



Batterijen van bussen

Ketenanalyse recycling en hergebruik batterijen elektrische bussen

Versie: 2.0



Uitgevoerd door:

Lutz Consulting

Jasper van den Herik

QC: Maxim Luttmer

Datum

08/09/2023

Status

Definitief

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	De elektrische bussen van Arriva.....	5
1.2	Inhoudsopgave en leeswijzer	5
2	Beschrijving van de waardeketen batterijen	6
2.1	Bepalen van de scope van de analyse.....	7
2.2	Inschatting van de emissies van LFP-batterijen.....	7
2.3	Levensduurverlenging	7
2.4	Hergebruik	8
2.5	Recycling	8
2.6	Conclusie	10
3	Bepaling relevant scope 3 categorieën	10
4	Identificatie ketenpartners	11
5	Kwantificering CO₂-emissies	11
6	Reductiedoelen en -maatregelen	12
7	Conclusie	14
8	Bronnen	15

Datum	Versie	Wijziging
08-09-2023	1.0	Eerste volledige versie
24-10-2023	1.1	Aanpassing opmaak
20-08-2024	2.0	Aanpassing opmaak

1 Inleiding

In Europa reizen jaarlijks 1,5 miljard passagiers van A naar B met Arriva. Om dit succesvol te laten verlopen, zetten meer dan 35.000 betrokken werknemers zich dagelijks met hart en ziel in. Als reiziger kun je hierdoor rekenen op comfortabel en betrouwbaar openbaar vervoer. Op lokaal, regionaal én nationaal niveau. Hiervoor zetten we alle beschikbare middelen in: van bus en touringcar tot tram, sneltram en trein.

Arriva is in 2020 gecertificeerd voor de CO₂-Prestatieladder niveau 3, en in 2023 voor niveau 4. In 2025 wil Arriva CO₂ neutraal zijn, gedefinieerd als 90% emissiereductie en 10% compensatie ten opzichte van referentiejaar 2019. Nu ambieert Arriva niveau 5 van de CO₂-Prestatieladder te behalen. Hiermee wordt de blik verlegd van de eigen operaties naar de emissies in de keten. De activiteiten van Arriva Nederland beslaan vier markten: busvervoer, treinvervoer, Touring, en Mobility as a Service. Uit de kwalitatieve scope 3 inventarisatie komt het busvervoer als meest materiële markt naar voren. Daarom heeft Arriva besloten in de ketenanalyses de nadruk op het busvervoer te leggen.

Voor het busvervoer is de belangrijkste maatregel het omschakelen naar zero-emissie rijden door elektrificering. Bij gebruik van groene stroom gaan de emissies tijdens gebruik van de bus naar nul. Wel blijven er emissies over in de productie van bussen, met name in de productie van batterijen.

In deze ketenanalyse wordt aangegeven hoe de milieu-impact van batterijen verlaagd kan worden. Hier zijn drie strategieën voor: levensduur verlengen, hergebruiken, en recyclen. Het reductiepotentieel van deze maatregelen is groot. Met levensduurverlenging kan tot 20% op de levenscyclusmissies bespaard worden, met hergebruik 34%, en met recycling 12%-48%. Bovendien kunnen deze maatregelen gecombineerd worden: een batterij waarvan de levensduur verlengd is dan daarna hergebruikt worden en tot slot gerecycled worden.

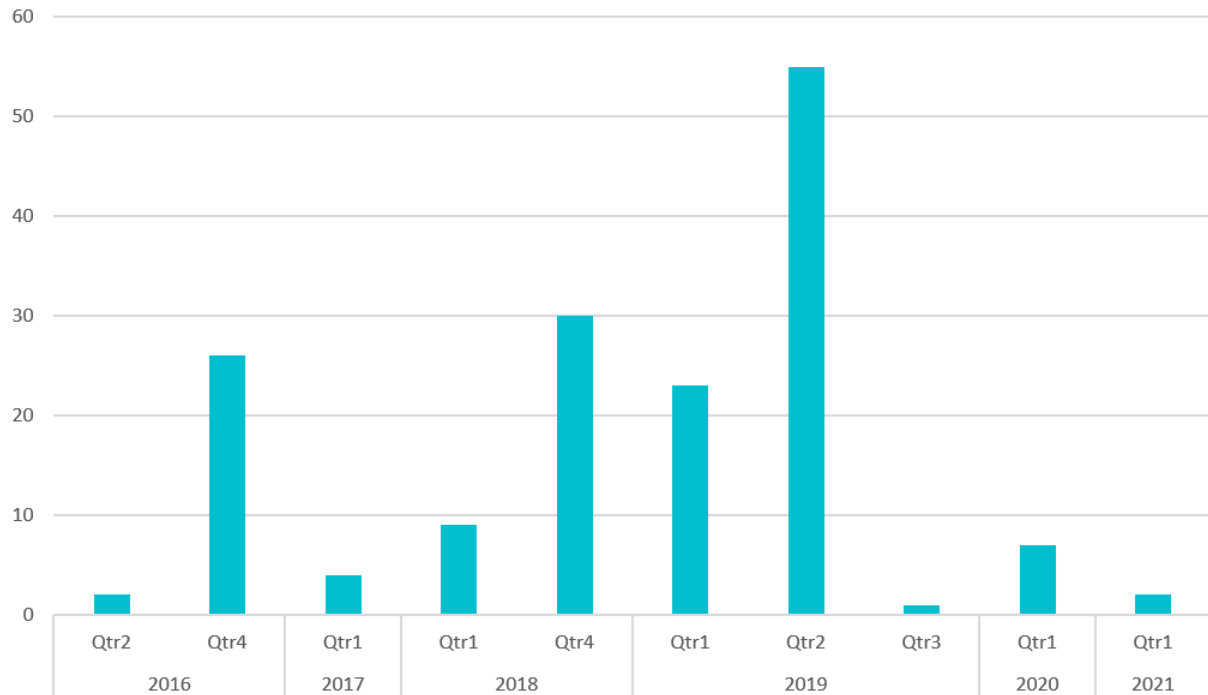
- Levensduur verlengen: Arriva heeft een batterij onderzoekscentrum opgezet waar degradatieanalyses worden uitgevoerd. In overleg met de producenten van elektrische bussen wordt gekeken hoe de levensduur verlengd kan worden.
- Hergebruik: Als de capaciteit van lithiumbatterijen onder de 80% zakt zijn ze niet meer geschikt voor mobiliteitstoepassingen. Ze kunnen dan nog wel hergebruikt worden energieopslag van bijvoorbeeld groene stroom om die op een later moment te gebruiken.

Recycling: De recycling van lithiumbatterijen staat nog in de kinderschoenen. Dit betekent dat gerecyclede batterijen nog niet algemeen voorhanden zijn. Door de batterijen die vrijkomen uit de elektrische bussen wel te recyclen kan Arriva een belangrijke bijdrage leveren aan het ontwikkelen van de keten voor gerecyclede batterijen. Arriva verkent met ketenpartners als Ecobat de mogelijkheid om batterijen te recyclen.

Dit document bevat een ketenanalyse van de lithiumbatterijen in bussen. In deze ketenanalyse wordt inzichtelijk gemaakt wat de huidige emissies zijn als gevolg van de batterijen in bussen, en wat het reductiepotentieel is van levensduurverlenging, hergebruik, en recycling (conform eis 4.A.1. van de CO₂ prestatieladder). Hiernaast worden een aantal maatregelen benoemd waarmee de emissies in de keten kunnen worden gereduceerd (conform de eis 4.B.1 van de CO₂ prestatieladder).

1.1 De elektrische bussen van Arriva

In de vloot van Arriva zijn momenteel 264 elektrische bussen in beheer. Deze bussen zijn in gebruik genomen vanaf 2016. Zie ook Figuur 1 voor een overzicht van de data waarop bussen in gebruik zijn genomen. Gelet op ingeschatte levensduur van ongeveer 8 jaar van de batterij betekent dit dat de eerste batterijen uit bussen vrijkomen in 2024.



Figuur 1 Overzicht van de elektrische bussen van Arriva op datum van in bedrijf name

1.2 Inhoudsopgave en leeswijzer

Dit document bevat een ketenanalyse van de batterijen uit een elektrische bus. In deze ketenanalyse wordt inzichtelijk gemaakt wat de huidige emissies zijn als gevolg van de batterijen (conform eis 4.A.1 van de CO₂-Prestatieladder). Hiernaast worden een aantal maatregelen benoemd waarmee de emissies in de keten kunnen worden gereduceerd (conform eis 4.B.1 van de CO₂-Prestatieladder).

Een ketenanalyse beschouwt de volledige keten van de batterij. De analyse is uitgevoerd conform het Green House Gas (GHG) protocol.¹ De volgende vijf stappen zijn hierbij gevolgd:

- Beschrijving van de waardeketen
- Bepaling relevante scope 3 categorieën
- Identificatie ketenpartners
- Kwantificeren van de CO₂-emissies
- Stellen van reductiedoelen en -maatregelen

Begonnen is met het inventariseren van de keten voor de busbatterijen. Hiertoe is een literatuuranalyse uitgevoerd op basis waarvan de keten is afgebakend. Ook zijn gesprekken gevoerd

¹ The Greenhouse Gas Protocol - A Corporate Accounting and Reporting Standard (WRI and WBCSD - Chapter 4, pag. 30) & The Greenhouse Gas Protocol – Product Standard (WRI and WBCSD).

met ketenpartners. Hoofdstuk 2 doet hiervan verslag. Op basis van de inventarisatie is in hoofdstuk 3 bepaald welke zogenaamde scope 3 categorieën van belang zijn binnen de keten. Op basis van interviews met projectbetrokkenen binnen Arriva is een identificatie gemaakt van de ketenpartners zoals weergegeven in hoofdstuk 4. Op basis van dezelfde interviews en dataverzameling binnen Arriva is in hoofdstuk 5 een kwantificatie van de CO₂-emissies binnen de keten opgesteld. Ten slotte zijn in hoofdstuk 6 reductiedoelen en -maatregelen geformuleerd.

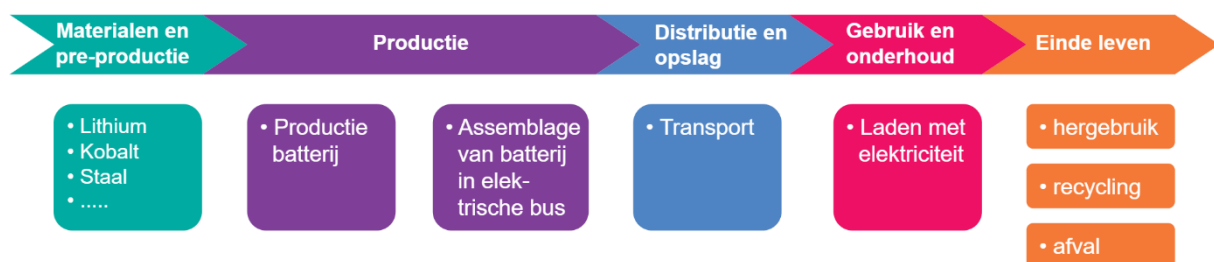
2 Beschrijving van de waardeketen batterijen

De opkomst van elektrisch wegvervoer gaat gepaard met een steeds grotere vraag naar lithiumbatterijen. De vraag naar batterijen voor elektrische mobiliteit neemt naar verwachting exponentieel toe van 229 GWh in 2020 naar 2.333 GWh in 2030.² De productie van batterijen gaat gepaard met een aanzienlijke impact op het milieu. De winning van de ruwe materialen is berucht om de slechte arbeidsomstandigheden en veroorzaakte milieuschade. Bovendien zijn de voorraden van deze metalen eindig. De hierdoor ontstane materiaal schaarste kan een negatief effect hebben op de elektrificering van vervoer.

Bij de productie van een elektrische bus is de milieu-impact van de productie van de batterij een belangrijke factor. CE Delft (2022) schat in dat de productie van de batterij 63% van de totale klimaatimpact van een OV-bus voor zijn rekening neemt. Berekeningen van het International Transport Forum (2020) komen op 40% van de totale klimaatimpact. Deze uitkomsten zijn natuurlijk afhankelijk van aannames over de batterijcapaciteit van een bus en de gebruikte batterijtechniek. Samenvattend kunnen we wel stellen dat ruwweg de helft van de CO₂-emissies van de productie van een bus gepaard gaan met de productie van de batterij.

Hiermee is een potentiële reductie van de klimaatimpact van de batterij een belangrijke optie om de klimaatimpact van busvervoer na elektrificering verder te verlagen.

In figuur 2 is de levenscyclus van een batterij opgenomen.



Figuur 2 De levenscyclus van een batterij

De volgende levenscyclusfasen kunnen onderscheiden worden:

- Materialen en pre-productie: Winning van de materialen en het omvormen van deze materialen tot halffabricaten. Bijvoorbeeld winning van lithium en kobalt.

² Circulaire maakindustrie (2020) Kennisdossier lithium-ion batterijen

- Productie: De productiefase van een batterij omvat twee stappen. Eerst wordt de batterij zelf gefabriceerd. Vervolgens wordt de batterij verscheept naar de producent van de bus, waarna de batterij in de bus wordt gemonteerd.
- Distributie en opslag: De elektrische bus wordt getransporteerd naar de eindgebruiker.
- Gebruik en onderhoud: Tijdens het gebruik van de batterij wordt deze geladen met elektriciteit.
- Einde leven: Aan het eind van het leven van de batterij wordt deze terug gestuurd naar de leverancier.

Er zijn twee lithium batterijen die gebruikt kunnen worden binnen elektrisch vervoer: lithium-ijzerfosfaat batterijen (LFP) en nikkel-mangaan-kobalt (NMC) batterijen. LFP-batterijen hebben zijn veiliger en bevatten minder schadelijke materialen. Bovendien hebben ze een langere levensduur en zijn ze beter bestand tegen de zware belasting in een elektrische bus (ov Magazine). Ze hebben daarentegen een lagere capaciteit. In de bussen van Arriva zijn deze LFP-batterijen gebruikt.

2.1 Bepalen van de scope van de analyse

Van de vijf levenscyclusfasen laten we in deze analyse er twee buiten beschouwing: distributie en opslag en gebruik en onderhoud. Voor een product als een busbatterij is het transport van productie naar eindgebruiker over het algemeen verwaarloosbaar (<1%). De belangrijkste impact in de gebruiksfase is de stroom waarmee de batterij geladen wordt. In het geval van Arriva betreft dit altijd groene stroom. In de gebruiksfase is de impact dus beperkt. Wel kan in het geval van levensduurverlenging onderhoud in de gebruiksfase enige impact genereren, bijvoorbeeld door het vervangen van onderdelen. De impact hiervan is ten opzichte van de impact van productie echter minimaal (Quan et al 2022). Wij kwantificeren deze impact daarom niet in deze levenscyclusanalyse.

De levenscyclusfasen materialen en pre-productie en productie nemen we samen onder de noemer productie. Dit betreft de zogenaamde 'cradle to gate' emissiefactor, ofwel de emissies die gepaard gaan met de volledige levenscyclus totdat de batterij geproduceerd is. Hiernaast bekijken we natuurlijk de einde-levensfase.

2.2 Inschatting van de emissies van LFP-batterijen

We kijken eerst naar de productiefase. Voor een LFP-batterij is ruwweg de helft van de totale productie-emissies gerelateerd aan het stroomverbruik tijdens productie (Mohr 2020). Dit betekent dat een algemene emissiefactor een grote onzekerheid zal kennen: immers, de stroommix kan enorm verschillen tussen verschillende potentiële productielocaties. Op basis van de literatuur kunnen we wel een inschatting maken van de emissies die gepaard gaan met de productie van batterijen. We baseren ons op twee bronnen die een levenscyclusanalyse maken van de zowel de productie alsook de recycling van LFP-batterijen. Quan et al (2022) geven 76.7 kg CO₂e/kWh batterijcapaciteit; Mohr et al (2020) komen op 102 kg CO₂e/kWh batterijcapaciteit.

In de rest van dit hoofdstuk bekijken we de verschillende opties om de totale levenscyclus-emissies te verlagen: levensduurverlenging, hergebruik, en recycling.

2.3 Levensduurverlenging

Batterijen die gebruikt worden voor elektrische mobiliteit worden over het algemeen afgedankt als ze 80% van de capaciteit hebben (Fan et al 2023, Quan 2022). Voor elektrische bussen is de capaciteit van groot belang: met het afnemen van de capaciteit neemt ook het bereik van de bus navenant af. Er wordt momenteel uitgegaan van een levensduur van ongeveer 8 jaar.

Arriva heeft recent een batterij-onderzoekscentrum geopend in Heerlen. Hier kunnen de omstandigheden in een bus worden nagebootst. Denk hierbij aan het op- en ontladen van batterijen

zoals dat ook gebeurt in een echte bus. Hierbij kan nauwkeurig worden gemonitord hoe batterijdegradatie optreedt. Hiermee kan Arriva bijvoorbeeld laadinfrastructuur aanpassen om levensduur te verlengen.

Hiernaast wordt in overleg met onder meer ketenpartner Spiers New Technologies onderzocht hoe batterijen kunnen worden gerepareerd of refurbished. Hiermee kan je bijvoorbeeld denken aan het vervangen van individuele batterijcellen of het werken met geavanceerde batterijmanagementsystemen.

Het verlengen van de levensduur leidt tot een reductie in emissies. De reden hiervoor is dat minder batterijen geproduceerd hoeven te worden. Omdat het onderzoek momenteel in volle gang is, is het nog niet mogelijk om een accurate inschatting te maken van de levensduurverlenging die bereikt kan worden. Wel is duidelijk dat het reductiepotentieel voor de emissies significant is. Als de levensduur van een batterij met 2 jaar verlengd zou kunnen worden ten opzichte van de door de fabrikant aangegeven acht jaar gaat het al om een emissiereductie van 20%.

2.4 Hergebruik

Als batterijen bij een capaciteit van minder dan 80% niet meer geschikt zijn voor elektrische mobiliteit kunnen ze nog wel geschikt zijn voor andere doeleinden. Denk bijvoorbeeld aan het opslaan van groene stroom om deze te gebruiken op het moment dat minder groene stroom geproduceerd. Met dergelijke maatregelen kan het gasverbruik in elektriciteitscentrales verminderd worden.

Het is ingewikkeld om te komen tot een CO₂e-reductie als het gevolg van hergebruik. De levensduur van een batterij hangt van veel verschillende factoren af. LFP-batterijen kunnen ongeveer 2250 cycli voltooien totdat ze 80% capaciteit overhouden, en daarna nog 1500 cycli totdat 60% capaciteit bereikt wordt (Ioakimides 2019). Op 60% capaciteit is de batterij definitief op zijn einde leven, onder meer doordat het voltage te veel afneemt.

De reductie van milieu-impact bij hergebruik kan worden bepaald door de levenscyclus-emissies te alloceren aan het eerste en tweede gebruik. De achterliggende gedachte is dat de emissies die vrijkomen bij productie niet volledig aan Arriva worden toegerekend, maar ten dele ook worden toegerekend aan het tweede gebruik als energieopslag. De emissies die aan het tweede gebruik worden toegekend kunnen dan als reductie van de emissies gezien worden vanuit het perspectief van Arriva.

Bij allocatie moeten we rekening houden met de afnemende capaciteit. Hiertoe moeten we het aantal cycli vermenigvuldigen met de capaciteit. Zo komen we voor het eerste leven op $2250 * 90\% = 2025$, en voor het tweede leven op $1500 * 70\% = 1050$. Volgens deze logica zou 66% van de levenscyclus-emissies toegewezen worden aan het eerste gebruik als busbatterij, terwijl 34% kan worden toegewezen aan het tweede gebruik als stroomopslag.

Er moet worden opgemerkt dat het nodig kan zijn om de batterij te refurbishen voor een tweede gebruik. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het vervangen van elektronica of behuizingen. De impact van dit proces laten we hier buiten beschouwing omdat het verwaarloosbaar is in vergelijking met de totale levenscyclus-emissies (zie ook Quan et al 2022).

Samenvattend kunnen we dus stellen dat hergebruik van lithiumbatterijen kan leiden tot een 34% reductie van levenscyclus-emissies. De achterliggende logica hier, is dat de andere helft van de emissies wordt toegewezen aan het tweede gebruik van de batterij voor bijvoorbeeld groene stroomopslag.

2.5 Recycling

Met levensduurverlenging en hergebruik kan de batterij optimaal gebruikt worden. Echter, er komt een onherroepelijk moment dat de batterij te veel is gedegradeerd. Op dat moment kan de batterij

nog wel worden gerecycled. De recycling van lithiumbatterijen is een complex technologisch proces. Het is ingewikkeld om een hoog terugwinpercentage van de verschillende metalen te realiseren. Momenteel wordt bijvoorbeeld wereldwijd minder dan één procent van alle lithium uit lithium batterijen gerecycled (Yoo et al. 2023). Tegelijkertijd zijn de voordelen van recycling duidelijk: de milieu-impact van batterijen kan worden teruggedrongen, omdat minder grondstoffen gewonnen hoeven te worden. Bovendien kunnen de teruggewonnen materialen helpen bij het voorkomen van materiaalschaarste (Kaya 2022).

In een levenscyclusbenadering wordt gerekend met zogenaamde *credits* bij recyclingprocessen. Het idee hierachter is dat door recycling minder nieuwe grondstoffen gewonnen hoeven te worden. Als een kilogram lithium uit een batterij wordt teruggewonnen hoeft er immers een kg lithium minder gewonnen worden. De totale impact van een recyclingproces is dan de emissies die gepaard gaan met de gebruikte energie min de emissies die anders waren vrijgekomen bij de winning van de teruggewonnen materialen. Door deze berekeningsmethodiek toe passen kan een recyclingproces negatieve emissies hebben. In dat geval zijn de emissies die worden voorkomen doordat minder grondstoffen gewonnen hoeven te worden hoger dan de emissies die gepaard gaan met het recyclingproces.

Voor batterijen bestaan verschillende recyclingprocessen, te weten hydro-metallurgische, pyro-metallurgische, en directe recycling. Het voert te ver om hier de techniek van deze recyclingprocessen uit te leggen. Voor een overzicht zie Latina (2022). Voor nu is het van belang dat de emissies voor deze verschillende recyclingprocessen sterk uiteen kunnen lopen. Dit heeft te maken met uiteenlopende factoren, zoals energieverbruik tijdens recycling en het terugwinpercentage van de grondstoffen. Hiernaast moet worden opgemerkt dat ook voor het recyclingproces de gebruikte stroommix van groot belang is voor de resultaten.

Quan et al (2022) onderzochten voor LFP-batterijen zowel hydro-metallurgische als directe recycling. Voor hydro-metallurgische recycling komen zij op een credit van $-43.1 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh}$ batterijcapaciteit. Voor directe recycling echter komen ze op een debet van $+10 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh}$ batterijcapaciteit. Dit betekent dat, in termen van emissies, de baten van directe recycling niet opwegen tegen de kosten.

Mohr et al (2020) laten een iets ander beeld zien. Zij vergelijken pyro-metallurgische, hydro-metallurgische recycling en een geavanceerdere versie van hydro-metallurgische recycling waarin meer materialen worden teruggewonnen. Voor pyro-metallurgische recycling komen zij op een debet van $+0.5 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh}$ batterijcapaciteit, voor hydro-metallurgische recycling op een credit van $-3.5 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh}$ batterijcapaciteit, en voor geavanceerde hydro-metallurgische recycling op een credit van $-10.9 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh}$ batterijcapaciteit.

Bij de interpretatie van deze getallen is het van belang dat de baten van recycling in termen van CO_2e emissies een grote mate van onzekerheid tonen. Wel is duidelijk dat met het juiste recyclingproces een substantiële reductie kan worden bereikt. Voor deze ketenanalyse rekenen we met een gemiddelde van de twee gevonden bronnen, oftewel daarom met twee scenario's, recycling min en recycling max. Het min scenario is daarmee de inschatting van Mohr et al van $-10.9 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh}$ batterijcapaciteit, terwijl het max scenario de inschatting is van Quan et al (2022) van $-43.1 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh}$ batterijcapaciteit.

Om een realistische inschatting te maken van het reductiepotentieel van recycling zal het van belang zijn om een levenscyclusberekening van een potentiële recyclingpartner te krijgen. In gesprekken met ketenpartner Ecobat is bevestigd dat zij momenteel bezig zijn met het uitvoeren van een dergelijke levenscyclusanalyse.

2.6 Conclusie

De batterijen van een elektrische bus zijn verantwoordelijk voor ongeveer de helft van de productie-emissies. Hiermee zijn de emissies van de batterijen van groot belang in de keten van elektrisch busvervoer. Tegelijkertijd zijn er opties voorhanden om emissies te reduceren. Met levensduurverlenging kan 20% bespaard worden, met hergebruik 34%, en door de batterijen te recyclen volgens het juiste recyclingproces kan zelfs tot de helft bespaard worden. Bovendien kunnen de verschillende maatregelen worden gecombineerd. Zie Tabel 1 voor een overzicht van het reductiepotentieel voor de verschillende maatregelen.

Tabel 1 Reductiepotentieel van maatregelen in percentages

Levensduurverlenging 2 jaar	Hergebruik	Recycling max	Recycling min	Hergebruik + recycling max	Hergebruik + recycling min
20%	34%	48%	12%	66%	42%

3 Bepaling relevant scope 3 categorieën

In het vorige hoofdstuk hebben we de levenscyclus van de busbatterijen in kaart gebracht. In dit hoofdstuk bekijken we de relevante scope 3 categorieën. Belangrijk hierbij is dat het perspectief wijzigt. Waar de levenscyclus in zijn algemeenheid in kaart is gebracht bekijken we diezelfde keten in dit hoofdstuk vanuit het perspectief van Arriva.

HET GHG-PROTOCOL MAAKT ONDERSCHIED TUSSEN DRIE VERSCHILLENDE ZOGENAAMDE SCOPES. SCOPE 1 BETREFT DE DIRECTE EMISSIES DIE VRIJKOMEN BIJ DE EIGEN BEDRIJFSVOERING, BIJVOORBEELD ALS GEVOLG VAN HET VERBRANDEN VAN FOSSIELE BRANDSTOFFEN. SCOPE 2 Betreffen DE EMISSIES DIE VRIJKOMEN BIJ AANGEKOCHTE ENERGIE ZOALS ELEKTRICITEIT OF WARMTE. SCOPE 3, TENSLOTTE, Betreffen DE EMISSIES IN DE KETEN.

Zoals eerder aangegeven kunnen de levenscyclusfasen van de batterij voor Arriva worden teruggebracht tot drie fasen: productie (cradle-to-gate), gebruik, en eindeleven. In tabel Tabel 2 is een overzicht opgenomen van de relevante scope 3 categorieën voor deze levenscyclusfasen.

Tabel 2 overzicht van scope 3 categorieën

Activiteit	Categorie	Beschrijving
Productie van de batterij	Scope 3 Cat 2 Kapitaalgoederen	De productie van de batterij zit voor Arriva in de upstream scope 3 emissies.
Gebruik van de batterij	Scope 2	De batterijen worden tijdens gebruik opgeladen met stroom, dit valt onder Scope 2. Omdat Arriva groene stroom gebruikt zijn deze emissies nul.

Eindeleven van de batterij	Afval	Wanneer de batterijen hun eindeleven hebben bereikt zijn zij voor Arriva afval, in de downstream Scope 3 emissies.
----------------------------	-------	--

4 Identificatie ketenpartners

Wat betreft productie zijn als ketenpartners de producenten van de bus van belang. Voor de huidige elektrische busvloot van Arriva betreft dit VDL en Volvo. Er is geen zicht op wie de batterijproducenten zijn die batterijen leveren aan deze producenten. Wel is bekend dat in ieder geval Volvo levenscyclusanalyses heeft uitgevoerd van het type bus waarmee Arriva rijdt. Hier is dus potentieel om de datakwaliteit te verhogen.

Voor de gebruiksfase is ketenpartner Spiers New Technologies van belang. Zij kunnen Arriva ondersteunen bij het verlengen van de levensduur van de busbatterijen door deze bijvoorbeeld te repareren of refurbishen.

Daarnaast is voor eindeleven de recycler van belang. In voorbereiding op deze ketenanalyse zijn hiervoor gesprekken gevoerd met Ecobat. Zij zijn momenteel een recyclelijn aan het opzetten voor lithium batterijen. Bovendien is Ecobat voornemens om van dit proces de milieu-impact inzichtelijk te maken middels een levenscyclusanalyse. Met de uitkomsten van deze analyse kan ook een nauwkeuriger inschatting gemaakt worden van de milieu-impact van recycling.



Figuur 3 Ketenpartners

5 Kwantificering CO₂-emissies

Om te komen tot een kwantificering van emissies hebben we de batterijcapaciteit in kWh en de emissiefactor van de batterij per kWh capaciteit. Voor de emissiefactor nemen we een gemiddelde van de twee gevonden waarden, te weten 89,4 kg CO₂e/kWh. In Tabel 3 is weergegeven wat de totale capaciteit die per jaar door Arriva in gebruik is genomen, met daarbij een inschatting van de bijbehorende emissies.

Tabel 3 emissies gerelateerd aan productie van busbatterijen op jaar van in gebruik name

Jaar	Aantal bussen	Capaciteit (kWh)	Emissies (t CO ₂ e)
2016	28	4920	440
2017	4	720	64

2018	39	6543	585
2019	79	14587	1304
2020	7	1400	125
2021	2	840	75
Totaal	159	29010	2593

De totale emissies voor batterijproductie van de elektrische busvloot van Arriva komen dus op 2593 t CO₂e. Om dit getal in perspectief te plaatsen kunnen we het vergelijken met de Scope 1 + 2 van de CO₂-footprint voor het busvervoer van Arriva over 2022. Deze bedroeg 68.600 t CO₂e. Hiermee komen de emissies voor de productie van de batterijen voor zes jaar uit op ongeveer 3.8% van de emissies voor busvervoer voor 2022.

Voor de verlenging van de levensduur is het ingewikkeld om een realistische inschatting te maken van de reducties. Dit komt omdat het onderzoek naar de levensduurverlenging momenteel in volle gang is. Voor nu kwantificeren we in deze paragraaf daarom nog niet de emissiereductie als gevolg van levensduurverlenging.

Wel maken we een kwantitatieve inschatting van het reductiepotentieel van hergebruik van de batterijen en recycling van de batterijen. Voor hergebruik rekenen we met een reductie van 34%, oftewel 30,4 kg CO₂e/kWh. Voor recycling rekenen we met twee scenario's gebaseerd op de twee gevonden bronnen, te weten -43,1 kg CO₂e/kWh batterijcapaciteit en -10,9 kg CO₂e/kWh batterijcapaciteit. Het reductiepotentieel nemen we op voor zowel de afzonderlijke maatregelen alsook voor een combinatie van hergebruik en recycling. Bij deze combinatie berekenen we eerste totale de levenscyclus emissies (productie – eindeleven credits) en alloceren hier vervolgens 66% van aan het eerste leven. Zie Tabel 4 voor een overzicht van het reductiepotentieel.

Tabel 4 Reductiepotentieel weergegeven voor jaar waarin batterijen beschikbaar komen

Jaar	Hergebruik (t CO ₂ e)	Recycling min (t CO ₂ e)	Hergebruik + recycling max (t CO ₂ e)	Hergebruik + recycling min (t CO ₂ e)
2024	-150	-54	-290	-185
2025	-22	-8	-42	-27
2026	-199	-71	-385	-246
2027	-443	-159	-858	-548
2028	-43	-15	-82	-53
2029	-26	-9	-49	-32
Totaal	-882	-316	-1707	-1090

6 Reductiedoelen en -maatregelen

Het onderzoek naar de mogelijkheden voor levensduurverlenging, hergebruik, en recycling van busbatterijen is momenteel nog in volle gang. Arriva is daarom voornemens om in 2024 en 2025 te beginnen met kleinschalige pilotprojecten waarbij in 2024 5% van de vrijgekomen batterijen en in 2025 10% zal worden her bestemd (gerecycled of hergebruikt). Het doel is om hiermee te komen tot een

reductie van 3 tot 5% van de emissies die gepaard gaan met de batterijen die in 2025 vrijkomen. Dit gaat om een totale reductie van 4 tot 14 ton CO₂e voor 2024 en 2025. Zie Tabel 5 voor een projectie van het reductiepotentieel.

Tabel 5 Overzicht reductiepotentieel

Jaar	Emissies (t CO ₂ e)	Percentage herbestemd	Reductie-potentieel (t CO ₂ e)
2024	440	5%	3-11
2025	64	10%	1-3
2026	585	15%	11-42
2027	1304	20%	32-126

Om te komen tot die reductie worden de volgende maatregelen genomen:

- Voor de levensduurverlenging wordt ingezet op verder onderzoek in het eigen batterij onderzoekscentrum in Heerlen. Hierdoor ontstaat een beter inzicht in de factoren die een rol spelen in de degradatie van batterijen. Daarmee kan Arriva bijvoorbeeld komen tot een betere inregeling van laadinfrastructuur.
- Het onderzoekscentrum zoekt bovendien in samenwerking met Spiers New Technologies naar mogelijkheden om batterijen langer operationeel te houden door deze te refurbishen of repareren. Hiermee kan bijvoorbeeld gedacht worden aan het vervangen van individuele batterijcellen of het toepassen van geavanceerde batterijmanagementsystemen.
- Voor het hergebruik gaat Arriva verkennende gesprekken voeren in de markt. Het is bekend dat de komende jaren een grote behoefte is aan energieopslag voor de omwenteling naar groene elektriciteit en de ontlasting van het net. De verwachting is daarom dat een partner gevonden kan worden die geïnteresseerd is in hergebruik van de lithium batterijen uit bussen, temeer omdat deze een grote capaciteit hebben.
- Hiernaast gaat Arriva gesprekken voeren met potentiële recyclingpartners om beter inzicht te verkrijgen in de mogelijkheden voor recycling. De gesprekken met ketenpartner Ecobat zijn al begonnen. Zij hebben aangegeven bezig te zijn met het opzetten van een recyclelijn voor lithiumbatterijen. Bovendien gaan ze een levenscyclusanalyse uitvoeren waarmee een gedetailleerd inzicht in het feitelijke reductiepotentieel verkregen kan worden.

7 Conclusie

Batterijen vormen, bij gebruik van groene stroom, de belangrijkste bron van emissies voor elektrisch busvervoer. Tegelijkertijd zijn er concrete maatregelen die getroffen kunnen worden om deze emissies te reduceren: levensduurverlenging, hergebruik, en recycling. Door het nemen van deze maatregelen zijn de levenscyclusmissies van de batterijen substantieel te reduceren.

8 Bronnen

Circulaire maakindustrie (2020) [Kennisdossier: Lithium-ion batterijen](#)

Fan et al (2023) [Life cycle assessment of electric vehicles' lithium-ion batteries reused for energy storage](#)

International Transport Forum (2020) [Good to Go? Assessing the Environmental Performance of New Mobility](#)

Ioakimides et al (2019) [Life Cycle Assessment of a Lithium Iron Phosphate \(LFP\) Electric Vehicle Battery in Second Life Application Scenarios](#)

Kaya (2022) [State-of-the-art lithium-ion battery recycling technologies](#)

Nordelöf et al. (2019) [Life cycle assessment of city buses powered by electricity, hydrogenated vegetable oil or diesel](#). *Transportation Research Part D: Transport and Environment*

OV-magazine (2020) [LFP-batterijen zijn de sleutel voor Ebusco](#)

Quan et al (2022) [Comparative life cycle assessment of LFP and NCM batteries including the secondary use and different recycling technologies](#)

Yoo et al (2023) [Life-cycle analysis of battery metal recycling with lithium recovery from a spent lithium-ion battery](#)

Mohr et al (2020) [Toward a cell-chemistry specific life cycle assessment of lithium-ion battery recycling processes](#)

Latina (2022) [A comprehensive review and classification of unit operations with assessment of outputs quality in lithium-ion battery recycling](#)

WRI and WBCSD (2004) [The Greenhouse Gas Protocol – A Corporate Accounting and Reporting Standard \(revised edition\)](#)

WRI and WBCSD (2011) [The Greenhouse Gas Protocol – Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard](#)