



Universiteit
Leiden

The Netherlands

Lithium-ion batteries and the transition to electric vehicles: environmental challenges and opportunities from a life cycle perspective

Xu, C.

Citation

Xu, C. (2022, December 21). *Lithium-ion batteries and the transition to electric vehicles: environmental challenges and opportunities from a life cycle perspective*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3503659>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3503659>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Samenvatting

Een snelle en grootschalige overstap van voertuigen met een verbrandingsmotor (ICEV's) naar elektrische voertuigen (EV's) is een van de efficiëntste manieren om de klimaatdoelen voor de transportsector te halen. Deze omschakeling kan de uitstoot van auto's aanzienlijk verminderen, vooral in combinatie met de levering van hernieuwbare elektriciteit. Tegelijkertijd zal het gebruik van batterijen - met name lithium-ionbatterijen - drastisch toenemen. Om de klimaatimpact van EV's te minimaliseren, is het essentieel om de uitstoot van broeikasgassen (BKG's) van de productie van lithium-ionbatterijen te verlagen. Om dergelijke inspanningen in goede banen te leiden, is het essentieel om een kwantitatief inzicht te hebben in zowel de duurzaamheidsuitdagingen als de kansen die het grootschalige gebruik van EV batterijen biedt.

Deze dissertatie beschrijft een geïntegreerd model dat dynamische MFA (Material Flow Analysis of materiaalstroomanalyse), ex-ante of toekomstgerichte LCA (levenscyclusanalyse) en modellering van batterijtechnologie combineert. We gebruiken het geïntegreerde model en een scenario-analyse in de hoofdstukken 2 tot 5 om de hoofdonderzoeksvraag te beantwoorden: Wat zijn de toekomstige milieu-uitdagingen en kansen voor lithium-ion batterijen voor EV's vanuit een levenscyclus perspectief? Met de combinatie van dynamische MFA en het batterijtechnologiemodel schatten we de wereldwijde voorraden en stromen van batterijmaterialen tot 2050 (hoofdstuk 2). Door ex-ante LCA en het batterijtechnologiemodel te combineren, beoordelen we de toekomstige broeikasgasemissies van de batterijproductie gedurende de levenscyclus, waarbij wij verschillende productieregio's, batterijtypen en energiescenario's onderscheiden (hoofdstuk 3). Door alle drie de modellen (d.w.z. door hoofdstuk 2 en hoofdstuk 3) te combineren, onderzoeken we de totale broeikasgasemissies die gepaard gaan met de wereldwijde productie van EV-batterijen en bespreken we ook het effect van recycling van materialen in gesloten kringlopen (hoofdstuk 4). Naast de bovengenoemde milieu-uitdagingen voor batterijen evalueren we tenslotte de potentiële opslagcapaciteit van EV-batterijen om de stabiliteit van een door wind- en zonne-energie gevoed elektriciteitsnet te vergroten, door het dynamische MFA-model en het batterijtechnologiemodel te combineren. We vergelijken dit opslagpotentieel met de behoefte aan opslagcapaciteit voor elektriciteit

(Hoofdstuk 5). De modelintegratie stelt ons in staat om de batterijtechnologie systematisch te onderzoeken en te analyseren met betrekking tot de duurzaamheid van de grootschalige inzet van EV batterijen.

Hoofdstuk 2 onderzoekt de toekomstige vraag naar materialen voor EV-batterijen, inclusief kritieke materialen (lithium, kobalt en nikkel) die cruciaal zijn voor de wereldeconomie en wier productie gepaard gaat met ecologische en sociale problemen. Onze analyse in hoofdstuk 2 is gebaseerd op een gedetailleerde modellering van de toekomstige mix van batterijtypen en de materiaalsamenstellingen van elke type. Het model van de samenstelling van batterijmaterialen heeft als invoerparameters het EV-type (Batterij Elektrische Voertuigen/Plug-in Hybride Elektrische Voertuigen), de grootte (klein/middengroot/groot), en de prestaties (rijbereik en brandstofrendement) alsook de batterijchemie (8 combinaties van verschillende anode- en kathodematerialen) en de prestaties (zoals opslagcapaciteit). De resultaten tonen de ontwikkeling van de batterijvoorraad, de vraag naar 8 batterijtypes, en het aantal afgedankte batterijen. Wij constateren een sterke groei van de vraag naar batterijmaterialen (een factor ~20 van 2020 tot 2050). De modelresultaten voor drie specifieke batterijchemiescenario's bevestigen dat de vraag naar materialen sterk afhangt van de batterijsamenstelling. De vraag naar nikkel en kobalt is lager wanneer meer LFP- en Li-S/Li-Air-batterijen worden gebruikt in plaats van NCA/NCM-batterijen. Hieruit blijkt hoe belangrijk het is om modellen te maken van de toekomstige samenstellingen van batterijen en batterijmaterialen.

In hoofdstuk 3 worden de toekomstige broeikasgasemissies van batterijproductie gekwantificeerd met behulp van een ex-ante LCA-model dat de Levenscyclusinformatie (LCI) van de toekomstige batterijproductie simuleert. De gegevensbronnen voor de LCI's van de batterijproductie zelf (de zogenaamde voorgronddata) zijn onder anderen het EverBatt-model en een rapport van de Chinese batterijindustrie. De LCI's van toeleverende productieprocessen (de zogenaamde achtergronddata) zijn gebaseerd op de integratie van de LCI database ecoinvent 3.6, toekomstige energiemixscenario's met een ambitieus en gematigd BKG-emissiereductiebeleid op basis van het Remind Integrated Assessment Model, en toekomstige technologische veranderingen voor het produceren van de belangrijkste metalen gebruikt in batterijen. De analyse wordt uitgevoerd voor verschillende combinaties van batterijproductieregio's, batterijsamenstellingen en energiemixen. Uit

de resultaten blijkt dat de toekomstige broeikasgasemissies van de batterijproductie sterk afhangen van de toekomstige energiemix. Het scenario met een energietransitie die gericht is op minder dan 2 graden Celsius opwarming kan resulteren in een vermindering van de broeikasgasemissies van de productie van EV-batterijen met 50%-75%.

Hoofdstuk 4 toont de totale broeikasgasemissies van de wereldwijde productie van EV-batterijen. Dit hoofdstuk is gebaseerd op het dynamische MFA-model van hoofdstuk 2, maar ontwikkelt drie specifiekere scenario's voor de toekomstige vraag naar batterijen (laag/gemiddeld/hoog) rekening houdend met de omvang van het EV-wagenpark en de batterijcapaciteit per voertuig. Rekening houdend met de broeikasgasemissies van batterijproductie, met inbegrip van de verschillen tussen de batterijproductieregio's (China/EU/VS), wordt in hoofdstuk 4 de omvang en de bandbreedte van de totale broeikasgasemissies met betrekking tot de wereldwijde productie van EV-batterijen gepresenteerd. De afnemende broeikasgasemissie van batterijproductie resulteert in een relatieve ontkoppeling tussen de totale broeikasgasemissies en de wereldwijde vraag naar batterijen. Ondanks deze relatieve ontkoppeling blijkt uit de resultaten dat er geen absolute ontkoppeling is als gevolg van de sterke toename van de totale vraag tot 2050. Een vermindering van de productie-emissies vereist een nog snellere overstap naar hernieuwbare energie, het gebruik van batterijtypes die minder energie vergen tijdens de productie (zoals LFP), enz.

Tot slot wordt in hoofdstuk 5 een mogelijkheid gepresenteerd voor het gebruik van EV-batterijen: de mogelijkheid om elektriciteit van het net te bufferen. Dit is van belang omdat in de toekomst naar verwachting een aanzienlijk deel van de elektriciteitsproductie uit niet continue bronnen zoals wind en zon zal komen. Hoofdstuk 5 maakt gebruik van de resultaten van hoofdstuk 2 over toekomstige instroom, uitstroom en totale voorraad van batterijen in de economie, die worden gedifferentieerd naar batterijcapaciteit en -chemie. Verder, gebaseerd op een gedetailleerde dataset over de dagelijkse rijafstand van verschillende EV-modellen, worden in hoofdstuk 5 het rijgedrag en gebruik van batterijen van EV's in de tijd gemodelleerd. De gebruiksstatus van de batterij (rijden/laden) in de tijd, gecombineerd met de batterijchemie en informatie over de omgevingstemperatuur, wordt gebruikt om de degradatie van de batterij in de tijd te schatten (d.w.z. de

dynamische batterijcapaciteit onder verschillende omstandigheden). De resultaten tonen de totale netopslagcapaciteit van EV-batterijen tot 2050, met inbegrip van zowel voertuig-naar-net als tweedehands gebruik, onder veronderstelde marktdeelname van beide toepassingen. Door deze totale netopslagcapaciteit te vergelijken met scenario's voor de vraag naar opslagcapaciteit, komen we tot de bevinding dat EV-batterijen al in 2030 in de volledige vraag naar korte-termijnopslag kunnen voorzien.

Uit de combinatie van de resultaten uit hoofdstukken 2-5 blijkt het volgende. De stijgende vraag naar en productie van batterijen als gevolg van de elektrificatie van het wagenpark resulteert in aanzienlijke materiaalbehoeften en BKG emissies. Grootschalige productie van batterijen kan dus de netto vermindering beperken van BKG uitstoot door gebruik van elektrische voertuigen. Dit proefschrift geeft echter ook inzicht in de belangrijkste factoren die BKG emissies van de productie van batterijen kan verminderen (zoals batterijtype, de productieregio, en de snelheid van de energietransitie). Deze inzichten zijn cruciaal om voornoemde uitdagingen te lijf te gaan of zelfs om te zetten in kansen.

Een batterijproductie met een BKG emissie die laag of zelfs nihil is kan productie te richten op batterijtypes die weinig energie vergen in de productie en waarbij gebruik wordt gemaakt van emissiearme elektriciteit, naast andere potentiële duurzame energiebronnen. Verder moet in de hele waardeketen van batterijen gezocht worden naar reductie-opties om alle kansen te benutten. Dit omvat het verminderen van de vraag naar batterijen (zoals het stimuleren van het gebruik van kleine EV's die kunnen worden aangedreven met batterijen met een kleinere capaciteit); verbeterde en innovatieve batterijtechnologieën die de levensduur van batterijen verlengen en minder afhankelijk zijn van materialen die kritisch zijn of veel energie vergen om te worden geproduceerd; het verhogen van de materiaal- en energie-efficiëntie tijdens de batterijproductie; en het toepassen van de beginselen van de kringlooeconomie (zoals hoogwaardige recycling).