

Executive summary

Spoor is bij verre de meest milieuvriendelijke transportmodus in België en in de rest van Europa. Toch is er voldoende ruimte voor verbetering. Een aantal spoorlijnen in België zijn nog steeds niet-geëlektrificeerd. Daarnaast wordt binnen het goederenvervoer nog zeer veel dieseltractie gebruikt. Dit rapport bevat een analyse van de opties tot ontdieseling van de resterende niet-geëlektrificeerde spoorlijnen in België. Deze bestaan uit passagierslijnen die zich voornamelijk rond Gent situeren (Eeklo-Ronse, Gent-Geraardsbergen, Aalst-Burst) en Charleroi-Couvin. Daarnaast zijn er de niet-geëlektrificeerde goederenlijnen Genk-Bilzen (L21c), Gent-Zelzate (L204) en Gent-Wondelgem-Terneuzen (L55). We gebruiken het woord ontdieseling, omdat we niet de facto uitgaan van een elektrificatie van deze lijnen. Naast de volledige elektrificatie van de lijn kijken we naar twee alternatieven: het gebruik van batterijtreinen (al dan niet met partiële elektrificatie van de lijn) en waterstoffreinen. Deze alternatieven worden nu commercieel beschikbaar voor de passagierslijnen, maar staan nog niet echt op punt voor het goederenvervoer. Daarom bekijken we de goederenlijnen in minder detail, op basis van een aantal quick scans die gericht zijn op de mogelijke baten van elektrificatie van deze lijnen.

We starten de studie met een uitgebreid literatuuroverzicht van gelijkaardige projecten. Uit de literatuurstudie komen de volgende conclusies. Duurzame alternatieven voor elektrische passagierstreinen staan momenteel zo ver dat ze een realistische mogelijkheid bieden om kosten te besparen en de duurzaamheid van het spoornetwerk verder te verbeteren. De haalbaarheid is echter sterk situatie-afhankelijk. Zo werd in een gelijkaardig project in Groningen en Friesland eerst een keuze gemaakt voor partiële elektrificatie met batterijtreinen, waarna er toch werd gekozen voor testen met waterstoffreinen. Dit werd echter vooralsnog nog niet vertaald in een permanente use case. In Duitsland is in sommige regio's de kost van elektrificatie zodanig hoog dat dit bij voorbaat wordt uitgesloten. Waterstof heeft dan als een quasi infrastructuurloze technologie een belangrijk voordeel. Vanuit de industrie is er veel interesse voor waterstof. Deze ziet vooral mogelijke synergiën met het energienetwerk, chemische industrie en waterstof als brandstof en tijdelijke energieopslag. De rol van het spoor om de opgang van deze industrie te katalyseren moet echter niet overschat worden, gezien de relatief beperkte grootte van het spoor ten opzichte van de totale vervoerseconomie. Daardoor is het spoor vooral een 'volger' in de industriële ontwikkeling.

In het geval van goederenvervoer via spoor lijken de alternatieven voor volledige elektrificatie nog niet echt op punt te staan. Batterijen hebben vooralsnog nog niet de energiedensiteit om voldoende energie te leveren om zware goederentreinen van meer dan 1000 ton betrouwbaar over lange afstanden heen te krijgen. Een mogelijke optie is een hybride motor die diesel combineert met elektriciteit. Een potentieel aantrekkelijk voorbeeld dat in Duitsland beschikbaar is, is de dual fuel Vectron locomotief. Deze combineert een vol vermogen dieselmotor met een elektrische motor. Ook de optie waterstof lijkt hier op het eerste zicht aantrekkelijker. De reden is dat waterstof een zeer hoge energiedensiteit heeft in functie van haar gewicht. We verwijzen in de studie naar een beloftevolle trial van het consortium Anglo Belgian Corporation & CMB onder de noemer BeHydro. Zij passen bestaande dieselmotoren aan om (gedeeltelijk) op waterstof te werken. Dit leidt tot een potentieel grote CO₂ besparing (50-85%) en daling in lokale pollutanten zoals NO_x. Er zijn echter nog een aantal problemen om dit algemeen uit te rollen. Een aantal restricties aan het gebruik van waterstof zijn nog niet opgelost. Zo is er nog geen tankinfrastructuur voor waterstof en zijn de mogelijkheden om voldoende waterstof op een locomotief op te slaan beperkt, door het grotere volume aan waterstof dat nodig is om dezelfde energie te leveren als diesel. Er wordt echter druk

gewerkt aan mogelijke oplossingen, waardoor binnen een aantal jaren een doorbraak niet onmogelijk is.

In een quickscan analyse bestuderen we de case voor de elektrificatie van lijn 21c Genk-Bilzen, lijn 204 Gent-Terneuzen en lijn 55 Wondelgem-Terneuzen. Voor lijn 21c tonen we aan dat de maatschappelijke baat van de elektrificatie inderdaad aanzienlijk is (€14 Miljoen). Vanuit Infrabel werd een beslissing genomen om deze lijn te elektrificeren, in het verlengde van de elektrificatie van de lijn Mol-Hamont. Een aspect dat sterk doorweegt in de maatschappelijke baat zijn de mogelijke reistijdbaten van elektrische (goederen)treinen naar Bilzen die nu tot 45 minuten moeten omrijden.

Impact	Jaar	ENPV (30 jaar)
Reistijdsbaten (Mln. €)	1.782 €	32.60 €
Emissiebaten (optie) (Mln. €)	0.076 €	1.39 €
Onderhoud (Mln. €)	-0.39 €	-7.08 €
Totaal (Mln. €)	1.585 €	26.91 €
Investering in bovenleiding (Mln. €)	12.90 €	
NPV (Mln. €)		14.01 €
IRR (%)		12.50%

In het geval van lijn 204 blijkt een elektrificatie van het traject nét niet positief, terwijl deze voor lijn 55 zéér negatief is. Het voornaamste verschil tussen deze lijnen is de intensiteit waarmee deze gebruikt worden. In een beperkte sensitiviteitsanalyse tonen we aan dat de belangrijkste parameter onze aanname over de emissiebaten is (in €/tkm) door het wegvallen van goederentreinen op diesel. Stijgt deze van 1.5 €/tkm naar 2 €/tkm scoort lijn 204 wel positief. Dit is echter niet het geval voor lijn 55. We kunnen besluiten dat op dit moment lijn 55 waarschijnlijk niet voldoende intensief wordt gebruikt om een elektrificatie van het traject te rechtvaardigen. Bij lijn 204 komt nog een bijkomend element, namelijk dat deze potentieel voor passagierstransport zou kunnen ingezet worden.

Scenario	Lijn 204		Lijn 55	
	ENPV (€)	IRR	ENPV (€)	IRR
Basiswaarde	-3 324 139 €	1.9%	-19 417 786 €	/
Onderhoudskost 2% investering	-613 260 €	3.60%	-16 147 171 €	-9%
Emissiebaten 0.02 € / tkm	3 319 090 €	5.90%	-16 597 481 €	-10.20%
Tijdshorizon naar 40 jaar	-1 672 994 €	3.20%	-19 599 193 €	/
Combinatie van bovenstaande	8 887 303 €	7.90%	-12 676 826 €	-2.45%

Bekijken we de verschillende beschikbare technologieën voor passagierstransport in meer detail, dan kunnen we stellen dat volledige elektrificatie de hoogste initiële investering vraagt in het netwerk. De gebruikskost van elektrische treinen is echter de laagste, zowel in onderhoud als energie. Daarnaast heeft een puur elektrische trein ook de laagste milieukosten. Daardoor zal theoretisch gezien volledige elektrificatie de laagste maatschappelijke kosten presenteren indien het traject intensief genoeg gebruikt wordt. Bij minder intensief gebruikte trajecten -zoals veel van de resterende dieseltrajecten in België- is de investering in het traject mogelijk te groot in verhouding met baten op gebied van energie en onderhoud. Het gebruik van een batterijtrein kan het best worden vergeleken met partiële elektrificatie, gezien deze treinen toch steeds een minimale tijd onder een bovenleiding moeten kunnen rijden om op te laden. Doordat de batterij in de levensduur van de trein toch ongeveer twee keer moet vervangen worden, is de gebruikskost van de batterijtrein hoger. Wat men dus uitspaart in

netwerkkosten, wordt gedeeltelijk verhaald in onderhoud en vervanging van de batterij. Deze situatie lijkt nog extremer in het geval van waterstofreinen. Waar de investering in het traject bij waterstofreinen laag tot erg laag is, zijn de onderhoudskosten en andere variabele kosten van waterstofreinen veel hoger, onder andere door de kwetsbaarheid van brandstofcellen. Deze moeten ongeveer elke twee jaar vervangen worden. Het quasi totaal gebrek aan netwerk en tankinfrastructuur voor waterstof zullen leiden tot hoge kosten voor waterstof als energiebron. Daarnaast kan het milieuvoordeel van waterstof mogelijk overschat worden, omdat er veel energie verloren gaat in de synthese en opslag van waterstof ten opzichte van het direct gebruik van (hernieuwbare) energie.

Concreet bekijken we in deze studie zes scenario's voor de passagierslijnen, naast een 'Nul' scenario waarbij we uitgaan van een verder gebruik van dieseltreinen voorbij 2035. In het Elek 2035 scenario gaan we uit van elektrificatie van het traject in 2035. De vijf andere scenario's zijn (steeds met startjaar 2025), Elek 2025 (elektrificatie), Diesel 2025 (nieuwe dieseltrein), Bat 2025 (batterijtreinen), Wat_5 2025 (waterstofrein, prijs waterstof €5/kg) en Wat_2 2025 (waterstofrein, prijs waterstof €2/kg). Daarnaast gebruiken we nog twee varianten naar emissiewaardering: een lagere emissiewaardering gehanteerd door het federale Planbureau en een hogere emissiewaardering op basis van een CE Delft studie voor DG Move.

De voornaamste resultaten voor de ontdieseling van de resterende passagierslijnen staan hieronder weergegeven. We gebruiken de volledige maatschappelijke baat als richtlijn voor de waarde van de investering (ENPV). Deze houdt mogelijke financiële kosten voor de operator (NMBS) en netbeheerder (Infrabel) in, met daarbij de kosten en baten voor de gehele maatschappij.

Lage emissie waardering (Miljoen €)	Elek 2035	Elek 2025	Bat 2025	Diesel 2025	Wat_5 2025	Wat_2 2025
Aalst-Burst	-1	-14	-10	-13	-15	-14
Charleroi-Couvin	20	10	0	-20	-51	-27
Geraardsbergen	9	-4	-2	-17	-31	-19
Eeklo-Ronse	55	62	32	-19	-61	-19
Totaal	84	54	20	-70	-158	-79

De scenario's met volledige elektrificatie (zowel in 2035 als in 2025) als de partiële elektrificatie in 2025 (batterijrein) scoren zeer gelijkaardig in termen van totale maatschappelijke baat. Met een **lage waardering voor emissies is volledige elektrificatie in 2035 de beste optie** met een **totale maatschappelijke baat van €84 miljoen (over alle besproken lijnen)** ten opzichte van het nul scenario. Niet onbelangrijk, is dit ook het enige scenario met een mogelijk positieve financiële baat voor het spoor in het algemeen. Dit komt omdat het maximum uit de bestaande stock (MW 41) wordt gehaald, waarna het elektrisch alternatief leidt tot lagere energie- en onderhoudskosten ten opzichte van dieseltechnologie. Het gebruik van batterijtreinen scoort nog positief ten opzichte van het nul scenario (doorlopend gebruik van dieseltreinen), maar significant lager dan elektrificatie.

Splitsen we het resultaat uit naar deellijnen, dan blijkt de elektrificatie van Eeklo-Ronse het meest batige deelproject en ook het project dat het beste scoort voor snelle elektrificatie (€62 miljoen in het Elek 2025 scenario). De mogelijke baten op het traject van Gent-Geraardsbergen en Charleroi-Couvin wegen minder door op korte termijn. Investerings in Aalst-Burst scoren over de grote lijn negatief door het beperkte gebruik van dit traject.

Hoge emissie waardering (Miljoen €)	Elek 2035	Elek 2025	Bat 2025	Diesel 2025	Wat_5 2025	Wat_2 2025
Aalst-Burst	0 €	-13 €	-8 €	-13 €	-14 €	-13 €
Charleroi-Couvin	51 €	58 €	47 €	-10 €	-12 €	13 €
Geraardsbergen	24 €	20 €	22 €	-12 €	-12 €	0 €
Eeklo-Ronse	107 €	145 €	113 €	-2 €	7 €	49 €
Totaal	182 €	209 €	173 €	-37 €	-31 €	48 €

Indien we ervoor kiezen om **emissies hoger te waarderen**, blijkt de **volledige elektrificatie in 2025 de beste optie, met een maatschappelijke baat van €209 miljoen** ten opzichte van het nul scenario. De reden is dat we in dit geval sneller (10 jaar eerder) een relatief hoge milieubaat kunnen realiseren. Wat we in dit scenario dus doen is een hogere publieke investeringskost afwegen tegen lagere milieukosten (minder emissies afkomstig van dieseltreinen). Het Elek 2035 (€182 miljoen) en het gebruik van batterijtreinen (€173 miljoen) scoren vrij gelijkaardig. Vervanging met dieseltreinen (€-37 miljoen) of ‘dure’ waterstof (€-31 miljoen) scoren negatief ten opzichte van het nul scenario. In het Wat_2 scenario (€48 miljoen) is er wel een baat, maar deze is kleiner dan de andere alternatieven. Over het algemeen lijken waterstofftreinen onder de huidige technologische randvoorwaarden, weinig toegevoegde waarde te hebben ten opzichte van (mature) dieseltechnologie.

Splitsen we het resultaat opnieuw uit naar deellijnen, dan blijkt hier ook weer dat de elektrificatie van Eeklo-Ronse het meest batige deelproject is (€145 miljoen in het Elek 2025 scenario). Het traject van Gent-Geraardsbergen en Charleroi-Couvin scoren relatief gezien erg goed voor partiële elektrificatie met batterijtrein in 2025 (respectievelijk €22 miljoen en €47 miljoen) ten opzichte van volledige elektrificatie in 2025 (respectievelijk €20 miljoen en €58 miljoen). Investerings in Aalst-Burst scoren opnieuw over de grote lijn negatief door het beperkte gebruik van dit traject.

We voerden eveneens een uitgebreide systemische sensitiviteitsanalyse uit. Deze ging verder dan veel gelijkaardige studies, maar was noodzakelijk om tot een consistent en betrouwbaar rapport te komen. Deze analyse voeren we uit in drie stappen. Eerst zetten we realistische boven- en ondergrenzen aan de belangrijkste kentallen om de potentiële best en worst case van elk scenario te bepalen. Daarna bekijken we de invloed van verschillende parameters op het resultaat in zogenaamde ‘ceteris paribus’ condities. Als laatste stap doen we een volledige Monte-Carlo analyse waarin ‘waarschijnlijke’ uitkomsten worden bepaald voor elk scenario.

Bekijken we hieronder eerst de theoretische waarde (NPV) die elk scenario aanneemt (in Miljoen €) wanneer alle kentallen hun gunstigste waarde aannemen (best case) en wanneer deze hun meest ongunstige waarde aannemen (worst case). Dit toont aan dat voor de alternatieven, en zeker voor waterstof er een grote variatie is in de mogelijke waardering van de scenario’s. Theoretisch gezien lijkt de optie batterijtrein de hoogst mogelijk baat te kunnen halen (€378 Miljoen met hoge emissiewaarderingen) en waterstof de meest negatieve (€-385 Miljoen met lage emissiewaarderingen).

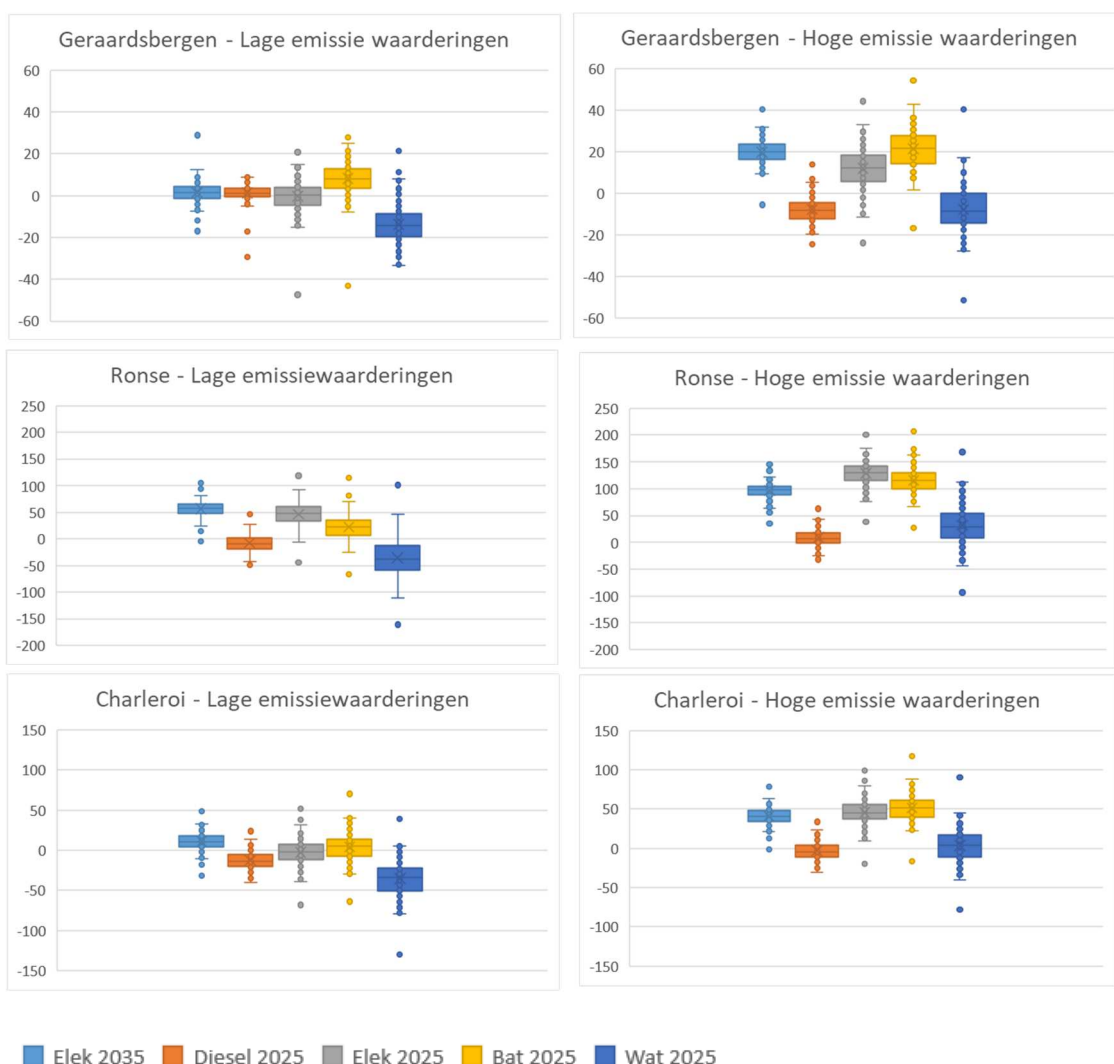
Scenario	Waardering emissies (in Miljoen €)	Best case		
		Best case	Basis	Worst case
Elek 2035	Laag	187 €	84	-63 €
Diesel 2025		75 €	-70	-136 €
Elek 2025		185 €	54	-186 €
Batterij 2025		210 €	20	-191 €
Waterstof 2025		155 €	-158	-385 €
Elek 2035	Hoog	270 €	182 €	20 €
Diesel 2025		107 €	-37 €	-104 €
Elek 2025		341 €	209 €	-31 €
Batterij 2025		378 €	173 €	-22 €
Waterstof 2025		295 €	-31 €	-245 €

De sensitiviteitsanalyse voegt veel inzicht toe aan de studie, maar leidt niet tot wezenlijke veranderingen. Omdat de baten van varianten met (partiële) elektrificatie redelijk dicht bij elkaar liggen kunnen deze wel tot verschillen in ranking van de scenario's leiden. De elektrificatiekost (initiële investering) is hier een essentiële parameter. Als deze tot 50% (of meer) hoger uitvalt dan de initiële inschatting lijkt partiële elektrificatie (Bat 2025) beter te scoren. Anderzijds laat volledige elektrificatie met bovenleiding toe om een minder grote reservevloot aan te leggen of een generische stock te gebruiken, wat natuurlijk in het voordeel van de klassieke elektrische trein speelt. Hiernaast spelen onzekerheden over de aanschaf- en onderhoudskost van batterijtreinen. Nemen we de impact van een lagere reservestock in rekening dan wegen de voordelen voor volledige elektrificatie veel sterker door.

Als laatste stap in de analyse genereren we een grotere set resultaten, waarbij we aannemen dat de kentallen worden getrokken uit een driehoeksverdeling, waarbij men de onder- en bovengrenzen plaatst op de voornaamste kentallen. Hieruit worden een set van gerandomiseerde waarden getrokken uit de distributie en telkens een nieuwe uitkomstwaarde berekend. Dit gebeurt een vast aantal keren, in dit geval worden voor elk scenario 200 waarden 'getrokken'. Dit geeft een inzicht in de distributie van de voornaamste uitkomstparameters van de investering wat een 'Monte Carlo' analyse wordt genoemd. Het voordeel van deze methode is dat ze met een minimum aan informatie een bijkomend inzicht kan geven in de mogelijke verdeling van de uitkomsten. De Monte-Carlo analyse toont ons aan dat deze voor- en nadelen elkaar ongeveer neutraliseren, waarbij de elektrificatiekost mogelijk iets meer doorweegt.

De resultaten van de volledige Monte Carlo analyse stellen we op een vereenvoudigde manier voor, door gebruik te maken van een Box-plot. Deze geeft een gemakkelijk te interpreteren voorstelling van de distributie van de resultaten. De 'box' in het midden is begrensd door het eerste en derde kwartiel van de resultaten met de middenlijn als mediaan. Een x in de plot toont de waarde van het gemiddelde. De lijn naar boven en naar beneden is begrensd door 9% en 91% van de waarden. Punten tonen extreme resultaten (outliers). De Best case en Worst case waarden worden hierbij ook getoond als outliers. We onderscheiden opnieuw de analyse met lage waarderingen en hoge waarderingen.

We geven hieronder resultaten voor alle passagierslijnen, behalve Aalst-Burst, waar deze analyse weinig toegevoegde waarde leek te hebben.



In de sensitiviteitsanalyse lijken de batterijtreinen gemiddeld beter te scoren dan pure elektrificatie voor de lijnen van Charleroi-Couvin en Geraardsbergen. De voornaamste reden hiervoor, is dat we rekening houden met potentiële additionele kosten bij de realisatie van de elektrificatie. Het gebruik van batterijtreinen impliceert geen of beperktere elektrificatie, waardoor deze minder (of niet) gevoelig zijn voor deze kosten. De meest beloftevolle alternatieve technologie zijn dus batterijtreinen. Indien er indicatie bestaat dat de kosten van elektrificatie de schattingen in dit rapport sterk zullen overschrijden, moet vooral naar deze technologie worden gekeken. Dit lijkt het meest waarschijnlijk in het geval van de lijn Charleroi-Couvin. Batterijtreinen zijn momenteel commercieel beschikbaar en kennen zeker mogelijkheden, toch mag men niet onderschatten in welke mate er nog aanpassingen aan het netwerk nodig zijn, voornamelijk door relatief dure laadinfrastructuur. Hier moet voornamelijk de operator bijkomend de afweging maken tussen de voordelen van het kunnen inzetten van elektrische treinen uit de bestaande (generische) stock of toegang te hebben tot een stock van treinen die ingezet kunnen worden onder omstandigheden waarbij de bovenleiding ontbreekt of beschadigd is (zowel op de lijnen besproken in dit rapport als andere lijnen).

De technologie met de grootste onzekerheid blijft de waterstoffrein. De analyse geeft aan dat dit de meest risicovolle investering is. Enkel in optimale omstandigheden (hoge investeringskost in bovenleidingen/laadstation, lage onderhoudskosten en lage prijs van waterstof) zullen waterstoffreinen goed scoren, maar dit blijft een situatieafhankelijk resultaat. Wat hier ook meespeelt

is het gebrek aan een tankinfrastructuur en een zogenaamde ‘industriële ecologie’ voor waterstofsynthese. Hoewel deze in Gent mogelijk in het volgende decennium zal ontwikkeld worden, lijkt in deze cluster elektrificatie een betere optie, omdat al veel trajecten een bovenleiding bezitten. Voor de lijn Charleroi-Couvin zijn de kosten en risico’s van elektrificatie hoger door het moeilijker terrein en het volledig gebrek aan bovenleidingen langs het traject. Dit kan ook in het nadeel van een batterijoptie spelen. In principe is het potentieel voor waterstof dus groter voor de lijn Charleroi-Couvin, maar vooralsnog lijkt het onwaarschijnlijk dat er op grote schaal waterstofsynthese zal plaatsvinden. We wijzen in het rapport wel naar potentiële synergieën met andere projecten, bijvoorbeeld het testproject waterstofbussen in samenwerking met Engie en de afvalverwerker Tibi.

Onze finale conclusie is dat volledige elektrificatie van de resterende diesellijnen een potentieel grote maatschappelijke baat oplevert. We raden dus ten eerste aan om op termijn volledig af te stappen van dieseltreinen, zelfs indien deze dieseltreinen aan hogere standaarden voldoen als de huidige MW 41. Toch is er relatief weinig verschil in baten tussen een scenario waarbij deze pas in 2035 of al in 2025 wordt uitgevoerd. De keuze ligt hierbij voornamelijk bij de beleidsmaker en in welke mate de plaatselijke negatieve impact (voornamelijk rond Gent) van dieseltreinen op de agenda komen staan. Indien er wordt beslist tot elektrificatie, raden we aan om de lijnen tussen Eeklo, Gent en Ronse te prioriteren. De exploitatie van de lijn Aalst-Burst wordt best niet als een aparte optie of ‘eiland’ bekeken, maar als een deel van een groter project van elektrificatie of alternatieven.

In het geval van de goederenlijnen ondersteunt dit rapport de elektrificatie van Genk-Bilzen (21c). De elektrificatie van lijn 204 lijkt potentieel interessant. Hier moet vooral nagekeken worden of een optie voor passagierstransport op deze lijn uiteindelijk weerhouden zal worden. In dit rapport werd hier geen apart onderzoek naar uitgevoerd, maar werd verwezen naar de studie van Goudappel-Coffeng (2018). In het geval van lijn 55 lijkt de elektrificatie dan weer eerder niet interessant, tenzij er een grote stijging van de transportvraag op deze lijn zou kunnen gerealiseerd worden.