologieën

Traction technology for railway vehicles		Categories of railway vehicles			
		Self-propelled passenger trainsets	Locomotives	Shunters	On-track Machines
					
Internal combustion engines (ICE)	Diesel	RIRL 9: Mature and significant deployment	RIRL 9: Mature and significant deployment	RIRL 9: Mature and significant deployment	RIRL 9: Mature and significant deployment
	CNG/LNG	RIRL 6: Operational Transition	RIRL 6: Operational Transition		
	Advanced Biofuels (HVO)	RIRL 6-7: Operational Transition	RIRL 5: Prototype		
Bi-mode and multi-modes based on power cell-based technologies, internal combustion engines (ICE)	Bi-mode with diesel and electrical under overhead contact line	Hybrid RIRL 8: Roll out	Hybrid RIRL 8: Roll out	Hybrid RIRL 8: Roll out	
	Bi-mode with electrical traction under overhead line with last-mile diesel		Hybrid RIRL 8: Roll out	Hybrid RIRL 8: Roll out	
	Bi-mode with diesel and on-board battery	Hybrid RIRL 7-8: Start of roll out 		Hybrid RIRL 7-8: Start of roll out 	Hybrid RIRL 5: Prototype
Zero emission Power cell (hydrogen fuel cell, battery) and electrical traction technologies	Fuel cell hydrogen	FCH RIRL 7-8: Start of roll out 	FCH RIRL 5: Prototype	FCH RIRL 7-8: Start of roll out 	
	Overhead wire combined with battery and/or capacitor	Battery Electric Multiple Unit (BEMU) RIRL 7-8: Start of roll out 		AC/DC/MS RIRL 7-8: Start of roll out	
	Electrical traction under overhead contact line	EMU RIRL 9: Mature and significant deployment	AC/DC/MS RIRL 9: Mature and significant deployment		

Rail Industry Readiness Level (RIRL)

1: Conception	2: Opportunity development	3: Proof of concept	4: Industry specification	5: Prototype	6: Operational transition	7: Initial deployment 	8: Roll out	9: Mature deployment
The industry is aware of an opportunity	The industry is able to conceive plans about its deployment	A conceptual design is made and supported by experiments	Plans are made about the production of the concept	The industry is capable of pre-production using a defined system	Realistic operational demonstrators are in place	Manufacturers are established and ready to deliver	Customers start to implement the technology	Product can be supplied of the shelf

Ricardo Nederland BV
Daalsesingel 51, 3511 SW, Utrecht
The Netherlands
T +31 (0)30 7524 700
F +31 (0)30 7524 800
rail.ricardo.com