

High Tech Campus 31
5656 AE Eindhoven
Postbus 8550
5605 KN Eindhoven

www.tno.nl

T +31 40 40 20584
eric.meulenkamp@tno.nl

TNO-rapport 2019 R11578

Verkenning Batterijen 2: Positie NL in de waardeketen

Datum	18 oktober 2019
Auteur(s)	Eric Meulenkamp, Thijmen van Bree, Amber Geurts
Aantal pagina's	44
Aantal bijlagen	2
Opdrachtgever	EZK
Projectnaam	Verkenning Batterijen 2: Positie NL in de waardeketen
Projectnummer	060.41128

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2019 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	8
2	Technologie en markt	9
	2.1 Types batterijen	9
	2.2 Eigenschappen van batterijen	12
	2.3 Batterijsystemen	14
	2.4 Markt	16
3	Analyse economische sterktes	18
	3.1 Analyse relevante bedrijfsactiviteiten	18
	3.2 Marktdynamiek	24
	3.3 Sterke/zwakte analyse en kansen	25
4	Analyse sterktes onderzoek en technologieontwikkeling	27
	4.1 Wetenschap	27
	4.2 Wetenschaps- en onderzoekspartijen in Onderzoek en Technologie-ontwikkelingsprojecten.....	30
	4.3 Octrooien	31
	4.4 Kennis- en innovatieagenda's	32
	4.5 Kennisdynamiek	34
	4.6 Sterkte/zwakte kennis en innovatie	35
5	Economische potentie	36
	5.1 Marktomvang	36
	5.2 Value pool voor Nederlandse bedrijven	37
	5.3 Realisatie van de value pool	40
6	Conclusies.....	42
	Referenties	44
	Bijlage 1 Waardeketen	
	Bijlage 2 Bedrijfsactiviteiten met een (potentiële) rol in de batterijen waardeketen	

SAMENVATTING

“De Nobelprijs voor Scheikunde gaat dit jaar naar drie wetenschappers voor de ontwikkeling van de lithium-ion accu. (...). Met hun uitvinding “schiepen ze een oplaadbare wereld”, zegt de Koninklijke Zweedse Academie de Wetenschappen, die de prijzen toekent. De lichtgewicht, krachtige en oplaadbare li-ion batterij zit bijvoorbeeld in mobiele telefoons en laptops, en ook in elektrische auto’s. Ze kunnen daarnaast de opgewekte elektriciteit van windmolens en zonnepanelen opslaan. De accu’s hebben volgens de Academie het fundament gelegd voor een draadloze maatschappij, vrij van fossiele energie: “Ze zijn een zegen voor de mensheid.” “¹

In een Nederlands huishouden zijn momenteel gemiddeld meer dan 100 batterijen in gebruik². Dit aantal zal kunnen groeien met een factor 100 ten gevolge van volledige elektrificatie van vervoer en verduurzaming van de energievoorziening. Het totale aantal batterijen in Nederland kan dan zo’n 100 miljard stuks gaan bedragen

Deze inzichten duiden op een enorme toename van het belang van batterijen in ons leven en in de maatschappij ten gevolge van twee ontwikkelingen: de transitie naar CO₂-neutraal transport, en de transitie naar duurzame opgewekte elektriciteit. De Europese Commissie heeft daarom diverse initiatieven in gang gezet met betrekking tot versterken van de positie van Europa op het gebied van batterijen vanwege de ermee gepaard gaande grote economische belangen en vanwege de geopolitieke implicaties van eventuele afhankelijkheid van andere regio’s op dit gebied.

De Nederlandse overheid heeft op dit moment onvoldoende inzicht in de huidige Nederlandse positie op gebied van batterijen wat betreft kennis, onderzoek, en industrie om eventueel innovatie- en bedrijfseconomisch beleid te kunnen formuleren en uitvoeren. In deze door EZK geïnitieerde verkenning wordt daarom een analyse gemaakt met als doel antwoorden te krijgen op de volgende vragen:

1. Waar zit wetenschappelijke kracht, waar is deze in opkomst?
2. Waar zit industriële kracht, waar is deze in opkomst?
3. Waar zitten de kansen voor Nederland op batterijtechnologie?

De economische positie van Nederland en industriële kracht met betrekking tot productie van batterijen en andere activiteiten is geanalyseerd op basis van 82 bedrijfsactiviteiten (op SBI 4/5-digit niveau) die direct of indirect een rol (kunnen) spelen in de batterij-waardeketen. Deze keten loopt van winning van grondstoffen en verwerking en zuivering ervan, via productie van materialen en componenten, batterijcellen en -systemen, tot services en infrastructuur rondom gebruik en hergebruik van batterijen. De 82 bedrijfsactiviteiten vallen binnen 21 hoofdsectoren (SBI 2-digit niveau) waarvan diverse macro-economische indicatoren zijn geanalyseerd op basis van CBS- en Eurostat-gegevens en LISA. De macro-analyse laat onder andere zien dat de gemiddelde jaarlijkse groei van het aantal werkzame personen en bedrijven in de sectoren die relevant zijn voor de batterijwaardeketen, ongeveer overeen komt met het gemiddelde in de totale Nederlandse economie. Verder zijn de gemiddelde groei van de toegevoegde waarde per hoofdsector in Nederland en in de EU15-lidstaten, de specialisatie ten opzichte van de EU15, de groei van de arbeidsproductiviteit, en de R&D-uitgaven per sector geanalyseerd.

Op basis van deze indicatoren lijkt de Nederlandse industriële kracht met betrekking tot de batterij-waardeketen vooral te liggen binnen de volgende sectoren:

- Machine-industrie
- Chemische industrie
- Informatietechnologie en informatiediensten
- Elektrische apparatenindustrie
- Metaal(producten)industrie en Ingenieursdiensten

De toekomstige economische bedrijvigheid gerelateerd aan de batterij-waardeketen is niet eenvoudig te voorspellen op basis van historische intensiteit van de activiteiten omdat de batterij-industrie en daarmee gepaard gaande elektrificatie momenteel een zeer sterke ontwikkeling doormaken met een hoge mate van dynamiek. Deze dynamiek komt tot uitdrukking in recente aankondigingen van grotere en kleinere investeringen door bedrijven en overheden. Kwalitatieve evaluatie laat zien dat deze recente ontwikkelingen grotendeels vallen binnen dezelfde bovengenoemde sectoren die vanuit macro-economisch perspectief als krachtig en/of kansrijk bestempeld zijn.

De industriële kracht en kansen in de waardeketen zijn aanwezig op meerdere posities in die keten, steeds in een gedeelte van de toepassingsgebieden, en niet in alle toepassingsgebieden of markten in de waardeketen. Dit is niet onlogisch aangezien er feitelijk meerdere waardeketens onderscheiden kunnen en moeten worden: op hoogste abstractieniveau is er één voor stationaire opslag en één voor transport/mobiliteit – die samen veruit de grootste toekomstige markt vormen.

Ook binnen deze twee grootste toepassingsdomeinen kunnen en moeten meerdere waardeketens onderscheiden worden. In transport, bijvoorbeeld, wordt er onderscheid gemaakt tussen lichte wegvoertuigen voor personenvervoer, zwaar wegtransport, en transport per spoor, over water en door de lucht. Gedeeltelijk, en met name lager in de waardeketen, wordt hier gebruik gemaakt van dezelfde batterijtechnologie en overlappen de waardeketens; met name op systeemniveau is er een afzonderlijke waardeketen, bijvoorbeeld omdat zwaar vervoer andere eisen aan vermogen en volume stelt dan licht vervoer.

Verschillende marktsegmenten maken daarom gebruik van verschillende batterijtechnologieën, die o.a. onderscheiden kunnen worden op basis van actieve materialen of type en hiërarchie van de batterij-eenheden in een groter systeem. Zo kent bijvoorbeeld Li-ion technologie vele toepassingen; redox-flow of gesmolten-metaal batterijen zijn vooral geschikt voor stationaire opslag. Uiteindelijk bepalen vele overwegingen in de gehele waardeketen op welk moment welke batterijtechnologie dominant wordt toegepast in welke toepassing.

Om de kansen voor Nederland te concretiseren is het dus noodzakelijk om verder in te zoomen op elk segment in de afzonderlijke waardeketen, in combinatie met de verwachte dominante technologie en de mogelijke rol van Nederland daarin. Doorsnijden van de sterktes van de Nederlandse industrie met de batterij-waardeketen levert de volgende kansrijke thema's op, met tussen haakjes de verwachte technologie(ën):

1. ontwerp, productie (Industry 4.0, Digital Industry) en integratie van batterijpacks en -systemen ten behoeve van mobiliteit (li-ion)
2. batterijen voor, en elektrificatie van zware transportmiddelen (li-ion)
3. ontwerp en productie van batterijen en batterijsystemen ten behoeve van stationaire energieopslag (alle types)
4. laadinfrastructuur ten behoeve van elektrificatie van vervoer (li-ion)
5. businessmodel innovatie, IT, services op basis van elektrisch vervoer (li-ion)
6. componenten in batterijsystemen, waaronder algoritmes (alle types)

7. materialen voor, en productie van batterijen met nieuwe technologieën, zoals vaste-stofbatterijen en verdere batterijgeneraties tbv mobiliteit (nieuwe types li-ion; nieuwe types)
8. machines ten behoeve van productie en inspectie, voor alle toepassingen (nieuwe (li-ion) types)
9. hergebruik, recycling en algemene services rondom veiligheid, advies, etc., voor alle toepassingen (alle types)

Een tweede belangrijk element in de kans op succes is de aanwezige kennis en R&D op gebied van batterijen. Deze is op macroniveau geëvalueerd met cijfers uit de CWTS Leiden Ranking. Verder zijn de Nederlandse deelname in Europese R&D Kaderprogramma's en de octrooioppositie van Nederlandse spelers bekeken.

Nederland heeft diverse universiteiten in de top 200 in elk relevant wetenschaps- en onderzoeksveld binnen de domeinen van 'Engineering & Technology' en de 'Natural Sciences'. Batterij-gerelateerd onderzoek vindt vooral plaats binnen het vakgebied 'Physical Sciences & Engineering'. Analyse van de wetenschappelijke kracht op basis van de impact van publicaties maakt duidelijk dat alle universiteiten in Nederland in staat zijn om toonaangevend onderzoek te doen binnen dit vakgebied. Met name de technische universiteiten hebben daarnaast veel samenwerking met industrie. Technische universiteiten en TNO zijn de grootste Nederlandse deelnemers aan Europese Kaderprogramma's FP7 en H2020.

Ook hier geldt dat deze analyse in essentie een terugblik is, die niet noodzakelijkerwijs recht doet aan recente ontwikkelingen. Er is daarom gekeken naar meer kwalitatieve aspecten. Het MMIP Duurzame Mobiliteit is een weerslag van de inzichten van experts vanuit kennisinstellingen en bedrijven. De kansen voor groene groei op basis van Nederlandse inzet of internationale samenwerking, die worden beschreven in het MMIP, sluiten goed aan bij de kracht volgens de macro-economische analyse.

Er is een grote kennisdynamiek zoals die blijkt uit recente aanstellingen aan kennisinstellingen. In de jaren negentig en jaren-2000 is het aantal groepen aan kennisinstellingen (universiteiten en TNO) dat zich bezig hield met elektrochemie (de wetenschappelijke discipline onder batterijen) of batterijen zelf, sterk afgenomen. De laatste jaren is een sterke opwaartse trend waarneembaar. Na vele recente benoemingen zijn er bijvoorbeeld momenteel zo'n 7 universitaire vakgroepen actief op gebied van batterijen en batterijsystemen, naast nieuwe activiteiten bij TNO en diverse hogescholen. Samengevat richten de huidige activiteiten zich vooral op begrip van prestatie-belemmerende eigenschappen van materialen en batterijcellen, ontwerp en ontwikkeling van nieuwe generaties materialen en batterijen, batterij managementsystemen, en elektrotechniek rondom batterijsystemen. Deze onderzoeksthema's vallen volledig onder de voor de industrie kansrijke thema's 1, 2, 3, 4, 6 en 7 (zie boven), waardoor goede aansluiting van R&D bij Nederlandse industrie mogelijk is.

Relatief zwakke punten in de Nederlandse kennispositie zijn het aantal octrooien, de afwezigheid van een grote(re) faciliteit ten behoeve van R&D en testen van batterij-materialen, -cellen, en -systemen, organisatiegraad, en ondervertegenwoordiging of gebrek aan actieve deelname in belangrijke Europese initiatieven (Battery2030+, Batteries Europe en European Battery Alliance. Deze verdienen aandacht om niet te leiden tot verkleining van de industriële kansen.

Extrapolatie van de economische activiteit in het recente verleden heeft beperkingen om de economische potentie voor Nederland in te schatten, vanwege de huidige zeer sterke marktontwikkeling, en ontstaan van vele nieuwe toepassingen. Daarom is een andere aanpak gekozen, nl. evaluatie van de potentiële 'value pool', dat is de waarde (omzet in Euro) die bedrijven kunnen realiseren op basis van hun positie in de waardeketen. Een 'value pool' is dus kleiner dan een totale marktomvang, aangezien deze kijkt naar de toegevoegde waarde die een bedrijf of bedrijfstak kan verkopen in een bepaalde markt. Vanwege vele onzekerheden is het niet mogelijk meer dan een indicatie te geven van de verwachte economische potentie.

Voor elk van de negen bovengenoemde kansrijke thema's is de 'value pool' ingeschat op basis van de verwachte totale marktomvang, vermenigvuldigd met de procentuele toegevoegde waarde op de relevante positie in de waardeketen, voor zowel de Nederlandse als de Europese markt, die naar verwachting zeer grote overeenkomsten zal vertonen met de Nederlandse en dus relatief eenvoudig toegankelijk voor Nederlandse bedrijven.

De indicatieve analyse laat zien dat de totale jaarlijkse waarde van 'value pools' voor de Nederlandse markt ca. 5 miljard euro bedraagt op relatief korte termijn, met verdere groei tot ca. 10 miljard euro op middellange termijn op basis van latere marktontwikkeling van enkele kansrijke thema's, en verdere groeimogelijkheden daarna op basis van nieuwe batterijtechnologieën voor mobiliteit. De Europese markt is ca. 20x groter gezien het aandeel van Nederland in het Europese BNP, en verwachte gelijkaardige elektrificatie in heel Europa. De economische potentie is dus een stuk hoger indien Nederlandse bedrijven een significant aandeel op kunnen bouwen in de Europese markt.

Indien Nederland een sterke positie weet op te bouwen in diverse van de bovengenoemde thema's, dan kan een significante extra economische bedrijvigheid verwacht worden in aangrenzende gebieden, zoals infrastructuur (smart grid), e-mobiliteit, en e-logistiek, op basis van partnerschappen tussen bedrijven en aanwezigheid van sterke lokale domeinkennis en technologie. Zo'n ecosysteem zou daarnaast zelf weer een verdere aanzuigende werking kunnen hebben.

Enkele aspecten kunnen de realisatie van marktkansen sterk beïnvloeden. Aanwezigheid van lokale (of regionale) productie van batterijcellen en batterijpacks zou een impuls geven aan een Nederlands batterij-ecosysteem vanwege stabiele toegang tot geavanceerde batterijen in een competitieve markt, en omdat goed inzicht in de prestaties van een batterij direct gerelateerd is aan materiaal- en productiekeuzes en kennis hierover en over batterij-roadmaps daarmee een significant competitief voordeel biedt in de gehele keten. Brede state-of-the-art kennis over de hele batterijketen heen, en data vanuit gebruik van batterijen in het veld zijn belangrijk voor terugkoppeling naar onderzoek en productontwikkeling.

Beschikbaarheid van up-to-date kennis in relatie tot implementatie van en omgaan met batterijen en batterijsystemen is eveneens belangrijk. Wetgeving, standaardisering en normering, en certificering en approbatie in relatie tot o.a. veiligheids- en milieuaspecten zullen naar verwachting significante ontwikkelingen doormaken die zeer relevant zijn voor toekomstige markt- en productontwikkeling. De bovenstaande aspecten behoeven alle up-to-date kennis en beschikbaarheid van geschoold en getraind personeel. Een gebrek daaraan, respectievelijk een tekort daarvan kan de kansen op realisatie van economische bedrijvigheid in Nederland sterk beïnvloeden.

Gezien de economische potentie in Nederland en Europa, en de verwachte enorme groei in toepassing van batterijen waar de maatschappij en de Nederlandse

bevolking mee te maken krijgen, is het urgent om binnen korte termijn extra initiatieven te ontwikkelen en bestaande te intensiveren. Concreet wordt voorgesteld een actieagenda te formuleren waarbij overheid, bedrijfsleven, kennisinstellingen en maatschappij betrokken zijn. Die agenda kan Nederland daadkrachtig positioneren in het Europese speelveld, en een sterke impuls geven om te kunnen profiteren van, en mede vorm te geven aan de belangrijke strategische ontwikkelingen die gepaard gaan met elektrificatie op basis van batterijen. De volgende elementen kunnen onderdeel zijn van deze agenda.

Strategische investeringen op gebieden waarop Nederlandse spelers actief zijn, die vallen binnen de 9 kansrijke thema's kunnen bijvoorbeeld de ontwikkeling van Nederlandse 'niches' binnen de batterij-industrie een versnelling geven die hun internationale concurrentiepositie sterk kan verstevigen. Diverse Nederlandse spelers hebben het belang van een Nederlands batterij-expertisecentrum genoemd. Naast strategische investeringen binnen de kansrijke thema's, kunnen bijvoorbeeld ook strategische investeringen in kennisopbouw en vorming van een 'batterij-ecosysteem' een grote impuls geven aan de Nederlandse positie en concurrerend vermogen. Diverse bestaande initiatieven, waaronder klimaatenvolp, missie-gedreven innovatieprogramma's en kennis- en innovatie-agenda's kunnen hiervoor geschikt zijn. Alles overziende liggen er voor Nederland concrete kansen om zijn positie in het internationale veld van nieuwe batterij-ontwikkelingen te versterken. Aan de hand van een actieagenda kunnen deze initiatieven concreet worden vorm gegeven.

1 Inleiding

In 2018 heeft de EC diverse initiatieven in gang gezet met betrekking tot versterken van de positie van Europa op het gebied van batterijen³. Zo is de European Battery Alliance (EBA) opgericht, is er een European Battery Action Plan geformuleerd, wordt innovatie ondersteund via Horizon2020 en Horizon Europe, en zijn er één of enkele Important Project of Common European Interest (IPCEI) in de maak.

In het kader van mogelijke IPCEI-projecten moet op korte termijn een beslissing worden genomen of Nederland wil aanhaken. Hiertoe is een onderbouwing met kennis over de huidige Nederlandse positie op gebied van batterijen (o.a. kennis, onderzoek, industrie, start-ups) gewenst. In 2017 heeft TNO een portfolio-analyse uitgevoerd met betrekking tot kansrijke innovatie-opgaven. Vanwege het veelomvattende karakter daarvan was er geen specifiek aandacht voor batterijen.

In dit onderzoek wordt daarom een sterkte-zwakke analyse uitgevoerd volgens dezelfde methode als in de portfolio-analyse in 2017⁴. De huidige analyse is minder uitputtend vanwege de beperkte project-omvang. EZK wil met name zicht krijgen op de volgende vragen:

- Waar (in de keten) zit wetenschappelijke kracht, waar is deze in opkomst?
- Waar (in de keten) zit industriële kracht, waar is deze in opkomst?
- Waar zitten de kansen voor Nederland op batterijtechnologie?

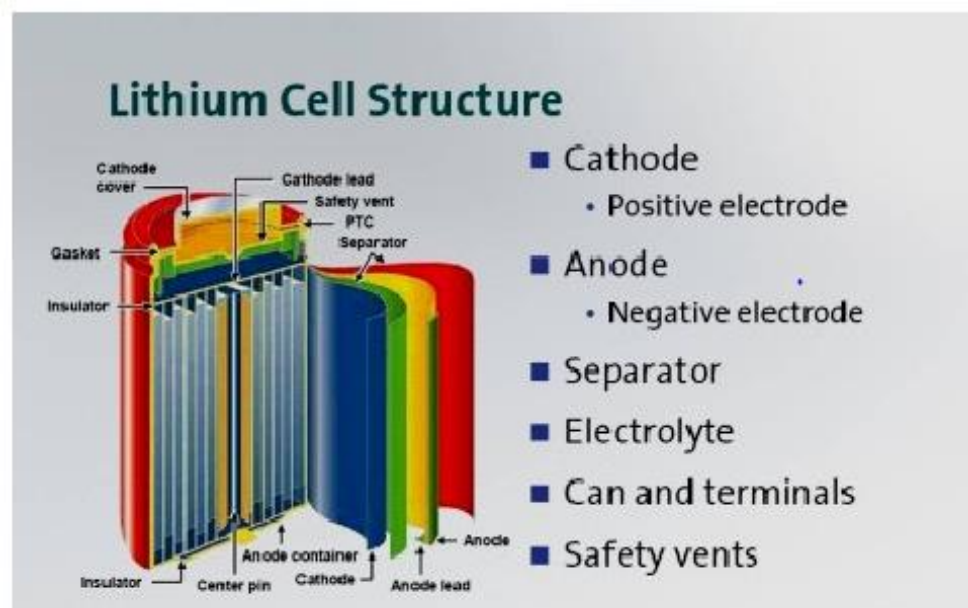
Dit onderzoek is uitgevoerd door betrokkenen uit de TNO-afdelingen SBA, S&P en Holst Centre.

2 Batterijen – technologie en markt

Er is een verscheidenheid aan bestaande en zich ontwikkelende batterij-technologieën met ieder hun eigen sterkte en relatieve geschiktheid voor bepaalde marktsegmenten en daarbij horende toepassingen. Inzicht in de kansen voor Nederland behoeft daarom een inleiding in batterijen, die hier gegeven wordt.

2.1 Types batterijen

Een batterij bestaat uit minstens drie essentiële componenten: *anode*, *kathode*, en *elektrolyt*. De anode en kathode herbergen de actieve materialen, en zijn de min- en pluspool van de batterij. Hier vinden bij een bepaalde elektrische spanning elektrochemische reacties plaats: oxidatie en reductie. De hiervoor benodigde (opladen) of vrijkomende (ontladen) elektrische lading wordt via een extern elektrisch circuit geleid, en deze elektrische stroom kan hierdoor arbeid verrichten – voilà de batterij. Anode en kathode worden gescheiden van elkaar door een elektrolyt: dit is vaak een oplosmiddel met zouten (bv., waterige loogoplossing) dat fungeert als transportmedium voor de ionen die tussen anode en kathode bewegen. Veelal wordt daarnaast een zogenaamde *separator* gebruikt tussen anode en kathode, om langere levensduur en verhoging van het aantal laadcycli mogelijk te maken, en worden *stroomcollectoren* (bv., koper- of aluminiumfolie) gebruikt met daarop de actieve anode en kathodematerialen. ‘*Hulpstoffen*’ worden toegevoegd aan anode- en kathodematerialen om elektrische geleidbaarheid, mechanische sterkte, en verwerkbaarheid te verbeteren: anodes en kathodes zijn dus meestal mengsels van materialen. Tot slot is een behuizing nodig (“*cel*”). Deze behuizing is een container, en herbergt vaak diverse veiligheidsfuncties, zoals een overdrukventiel in geval van gasopbouw en enige (passieve) elektronica zoals een PTC, een soort reversibele zekering. De opbouw van een typische cilindrische Li-ion-batterij wordt getoond in figuur 2.1.



Figuur 2.1 Schematische weergave van Li-ion batterij ⁵

Er wordt op diverse manieren onderscheid gemaakt tussen batterijen. Een (vereenvoudigde) taxonomie is weergegeven in figuur 2.2. Zogenaamde *primaire batterijen* (bv., zink-lucht, zoals gebruikt in hoortoestellen, en alkaline (zink-mangaanoxide), zoals gebruikt in vele consumentenproducten) zijn niet-herlaadbaar. Deze categorie is niet relevant voor deze verkenning. *Secundaire batterijen* zijn herlaadbaar.

Binnen de categorie herlaadbare batterijen wordt veelvuldig onderscheid gemaakt op basis van de *materialen* ("de chemie") in de batterij. Er zijn in de afgelopen honderd jaar een aantal succesvolle en bekende types herlaadbare batterijen ontwikkeld en grootschalig gecommmercialiseerd:

- *loodzuur* ("de autoaccu"),
- *nikkel-cadmium* (toegepast in bijzondere applicaties), en
- *nikkel-metaalhydride* (de opvolger van nikkel-cadmium; met bijdrage van Philips in de ontwikkeling en commercialisering; veel toegepast in consumentenproducten en de eerste elektrische auto's).
- De meest recente generatie is *lithium-ion*, die wordt toegepast in alle bovengenoemde producten en toepassingen, en gezien wordt als dé batterij voor elektrificatie van vervoer, zoals door het Nobelprijs-comité aangehaald bij toekennen van de prijs dit jaar.

Er bestaan diverse lithium-ion varianten, die worden onderscheiden op basis van de gebruikte materialen voor anode, kathode en elektrolyt.

Daarnaast bestaan enkele andere types herlaadbare batterij, die bij het algemene publiek minder bekend zijn omdat ze op dit moment vrijwel uitsluitend in professionele toepassingen te vinden zijn, zoals opslag.

- Eén type is de *gesmolten-metaal*batterij: natrium-zwavel (waaraan gewerkt wordt door NL start-up Exergy Storage) en natrium-nikkelchloride.
- Een ander type is de zogenaamde *redox-flow-batterij* (RFB). In een RFB worden geen vaste anode- en kathodematerialen gebruikt, en zijn de elektrochemisch actieve materialen opgelost in het elektrolyt. Dit wordt opgeslagen in tanks, en vervolgens langs de elektrodes gepompt (vandaar: 'flow'). Een RFB wordt wel beschreven als een reversibele brandstofcel. Er zijn diverse reductie-oxidatie ('redox') combinaties mogelijk, gebaseerd op o.a. vanadiumzouten, zink-broom, en broom-waterstof. Die laatste wordt geproduceerd door het NL-bedrijf Elestor.

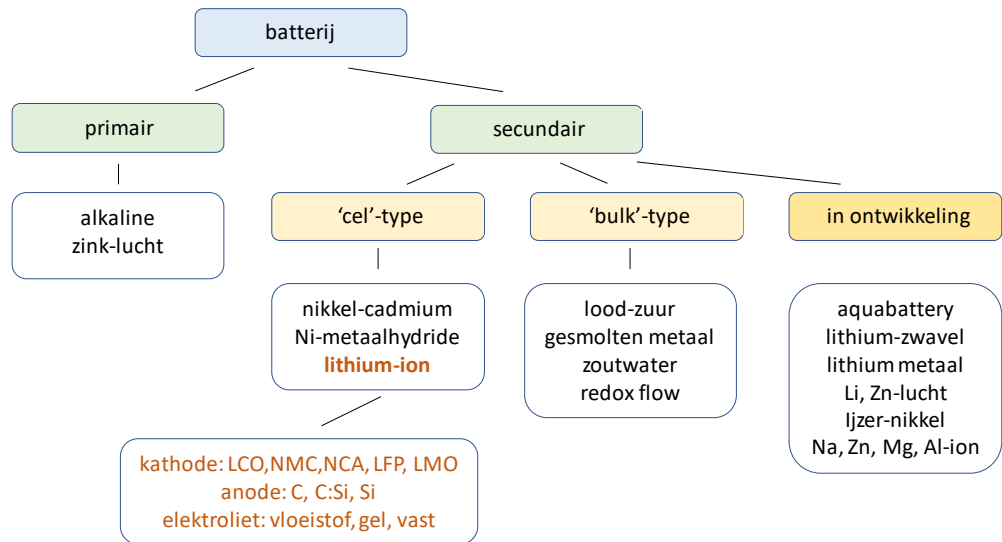
Tot slot zijn er nóg andere types herlaadbare batterijen, die veelal in (vroeg) ontwikkeling zijn, en grote potentie kunnen hebben, en waar continue gezocht wordt naar nieuwe mogelijkheden. De belangrijkste drijfveren hiervoor zijn gebruik van meer duurzame en meer vóórkomende materialen, en bereiken van hogere capaciteits- en vermogensdichtheid (zie onder). Binnen deze secundaire batterijen in ontwikkeling kunnen drie categorieën worden onderscheiden. Eén categorie is met name geschikt voor grootschalige opslag. Dit zijn o.a. de

- 'blue battery', waaraan in NL gewerkt wordt. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het zoutconcentratieverschil tussen zoet en zout water om elektriciteit op te wekken en op te slaan.
- 'zoutbatterij', een combinatie van RFB en traditionele batterijchemie.
- ijzer-nikkel, waaraan de Nederlandse start-up E-stone werkt.

Een tweede categorie is die van metaal-lucht batterijen, zoals lithium-lucht en zink-lucht. Hoewel primaire batterijen op basis van dit principe al geruime tijd bestaan, is

een reversibele, herlaadbare versie tot nu toe niet ontwikkeld. Deze types batterij hebben de theoretisch hoogst mogelijke capaciteit per liter of per kilo.

Een derde categorie wordt gevormd door varianten op de lithium-ion batterijen, waarbij lithium vervangen wordt door natrium, magnesium, zink of aluminium. De laatste drie dragen een hogere elektrische lading dan lithium, en kunnen daardoor een hogere energiedichtheid mogelijk maken.



Figuur 2.2 Vereenvoudigde taxonomie van batterijtypes met voorbeelden van de belangrijkste materialen. 'Cel'-type duidt op batterijvormen zoals bekend uit de schappen in de winkel (knoop, cilinder, pouch); 'bulk'-type wordt enkel toegepast in grotere eenheden; 'in ontwikkeling' omvat een breed scala aan chemie, waarvan sommige geschikt voor cel-type, en andere voor bulk-type. LCO: lithium-kobaltoxide; NMC: nikkel-mangaan-kobalt; NCA: nikkel-kobalt-aluminium; LFP: lithium-ijzer-fosfaat; LMO: lithium-mangaanoxide; C: grafiet; C:Si: grafiet/silicium mengsel; Si: silicium.

Een ander onderscheid dat tussen batterijen gemaakt wordt is gebaseerd op de vorm en afmeting. Dit is vooral van toepassing op producten waar standaardisatie en normering vergevorderd is, zoals in het elektronicasegment. Veelgebruikte types zijn de *knoopcel* ('coin cell'), de *cilindrische cel*, en de *prismatische cel*, zoals bekend uit apparatuur thuis, en van de schappen in de supermarkt of bouwmarkt. Deze celtypes kunnen verschillende chemie bevatten; zo kan een cilindrische cel een primaire alkalinebatterij zijn, of een herlaadbare nikkel-hydride of lithium-ion batterij.

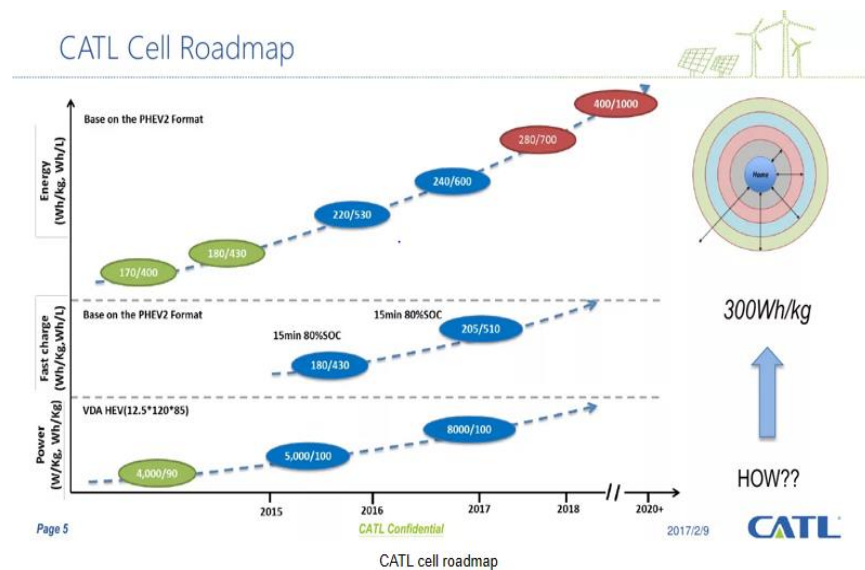
Voor een aantal types herlaadbare batterij geldt dat standaardvormen en -afmetingen er op dit moment niet zijn, of nauwelijks relevant. Dit geldt bijvoorbeeld voor de loodaccu, voor natrium-zwavel, en voor RFB. Lithium-metaal zal, naar verwachting, vooral in 'pouch-cell'-formaat (buidel) toegepast gaan worden. Van meer futuristische batterijen, zoals lithium- of zink-lucht is op dit moment niet duidelijk welke vorm optimaal zal zijn.

2.2 Eigenschappen van batterijen

Een belangrijke reden voor het bestaan van verschillende types batterijen is de variatie aan functionele eigenschappen die nodig is om te voldoen aan de grote variatie in toepassingen. Welke eigenschappen zijn zoal belangrijk?

- *Energie* of *Capaciteit*, in Wh of kWh (Watt-uur of kiloWatt-uur), het product van stroom, spanning en tijd. De capaciteit wordt bepaald door de omvang x energiedichtheid.
- *Energiedichtheid*. Deze kan genormeerd worden op volume (Wh/L), of op gewicht (Wh/kg). Energiedichtheid kan berekend worden op basis van de chemie in de batterij (keuze van de anode- en kathodematerialen), en is dan een theoretisch maximum. Een praktisch realiseerbare dichtheid moet rekening houden met bv. omvang, elektrolyt, stroomcollectoren, en hulpstoffen, en kan daarom behoorlijk verschillen van fabrikant tot -fabrikant. Huidige commerciële batterijen voor personenvervoer halen ongeveer 300 Wh/kg en 700 Wh/L.
- *Vermogen*, in W of kW. Dit geeft aan wat de 'piekbelasting' is van de batterij: hoeveel stroom kan er (gedurende korte tijd) maximaal geleverd worden? Vermogen is vermogensdichtheid x omvang.
- *Vermogensdichtheid*, in W/L or W/kg. Net als energiedichtheid wordt deze deels bepaald door anode- en kathodematerialen. De invloed van secundaire aspecten, zoals microstructuur van de anode en kathode, interne opbouw van de batterij, keuze van hulpstoffen, etc. is groot met betrekking tot praktisch realiseerbare vermogens.

Er moet meestal een trade-off gemaakt worden tussen energie en vermogen. Eén fabrikant kan meerdere producten voeren, op basis van dezelfde chemie, met sterk verschillende capaciteit vs vermogen. Een voorbeeld hiervan staat in figuur 2.3 voor één van 's werelds grootste producenten. Voor RFB ligt dit aspect anders. Daar is het mogelijk om energie en vermogen min of meer onafhankelijk te optimaliseren.



Figuur 2.3. Voorbeeld van ontwikkeling en optimalisatie van energie- en vermogensdichtheid voor toepassingen met verschillende eisen (vermogen, snel-laden, capaciteit). Bron: CATL

- *Oplaadsnelheid*. Deze hangt direct samen met de vermogensdichtheid – snel kunnen laden en snel kunnen ontladen gaan meestal hand in hand. Oplaadsnelheid wordt uitgedrukt in tijd (hoeveel uren tot volledig opgeladen vanuit lege toestand), of in ‘C’ – hoe vaak kan de batterij in één uur worden opgeladen: 3C is laden in 20 minuten; 0,5C is laden in 2 uur.
- *Cycleerbaarheid* (*‘cycle-life’*) geeft aan hoe vaak een batterij kan worden op- en ontladen tot een bepaalde afname van de capaciteit is bereikt (*‘end-of-life’*). Er is in de praktijk een trade-off tussen capaciteit / vermogen aan de ene kant, en aantal cycli aan de andere kant. Lithium-ion batterijen gaan typisch tot enkele 1,000-en keren mee. Batterijen voor opslag, zoals RFB, hebben >10,000 keer gedemonstreerd.
- *Opslagduur* (*‘calendar life’*). Een batterij verouderd door op- en ontladen, en sommige types kunnen capaciteit verliezen als ze een tijd niet gebruikt worden. Dit wordt uitgedrukt in *‘calendar life’*.
- *Temperatuurbereik*. Chemische reacties lopen trager bij lage temperatuur. Daarom gaat de prestatie van veel batterijen, zoals het piekvermogen, achteruit onder (zeer) koude omstandigheden. Het ene materiaal en type batterij is hier gevoeliger voor dan het andere.
- *Kosten*. Dit spreekt voor zich. Kosten kunnen op celniveau en op systeemniveau worden berekend. Kosten worden normaliter genormeerd op een ander kengetal. Er wordt vaak gewerkt met EUR/kWh – de kosten per kWh nominale capaciteit bij aanvang – en/of EUR/kW – de kosten per kW nominaal vermogen bij aanvang; deze maat richt zich dus op initiële (aanschaf-)kosten. De industriële en R&D roadmaps verwachten <100 €/kWh vóór 2025 voor de grootste huidige markt, die van lichte voertuigen. Een andere veelgebruikte maat is EUR/kWh/cyclus: wat zijn de batterijkosten om één kWh op te slaan en te gebruiken, gedurende de levensduur van de batterij (*‘levelised cost of ownership’*). R&D richt zich momenteel op <5 €/kWh, en <1 €/kWh als verder doel.
- *Veiligheid*. Batterijen moeten veilig zijn tijdens gebruik, en gedurende productie, transport, hergebruik en recycling. Veiligheid heeft te maken met vele aspecten, zoals toxiciteit van de materialen, brandgevaarlijkheid, en design-for-safety. Een grote uitdaging zit in het zekerstellen van veiligheid onder zeer uiteenlopende condities en gebruiksscenario’s, inclusief misbruik en optreden van uitwendige schade zoals bij ongelukken. De aard van de risico’s verschilt sterk per batterijtype.
- *Duurzaamheid*. De EC zet sterk in op een Europese waardeketen rondom duurzame batterijen – van winning van grondstoffen en CRMs (Critical Raw Materials), via productie en utilisatie, tot hergebruik en recycling. Net als bij veiligheid is er zeer grote variatie in (potentiële) duurzaamheid van verschillende types batterijen. Kobalt, aanwezig in veel lithium-ion batterijen, is één van de meest besproken materialen. Batterijtypes voor opslag richten zich veelal op gebruik van materialen die zeer ruim voorhanden zijn.

2.3 Batterijsystemen

De nadruk heeft tot nu toe gelegen op *batterijcellen*, de kleinst mogelijke eenheid. Eén cel levert een beperkte capaciteit op. Daarom worden cellen in de praktijk gecombineerd in grotere systemen. De naamgeving hiervan is (helaas) niet consistent en gestandaardiseerd, wat tot verwarring kan leiden. Zo wordt met “batterij” soms een cel bedoeld, en soms een compleet systeem zoals in een elektrische auto. Het is dus belangrijk om zo nauwkeurig mogelijk aan te geven wat bedoeld wordt, en alert te zijn op mogelijke foutieve interpretatie.

Het begrip *accu*, een verkorting van *accumulator*, is alom bekend: het stapelen van meerdere eenheden tot een systeem met hogere capaciteit (stroom en/of spanning) door parallel en/of serieel cellen te combineren in een groter elektrisch circuit. De term *accu* wordt met name gebruikt voor traditionele toepassingen in auto's (startmotor), boten, e.d., en in consumentenelektronica en gereedschap. *Accu's* zijn vaak uniek van vorm en capaciteit per producent.

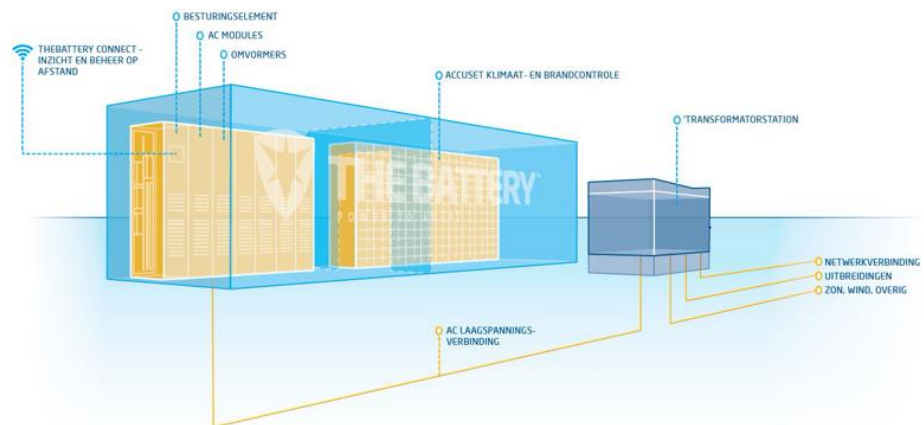
In de wereld van elektrisch vervoer wordt meestal gesproken over *batterijmodules*, *batterijpacks*, en *batterijsystemen*. Of een pack opgebouwd is uit modules of cellen hangt o.a. af van de grootte van de pack: voor auto's worden cellen gecombineerd tot modules, die worden samengevoegd in packs; het pack van fietsen is veel kleiner en is typisch opgebouwd uit cellen. Een battery pack bestaat uit alle batterijen met toebehoren zoals battery management system (BMS), thermisch management en junction box. Een batterijsysteem omvat (meestal) additionele functies zoals een inverter en vermogensdistributie. Pouch-cellen, de nieuwste standaard-vormfactor voor lithiumbatterijen, zijn in feite een stack van meerdere cellen in één behuizing, en lijken daarmee op accu's.

Een batterijsysteem vervult in het algemeen zelfstandig alle functies die verwacht worden van de energieopslag, zoals: opslag en afgifte van energie; mechanische betrouwbaarheid; in stand houden van de juiste temperatuur (thermisch management); management en controle van alle elementen ten behoeve van veiligheid en optimale utilisatie; passieve veiligheid (container); en data- en informatie-uitwisseling met een centrale controller, zoals bv. over resterende energie-inhoud (state of charge), de mate van veroudering (state of health), en de resterende gebruikstijd (state of function). Een forse battery pack in een personenauto kan bestaan uit 5,000 of meer cellen en is daarmee een complex systeem, temeer omdat cellen net niet identiek zijn (bv., qua capaciteit) en omdat dergelijke verschillen toenemen tijdens gebruik. Een voorbeeld wordt getoond in figuur 2.4.

Batterijsystemen ten behoeve van grootschalige opslag zijn eveneens modulair opgebouwd om schaalbaarheidsredenen. De benodigde functies in het systeem zijn dezelfde als in systemen voor elektrisch transport en worden logischerwijs anders geïmplementeerd. Figuur 2.5 toont een systeem van NL makelij.



Figuur 2.4. Voorbeeld van battery pack, zoals geleverd door AKASOL, en ingebouwd in VDL elektrische bussen in Keulen. De modulaire opbouw is herkenbaar, net als de behuizing, en externe elektrische interfaces. Deze pack heeft geïntegreerde vloeistofkoeling. Bron: AKASOL ⁷

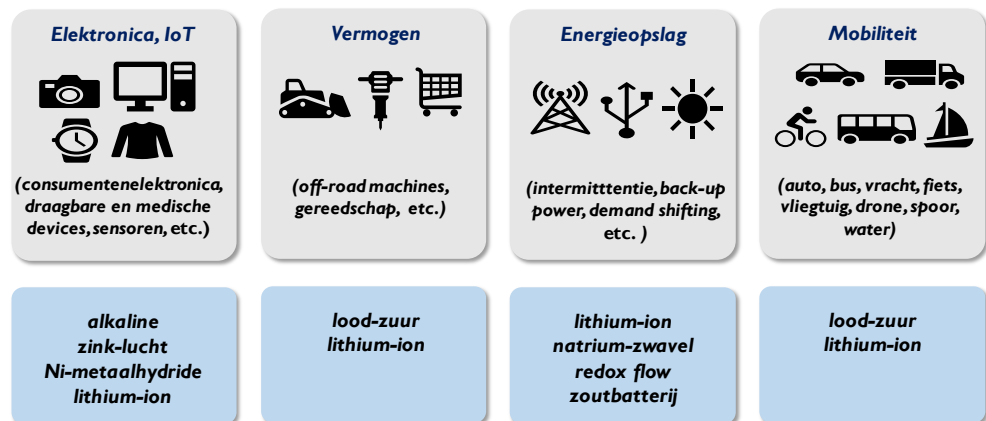


Figuur 2.5. Voorbeeld van energieopslag zoals ontwikkeld door ALFEN. Naast de battery packs ('accu's' in de figuur) heeft dit systeem klimaatbeheersing, voorzieningen voor brandveiligheid, transformator, besturingssysteem en netwerkverbinding. In zo'n systeem kunnen vele 10,000-en lithium-ion batterijcellen gebruikt worden. Bron: ALFEN. ⁸

2.4 Markt

De vele toepassingen van batterijen kunnen worden verdeeld in vier categorieën, zie figuur 2.6:

1. elektronica en IoT; deze markt, waaronder veel consumententoepassingen, groeit gestaag.
2. vermogenstoepassingen ('power en motive'); denk hierbij bv. aan machines en apparaten in de landbouw, in de bouw- en constructiewereld, en aan vorkheftrucks.
3. stationaire energieopslag. Alle toepassingen gaan om opslag van elektrische energie; deze categorie betreft stationaire opslag ten behoeve van energievoorziening, bv. in een zogenaamd 'smart grid'.
4. mobiliteit. Hieronder vallen batterijen voor elektrificatie van alle vervoersmodaliteiten, en tractiebatterijen (de loodaccu).



Figuur 2.6. Overzicht van de meestgebruikte indeling van toepassingen van batterijen in vier hoofdcategorieën (boven), en de huidige meestgebruikte batterijtypes per categorie.

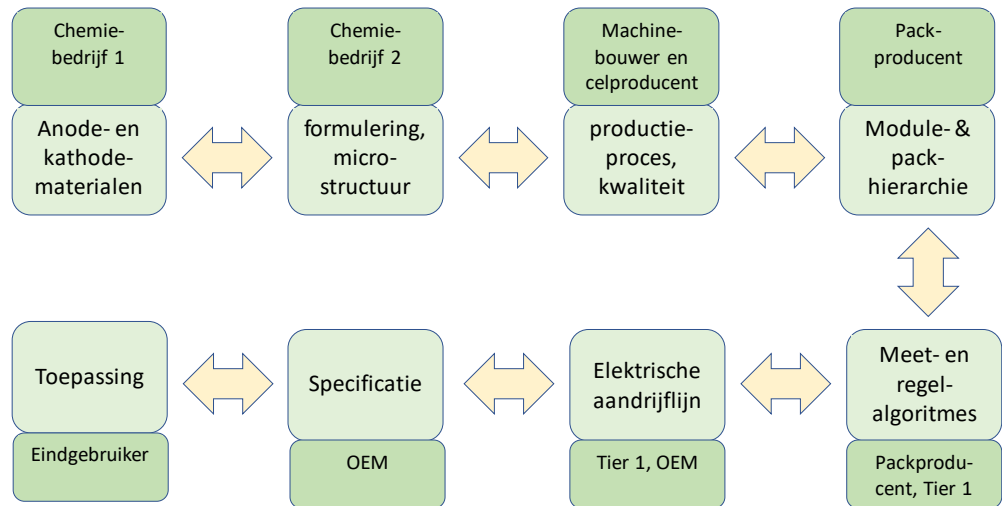
Lithium-ion gebruikt wordt in alle toepassingen: lithium-ion heeft hoge energiedichtheid en kosten per kWh zijn in vele toepassingen de laagste; de rol van nikkel-metaalhydride in elektronietoepassingen wordt daarom steeds kleiner; lood-zuur in tractiebatterijen is op dit moment dominant, en lithium-ion is daar in opkomst, o.a. door producten van het Nederlandse bedrijf Koolen Industries / SuperB.

Voor stationaire energieopslag is een groot scala aan batterijtypes beschikbaar. Naast lithium-ion zijn dat o.a. redox flow, gesmolten-metaal, en zoutbatterij (zie sectie 2.1). Deze types hebben lagere energiedichtheid en/of zijn lastig in kleine systemen toe te passen, en daarmee niet of minder geschikt voor de meeste mobiele toepassingen. De afwezigheid van CRM's en/of uitstekende schaalbaarheid naar zeer grote systemen kan deze types met name voor stationaire opslag geschikt maken

Mogelijke nieuwe types batterij hebben een combinatie van eigenschappen die, naast stationaire opslag, specifieke mobiliteitsapplicaties mogelijk zouden kunnen maken, zoals bv. lithium-zwavel voor transport door lucht vanwege de hoge energiedichtheid per kilo, of ijzer-nikkel in toepassingen waar dichtheid per kilo onbelangrijk is.

Vele afwegingen in de gehele waardeketen bepalen welke batterijtechnologie dominant wordt toegepast in welke toepassingen. Een voorbeeld van zo'n keten is te

vinden in figuur 2.7. Sommige bedrijven zijn op meerdere plekken actief in deze keten. Zo kan een bedrijf zowel een materiaal als een half-fabrikaat inclusief microstructuur leveren, zoals LeydenJar dat ontwikkelt op basis van silicium anodes. Een ander voorbeeld is VDL, dat via verschillende bedrijfsonderdelen actief is als Tier 1 en OEM.



Figuur 2.7. Overzicht van de mogelijke vertaling van vereiste specificaties in een mobiliteitstoepassing naar keuzes tot op het niveau van de anode- en kathodematerialen in een lithium-ion batterij; grijze velden: toegevoegd element; groene velden: uitvoerende partij.

De intrinsieke eigenschappen van bepaalde anode- en kathodematerialen in lithium-ion batterijen hebben geresulteerd in een duidelijke afbakening van voorkeurstoepassingen, zie figuur 2.8. Innovaties in materialen, productieproces, sensoriek, algoritmes, design-for-safety etc. leiden tot een continue dynamiek in de relatieve marktpenetratie van de verschillende materialen.

	Energy	Power	Safety	Life	Cost	
LCO lithium cobalt LiCoO_2	+++	+++	+	++	+	
NCA lithium nickel aluminum cobalt $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$	+++	++	-	++	-	
LMO lithium manganese LiMn_2O_4	-	+++	++	-	++	
NMC lithium nickel manganese cobalt $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$	++	++	++	+++	+++	
LFP lithium iron phosphate LiFePO_4	+	+++	+++	++	++	

Figuur 2.8. Relatieve sterktes en zwaktes van verschillende kathodematerialen in lithium-ion batterijen leiden tot dominante toepassing in één of meer marktsegmenten, rechts aangegeven met iconen. Bron: Umicore⁹

3 Analyse economische sterktes

3.1 Analyse relevante bedrijfsactiviteiten

Om de economische positie van Nederland en industriële kracht met betrekking tot de productie van batterijen te analyseren, maken we een vertaalslag van de batterij-waardeketen naar bedrijfsactiviteiten volgens de Standaard Bedrijfsindeling (SBI) waarover economische cijfers door het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) en Eurostat worden gepubliceerd.

Hiertoe hebben we allereerst een selectie gemaakt van bedrijfsactiviteiten op het meest gedetailleerde niveau uit de SBI-indeling (het 4/5 digit niveau), die (potentieel) een bijdrage kunnen leveren op onderdelen van de batterijen waardeketen, zoals gedefinieerd in een eerder onderzoek naar de waardeketen (zie Bijlage 1). Deze selectie bevat in totaal 82 specifieke bedrijfsactiviteiten die direct of indirect (inclusief activiteiten op grotere afstand) een rol (kunnen) spelen in de batterij waardeketen (zie Bijlage 2). Op dit detailniveau kan geen kwantitatieve vergelijking met andere EU-lidstaten gemaakt worden. Om de economische omvang en positie van Nederlandse sectoren in Europees perspectief te plaatsen maken we gebruik van hoofdsectoren op SBI-2-digit niveau. De 82 geïdentificeerde bedrijfsactiviteiten (op SBI4/5-digit niveau) met relevantie voor batterijen vallen binnen 21 hoofdsectoren (op SBI 2-digit niveau) in de Nederlandse economie:

Tabel 3.1. Overzicht van de hoofdsectoren waarbinnen de voor de waardeketen rond batterij-productie relevante bedrijfsactiviteiten zich bevinden.

No.	SBI_2dig	SBI2008_naam
1	08	Winning van delfstoffen (geen olie en gas)
2	20	Vervaardiging van chemische producten
3	23	Vervaardiging van overige niet-metaalhoudende minerale producten
4	24	Vervaardiging van metalen in primaire vorm
5	25	Vervaardiging van producten van metaal (geen machines en apparaten)
6	26	Vervaardiging van computers en van elektronische en optische apparatuur
7	27	Vervaardiging van elektrische apparatuur
8	28	Vervaardiging van overige machines en apparaten
9	29	Vervaardiging van auto's, aanhangwagens en opleggers
10	30	Vervaardiging van overige transportmiddelen
11	38	Afvalinzameling en -behandeling; voorbereiding tot recycling
12	39	Sanering en overig afvalbeheer
13	33	Reparatie en installatie van machines en apparaten
14	35	Productie en distributie van en handel in elektriciteit, aardgas, stoom en gekoelde lucht
15	45	Handel in en reparatie van auto's, motorfietsen en aanhangers
16	62	Dienstverlenende activiteiten op het gebied van informatietechnologie
17	71	Architecten, ingenieurs en technisch ontwerp en advies; keuring en controle
18	72	Speur- en ontwikkelingswerk
19	74	Industrieel ontwerp en vormgeving, fotografie, vertaling en overige consultancy

20	85	Onderwijs
21	95	Reparatie van computers en consumentenartikelen

Tabellen 3.2 en 3.3 geven de totale omvang (aantal werkzame personen) en werkgelegenheidsgroei van deze twee clusterings van bedrijfsactiviteiten (hoofdsectoren versus de som van 82 specifieke bedrijfsactiviteiten) weer, in relatie tot de totale Nederlandse economie.

Tabel 3.2 Omvang van relevante bedrijfstakken m.b.t. de batterij waardeketen. Bron: LISA (2018), bewerking TNO.

	Omvang in 2018 (aantal x 1.000)			
	Werkzame personen		Vestigingen van bedrijven	
	Aantal (x 1000)	Aandeel in NL (%)	Aantal (x 1000)	Aandeel in NL (%)
Totaal Nederlandse economie	8.652	100	1.630	100
21 hoofdsectoren m.b.t. Batterijen	1.766	20,4	339	20,8
82 specifieke bedrijfsactiviteiten m.b.t. batterijen, binnen de 17 hoofdsectoren	731	8,4	97	6,0
<i>Waarvan 'direct' (35 activiteiten)</i>	151	1,7	12	0,8
<i>Waarvan 'indirect' (47 activiteiten)</i>	580	6,7	85	5,2

Tabel 3.3 Groei van relevante bedrijfstakken m.b.t. de batterij waardeketen. Bron: LISA (2018), bewerking TNO

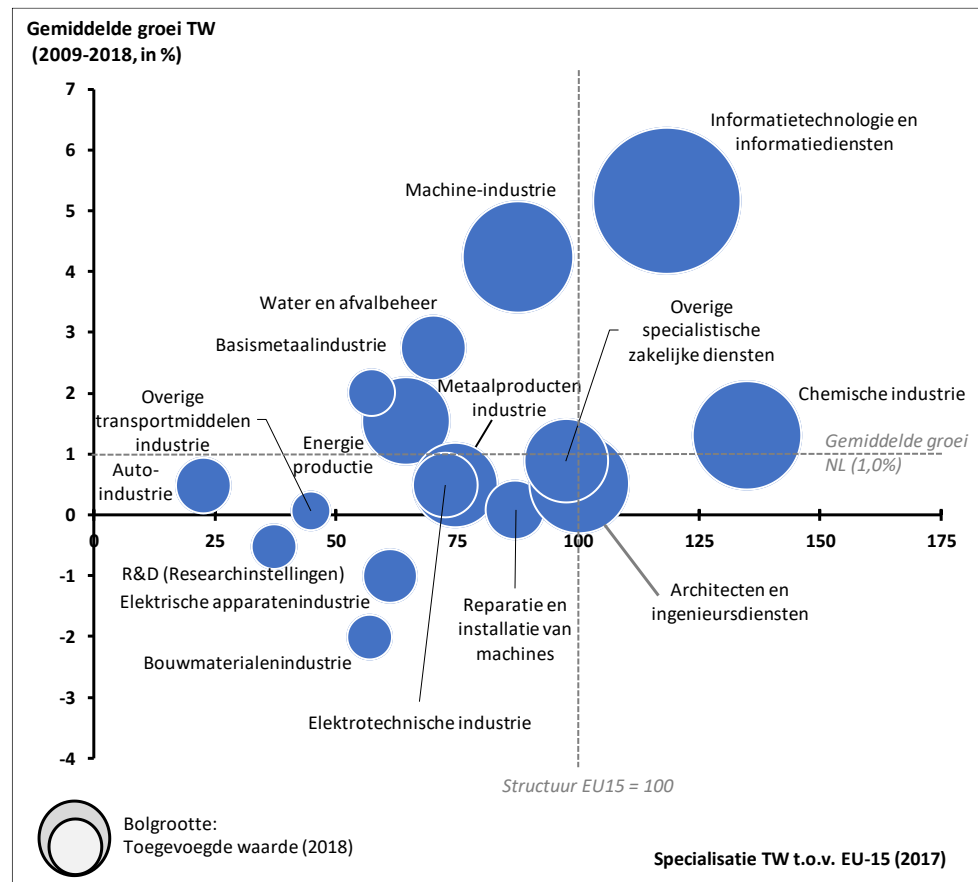
	Gemiddelde jaarlijkse groei, periode 1997-2018			
	Werkzame personen		Vestigingen van bedrijven	
	1997-2008 (%)	2009-2018 (%)	1997-2008 (%)	2009-2018 (%)
Totaal Nederlandse economie	2,0	0,5	3,1	3,7
21 hoofdsectoren m.b.t. Batterijen	1,8	1,0	4,8	5,8
82 specifieke bedrijfsactiviteiten m.b.t. batterijen, binnen de 21 hoofdsectoren	1,7	0,7	6,7	2,7

Naar analogie van de Portfolio-analyse ⁴ is in figuren 3.1 en 3.2 de economische sterkte en dynamiek van de hoofdsectoren in de Nederlandse economie weergegeven aan de hand van de volgende indicatoren:

- Gemiddelde jaarlijkse groei toegevoegde waarde, 2009-2018 (figuur 3.1)
- Specialisatie t.o.v. de EU15, 2017 (figuur 3.1)
- Omvang toegevoegde waarde per sector, 2018 (figuur 3.1)
- Groeiverschil NL t.o.v. EU15, 2009-2017 (figuur 3.2)
- Groei arbeidsproductiviteit per sector, 2009-2017 (figuur 3.2)
- R&D-uitgaven per sector, 2016 (figuur 3.2)

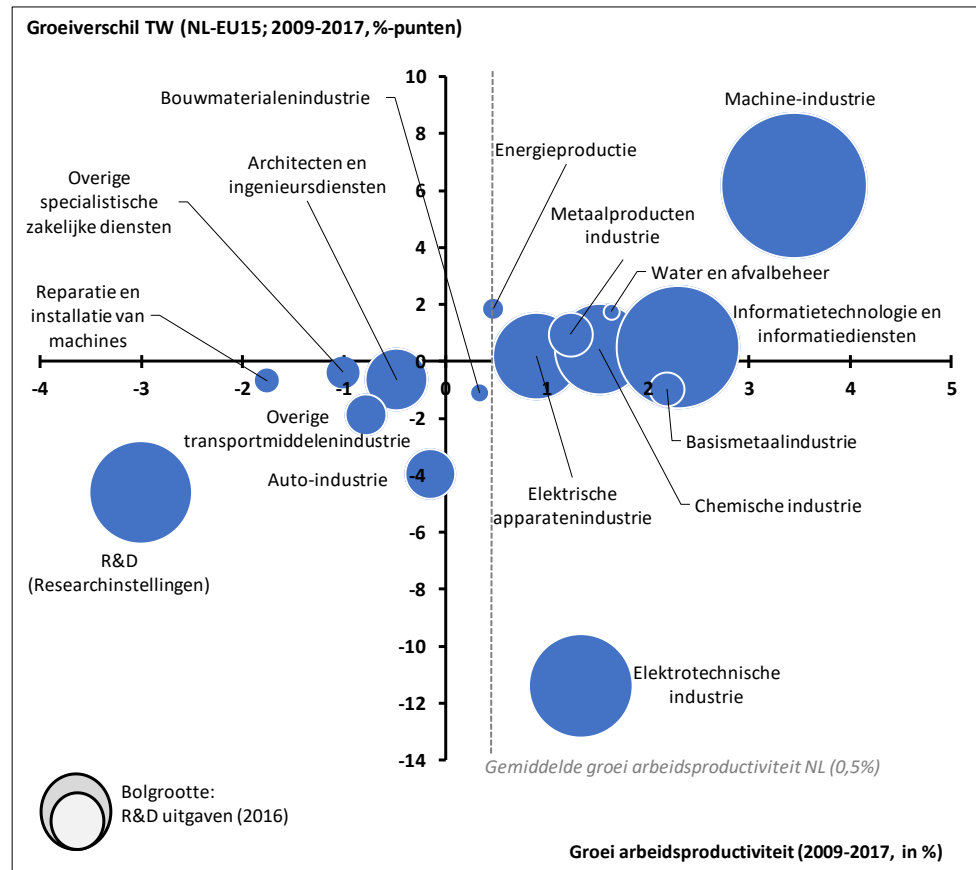
Analyse op deze macro-economische indicatoren wordt vanwege databeschikbaarheid uitgevoerd op het niveau van hoofdsectoren (op SBI-2 digit

niveau). Enkele hoofdsectoren zijn daarbij samengevoegd, zodat een vergelijking met EU15-lidstaten mogelijk werd.



Figuur 3.1 Sterkte van relevante bedrijfstakken (hoofdsectoren) m.b.t. batterijen. *Specialisatie t.o.v. EU15, 2017 (horizontale as); gemiddelde jaarlijkse groei toegevoegde waarde, 2009-2018 (verticale as); Omvang toegevoegde waarde, 2018 (grootte van bol).* Bron: Eurostat/CBS (bewerking TNO)

In figuur 3.1 is Delfstoffenwinning niet opgenomen. Deze bol zou rechtsonder in de figuur buiten beeld vallen, met een specialisatiescore van 263 en gemiddelde jaarlijkse toegevoegde waarde groei van -6,8 procent. Tevens is de sector Onderwijs niet opgenomen (deze zou op basis van de omvang van toegevoegde waarde een grotere bol zijn dan 'Informatietechnologie en informatiediensten'). De 16 in figuur 3.1 opgenomen sectoren hebben tezamen een aandeel van 15,1 procent in de totale toegevoegde waarde (bbp) van Nederland.

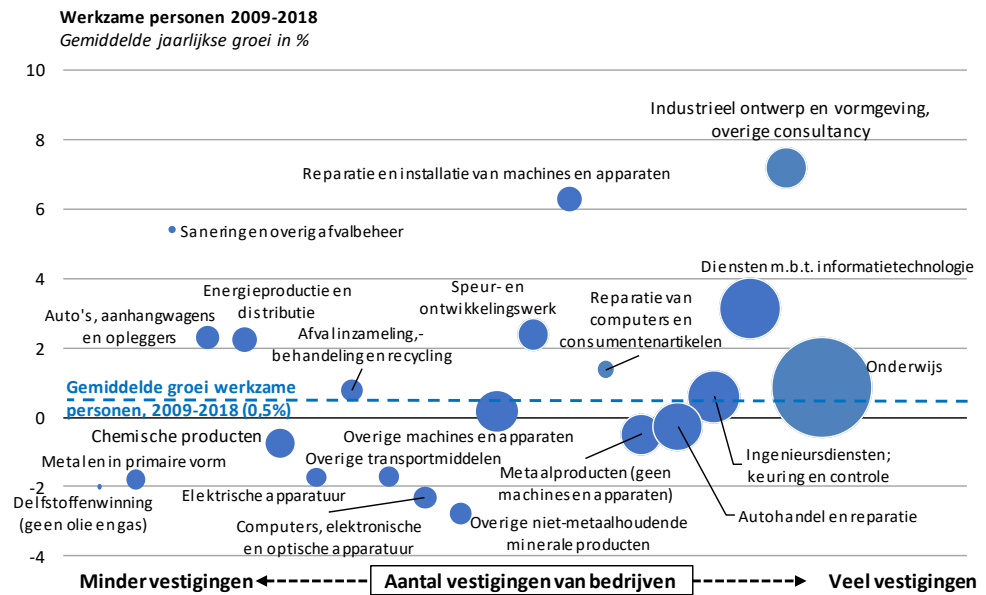


Figuur 3.2 Dynamiek van relevante bedrijfstakken (hoofdsectoren) m.b.t. batterijen. *Groei arbeidsproductiviteit, 2009-2017 (horizontale as); Groeiverschil toegevoegde waarde NL t.o.v. EU15, 2009-2017 (verticale as); Omvang R&D-uitgaven, 2016 (grootte van bol).* Bron: Eurostat/CBS (bewerking TNO)

In figuur 3.2 zijn dezelfde 16 sectoren opgenomen als in figuur 3.1. De weergegeven sectoren hebben tezamen een aandeel van 67,8 procent in de totale eigen R&D-uitgaven van bedrijven in Nederland. De economische groei van de Elektrotechnische industrie in Nederland bedroeg in de periode 2009-2017 gemiddeld 0,5 procent per jaar. Deze was daarmee veel lager dan gemiddeld in EU15-lidstaten.

Op basis van werkgelegenheidsdata van het Landelijk Arbeidsplaatsenregister van Stichting LISA kan in meer detail naar de ontwikkeling van sub-sectoren en specifieke bedrijfsactiviteiten gekeken worden. In deze database zijn gedetailleerde gegevens over het aantal vestigingen van bedrijven en aantal werkzame personen op deze locaties beschikbaar. Hiermee kan een diepere analyse worden uitgevoerd naar type bedrijfsactiviteit (tot op het niveau van SBI 5-digts). Op basis van LISA-data is in figuur 3.3 allereerst de groei en omvang van werkgelegenheid in ieder van de 21 voor batterijen relevante hoofdsectoren weergegeven. Dit zijn alle¹ 21 sectoren (op SBI-2-digit niveau) waarbinnen zich de 82 specifieke bedrijfsactiviteiten bevinden die (potentieel) een rol spelen in de batterijen waardeketen.

¹ In figuur 3.1 en 3.2 konden deze niet allen opgenomen worden, omdat ten behoeve van de Europese vergelijking sommige bedrijfsactiviteiten samengevoegd zijn.

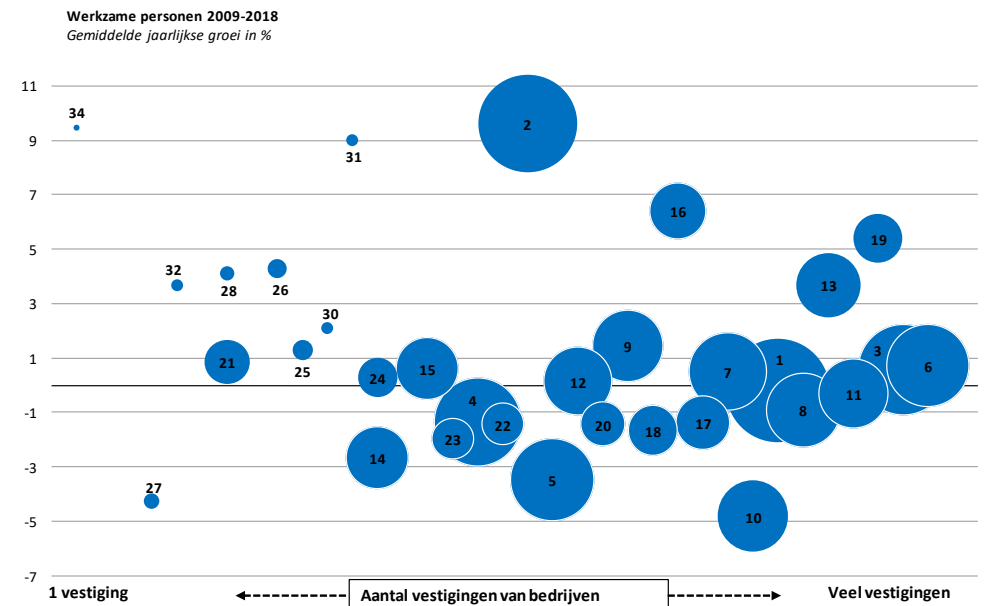


Figuur 3.3 Omvang en groei sectoren (SBI2) met een (potentiële) rol in de batterij waardeketen. *Aantal vestigingen van bedrijven, 2018 (horizontale as); gemiddelde werkgelegenheidsgroei, 2009-2018 (verticale as); aantal werkzame personen, 2018 (grootte van bol).* Bron: LISA (2018), bewerking TNO

Binnen de 82 bedrijfsactiviteiten die relevant zijn voor de productie van batterijen, hebben we 35 bedrijfsactiviteiten geïdentificeerd die een (potentiële) directe link met de batterij-waardeketen hebben. In 2018 waren in deze 35 bedrijfsactiviteiten ongeveer 15.500 werkzame personen actief (1,7 procent van de totale werkgelegenheid in Nederland) in ongeveer 12.640 vestigingen van bedrijven (0,8 procent van het totaal aantal vestigingen in Nederland) [zie tabel 3.2].

In figuur 3.4 is de groei en omvang van de 35 specifieke bedrijfsactiviteiten met een (potentiële) directe rol in de batterij-waardeketen weergegeven. Hierin zijn de verschillende onderdelen van de Energiesector meegeteld (als onderdeel van de schakel 'Use, Operation/Application (service)' in de waardeketen).

Verkenning Batterijen 2: Positie NL in de waardeketen



Legenda: 35 bedrijfsactiviteiten in Nederland met een (potentiële) directe rol in de batterijen waardeketen (gesorteerd groot-klein)	
1 Inzameling onschadelijk afval	17 Motoren, turbines (niet voor vliegtuigen)
2 Transportnetten voor elektriciteit	18 Elektromotoren, elektrische generatoren
3 Oppervlaktebehandeling en bekleding van metaal	19 Sanering en overig afvalbeheer
4 Vervaardiging van ijzer en staal en ferrolegeringen	20 Schakel- en verdeelinrichtingen
5 Distributie van elektriciteit	21 Verpakkingsmiddelen van licht metaal
6 Industrieel en productontwerp	22 Ov. niet-metaalhoudende minerale producten
7 Behandeling van onschadelijk afval	23 Aluminiumproductie
8 Smeden, persen, stampen en profielwalsen van metaal; poedermetallurgie	24 Overige elektrische en elektronische kabel
9 Niet-elektrische, -elektronische onderdelen	25 Overige delfstoffenwinning (rest)
10 Elektronische componenten	26 Elektrische en elektronische onderdelen
11 Overige metaalproducten (rest)	27 Overige non-ferrometalen
12 Overige chemische producten (rest)	28 Behandeling van schadelijk afval
13 Gesorteerd materiaal voorbereiden tot recycling	30 Batterijen en accumulatoren
14 Overige anorganische basischemicaliën	31 Elektronische printplaten
15 Overige organische basischemicaliën	32 Isolatoren en keramisch isolatiemateriaal
16 Handel in elektriciteit en gas	34 Overig technisch aardewerk

Figuur 3.4 Omvang en groei van bedrijfsactiviteiten* met een (potentiële) directe rol in de batterij waardeketen. Aantal vestigingen van bedrijven, 2018 (horizontale as); gemiddelde werkgelegenheidsgroei, 2009-2018 (verticale as); aantal werkzame personen, 2018 (grootte van bol). * De volgende drie bedrijfsactiviteiten zijn vanwege hun beperkte omvang of groeidynamiek (positie ver buiten beeld) niet opgenomen: [29] 'Sloop van schepen, witgoed, computers e.d.'; [33] 'Inzameling van schadelijk afval'; en [35] 'vervaardiging van Schakelaars, stekkers, stopcontacten e.d.' Bron: LISA (2018), bewerking TNO

In 2018 waren er in Nederland 196 personen werkzaam in 29 bedrijfsvestigingen die zich bezig houden met de *productie van batterijen en accumulatoren* (onderdeel van de hoofdsector 'vervaardiging van elektrische apparatuur'). De LISA-gegevens zijn niet te herleiden tot individuele bedrijven. Vermoedelijk gaat het hier om bedrijven als Centurion B.V., producent en leverancier van start- en semi-tractieaccu's, en diverse andere producenten en leveranciers van (traditionele, kleinere) accu's en accusystemen, en zijn diverse andere spelers die in-huis batterijsystemen produceren (zoals bijvoorbeeld Terberg-Benschop, Alfen, VDL Groep) geen onderdeel van deze categorie in de beschikbare data.

Op basis van bovenstaande gegevens vanuit een macro-economisch perspectief (afgaande op massa en dynamiek), lijkt de Nederlandse industriële kracht met betrekking tot de batterij-waardeketen eerst en vooral te (kunnen) liggen binnen de volgende sectoren:

- Machine-industrie
- Chemische industrie
- Informatietechnologie en informatiediensten (waaronder softwareontwikkeling valt)
- Elektrische apparatenindustrie
- Metaal(producten)industrie en Ingenieursdiensten (waaronder keuring en controle)

3.2 Marktdynamiek

De analyse in 3.1. is gebaseerd op historische gegevens. De huidige en toekomstige economische bedrijvigheid gerelateerd aan de batterijwaardeketen is lastig te voorspellen op basis van historische intensiteit van de activiteiten omdat de batterij-industrie en daarmee gepaard gaande elektrificatie momenteel een zeer sterke ontwikkeling doormaakt die leidt tot een hoge mate van dynamiek. Het is daarom interessant om daarnaast met een meer toekomstgerichte blik te kijken. Vanuit perspectief van kennis- en innovatieagenda wordt dat gedaan in hoofdstuk 4.

Het aantal aankondigingen van grote en kleinere investeringen door bedrijven en overheden is een afspiegeling van de snelle ontwikkelingen. Hieronder worden een aantal voorbeelden genoemd van recente aankondigingen en nieuwsberichten die niet noodzakelijkerwijs hun weg al gevonden hebben in de data die geanalyseerd zijn in paragraaf 3.1. Merk op dat deze opsomming niet volledig is, en dat het niet de bedoeling van de auteurs is om specifieke bedrijven meer voor het voetlicht te brengen dan andere. De genoemde voorbeelden zijn representatief voor de ontwikkelingen.

- VDL Groep en DAF Trucks hebben in 2018 een volledig elektrische truck gepresenteerd en zijn begonnen elektrische vrachtwagens aan klanten uit te leveren.
- Koolen Industries heeft in 2019 Super-B overgenomen, dat actief is in Li-ion batterijen voor automotive toepassingen, en diverse investeringen gedaan in andere bedrijven die actief zijn in duurzame energie.
- Elestor is een 'scale-up' die zich richt op energieopslag in zogenaamde redox-flowbatterijen op basis van waterstofbromide (HBr). Elestor doet sinds eind 2016 veldtests en heeft een handvol grotere systemen geïnstalleerd en/of in productie.
- SNT (Spiers New Technologies), een leider op gebied van reparatie, renovatie en upgrading van batterijen voor elektrische voertuigen, heeft haar Europese vestiging in Ede geopend in 2018.
- Durapower, een batterijfabrikant uit Singapore, heeft een vestiging geopend op de Helmondse Automotive Campus in 2018.
- Leyden-Jar en RGS Development, beiden spin-offs van ECN, werken sinds respectievelijk 2016 en 2014 aan de ontwikkeling van Si anodes ten behoeve van Li-ionbatterijen.
- LithiumWerks produceert en verkoopt batterijcellen, -modules, -systemen en software voor verschillende markten, en is sinds 2018 gevestigd in Nederland.
- Lightyear, een start-up vanuit de Technische Universiteit Eindhoven, heeft in de zomer van 2019 haar eerste batterij-aangedreven auto met geïntegreerde zonnecellen gepresenteerd.

- Ebusco is een pionier op het gebied van elektrisch busvervoer sinds 2010 en ontving als eerste Europese fabrikant een Europese typegoedkeuring voor elektrische bussen.
- VDL Bus & Coach heeft in 2018 onder meer de grootste Europese busvloot geleverd Schiphol Airport en omliggende lijnen.
- Alfen is onder meer een leverancier van energieopslagsystemen op basis van batterijen, leverde in 2013 haar eerste (test-)project af voor energieopslag en plaatst vanaf 2019 Nederland's grootste batterijopslag bij een windmolenpark.
- Cleantron is sinds enkele jaren een producent van batterijsystemen op basis van Li-ionchemie, die zich o.a. richt op slimmer batterijcel-management, geautomatiseerde productie, en hergebruik van cellen.
- EST-Floattech heeft in 2019 haar eerste hybride-aangedreven binnenvaartschip in gebruik genomen met Li-ion batterijtechnologie.
- ARN werkt sinds enkele jaren aan recycling van batterijen uit de elektrische automobiemarkt.

3.3 Sterkte-zwakte analyse en kansen

Evaluatie van de dynamiek binnen Nederlandse bedrijven zoals opgesomd in paragraaf 3.2. laat zien dat die recente ontwikkelingen grotendeels vallen binnen dezelfde sectoren die vanuit macro-economisch perspectief als krachtig en/of kansrijk bestempeld zijn in paragraaf 3.1. De extra ontwikkelingen liggen in vervaardiging van auto's en overige transportmiddelen (SBI-2dig 29 en 30), in hergebruik/recycling (SBI-2dig 38 en 39), en in productie/distributie/handel in elektriciteit (SBI-2dig 35), waaronder energieopslag valt. Samenvattend kan dus gesteld worden dat de industriële kracht en kansen in de waardeketen op meerdere niveaus aanwezig zijn.

Er geldt steeds dat die kracht in een gedeelte van de toepassingsgebieden zit, en niet in alle toepassingsgebieden of markten in de waardeketen. Dit is niet onlogisch aangezien er feitelijk meerdere waardeketens onderscheiden kunnen worden. Op hoogste niveau is er één voor opslag, voor transport/mobiliteit, voor elektronica, *etc.* vanwege de grote verschillen in o.a. kwaliteitseisen, volume, marktdynamiek, en logistiek, en de daarmee gepaard gaande verschillen in voorkeurst technologie. De markten voor transport/mobiliteit en opslag zijn veruit de grootste (in de toekomst) en deze verkenning richt zich volledig daarop.

Ook binnen de twee genoemde grootste toepassingsdomeinen kunnen en moeten meerdere waardeketens onderscheiden worden. In transport wordt er onderscheid gemaakt tussen lichte wegvoertuigen voor personenvervoer, zwaar wegtransport, en transport per spoor, over water en door de lucht. Gedeeltelijk, en met name lager in de waardeketen, wordt hier gebruik gemaakt van dezelfde technologie (bijvoorbeeld, hetzelfde anode- en/of kathodemateriaal) en overlappen de ketens; met name op systeemniveau is er een afzonderlijke waardeketen, bijvoorbeeld omdat zwaar vervoer andere eisen aan vermogen en volume stelt dan licht vervoer.

Om de kansen voor Nederland verder te concretiseren is het dus belangrijk om verder in te zoomen op elk segment in de waardeketen. Eén voorbeeld is materialen voor batterijen: Nederland heeft geen positie in materialen voor huidige Li-ion batterijen; diverse spelers werken aan nieuwe materialen voor toekomstige generaties. Een ander voorbeeld is transport- en vervoersmiddelen: Nederland heeft geen of nauwelijks eigen ontwikkeling van auto's voor personenvervoer (Lightyear), en heeft

een sterke positie in ontwikkeling, productie en verkoop van zwaar vervoer (trucks, bussen, scheepvaart, off-road voertuigen ('yellow machines')). Het is verder duidelijk dat Nederland geen sterke uitgangspositie heeft op het gebied van mijnbouw of delfstoffen, (ruwe) grondstoffen, en productie van batterijcellen.

In figuur 3.5 wordt een grafisch overzicht gegeven van de waardeketen en de genoemde specifieke kansen voor Nederland op verschillende posities in de waardeketen.

Toegevoegde waarde	Kansen voor NL
Hergebruik en recycling	Logistiek, selectie en verwerking
Gebruik, operatie, diensten	Zwaar transport, vervoer over water, energieopslag, nieuwe concepten en businessmodellen, IT, laadinfrastructuur
Systeemintegratie	Ontwerp, hardware, software, productie, integratie
Productie van batterijsystemen	Ontwerp, hardware, software, productie, integratie
Productie van componenten in batterijsystemen	Elektrische, mechanische, thermische, elektronische materialen en componenten; algoritmes
Productie van batterijcellen	
Productie van batterij-cel-componenten	Materialen, productieproces en -machines voor nieuwe types batterijcellen
Mijnbouwen ruwe grondstoffen	
Machines en apparatuur	Productie en test van cellen, systemen; voor integratie en hergebruik/recycling

Figuur 3.5. Vereenvoudigd overzicht van de generieke waardeketen (links, zie Bijlage 1). Voor de niveaus waarop Nederland een relatieve sterkte bezit in één of meer marktsegmenten worden rechts (witte velden) voorbeelden genoemd van kansrijke thema's binnen de relevante segmenten. De kleuren dienen ter illustratie van de afbakening tussen toeleveranciers van middelen (rood), aspecten van de batterijproductie (blauw), en markten ná ingebruikname van een batterijsysteem (groen).

Het is belangrijk om te realiseren dat er een belangrijk verschil is tussen transport/mobiliteit en (stationaire) opslag qua toepassing van batterijen. Elektrificatie van wegtransport is al enige tijd bezig en betreft, eenvoudig gesteld, het vervangen van een aandrijftrein door een andere in een bestaand vervoermiddel in een bestaande markt. Stationaire opslag, daarentegen, is onderdeel van een zeer recente ontwikkeling, namelijk digitalisering en flexibilisering van het elektriciteitsnetwerk, en is tot voor kort in zeer beperkte mate nodig geweest in het sub-domein waar batterijen een rol kunnen spelen. Dit biedt interessante ruimte voor nieuwe spelers.

Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 (figuur 2.2) zijn er diverse batterijtechnologieën van het 'bulk'-type geschikt voor stationaire opslag. Dit type is niet opgebouwd uit cellen, en heeft daarmee een heel andere waardeketen en productieketen dan het cel-type, dat gedomineerd wordt door producenten uit Azië. Dit 'bulk'-type biedt daarmee kansen voor de Nederlandse maakindustrie.

4 Analyse sterktes onderzoek en technologieontwikkeling

4.1 Wetenschap

Op basis van een uitgebreide scan van beschikbare bronnen is een voorlopige keuze van kennisvelden gemaakt. Daarbij is gebruik gemaakt van een indeling naar wetenschaps-/onderzoekdisciplines die internationaal gangbaar is en daarmee internationale vergelijking toelaat. De belangrijke wetenschaps- en onderzoekvelden met betrekking tot batterijen zijn de volgende:

<u>Engineering & Technology</u>	<u>Natural Sciences</u>
Chemical engineering	Physics & Astronomy
Computer Science	Environmental Sciences
Electrical Engineering	Chemistry
Mechanical, Aeronautical & Manufacturing Engineering	Materials Sciences
Mineral & Mining Engineering	

Gebruikmakend van *CWTS Leiden Ranking*, geeft Tabel 4.1 de wereldwijde ranking van Nederlandse universiteiten op deze wetenschaps- en onderzoeksvelden aan. Deze rankings zijn gebaseerd op bibliografische data afkomstig van de *Web of Science* database en maken het mogelijk om de internationale positie van een universiteit op een bepaald vakgebied aan te geven. Hoe hoger een universiteit op deze ranglijsten staat (bv. top 100 of top 200), hoe toonaangevender de status van de universiteit is. In Tabel 4.1 zijn daarom universiteitsposities binnen de top-200 gearceerd.

Tabel 4.1 Ranking Nederlandse universiteiten per wetenschap- en onderzoeksveld. Bron: CWTS Leiden Ranking 2019.

Engineering & Technology	Plaats ranglijst	Natural sciences	Plaats ranglijst
Chemical engineering	50-100 (2x); 101-150 (4x); 186; 217	Physics & Astronomy	64; 101-150 (5x); 151-200 (1x) 201-250 (2x)
Computer science and Information systems	50-100 (2x); 101-150 (5x); 186; 201-250 (3x); 412	Environmental Sciences	50-100 (2x); 101-150 (3x); 151-200 (1x); 201 (2x)
Electrical Engineering	50; 102; 186	Chemistry	50; 101-150 (3x); 151-200 (1x); 201-250 (3x)
Manufacturing & Production Engineering	50; 120; 186	Materials Sciences	50; 101-150 (2x); 151-200 (1x); 201-250 (2x)
Mineral & Mining Engineering	50		

Om de wetenschappelijke impact van Nederlandse wetenschaps- en onderzoeksactiviteiten te bepalen, moet vervolgens gekeken worden naar één van de 5 erkende onderzoeksvelden (Biomedical and health sciences; life and earth sciences; mathematics and computer science; physical sciences and engineering;

social sciences and humanities). Daarom is gekeken naar het onderzoeksveld van batterij-onderzoek. Deze analyse wordt weergegeven in Tabel 4.2, waarin wordt aangegeven waar, vanuit internationaal oogpunt, de onderzoekswaarte ligt (gemeten in output). Tabel 4.2 geeft aan dat het van belang is om te kijken naar de wetenschappelijke impact van Nederlandse kennisinstellingen binnen *Physical Sciences & Engineering*.

Tabel 4.2 Wetenschappelijke output (>500) per micro-level kennis- en onderzoeksvelden (2000-2018)
Batterijen

Microlevel veld code	Internationale output (2000-2018)	Wetenschappelijk veld CWTS	Onderwerpen
312	12737	Physical sciences & engineering	Silicon, silicon nanoparticle, graphite anode, lithium-ion battery electrolyte
585	10263	Physical sciences & engineering	Electrochemical property, microstructure, hydrogen storage alloy, Ni-MH battery
1170	7063	Physical sciences & engineering	Solid electrolyte, solid state lithium battery
1250	6770	Physical sciences & engineering	Sodium ion battery, rechargeable magnesium battery
1426	6176	Physical sciences & engineering	Zn air battery
1502	5894	Physical sciences & engineering	Lead acid battery
2273	3808	Physical sciences & engineering; Life and earth sciences	Lithium sulfur battery, sulfur cathode, li s batteries
2427	3444	Physical sciences & engineering	High performance lithium ion battery, lubricant additive, tribological property
2842	2645	Physical sciences & engineering	Lithium ion battery, waste management, steel slag, copper slag
2874	2585	Physical sciences & engineering	Ni MH battery, NiO thin film, nickel hydroxide electrode
2951	2432	Physical sciences & engineering	Lithium oxygen battery, li air battery, rechargeable li ion
3196	2027	Physical sciences & engineering	Vanadium redox flow battery
3545	1462	Physical sciences & engineering	Thermal battery, fes2, pyrite, nickel sulfide
3637	1324	Physical sciences & engineering	Liquid metal battery
4072	699	Physical sciences & engineering	Zinc air battery, zinc anode
4115	652	Physical sciences & engineering	Iron battery, ferrate

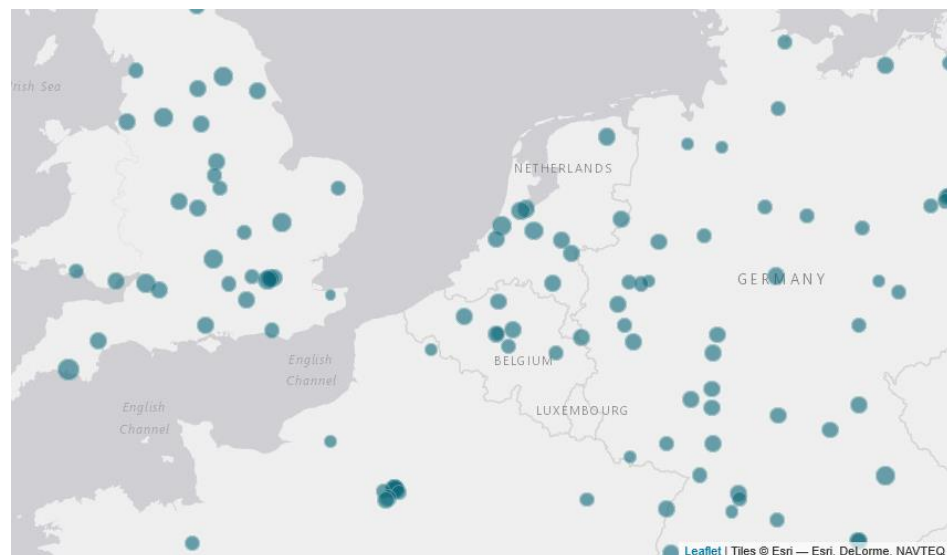
Om de wetenschappelijke impact van Nederlandse wetenschaps- en onderzoeksactiviteiten van Nederlandse kennisinstellingen binnen *Physical Sciences & Engineering* te bepalen, wordt gekeken naar twee maatstaven. Ten eerste is gekeken naar wetenschappelijke impact. Tabel 4.3 geeft inzicht in de

wetenschappelijke impact (2014-2017) door de indicatoren P – het totaal aantal publicaties per universiteit -, $P(\text{top } 10\%)$ – het aantal universitaire publicaties die vergeleken met andere publicaties in hetzelfde veld en in hetzelfde jaar behoren tot de top 10%- en $PP(\text{top } 10\%)$ - het procentueel aandeel van universitaire publicaties die vergeleken met andere publicaties in hetzelfde veld en in hetzelfde jaar behoren tot de top 10%. Uit Tabel 4.3 is op te maken dat alle universiteiten in Nederland in staat zijn om toonaangevend onderzoek te doen binnen het vakgebied *Physical Sciences & Engineering* (12.8-16.9%).

Tabel 4.3. Wetenschappelijke impact Nederlandse kennisinstellingen. Bron: CWTS Leiden Ranking.

Universiteit	P	P(top 10%)	PP(top 10%)
Technische Universiteit Delft	2738	398	14.6%
Technische Universiteit Eindhoven	1885	281	14.9%
Universiteit Twente	1298	166	12.8%
Rijksuniversiteit Groningen	1242	195	15.7%
Universiteit Leiden	1040	175	16.9%
Universiteit Utrecht	972	157	16.2%
Universiteit Amsterdam	823	128	15.5%
Radboud Universiteit	750	112	14.9%
Universiteit Wageningen	496	68	13.6%
Vrije Universiteit Amsterdam	398	63	15.9%

Figuur 4.1 geeft vervolgens de Nederlandse kennissterktes binnen *Physical sciences & engineering* (2014-2017) weer ten opzichte van internationale kennissterktes. Daarbij is ingezoomd op de wetenschappelijke impact door te kijken naar het procentueel aandeel van Nederlandse universitaire publicaties die vergeleken met andere publicaties in hetzelfde veld en in hetzelfde jaar behoren tot de top 10% ($PP(\text{top } 10\%)$).



Figuur 4.1 Nederlandse kennissterktes in internationaal (regionaal) perspectief. Omvang van de cirkels geeft de relatieve sterkte weer. Bron: CWTS Leiden Ranking 2019

Ten tweede is gekeken naar wetenschappelijke impact gecreëerd door middel van collaboraties met industriële organisaties. Tabel 4.4 geeft inzicht in de wetenschappelijke impact door collaboratie (2014-2017) aan de hand van de volgende indicatoren: P – het totaal aantal publicaties per universiteit, $P(\text{industrie})$ – het aantal van universitaire publicaties die samen met één of meer industriële organisaties (i.e. alle particuliere sectoren voor winstgevende ondernemingen) zijn geschreven, en $PP(\text{industrie})$ – het aandeel van universitaire publicaties die samen met één of meer industriële organisaties (i.e. alle particuliere sectoren voor winstgevende ondernemingen) zijn geschreven. Uit de tabel blijkt een behoorlijke variatie tussen Nederlandse universiteiten wat betreft de wetenschappelijke output uit samenwerking tussen de universiteit en industriële organisaties.

Tabel 4.4. Wetenschap-industrie collaboraties van Nederlandse kennisinstellingen (2014-2017). Bron: CWTS Leiden Ranking

Universiteit	P	P(industrie)	PP(industrie)
Technische Universiteit Delft	5175	583	11.3%
Technische Universiteit Eindhoven	3439	588	17.1%
Rijksuniversiteit Groningen	3315	158	4.8%
Universiteit Leiden	3145	200	6.3%
Universiteit Amsterdam	2808	159	5.7%
Radboud Universiteit	2544	124	4.9%
Technische Universiteit Twente	2430	316	13.0%
Vrije Universiteit Amsterdam	1227	77	6.3%
Universiteit Wageningen	975	135	13.8%
Maastricht Universiteit	282	47	16.6%
Erasmus Universiteit Rotterdam	220	40	18.3%

4.2 Wetenschaps- en onderzoekspartijen in Onderzoek en Technologie-ontwikkelingsprojecten

Onderzoek, technologie- en innovatieprojecten vormen een belangrijk onderdeel van het werk van kennisinstellingen. Samenwerking houdt niet op bij de landsgrenzen. Tabel 4.5 geeft een overzicht van de top 10 Europese landen die in FP7 en Horizon2020 projecten deelnemen ². De lijst wordt in aantallen gedomineerd door Groot-Brittannië. Nederland staat op de zevende positie in deze top 10. Wanneer we kijken naar de specialisatie-index, het aantal deelnames genormaliseerd ten opzichte van het totaal aantal deelnames aan FP7 en Horizon2020 projecten, dan zien we een ander resultaat. Spanje wint relatief veel FP7 en Horizon2020 projecten op het onderwerp batterijen, terwijl Nederland juist relatief slecht scoort. Tabel 4.6 geeft vervolgens aan welke Nederlandse kennisinstellingen het meest actief zijn in technologie- en innovatieprojecten, op Europees niveau en in Nederland. De technische universiteiten en TNO zijn het meest betrokken bij innovatieprojecten op het onderwerp batterijen.

² Er wordt in de beschrijving van het doel van het project gerefereerd aan de woorden: batteries, batterij, battery, of supercapacitor.

Tabel 4.5. Top 10 Europese landen die deelnemen in FP7 en Horizon 2020 projecten

Positie	Land	Deelname projecten (aantal keer)	Specialisatie-index (zie tekst)
1	Groot-Brittannië	210 (1.25%)	1
2	Duitsland	208 (1.47%)	1.2
3	Spanje	177 (1.61%)	1.3
4	Frankrijk	175 (1.52%)	1.2
5	Italië	155 (1.50%)	1.2
6	België	91 (1.43%)	1.2
7	Nederland	90 (1.09%)	0.9
8	Oostenrijk	80 (1.98%)	1.6
9	Zweden	72 (1.48%)	1.2
10	Zwitserland	60 (1.16%)	0.9
	Totaal	554 (1.24%)	1

Tabel 4.6. Top 10 kennisinstellingen en bedrijven die deelnemen in onderzoeksprojecten.

Positie	Organisatie	Deelname in # FP7 & H2020 projecten	Deelname in # NL innovatieprojecten	Totaal # projecten
1	Technische Universiteit Delft	12	20	32
2	Technische Universiteit Eindhoven	14	4	18
3	TNO, Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek	15	0	15
4	DNV NL (voorheen: KEMA)	4	3	7
5	NXP	6	0	6
6	Uniresearch BV	5	0	5
7	Universiteit Leiden	4	0	4
8	Universiteit Twente	3	1	4
9	Stichting VU	3	1	4
10	Elestor BV	1	3	4

4.3 Octrooien

Om een onderscheid te kunnen maken tussen sterke en minder sterke ontwikkelingen binnen het Nederlandse batterij-veld is een octrooi- of patentanalyse uitgevoerd bij de World Intellectual Property Organization (WIPO) en de European Patent Office (EPO). Er is gekozen voor octrooiaanvragen omdat dit de enige bron is die beschikbaar is voor een ruim aantal landen en over een langere tijdsperiode. Er is gekozen voor de analyse van octrooiaanvragen bij de EPO vanwege de beschikbaarheid van data op het niveau van de technologieclassificaties aldaar. De classificatie van batterijtechnologieën bij de EPO is afgeleid van de definities van de World Intellectual Property Organization (WIPO).

Het doel van de analyse is om te kijken naar de relatieve positie van Nederland in octrooiaanvragen van verschillende type batterijtechnologieën. Een 'Nederlands' octrooi is een octrooi met een Nederlandse uitvinder. Tabel 4.7 geeft daarom het aantal Nederlandse octrooien in batterijtechnologie ten opzichte van belangrijke Europese partners en het wereldwijde totaal. Nederland neemt daarbij een achtste positie in binnen Europa.

Tabel 4.7: Aantal octrooien in batterijtechnologie per land (in aantal octrooien). Bron EPO

Positie	Land	Aantal octrooien in batterij technologie (aantal documenten)
1	Duitsland	4384
2	Frankrijk	2076
3	Groot-Brittannië	738
4	Italië	602
5	Zweden	437
6	Oostenrijk	410
7	Zwitserland	402
8	Nederland	321
9	Denemarken	168
10	Spanje	147
11	België	146
Totaal	Wereldwijd	37 569

Het tweede doel van de analyse is om de batterijspecialisatie binnen Nederland verder te bepalen, op basis van de hoofdactiviteiten van Nederlandse octrooiaanvragen in de batterijwaardeketen en de patentspecialisatie-index. Een patentspecialisatie-index is een berekening van het (percentage patentaanvragen door Nederlanders per batterijtechnologie in de totale Nederlandse patentaanvraag) gedeeld door het (gemiddelde percentage van diezelfde technologie in de totaal aangevraagde patenten bij de EPO). Door te kijken naar de patentspecialisatie in plaats van het aantal patentaanvragen worden de technologieën dus onderling vergelijkbaar: de score geeft per octrooi aan hoe sterk de specialisatie van Nederland is ten opzichte van het totaal. Nederland lijkt vooral een positie te hebben in het meten (karakteriseren) van batterijen.

4.4 Kennis- en innovatieagenda's

In het kader van de recent geformuleerde Missies zijn onder andere de Innovatieopgaven voor duurzame mobiliteit in meer detail uitgewerkt [MMIP Duurzame Mobiliteit, 12 juli 2019]. Hierin is gekeken naar behoeften binnen het Nederlandse innovatiesysteem aan onderzoek en ontwikkeling, demonstratie en implementatie. Diverse aspecten van innovatie in de batterij-waardeketen, en daarmee gepaard gaande economische groei, zijn daarbij genoemd (figuur 4.2). De genoemde onderwerpen sluiten goed aan bij de kracht volgens de analyse uit paragraaf 3.1, en vormen tegelijkertijd een nadere uitwerking van meer specifieke aspecten die voor Nederland het meest relevant zijn.

Verkenning Batterijen 2: Positie NL in de waardeketen

Onderwerpen	Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
Nieuwe batterijtechnologie met zeer hoge energie-inhoud (> 350 Wh/kg) en lage prijs (< 70€/kWh)				
Verbeterde opslagsystemen voor elektriciteit en waterstof				
Technologie voor kostenreductie bij brandstofcellen				
Modellen voor recycling van batterijen				
Batterij-elektrische, hybride en brandstofcel-elektrische aandrijvingen voor bussen, vrachtauto's en speciale voertuigen				
Batterij- en brandstofcel-elektrische aandrijving voor treinen, binnenvaart en mobiele werktuigen				
Ondersteunende technologieën voor toepassing van batterijen en brandstofcellen (o.a. monitoring en control/management)				
Ontwikkeling van energie-efficiënte elektrische auxiliaries en integratie van fotovoltaïsche systemen in voertuigen				
Optimalisatie van energiemangement binnen voertuigen (aandrijving en auxiliaries) en m.b.t. systeeminteracties tussen voertuig, energienetwerk en verkeerssysteem				
Nieuwe voertuig-concepten (bijv. cargo light electric vehicles (LEV))				
Kennisvragen m.b.t. uitrol van elektrisch aangedreven voer- en vaartuigen				
Embryonale technologieën voor ZE-aandrijving (bijv. metaalbrandstoffen)				

	Make	Innovatie in Nederland heeft potentie voor groene groei. Goede aansluiting bij Nederlandse kennisbasis en industrie.
	Make	Innovatie in internationaal verband met kansen voor Nederland. Actieve Nederlandse kennisbasis en industrie.
	Buy	Ontwikkeling m.n. buiten Nederland. Wel Nederlandse kennisbasis nodig voor toepassing.
	Know	Belangrijke kennis voor implementatie van innovaties in Nederland

Figuur 4.2. Kansen voor groene groei op basis van Nederlandse inzet of internationale samenwerking op het gebied van Zero Emissie aandrijftechnologie en voertuigen. Bron: MMIP Duurzame Mobiliteit, 12 juli 2019.

Verder wordt in de MMIP de interactie van batterij-systemen met energiedistributie voor elektrische voer- en vaartuigen genoemd als kansrijk thema (figuur 4.3). Ook hier geldt dat de onderwerpen die als meest kansrijk geïdentificeerd zijn goed aansluiten bij de in paragraaf 3.1 beschreven sterktes van de Nederlandse industrie.

Onderwerpen	Onderzoek	Ontwikkeling	Demonstratie	Implementatie
Slimme laad-infrastructuur en interactie met duurzame energieopwekking en (smart)grids (V2G, V2X), incl. techniek, systeemontwerp, standaardisatie en communicatie, diensten en business modellen				
Inductief laden				
Snelladen				
Laadpleinen				
Doorontwikkeling en systeemoptimalisatie m.b.t. ZE bussen, stadsdistributie, doelgroepen vervoer en andere specifieke toepassingen				
Infrastructuur voor elektriciteit t.b.v. binnenvaart				
Diensten en services rond slim laden van elektrische voertuigen in verschillende modaliteiten				
Optimaliseren infrastructuur voor distributie en laden van elektriciteit t.b.v. elektrische voertuigen, incl. integratie in ruimtelijk ordening				
Verkenning alternatieve energy transfer methoden zoals e-highway (voor vrachtverkeer) en dynamische oplaadoplossingen				
Verkenning autonoom elektrisch rijden, eMaaS en laden				

Figuur 4.3. Kansen voor groene groei op basis van Nederlandse inzet of internationale samenwerking op het gebied van Zero Emissie aandrijftechnologie en voertuigen. Zie Figuur 4.2 voor betekenis van de gekleurde velden. Bron: MMIP Duurzame Mobiliteit, 12 juli 2019.

4.5 Kennisdynamiek

In de jaren negentig en jaren-2000 is het aantal groepen aan kennisinstellingen (universiteiten en TNO) dat zich bezig houdt met elektrochemie, sterk verminderd. De laatste jaren is een sterke opwaartse trend waarneembaar, met vele recente benoemingen. Momenteel zijn onder andere de volgende groepen actief op het gebied van batterijen en batterijsystemen:

- Prof. Wagemaker, TU Delft. Hij werkt aan een breed scala van batterij-gerelateerd onderzoek, en is recent benoemd tot hoogleraar elektrochemische energieopslag. TU Delft herbergt ook een batterij-lab.
- Prof. Huijben, Universiteit Twente. Zijn groep richt zich sinds enkele jaren vooral op (grensvlakken) van materialen voor vaste-stofbatterijen. Prof. Wagemaker en Prof. Huijben zijn sinds kort lid van ALISTORE, een federatie van 19 toonaangevende instituten op het gebied van batterijonderzoek in Europa.
- Prof. Tromp, Universiteit Groningen. Zij is vorig jaar benoemd tot hoogleraar materiaalchemie en richt zich o.a. op analyse van processen in batterijen, met als doel beter begrip van (degradatie-)processen daarin.
- Prof. Creatore, TU Eindhoven. Zij is zeer recent tot hoogleraar benoemd, in de plasma en materiaalprocessing groep aan de TU/e. Haar onderzoek richt zich vooral op grensvlakken van materialen op energiegebied, waaronder vaste-stofbatterijen.
- Prof. de Jongh, Universiteit Utrecht, is actief op gebied van katalyse en materialen op energiegebied, waaronder sinds enkele jaren vaste-stof-elektrolyten.
- Prof. Bergveld, TU Eindhoven. Prof. Bergveld is sinds 2010 actief in embedded controls en batterij managementsystemen (BMS) ten behoeve van elektrische voertuigen.
- Dr. Wilkins, assistant professor aan de TU Eindhoven vanaf 2013, en actief op het gebied van elektromechanica en vermogenslektronica. Zijn interesse ligt bij modelleren en simuleren van aandrijftreinen van voertuigen, met focus op batterijmanagementsystemen.
- Prof. Mulder, TU Delft, richt zich al geruime tijd op materialen voor energieconversie en -opslag, waaronder lithium-ion opslagmaterialen..
- TNO / Holst Centre, Eindhoven. Een groep onder leiding van Dr. Unnikrishnan werkt sinds enkele jaren aan de ontwikkeling van vaste-stof-batterijen en verbeteren van grensvlakken voor verhogen van batterijprestaties.
- TNO / Power Trains, Helmond. Deze groep werkt aan aandrijflijnen voor diverse transportmodaliteiten, die gebaseerd kunnen zijn op brandstofcellen, batterijen, en een combinatie daarvan; batterij- en energiemangement zijn belangrijke thema's.
- Ir Legerstee, Hogeschool Rotterdam, actief op gebied van simulatie van batterijen in het elektrische domein.
- Prof. van Leeuwen, Saxion Gelderland/Overijssel, lector duurzame energievoorziening sinds 2017.
- Dr Aué, Hanze hogeschool Groningen, benoemd tot lector energietransitie in 2019.
- Ir Bente, Fontys Eindhoven, actief op gebied van elektrotechniek en batterijmanagementsystemen.

Er is grote belangstelling bij de hier genoemde spelers en anderen in het veld om een 'BatteryNL' cluster op te richten om samenwerking te bespoedigen en te vereenvoudigen.

De genoemde voorbeelden zijn gefilterd op groepen en hoogleraren die zich bezighouden met onderwerpen die direct gerelateerd zijn aan batterijen en batterijsystemen. Er zijn daarnaast steeds meer groepen actief bij universiteiten, hogescholen en kennisinstellingen op het gebied van energiesystemen, energietransitie, energiebeleid, smart grid, etc., en er zijn diverse belangenorganisaties die zich bezighouden met elektrificatie, zoals eLaad-NL, EnergyStorage-NL, Automotive NL/RAI, en Stichting Doet, waaronder batterij-gedreven elektrificatie.

Veel van de kennis betreft "traditionele" gebieden zoals materialen, (elektro-)chemie, productieprocessen en elektrotechniek. Er is een groeiend belang van ICT en AI: kunstmatige intelligentie en data-gedreven onderzoek. Deze technologische ontwikkelingen hebben de potentie om in de toekomst – via een vorm van 'reverse-engineering' - nieuwe kandidaat-materialen voor batterijen te ontdekken en slimmere algoritmes te ontwikkelen. Zo kan op een snellere en efficiëntere manier worden gewerkt aan de volgende generatie batterijen.

4.6 Kennis sterkte/zwakte analyse

Analyse van de wetenschappelijke sterkte van Nederlandse kennis- en R&D-instellingen laat zien dat Nederland een sterke uitgangspositie heeft in het overkoepelende gebied van Physical en Engineering Sciences. Daarnaast werken een aantal (technische) universiteiten meer dan gemiddeld samen met industrie.

Nederland heeft geen jarenlange aaneengesloten historie van een onderzoekcluster op gebied van batterijen en batterijsystemen, noch bij bedrijven noch bij kennisinstellingen, wat tot uitdrukking komt in de niet-vooraanstaande positie op het gebied van octrooien. Vele aanstellingen en ontwikkelingen over de hele linie – universiteiten, hogescholen, en instituten – gedurende de laatste ≈5 jaar hebben geleid tot een behoorlijke en diverse batterij-gemeenschap aan de kennisinstellingen. Samengevat richt deze zich vooral op begrip van prestatie-belemmerende eigenschappen van materialen en batterijcellen, ontwerp en ontwikkeling van nieuwe generaties materialen en batterijen met o.a. hogere capaciteit, langere levensduur, verminderd gebruik van CRM en verbeterde veiligheid, batterij-managementsystemen, en elektrotechniek rondom batterijsystemen.

Een opvallend punt is de afwezigheid van een grote(re) faciliteit ten behoeve van R&D en testen van batterij-materialen, -cellen, en -systemen. Dit hangt samen met de afname van gerelateerde R&D en daarbij behorende infrastructuur in de afgelopen één tot twee decennia, voor de recente toename.

Kennisontwikkeling in Nederland kan niet los gezien worden van die in Europa. Goede aansluiting bij Europese initiatieven, consortia en roadmaps is essentieel voor inbedding en succesvolle samenwerking met leidende buitenlandse instituten. Deze verkenning heeft geen volledig beeld hiervan kunnen vormen binnen de gegeven ruimte en tijdsduur. Het is wel duidelijk dat de leidende universitaire onderzoeksgroepen diverse samenwerkingen hebben met gerenommeerde instituten in het buitenland, en ook TNO heeft vele buitenlandse partners. Nederland lijkt ondervertegenwoordigd en weinig zichtbaar in belangrijke nieuwe Europese initiatieven, waaronder Battery2030+ (CSA), Batteries Europe (ETIP), en de European Battery Alliance.

5 Economische potentie

Extrapolatie van de economische activiteit in het recente verleden heeft beperkingen om de potentie in te schatten, vanwege de huidige zeer sterke marktontwikkeling, en ontstaan van vele nieuwe toepassingen. Daarom wordt een andere aanpak gekozen, nl. het evalueren van de potentiële 'value pool', dat is de waarde (omzet in Euro) die bedrijven kunnen realiseren op basis van hun positie in de waardeketen. Een *value pool* is kleiner dan een totale marktomvang, aangezien hij kijkt naar de toegevoegde waarde die een bedrijf of bedrijfstak kan verkopen in een bepaalde markt. Vanwege vele onzekerheden is het niet mogelijk meer dan een indicatie te geven van de verwachte economische potentie.

5.1 Marktomvang

Stationaire opslag

Bij volledige omschakeling naar hernieuwbare energie zal de behoefte aan elektriciteit in Nederland significant hoger zijn dan de huidige omvang van ca. 120 TWh/jaar. We gaan hier daarom uit van 200 TWh/jaar. Om stabiel aan de energievraag te kunnen voldoen, is energieopslag op grote schaal nodig. Batterijen zijn met name geschikt voor kortdurende opslag. Een redelijke aanname lijkt dat opslag in batterijen op termijn aan de behoefte van één gemiddelde dag kan voldoen, ofwel ca. 500 GWh. Andere opslag (bv. op basis van waterstof) zal dan energievoorraad voor langere periodes verzorgen. Op basis van huidige technologie komt 500 GWh ruwweg overeen met 500 GW aan vermogen, dat nodig zal zijn om aan pieken in de vraag te kunnen voldoen.

Een kostenpeil van 150 EUR/kWh op systeemniveau leidt dan tot een investeringsbehoefte voor infrastructuur (= totale markt) van 75 miljard Euro, uitgespreid over een periode van ca. 20 jaar – de geschatte vervangingsperiode van de batterijen, ofwel ca. 4 miljard Euro/jaar. Daarnaast zal regulier onderhoud moeten plaatsvinden, waarvoor 4% van de aanschafkosten een redelijke afschatting lijkt, ofwel ca. 3 miljard Euro/jaar, wanneer de volledige infrastructuur aanwezig is.

Het aandeel van Nederland in de totale Europese elektriciteitsbehoefte zal ongeveer gelijk blijven. De Europese markt voor energieopslag op basis van batterijen kan dan naar verwachting >10 TWh bedragen, ca. 20x meer dan in Nederland, overeenkomend met >100 miljard Euro totale jaarlijkse omzet.

Mobiliteit

Er worden in Nederland jaarlijks ca. 400-duizend nieuwe auto's en bestelbusjes verkocht, met gemiddelde waarde van zo'n 35-duizend Euro, wat een omzet van zo'n 14 miljard Euro vertegenwoordigt. De verwachting is dat een elektrische aandrijflijn iets minder dan de helft van de waarde van een auto zal bepalen, verdeeld over ca. 10% voor de aandrijflijn en zo'n 35% voor het batterijsysteem. In het geval van 100% volledig elektrisch batterij-aangedreven auto's is de totale waarde van nieuwe batterijsystemen op de Nederlandse weg dan zo'n 5 miljard Euro/jaar. De Europese markt is op dit moment ca. 35x groter. De Nederlandse waarde-omvang zou overeen komen met zo'n 50 miljoen kWh/jaar (100 Euro/kWh, zie sectie 2.3), wat leidt tot ca. 120 kWh per voertuig. Dit lijkt aan de hoge kant. Een waarde van ca. 3 miljard Euro lijkt daarom realistischer voor de jaarlijkse aanschaf van nieuwe kleine voertuigen (ca. 100 miljard Euro voor EU).

De één na grootste markt voor voertuigen is die van vrachtwagens en bussen. In Europa worden er hiervan momenteel ca. 400-duizend per jaar verkocht. Als de gemiddelde waarde zo'n 100-duizend Euro per voertuig bedraagt, is de markt ca. 40 miljard Euro/jaar. De waarde van een batterij in dit segment is lastiger in te schatten, omdat het op dit moment onduidelijk is welk aandeel batterijen zullen hebben in elektrificatie, en welk gedeelte door andere technologieën (bv., brandstofcellen) zal worden geleverd. Een voorzichtige schatting is dat 10% van de Europese markt omzet gerelateerd zal zijn aan batterijsystemen, ofwel ca. 4 miljard Euro/jaar.

Een derde karakteristieke Nederlandse markt is die van transport over water. Er zijn in Europa meer dan 15-duizend vrachtschepen in gebruik. Het was binnen de reikwijdte van deze studie niet mogelijk dit domein in meer detail te evalueren (bv., te bepalen wat de tonnages van deze schepen zijn, hoe groot eventuele batterijsystemen kunnen zijn, en welk marktaandeel batterijen brandstofcellen kunnen hebben). Er zijn elektrische binnenvaart-containerschepen gebouwd met capaciteit >100 MWh. Een voorzichtige schatting van 1.000 van dergelijke schepen leidt dan tot behoefte van 100 GWh, ofwel 10 GWh per jaar met 10-jarige batterijlevensduur. Dit vertegenwoordigt een waarde van ca. 1 miljard Euro/jaar voor de Europese markt.

Oplaainfrastructuur

Om het wagenpark te elektrificeren is extra infrastructuur nodig voor opladen (en ontladen ten behoeve van vehicle-to-grid (V2G) toepassingen). Schattingen van de totale investeringen (wereldwijd) lopen uiteen van 50-85 miljard Euro t/m 2025-2027. Onder de aanname dat 20% hiervan in Europa nodig is, is dat zo'n 10-13 miljard Euro. Dit bedrag zal significant hoger liggen als de daaropvolgende jaren worden meegenomen. Deze infrastructuur moet de komende 10-15 jaar worden aangelegd, dus een jaarlijkse marktwaarde van ca. 2 miljard Euro lijkt een redelijke schatting. De totale infrastructuur zal daarnaast onderhouden moeten worden. Op basis van 5% kosten per jaar leidt dat tot ca. 1 miljard Euro/jaar marktomvang.

Hergebruik en recycling

De verwachting is dat batterijen in auto's bij een gemiddelde restcapaciteit van zo'n 80% vervangen zullen worden. Deze batterijen kunnen dan in principe ingezet worden voor andere doeleinden, zoals hergebruik in stationaire opslag. Deze markt zal relatief laat een grote omvang bereiken, omdat batterijen naar verwachting eerst 5-10 jaar in de primaire mobiliteitstoepassing benut zullen worden. Als de economische restwaarde van een batterij met 80% van de nominale capaciteit zo'n 40% bedraagt van de nieuwwaarde, dan lijkt een toegevoegde waarde ten gevolge van 'up-cycling' van 15-20% niet onredelijk, wat overeen zou komen met ca. 0.5 miljard Euro/jaar voor het Nederlandse wagenpark. Daarnaast is er een recyclingmarkt, die we gemakshalve even groot inschatten. De totale marktomvang bedraagt dan ca. 1 miljard euro/jaar voor Nederland, en ca. 20x voor Europa.

5.2 Value pool voor Nederlandse bedrijven

Toepassing van de sterktes van de Nederlandse industrie op de batterij-waardeketen levert de volgende kansrijke thema's op, zoals beschreven in 3.3. Hierbij is tussen haakjes de verwachte dominante technologie genoemd.

1. ontwerp, productie (Industry 4.0, Digital Industry) en integratie van batterijpacks en -systemen ten behoeve van mobiliteit (li-ion)

2. batterijen voor, en elektrificatie van zware transportmiddelen (li-ion)
3. ontwerp en productie van batterijen en batterijsystemen ten behoeve van stationaire energieopslag (alle types)
4. laadinfrastructuur ten behoeve van elektrificatie van vervoer (li-ion)
5. businessmodel innovatie, IT, services op basis van elektrisch vervoer (li-ion)
6. componenten in batterijsystemen, waaronder algoritmes (alle types)
7. materialen voor, en productie van batterijen met nieuwe technologieën, zoals vaste-stofbatterijen en verdere batterijgeneraties tbv mobiliteit (nieuwe types li-ion; nieuwe types)
8. machines ten behoeve van productie en inspectie, voor alle toepassingen (nieuwe (li-ion) types)
9. hergebruik, recycling en algemene services rondom veiligheid, advies, *etc.*, voor alle toepassingen (alle types)

Op basis van de Nederlandse en Europese marktomvang kan de grootte van de value pool worden afgeschat voor elk van deze negen thema's. Dit is hieronder samengevat in tabel 5.1. Hierbij kan opgemerkt worden dat de markt met betrekking tot sommige thema's zich wat later zal ontwikkelen; dit betreft met name thema 7 (nieuwe cel-technologie) en 9 (hergebruik/algemene services), en deels 2 (zwaar transport). De markt voor bv. laad-infrastructuur (4) en (productie-)machines (8) zal juist eerder kunnen groeien. De afschatting voor services (thema 5 en 9) is gebaseerd op de jaarlijkse omzet in batterijsystemen voor opslag en mobiliteit. Naarmate de 'installed base' groeit, zal de omvang van deze servicemarkt naar verwachting meegroeien.

De indicatieve analyse in de tabel laat zien dat de totale jaarlijkse waarde van value pools voor de Nederlandse markt ca. 5 miljard euro bedraagt op relatief korte termijn, met verdere groei tot ca. 10 miljard euro op middellange termijn op basis van latere marktontwikkeling van enkele thema's, en verdere mogelijkheden op basis van nieuwe batterijtechnologieën voor mobiliteit daarna. Er is een behoorlijke bandbreedte gegeven de onzekerheden in marktomvang en moment waarop die volledig gerealiseerd kan worden. De Europese markt is ca. 20x groter gezien het aandeel van Nederland in het Europese BNP, en verwachte gelijkaardige elektrificatie in Europa. De economische potentie is een stuk hoger indien Nederlandse bedrijven een significant aandeel op kunnen bouwen in de Europese markt. Verder is er een wereldwijde context – zowel qua markt als qua concurrerende bedrijven. Vanwege de uitgesproken ambitie dat Europa 30% van de wereldwijde batterijproductie in huis wil hebben per 2030, wat ongeveer overeen komt met de omvang van de Europese markt ten opzichte van de wereldmarkt, is de Europese markt hier gekozen als een goede 'proxy'.

Indien Nederland een sterke positie weet op te bouwen in diverse van de bovengenoemde thema's, dan kan een significante extra economische bedrijvigheid verwacht worden in aangrenzende gebieden, zoals infrastructuur rondom smart grid, e-mobiliteit, en e-logistiek, op basis van partnerschappen tussen bedrijven en aanwezigheid van sterke en relevante lokale domeinkennis en technologie. Zo'n ecosysteem zou daarnaast zelf weer een verdere aanzuigende werking kunnen hebben.

Tabel 5.1. Indicatie van value pool binnen kansrijke thema's voor de Nederlandse industrie. Markt is gedefinieerd als *jaarlijkse waarde*.

	Thema	% toegevoegde waarde ¹	NL markt (miljard €)	EU markt (miljard €)	NL value pool (miljard €)	EU value pool (miljard €)
1	Packs en systemen	30% ²	3	100	0.9	30
2	Zwaar transport	10% ³	2	50	0.2	5
3	Energieopslag	50-90% ⁴	7	>100	3-6	>50-90
4	Infrastructuur	80% ⁵	0.15	3	0.12	2.5
5	Services	5% ⁶	1	24	0.05	1.2
6	Componenten	10% ⁷	1	30	0.1	3
7	Nieuwe cel-technologie	0 – 80% ⁸	5 ¹¹	140	0-4	0-110
8	Machines	10% ⁹	5 ¹¹	150 ¹¹	0.5	15
9	Hergebruik en algemene services	4% ¹⁰	11 ¹²	250 ¹²	1.4 ¹³	28 ¹³

¹ Ten opzichte van totale nieuwe batterijsysteem in de relevante applicatie. De totale toegevoegde waarde is >100% omdat (i) kansen ná oplevering van een nieuw batterijsysteem worden meegenomen, (ii) twee markten/applicaties worden geëvalueerd (mobiliteit en opslag), (iii) er enige overlap kan zitten tussen de negen thema's.

² Gemiddelde van diverse projecties voor licht vervoer, situatie over 5-10 jaar

³ Zie argumentatie in tekst; som van transport over weg en water

⁴ Lage waarde voor (hergebruikte lithium-ion), hoge waarde voor andere types

⁵ Elektronische en elektrische componenten worden deels ingekocht

⁶ Energieservices op basis van batterij-infrastructuur; gebaseerd op 5% per jaar, gedurende 10 jaar (services lopen door na eenmalige aanschaf / investering), voor zowel opslag als mobiliteit

⁷ In het batterijsysteem voor mobiliteit

⁸ Een brede range, afhankelijk van de productieketen in Nederland: zeer hoog op basis van nieuwe materialen en productie; laag in geval van één onderdeel in de keten, bv. machines (zie categorie 8). Gebaseerd op toepassing in mobiliteit.

⁹ Op basis van huidige getallen over percentage jaarlijkse afschrijving van machines en gebouwen in de kostenopbouw van lithium-ion batterijen

¹⁰ Recycling/hergebruik, zie argumentatie in tekst; overige, op basis van 4% per jaar gedurende langere periode (zie ook ⁶)

¹¹ Optelsom van marktomvang van thema's 1 en 2.

¹² Optelsom van marktomvang van thema's 1, 2, en 3, en hergebruik/recycling.

¹³ NL (EU) berekend als volgt: 1 (20) miljard mbt hergebruik/recycling, plus 4% van 10 (250) miljard mbt algemene services.

5.3 Realisatie van de value pool

Er zijn een aantal aspecten die mede bepalend zijn voor de kans voor Nederlandse bedrijven om een groot aandeel in de (Europese) value pool te realiseren.

Aanwezigheid van lokale productie van batterijcellen en batterijpacks, of nauwe samenwerking met (Europese) producenten, kan een grote impuls geven aan een Nederlands batterij-ecosysteem. Ten eerste is zekerstellen van stabiele toegang tot geavanceerde batterijen in een competitieve markt een vereiste voor succesvolle groei van de bedrijvigheid, en nabije leveranciers creëren daar een groot voordeel. Ten tweede hebben vele aspecten van de prestaties van een batterij en veranderingen daarin gedurende de levensduur direct te maken met materiaal- en productiekeuzes; kennis daarover en over batterij-roadmaps biedt daarmee een significant competitief voordeel bij design-in van batterijen, en bij diverse batterij-gerelateerde services zoals software upgrades van systemen, hergebruik, veiligheid, en recycling. Dergelijke brede en diepe kennis is normaliter het sterkst ontwikkeld in de omgeving van toonaangevende productiefaciliteiten. De Europese Commissie hanteert gelijkaardige argumenten (en diverse andere) voor opbouw van een Europese batterij-industrie.

Een tweede aspect is makkelijk toegankelijke, brede state-of-the-art kennis over de hele batterijketen heen. Terugkoppeling vanuit gebruik van batterijen in het veld is hierbij belangrijk, op basis van data van batterijen in verschillende gebruikssituaties (terugkoppeling naar onderzoek en productontwikkeling), en ook vanuit de gebruikers zelf (terugkoppeling naar specificaties en beleid).

Beschikbaarheid van up-to-date kennis in relatie tot implementatie van en omgaan met batterijen en batterijsystemen is eveneens belangrijk. Wetgeving, standaardisering en normering, en certificering en approbatie in relatie tot o.a. veiligheids- en milieuaspecten zullen naar verwachting significante ontwikkelingen doormaken die zeer relevant zijn voor toekomstige markt- en productontwikkeling.

De bovenstaande aspecten behoeven alle up-to-date kennis en beschikbaarheid van geschoold en getraind personeel. Een gebrek daaraan, respectievelijk een tekort daarvan kan de kansen op realisatie van economische bedrijvigheid in Nederland sterk beïnvloeden.

Op dit moment kent Nederland geen innovatie- of bedrijfs- of sociaal-economisch beleid dat zich specifiek richt op batterijen. Gezien de economische potentie in Nederland en Europa, en de verwachte enorme groei in toepassing van batterijen waar de maatschappij en de Nederlandse bevolking mee te maken krijgen, is het urgent om binnen korte termijn extra initiatieven te ontwikkelen en bestaande te intensiveren. Concreet wordt voorgesteld een actieagenda te formuleren waarbij overheid, bedrijfsleven, kennisinstellingen en maatschappij betrokken zijn. Die agenda kan Nederland daadkrachtig positioneren in het Europese speelveld, en een sterke impuls geven om te kunnen profiteren van, en mede vorm te geven aan de belangrijke strategische ontwikkelingen die gepaard gaan met elektrificatie op basis van batterijen. De volgende elementen kunnen onderdeel zijn van deze agenda.

Nederland kent momenteel bijvoorbeeld een aantal spelers die zeer actief zijn op batterijgebied, ieder met interessante en competitieve technologie en producten. In paragraaf 3.2 worden enkele voorbeelden gegeven. Strategische investeringen op gebieden waarop deze en andere spelers actief zijn, die vallen binnen de 9 kansrijke thema's zoals gedefinieerd in paragraaf 5.2, kunnen de ontwikkeling van Nederlandse 'niches' binnen de batterij-industrie een versnelling geven die hun internationale concurrentiepositie sterk kan versterken.

Uitgebreide discussie met spelers in het veld vielen buiten de scope van deze verkenning. Uit informele gesprekken die gevoerd zijn met enkele partijen komt een grote interesse naar voren om binnen Nederland (en met buurlanden) nauwer samen te werken, en meer vaart en zichtbaarheid te creëren voor Nederlandse activiteiten binnen zowel kennisinstellingen als bedrijfsleven. Voorgesteld wordt deze gesprekken in het kader van een actieagenda te intensiveren. In andere Europese landen vindt al zulke clustering plaats, gefaciliteerd en (gedeeltelijk) gefinancierd door de overheid. Daarnaast hebben diverse Nederlandse spelers het belang van een Nederlands batterij-expertisecentrum genoemd.

Naast strategische investeringen binnen de kansrijke thema's, kunnen bijvoorbeeld ook strategische investeringen in kennisopbouw en vorming van een 'batterij-ecosysteem' een grote impuls geven aan de Nederlandse positie en concurrerend vermogen. Diverse bestaande initiatieven, waaronder klimaatenvelpe, missie-gedreven innovatieprogramma's en kennis- en innovatie-agenda's kunnen hiervoor geschikt zijn.

Alles overziende liggen er voor Nederland concrete kansen om zijn positie in het internationale veld van nieuwe batterij-ontwikkelingen te versterken. Aan de hand van een actieagenda kunnen deze initiatieven concreet worden vorm gegeven.

6 Conclusies

Op basis van deze verkenning en de gepresenteerde analyses, kunnen de drie door EZK geformuleerde vragen als volgt beantwoord worden.

1. Waar zit wetenschappelijke kracht, waar is deze in opkomst?

Er is een grote kennisdynamiek zoals blijkt uit recente aanstellingen aan kennisinstellingen. De laatste jaren is een sterke opwaartse trend waarneembaar. De huidige activiteiten richten zich vooral op begrip van prestatie-belemmerende eigenschappen van materialen en batterijcellen, ontwerp en ontwikkeling van nieuwe generaties materialen en batterijen, batterij managementsystemen, en elektrotechniek rondom batterijsystemen. Deze onderzoeksthema's sluiten nauw aan bij de voor de industrie kansrijke thema's (zie onder). Veel van de kennis betreft "traditionele" gebieden zoals materialen, (elektro-)chemie, productieprocessen en elektrotechniek. Er is een groeiend belang van ICT en AI: kunstmatige intelligentie en data-gedreven onderzoek.

Relatief zwakke punten in de Nederlandse kennispositie zijn het aantal octrooien, de afwezigheid van een grote(re) faciliteit ten behoeve van R&D en testen van batterij-materialen, -cellen, en -systemen, organisatiegraad, en ondervertegenwoordiging of gebrek aan actieve deelname in belangrijke Europese initiatieven.

2. Waar zit industriële kracht, waar is deze in opkomst?

Vanuit macro-economisch perspectief ligt de (historische) Nederlandse industriële kracht met betrekking tot de batterij-waardeketen vooral binnen de volgende sectoren:

- Machine-industrie
- Chemische industrie
- Informatietechnologie en informatiediensten
- Elektrische apparatenindustrie
- Metaal(producten)industrie en Ingenieursdiensten

De dynamiek komt tot uitdrukking in recente aankondigingen van grotere en kleinere investeringen door bedrijven en overheden. Kwalitatieve evaluatie laat zien dat de gebieden waar industriële kracht in opkomst is grotendeels vallen binnen deze zelfde sectoren die vanuit macro-economisch perspectief krachtig en/of kansrijk zijn.

3. Waar zitten de kansen voor Nederland op batterijtechnologie?

Om de kansen voor Nederland te concretiseren is het noodzakelijk om in te zoomen op elk segment in de afzonderlijke waardeketen, in combinatie met de verwachte dominante technologie en de mogelijke rol van Nederland daarin. Doorsnijden van de sterktes van de Nederlandse industrie met de batterij-waardeketen levert de volgende kansrijke thema's op, met tussen haakjes de verwachte dominante batterij-technologie(ën):

1. ontwerp, productie (Industry 4.0, Digital Industry) en integratie van batterijpacks en -systemen ten behoeve van mobiliteit (li-ion)
2. batterijen voor, en elektrificatie van zware transportmiddelen (li-ion)
3. ontwerp en productie van batterijen en batterijsystemen ten behoeve van stationaire energieopslag (alle types)
4. laadinfrastructuur ten behoeve van elektrificatie van vervoer (li-ion)

5. businessmodel innovatie, IT, services op basis van elektrisch vervoer (li-ion)
6. componenten in batterijsystemen, waaronder algoritmes (alle types)
7. materialen voor, en productie van batterijen met nieuwe technologieën, zoals vaste-stofbatterijen en verdere batterijgeneraties tbv mobiliteit (nieuwe types li-ion; nieuwe types)
8. machines ten behoeve van productie en inspectie, voor alle toepassingen (nieuwe (li-ion) types)
9. hergebruik, recycling en algemene services rondom veiligheid, advies, etc., voor alle toepassingen (alle types)

Indicatieve analyse laat zien dat de totale jaarlijkse waarde van 'value pools' voor de Nederlandse markt ca. 5 miljard euro bedraagt op relatief korte termijn, met groei tot ca. 10 miljard euro op middellange termijn op basis van latere marktontwikkeling van enkele kansrijke thema's, en verdere groeimogelijkheden op basis van nieuwe batterijtechnologieën voor mobiliteit daarna. De Europese markt is ca. 20x groter gezien het aandeel van Nederland in het Europese BNP, en verwachte gelijkaardige elektrificatie in heel Europa. De economische potentie is dus een stuk hoger indien Nederlandse bedrijven een significant aandeel op kunnen bouwen in de Europese markt.

Realisatie van deze marktkansen wordt sterk beïnvloed door diverse factoren, zoals aanwezigheid van lokale (of regionale) productie van batterijcellen en batterijpacks, brede state-of-the-art kennis over de hele batterijketen heen, data vanuit gebruik van batterijen in het veld, en beschikbaarheid van geschoold en getraind personeel.

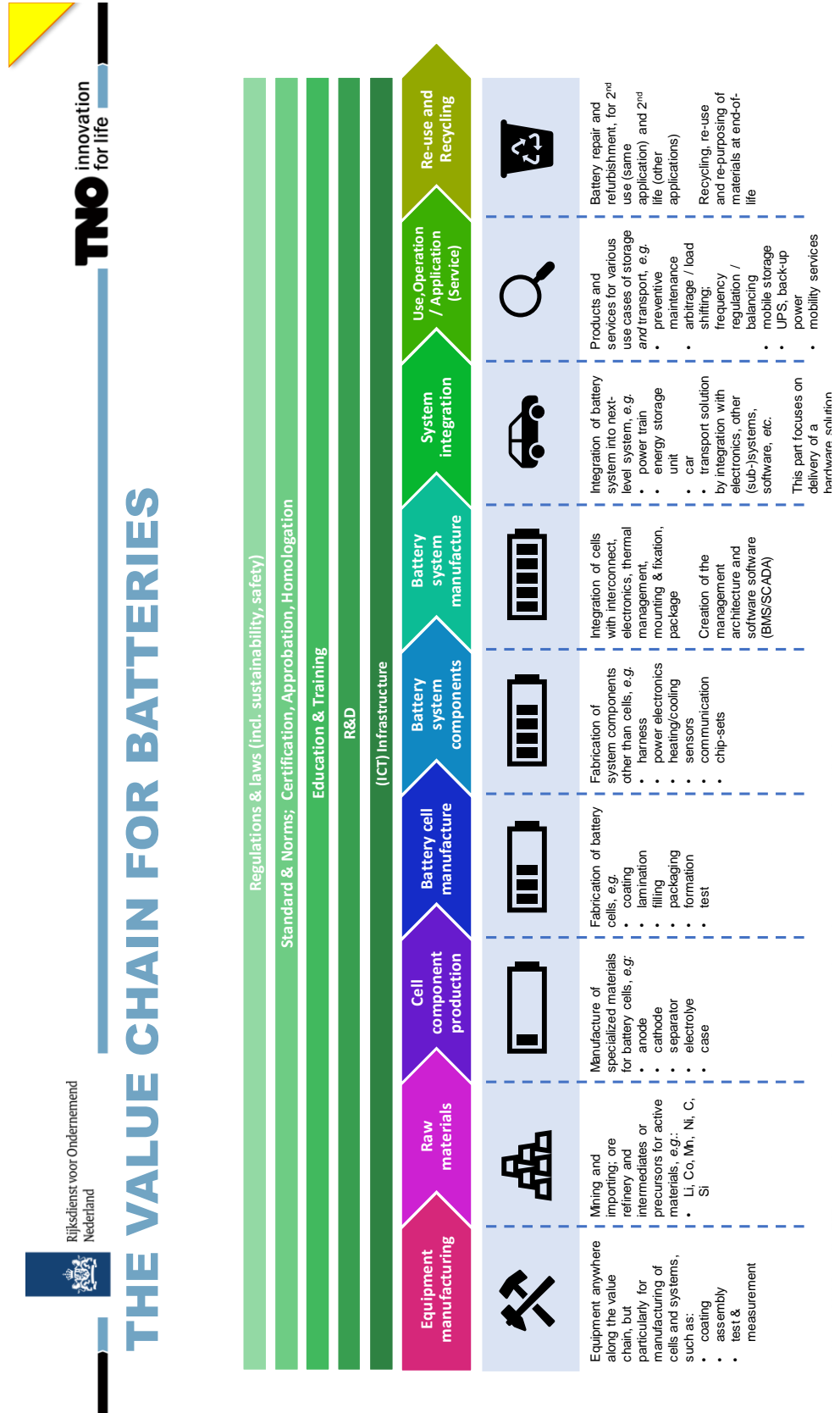
Gezien de economische potentie in Nederland en Europa, en de verwachte enorme groei in toepassing van batterijen waar de maatschappij en de Nederlandse bevolking mee te maken krijgen, is het urgent om binnen korte termijn extra initiatieven te ontwikkelen en bestaande te intensiveren. Concreet wordt voorgesteld een actieagenda te formuleren waarbij overheid, bedrijfsleven, kennisinstellingen en maatschappij betrokken zijn. Die agenda kan Nederland daadkrachtig positioneren in het Europese speelveld, en een sterke impuls geven om te kunnen profiteren van, en mede vorm te geven aan de belangrijke strategische ontwikkelingen die gepaard gaan met elektrificatie op basis van batterijen. De volgende elementen kunnen onderdeel zijn van deze agenda.

Strategische investeringen op gebieden waarop Nederlandse spelers actief zijn, die vallen binnen de 9 kansrijke thema's zoals gedefinieerd in paragraaf 5.2, kunnen bijvoorbeeld de ontwikkeling van Nederlandse 'niches' binnen de batterij-industrie een versnelling geven die hun internationale concurrentiepositie sterk kan verstevigen. Naast zulke strategische investeringen binnen de kansrijke thema's, kunnen bijvoorbeeld ook strategische investeringen in kennisopbouw en vorming van een 'batterij-ecosysteem' een grote impuls geven aan de Nederlandse positie en concurrerend vermogen. Diverse bestaande initiatieven, waaronder klimaatenvelpe, missie-gedreven innovatieprogramma's en kennis- en innovatie-agenda's kunnen hiervoor geschikt zijn. Alles overziende liggen er voor Nederland concrete kansen om zijn positie in het internationale veld van nieuwe batterij-ontwikkelingen te versterken. Aan de hand van een actieagenda kunnen deze initiatieven concreet worden vorm gegeven.

Referenties

1. nos.nl, 9 oktober 2019
2. stibat, batterijenonderzoek 2015
3. zie bijvoorbeeld: European Commission, COM (2018) 293, "EUROPE ON THE MOVE. Sustainable Mobility for Europe: safe, connected and clean, Annex 2"; European Commission, COM (2019) 176, "on the Implementation of the Strategic Action Plan on Batteries: Building a Strategic Battery Value Chain in Europe"
4. TNO 2017 R10266, Portfolioanalyse: kansrijke innovatieopgaven voor Nederland Fundament voor het maken van keuzes
5. GM (2007), zoals naar verwezen in 2011 IEEE Congress of Evolutionary Computation (CEC) 2011, <https://www.semanticscholar.org/paper/Optimal-design-of-an-air-cooling-system-for-a-pack-Mousavi-Hoque/7d470267dcb90fdf44a6412fa87bca8a2d10f559#extracted>
6. L.Tao, CATL, AABC Europe, Mainz (Germany) (2017)
7. AKASOL, <https://www.akasol.com/de/batteriesysteme>
8. ALFEN, <https://alfen.com/nl/energieopslag/thebattery-eeen-oogopslag>
9. Umicore, European Innovation Summit (2017)

Bijlage 1. Waardeketen



Bijlage 2. Bedrijfsactiviteiten met een (potentiële) rol in de batterijen waardeketen.

Tabel B1. Koppeling tussen SBI2, SBI5 en de (mogelijke) positie in de waardeketen, zoals gedefinieerd in Bijlage 1. Kolom 'Relatie' is overgenomen uit de eerdere RVO-analyse van de waardeketen: 'direct' doelt op een positie in de waardeketen zelf, direct gelinkt aan batterijen of accu's; 'indirect' doelt op een positie als toeleverancier van de waardeketen, of op veel hoger niveau in de technologiestack, of in één van de ondersteunende activiteiten (groene balken in Bijlage 1).

No.	SBI_2	SBI_5	SBI2008_naam	Relatie	(Potentiële) Positie in de waardeketen
1	08	0899	Winning van overige delfstoffen (rest)	Direct	Raw materials
2	20	2013	Vervaardiging van overige anorganische basischemicaliën	Direct	Cell component production
3	20	20149	Vervaardiging van overige organische basischemicaliën	Direct	Cell component production
4	20	2016	Vervaardiging van kunststof in primaire vorm	Indirect	Battery system component
5	20	2059	Vervaardiging van overige chemische producten (rest)	Direct	Cell component production
6	20	2060	Vervaardiging van synthetische en kunstmatige vezels	Indirect	Cell component production
7	22	2221	Vervaardiging v. platen, folie, buizen, profielen v. kunststof	Indirect	Battery system component
8	22	2229	Vervaardiging van overige producten van kunststof	Indirect	Battery system component
9	23	2343	Vervaardiging van isolatoren en keramisch isolatiemateriaal	Direct	Battery system components
10	23	2344	Vervaardiging van overig technisch aardewerk	Direct	Battery system components
11	23	2399	Vervaardiging van ov. niet-metaalhoudende minerale producten	Direct	Cell component production
12	24	2410	Vervaardiging van ijzer en staal en van ferrolegeringen	Direct	Raw materials
13	24	2442	Vervaardiging van aluminium	Direct	Cell component production
14	24	2445	Vervaardiging van overige non-ferrometalen	Direct	Cell component production
15	25	2573	Vervaardiging van gereedschap	Indirect	Equipment manufacturing
16	25	2550	Smeden, persen, stampen en profielwalsen van metaal; poedermetallurgie	Direct	Cell component production
17	25	2561	Oppervlaktebehandeling en bekleding van metaal	Direct	Cell component production
18	25	2592	Vervaardiging van verpakkingsmiddelen van licht metaal	Direct	Cell component production

Verkenning Batterijen 2: Positie NL in de waardeketen

19	25	2599	Vervaardiging van overige producten van metaal (rest)	Direct	Cell component production
20	26	2611	Vervaardiging van elektronische componenten	Direct	Battery system components
21	26	2612	Vervaardiging van elektronische printplaten	Direct	Battery system components
22	26	2620	Vervaardiging van computers en randapparatuur	Indirect	System integration
23	26	2630	Vervaardiging van communicatieapparatuur	Indirect	System integration
24	26	2640	Vervaardiging van consumentenelektronica	Indirect	System integration
25	26	2651	Vervaardiging van meet-, regel-, navigatie- en controleapp.	Indirect	System integration
26	26	2670	Vervaardiging van optische instrumenten en apparatuur	Indirect	System integration
27	27	2711	Vervaardiging van elektromotoren, elektrische generatoren	Direct	System integration
28	27	2712	Vervaardiging van schakel- en verdeelinrichtingen	Direct	Battery system components
29	27	2720	Vervaardiging van batterijen en accumulatoren	Direct	Battery cell manufacture / Battery system manufacture
30	27	2732	Vervaardiging van overige elektrische en elektronische kabel	Direct	Battery system components
31	27	2733	Vervaardiging van schakelaars, stekkers, stopcontacten e.d.	Direct	Battery system components
32	28	2811	Vervaardiging van motoren, turbines (niet voor vliegtuigen)	Direct	Battery system components
33	28	2822	Vervaardiging van hijs-, hef- en transportwerktuigen	Indirect	System integration
34	28	2824	Vervaardiging van pneumatisch en elektrisch handgereedschap	Indirect	System integration
35	28	2825	Vervaardiging v. machines, app. voor industriële koeling	Indirect	System integration
36	28	2841	Vervaardiging v. gereedschapswerktuigen voor metaalbewerking	Indirect	Equipment manufacturing
37	28	2849	Vervaardiging v. gereedschapswerktuigen niet voor metaalbew.	Indirect	Equipment manufacturing
38	29	2910	Vervaardiging van auto's	Indirect	System integration
39	29	29201	Carrosseriebouw	Indirect	System integration
40	29	2931	Vervaardiging van elektrische en elektronische onderdelen	Direct	Battery system components
41	29	2932	Vervaardiging v. niet-elektrische, -elektronische onderdelen	Direct	Battery system components

Verkenning Batterijen 2: Positie NL in de waardeketen

42	30	3011	Bouw van schepen en drijvend materieel	Indirect	System integration
43	30	3012	Bouw van sport- en recreatievaartuigen	Indirect	System integration
44	30	3020	Vervaardiging van rollend spoor- en tramwagematerieel	Indirect	System integration
45	30	3030	Vervaardiging van vliegtuigen en onderdelen daarvoor	Indirect	System integration
46	30	3091	Vervaardiging van motor- en bromfietsen	Indirect	System integration
47	30	3092	Vervaardiging van fietsen en invalidenwagens	Indirect	System integration
48	30	3099	Vervaardiging van overige transportmiddelen (rest)	Indirect	System integration
49	33	33122	Reparatie en onderhoud v. pneumatisch/elektrisch gereedschap	Indirect	Equipment manufacturing
50	33	33123	Reparatie en onderhoud van machines (specifieke bedrijfstak)	Indirect	Equipment manufacturing
51	33	3313	Reparatie van elektronische en optische apparatuur	Indirect	Equipment manufacturing
52	33	3314	Reparatie van elektrische apparatuur	Indirect	Equipment manufacturing
53	33	3323	Installatie van elektronische en optische apparatuur	Indirect	Operation/Application (service)
54	33	33221	Installatie van machines voor algemeen gebruik (geen gereedschap)	Indirect	Operation/Application (service)
55	33	3324	Installatie van elektrische apparatuur	Indirect	Operation/Application (service)
56	33	3329	Installatie van overige toebehoren	Indirect	Operation/Application (service)
57	35	35112	Productie van elektriciteit door windenergie	Indirect	Operation/Application (service)
58	35	35113	Productie van elektriciteit door zonnecellen, warmtepompen	Indirect	Operation/Application (service)
59	35	3512	Beheer en exploitatie van transportnetten voor elektriciteit	Direct	Operation/Application (service)
60	35	3513	Distributie van elektriciteit en gasvormige brandstoffen	Direct	Operation/Application (service)
61	35	3514	Handel in elektriciteit en in gas via leidingen	Direct	Operation/Application (service)
62	38	3811	Inzameling van onschadelijk afval	Direct	Re-use and recycling
63	38	3812	Inzameling van schadelijk afval	Direct	Re-use and recycling
64	38	3821	Behandeling van onschadelijk afval	Direct	Re-use and recycling
65	38	3822	Behandeling van schadelijk afval	Direct	Re-use and recycling
66	38	3831	Sloop van schepen, witgoed, computers e.d.	Direct	Re-use and recycling

Verkenning Batterijen 2: Positie NL in de waardeketen

67	38	3832	Gesorteerd materiaal voorbereiden tot recycling	Direct	Re-use and recycling
68	39	3900	Sanering en overig afvalbeheer	Direct	Re-use and recycling
69	45	45203	Reparatie van specifieke auto-onderdelen	Indirect	Re-use and recycling
70	62	6201	Ontwikkelen, produceren en uitgeven van software	Indirect	Battery system manufacture
71	71	7112	Ingenieurs en overig technisch ontwerp en advies	Indirect	Standard & Norms
72	71	71202	Keuring en controle van machines, apparaten en materialen	Indirect	Standard & Norms
73	72	72192	Technisch speur- en ontwikkelingswerk	Indirect	R&D
74	74	74102	Industrieel en productontwerp	Direct	Battery system manufacture
75	85	85321	Middelbaar beroepsonderwijs	Indirect	Education & Training
76	85	85322	Educatie	Indirect	Education & Training
77	85	85323	Middelbaar beroepsonderwijs en educatie (gecombineerd)	Indirect	Education & Training
78	85	8541	Niet-universitair hoger onderwijs	Indirect	Education & Training
79	85	8542	Universitair hoger onderwijs	Indirect	Education & Training
80	95	9512	Reparatie van communicatieapparatuur	Indirect	Re-use and recycling
81	95	9521	Reparatie van consumentenelektronica (geen computers)	Indirect	Re-use and recycling
82	95	9522	Reparatie van elektrische huishoudelijke apparaten	Indirect	Re-use and recycling