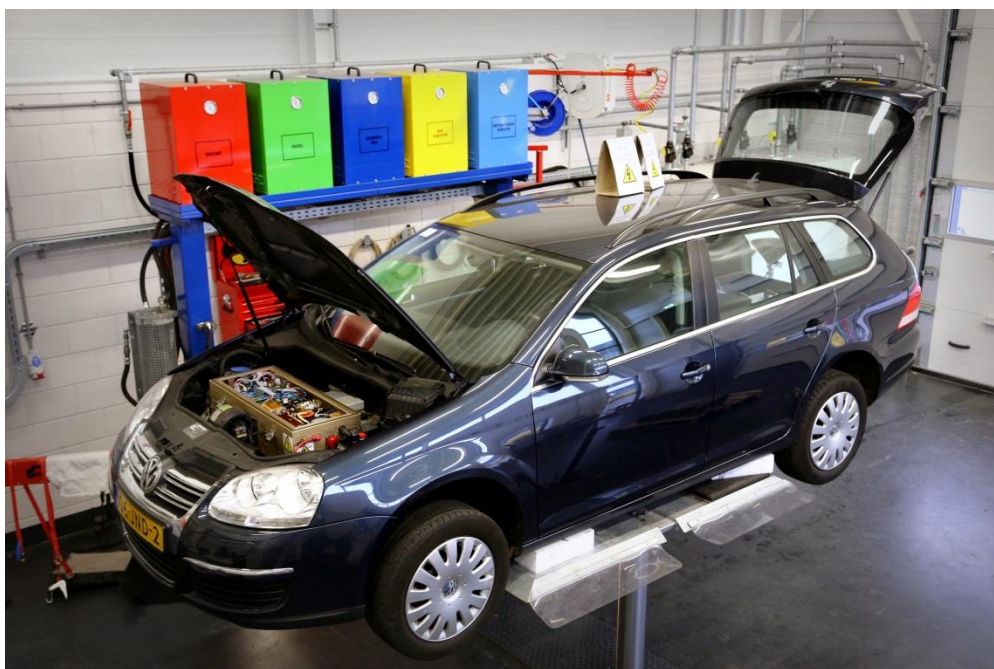


Kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven op het gebied van batterijtechnologie voor Elektrische Voertuigen

In opdracht van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Rapport nr.: 15-0886

Datum: 3 april 2015



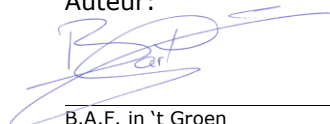
Projectnaam: DNV GL - Energy
Rapport titel: Kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven op het gebied van batterijtechnologie voor Elektrische Voertuigen KEMA Nederland B.V.
Postbus 9035
6800 ET ARNHEM
Klant: In opdracht van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Contactpersoon: Suzan Reitsma Tel: +31 26 356 9111
Datum: 3 april 2015 KvK 09080262
Project nr.: 74106973
Unit: R&S/NET
Rapport nr.: 15-0886

Taak en doelstelling:

Auteurs

ARN Advisory: Hector Timmers, Gert-Jan van der Have
DNV GL: Bart in 't Groen, Koen Broess, Alma Tiggelman

Auteur:



B.A.F. in 't Groen

Beoordeeld:



P.D.B.M. de Boer-Meulman

Goedgekeurd:



J.W. Raadschelders

Reference to part of this report which may lead to misinterpretation is not permissible.

Index

1	AANLEIDING EN ONDERZOEKSVRAAG	3
2	TECHNOLOGIE-BESCHRIJVING VOOR BATTERIJEN IN ELEKTRISCHE VOERTUIGEN	4
2.1	Lithium-ion cellen en modules	6
2.2	Batterij Management Systeem	9
2.3	Vermogens-elektronica, bedrading, omkasting en koeltechniek	9
2.4	Status van ontwikkelingen voor batterij systemen	10
3	GRONDSTOFFENFASE.....	11
3.1	Relevante ontwikkelingen en technologieën	11
3.2	Nederlandse spelers	14
4	FABRICAGE EN TOELEVERINGSFASE	15
4.1	Relevante ontwikkelingen en technologieën	15
4.1.1	Batterijcelmaterialen en componenten	15
4.1.2	Assemblage van batterijmodules en batterijpakketten	16
4.1.3	Systeemintegratie	16
4.1.4	Veiligheid en recycleerbaarheid	17
4.2	Nederlandse spelers	17
4.2.1	Batterijcelmaterialen en componenten	17
4.2.2	Assemblage van batterijmodules en batterijpakketten	18
4.2.3	Systeemintegratie	20
4.2.4	Veiligheid en Recycleerbaarheid	21
5	GEBRUIKSFASE	22
5.1	Relevante ontwikkelingen en technologieën	22
5.2	Nederlandse spelers	25
6	EINDE-LEVENSFASE.....	27
6.1	Relevante ontwikkelingen en technologieën	27
6.1.1	Second-Life toepassingen	27
6.1.2	Recycling	29
6.2	Nederlandse spelers	30
6.2.1	Second-Life toepassingen	30
6.2.2	Recycling	31
7	INSCHATTING POTENTIEEL.....	32
7.1	Grondstoffenfase	32
7.2	Fabricage en toeleveringsfase	33
7.3	Gebruiksfasen	33
7.4	Einde-Levensfase	34
8	CONCLUSIES.....	35

8.1	Grondstoffenfase	35
8.2	Fabricage en toeleveringsfase	35
8.3	Gebruiksfase	35
8.4	Einde-levensfase	36
9	FACTSHEETS	37
10	BRONVERMELDING	42
10.1	Geraadpleegde literatuur	42
10.2	Persoonlijke communicatie	45

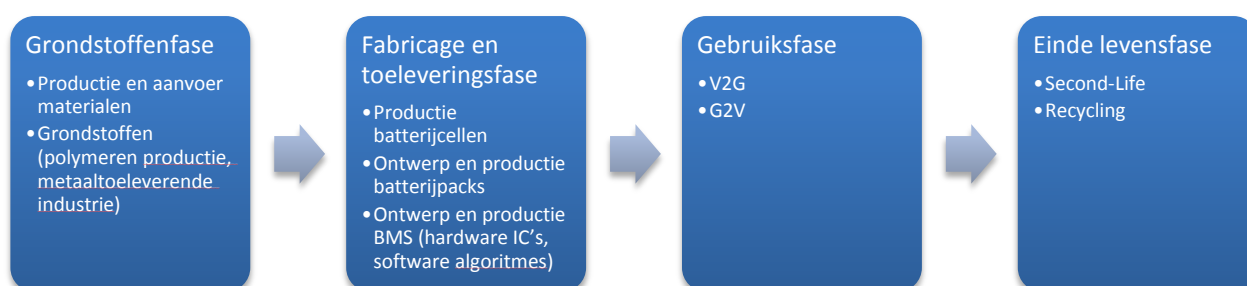
1 AANLEIDING EN ONDERZOEKSVRAAG

De aanleiding voor dit onderzoek naar de kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven op het gebied van batterijtechnologie voor Elektrische Voertuigen (EV), is de wens om eerder onderzoek dat hiernaar verricht is te herijken en te updaten. *Dutch Incert* concludeerde in 2012 in haar studie [1] naar het verdienpotentieel voor Elektrisch Vervoer in Nederland dat voor het "speerpunt batterijen" de rol van Nederlandse bedrijven en de bijdrage aan FTE's klein zal blijven.

Aan de hand van de criteria *concurrentie* (dominantie Aziatische fabrikanten), *aanbod* (miniem aanbod Nederlandse marktpartijen) en *integratie* (samenwerking tussen sectorpartners) werd aan dit speerpunt een lage prioriteit gegeven. In 2014 bevestigde het rapport "Verzilpering verdienpotentieel Elektrisch Vervoer in Nederland" [6] de lagere prioriteit die het speerpunt Batterijen toegekend heeft gekregen, waarvoor ook geen acties zijn vastgesteld. Is dit terecht, nu de opkomst van batterij aangedreven voertuigen (zoals plug-in hybride (PHEV) en vol-elektrische voertuigen (BEV) (PHEV en BEV tezamen aangeduid als EV) in een versnelling is gekomen?

Om deze vraag te kunnen beantwoorden is per ketenfase (*grondstoffen, fabricage en toelevering, gebruiksfase en einde levensfase*) een overzicht opgesteld van de stand van zaken rondom de batterijtechnologie. Belangrijk uitgangspunt hierbij is dat *Lithium-ion technologie* zich ontwikkeld heeft tot de industriële standaard voor EV voertuigen. Een aantal nieuwe veelbelovende technologieën bevindt zich op dit moment in de onderzoeksfase: Lithium-zwavel met een energiedichtheid 5 maal hoger dan Lithium-ion en Lithium-lucht met een energiedichtheid tot het tienvoudige. Echter, onderzoekers oordelen dat de commercialisering van deze technologieën nog vele jaren verwijderd is [11].

In hoofdstuk 2 wordt de huidige technologie voor batterijen in EV beschreven. In de hierop volgende hoofdstukken 3 tot en met 6 worden de onderwerpen "Grondstoffenfase" (hoofdstuk 3), "Fabricage en toeleveringsfase" (hoofdstuk 4), "Gebruiksfase" (hoofdstuk 5) en "Einde-levensfase" (hoofdstuk 6) weergegeven. De waardeketen voor batterijen in EV wordt weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Waardeketen van batterijen voor EV [1]

2 TECHNOLOGIE-BESCHRIJVING VOOR BATTERIJEN IN ELEKTRISCHE VOERTUIGEN

Een batterijpakket voor een elektrisch aangedreven voertuig bestaat uit diverse onderdelen. De *Lithium-ion technologie* heeft zich ontwikkeld tot de industriële standaard voor *plug-in hybride electric vehicle* (PHEV) en *Battery Electric Vehicle* (BEV (volledig elektrische) voertuigen).

In onderstaande Figuur 2 (a) wordt een voorbeeld gegeven van het batterijpakket en de opbouw en in Figuur 2 (b) wordt de kostprijsopbouw weergegeven. Figuur 2 (c) geeft de gerealiseerde en nog te verwachten prijsdaling van EV batterijen weer. Het is de vraag of de kostenreductie naar 150 €/kWh haalbaar is op korte termijn, maar vanuit de markt claimt Tesla met zijn "Gigafactory" een reductie van 30% te kunnen halen tussen 2018 en 2022. Dit komt neer op een prijs tussen €220 - €280/kWh. McKinsey [8] denkt dat een prijs van \$160/kWh haalbaar is in 2025.

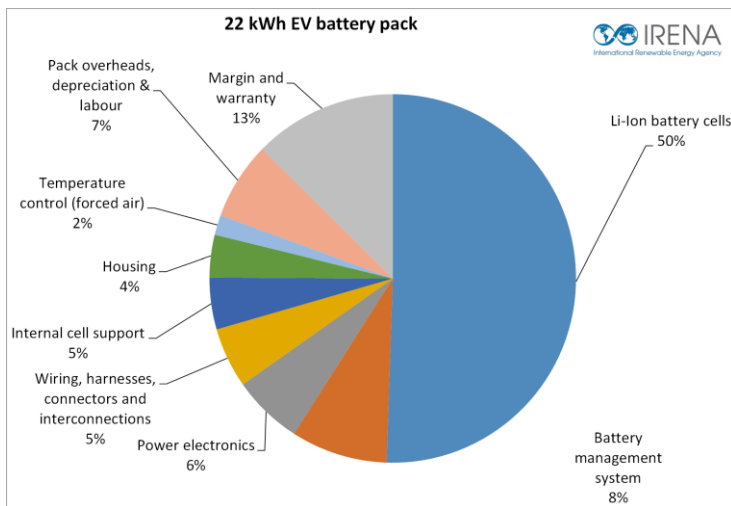
De belangrijkste onderdelen worden onderstaand nader toegelicht.

- *Lithium-ion cellen* (paragraaf 2.1)
- *Batterij Management Systeem* (paragraaf 2.2)
- *Vermogens-elektronica, bedrading, omkasting en koeltechniek* (paragraaf 2.3).

De 'Status van ontwikkelingen voor batterij systemen' wordt hierna nog nader toegelicht in paragraaf 2.4.

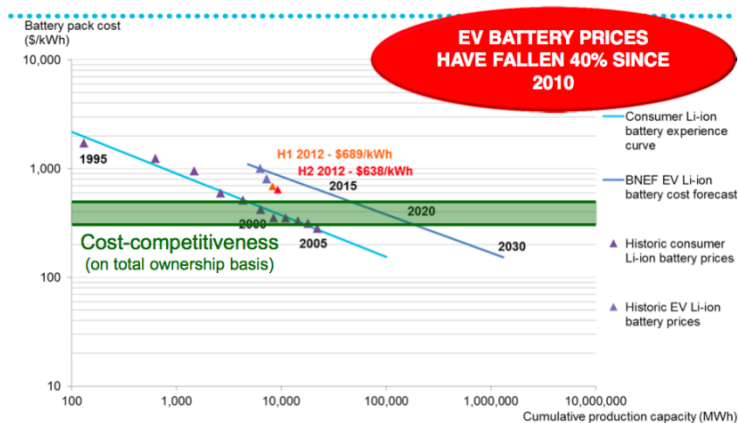


(a)



(b)

LITHIUM-ION BATTERY EXPERIENCE CURVE



(c)

Figuur 2 (a) Voorbeeld van een BEV batterijpakket [3], en (b) Kostprijs-opbouw van een 22 kWh BEV Lithium-ion batterijpakket [2] (c) Experience curve voor de prijs van Lithium-ion BEV batterijen [18]

2.1 Lithium-ion cellen en modules

Opbouw van een Lithium-ion cel

De batterijcel is een elektrochemische cel, welke chemische energie omzet in elektrische energie. De cel bestaat uit een anode en een kathode. Deze beide polen zijn gescheiden door een elektrolyt en een *separator*, die dienen te voorkomen dat het lithium in de batterij reageert met stoffen in de omgeving en om te voorkomen dat er een stroom gaat lopen in de batterij.

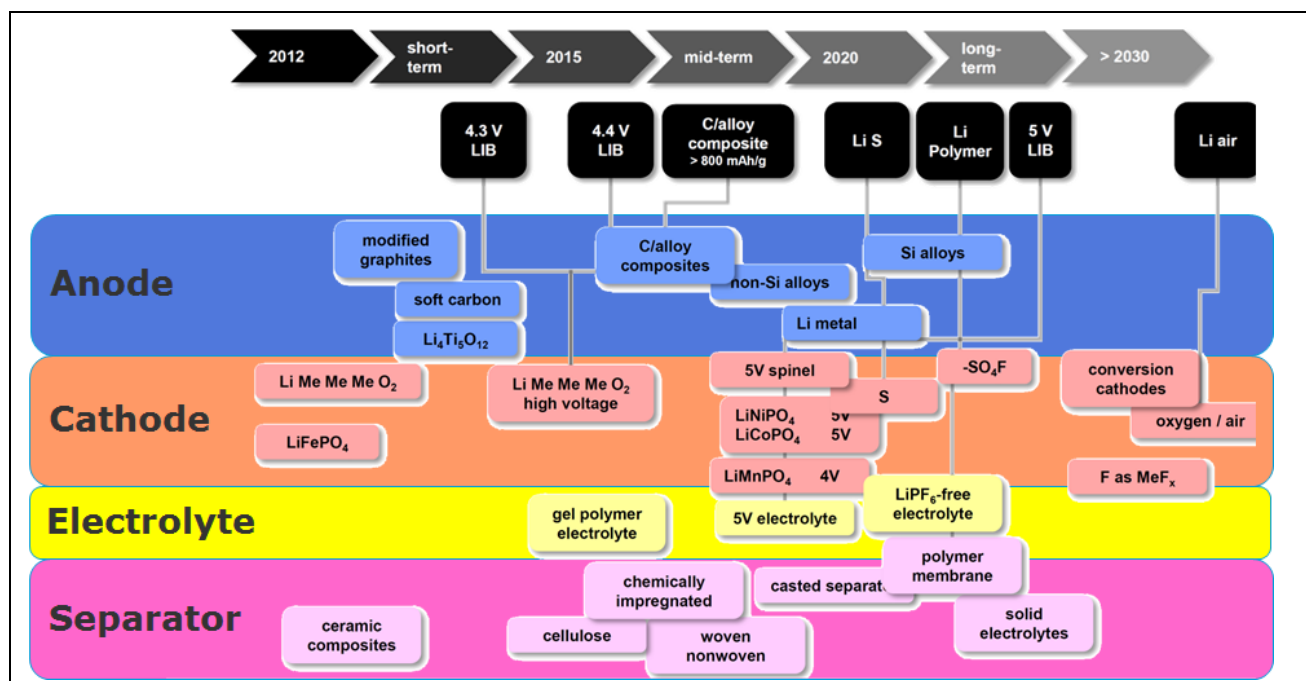
Opbouw van een Lithium-ion batterijpakket

De celspanning voor Lithium-ion batterijen ligt tussen de 2,5 en 4,2 volt, afhankelijk van de chemische samenstelling en hoe "vol of leeg" de batterij is. Voor een BEV is een hoger voltage nodig (ten behoeve van meer vermogen), waardoor diverse batterijcellen worden samengevoegd tot modules, welke op hun beurt weer een batterijpakket vormen.

Materialen gebruikt voor anode en kathode

De anode is vaak geproduceerd van koolstof, met daarin lithium. De kathode kan uit verschillende materialen bestaan. De meest voorkomende types zijn *lithium-cobalt*, *lithium-mangaan* (lithium nikkel-mangaan-kobaltoxide (NMC)), en *lithium-ijzer-fosfaat* (LiFePO_4). Het elektrolyt bestaat uit lithium-zout in een oplossing. Alternatieve Lithium-ion technologieën lijken veelbelovend, waarbij lithium-lucht en lithium-zwavel in hoofdstuk 1 genoemd zijn.

In Figuur 3 worden de verwachte ontwikkelingen richting 2030 geschetst voor batterijceltechnologie, op het gebied van gebruikte materialen voor anode, kathode, elektrolyt en separator [39].



Figuur 3 Toekomstige ontwikkelingen batterijen [39]

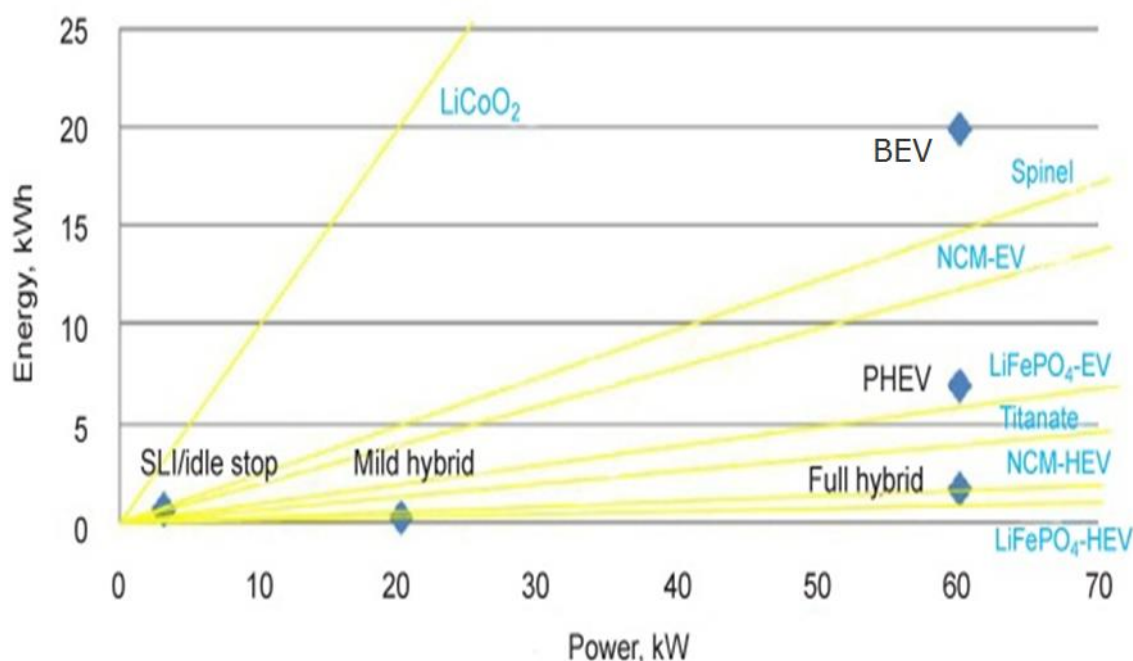
Verschillende batterijsamenstellingen en toepassingsgebieden

De verschillende typen batterijen hebben ieder unieke eigenschappen. De samenstellingsgegevens van verschillende Lithium-ion batterijen worden gegeven in Tabel 1, aan de hand van vier parameters (safety, power, energy en life). Deze parameters zijn belangrijk voor de selectie van een batterijtype voor bijvoorbeeld een voertuig. De tabel geeft een duidelijk onderscheid tussen verschillende Lithium-ion typen.

Tabel 1 Samenstelling Lithium-ion batterijen [9]

Parameter	Highest performing chemistry(s)	Lowest performing chemistry
Safety	Titanate, LiFePO ₄	LiCoO ₂
Power	LiFePO ₄	LiCoO ₂
Energy	LiCoO ₂ , NCM	LiFePO ₄
Life	Titanate, LiFePO ₄	LiCoO ₂

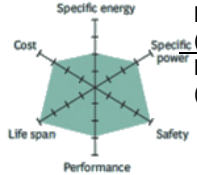
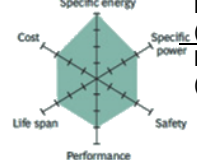
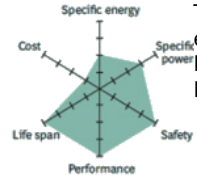
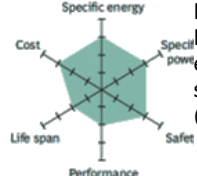
Een overzicht van de verschillende toepassingsgebieden wordt gegeven in onderstaande Figuur 4, waarbij op de x-as het vermogen van de verschillende Lithium-ion batterijen is uitgezet tegen de energie-inhoud op de y-as. In de grafiek is aangegeven waar de verschillende voertuigtypen zich bevinden, zoals BEV, PHEV en full hybrid (hybrid vorm zonder elektriciteitsnetwerkaansluiting).



Figuur 4 Ratio tussen capaciteit en vermogen voor verschillende batterij toepassingen [9]

Een overzicht van de huidige typen Lithium-ion batterijen wordt gegeven in Tabel 2. Het 'spider-diagram', zoals weergegeven bij de meeste typen Lithium-ion batterijen, geeft indicatief de batterijtypen weer op de volgende punten: *specific energy*, *specific power*, *safety*, *performance*, *life span*, *cost*. Zoals ook is aangegeven in Figuur 4 lenen batterijen met een hoge energiedichtheid zich voor BEV, PHEV en full hybrid toepassingen, terwijl batterijen met een lage energiedichtheid meer geschikt zijn voor 'idle/stop' en *mild hybrid* – voertuigen. Een combinatie van een hoge energiedichtheid en een hoog vermogen maken de batterij geschikt voor EV toepassingen. Uit Tabel 2 blijkt tevens dat het aantal cycli voor de verschillende typen ver uiteen kan lopen.

Tabel 2 Overzicht huidige typen Lithium-ion batterijen voor elektrische voertuigen (*spider diagram: [4], overige informatie: [9]*)

			Energie dichtheid op cel nivo	Energie dichtheid op cel nivo	Aantal cycli, 100% DoD	Prijs (in-schat- ting)	Vermogen	Veilig-heids <i>thermal runaway onset</i>	Poten-tiaal	Temp. bereik
			Wh kg ⁻¹	Wh l ⁻¹	n	US\$ Wh ⁻¹	C rate	°C	V	°C
LCO	<i>Afbeelding niet beschikbaar</i>	LiCoO ₂	170-185	450-490	500	0,31-0,46	1C	170	3,6	-20 tot 60
LFP		LiFePO ₄ (EV)	90-125	130-300	2.000	0,3-0,6	5C cont, 10C pulse	270	3,2	-20 tot 60
		LiFePO ₄ (EV)	80-108	200-240	2.000	0,4-1,0	30C cont, 50C pulse	270	3,2	-20 tot 60
NMC		NMC (EV)	150	270-290	1.500	0,5-0,9	20C cont, 40C pulse	215	3,7	-20 tot 60
		NMC (EV)	155-190	330-365	1.500	0,5-0,9	1C cont, 5C pulse	215	3,7	-20 tot 60
LTO		Titanat e vs NCM / LMO	65-100	118-200	12.000	1-1,7	10C cont, 20C pulse	Not susceptible	2,5	-50 tot 075
LMO		Lithium Mangan e-se spinel (EV)	90-110	280	>1.000	0,45-0,55	3-5C cont,	255	3,8	-20 tot 50

2.2 Batterij Management Systeem

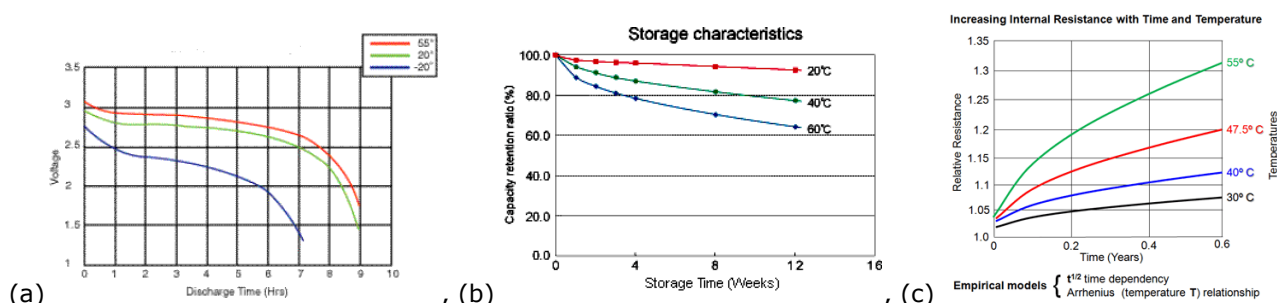
Het Batterij Management systeem (BMS) is een onderdeel van het batterijpakket. Het bestaat uit hardware en software. Het BMS vervult verschillende functies. Zo wordt een Lithium-ion batterij er tegen 'beschermd' dat deze te diep ontladen wordt, of te warm wordt. Het BMS meet continu de spanning van een batterij, de temperatuur en het opgenomen of afgegeven vermogen. Het BMS regelt hiermee dat het batterijpakket als geheel optimaal ingezet kan worden. Zo regelt het BMS de balancerings van een module of pakket door op celniveau sturing uit te voeren in het laad- en ontladgedrag.

De bruikbare capaciteit wordt zodoende zo hoog mogelijk gehouden. Ook zorgt het BMS ervoor dat er optimaal geladen, ontladen en gekoeld kan worden. Zo zijn er systemen waarbij de warme kant (bijvoorbeeld de kant die in de zon staat) meer gekoeld kan worden dan de koudere zijde. Ook kan het BMS ervoor zorgen dat cellen of modules automatisch afschakelen bij een bepaalde lekspanning/stroom. Tijdens het onderhoud van de BEV en het batterijpakket levert het BMS informatie over de status van de batterij. Zo geeft het BMS aan wanneer een module niet meer goed functioneert en vervangen dient te worden.

2.3 Vermogens-elektronica, bedrading, omkasting en koeltechniek

Een groot deel van de power-elektronica bevindt zich buiten het batterijpakket zelf, zoals de omvormers; deze kosten zijn niet meegenomen in de kostenopbouw in Figuur 2b. De power-elektronica in de batterij zelf zorgt o.a. voor het voorkomen van lekstromen en het diep ontladen van de batterij als de EV niet in gebruik is. De omkasting voorkomt vochtindringing in het batterijpakket en biedt bescherming tegen invloeden van buitenaf, zoals bijvoorbeeld bij een crash.

Voor de koeling van batterijpakketten kan een luchtkoeling of een vloeistofkoeling toegepast worden (daarnaast zijn er ook ontwikkelingen in de markt naar alternatieve manieren van koeling, zie hiervoor ook paragraaf 4.2). Temperatuurcontrole van een batterijpakket is van groot belang. Temperatuurcontrole-systemen in de batterij kunnen bijdragen aan de prestatieverbeteringen van de batterij. De werktemperatuur van de batterij heeft namelijk direct invloed op zowel de performance van de batterij, als ook op de levensduur van het batterijpakket, zoals ook in Figuur 9 wordt weergegeven.

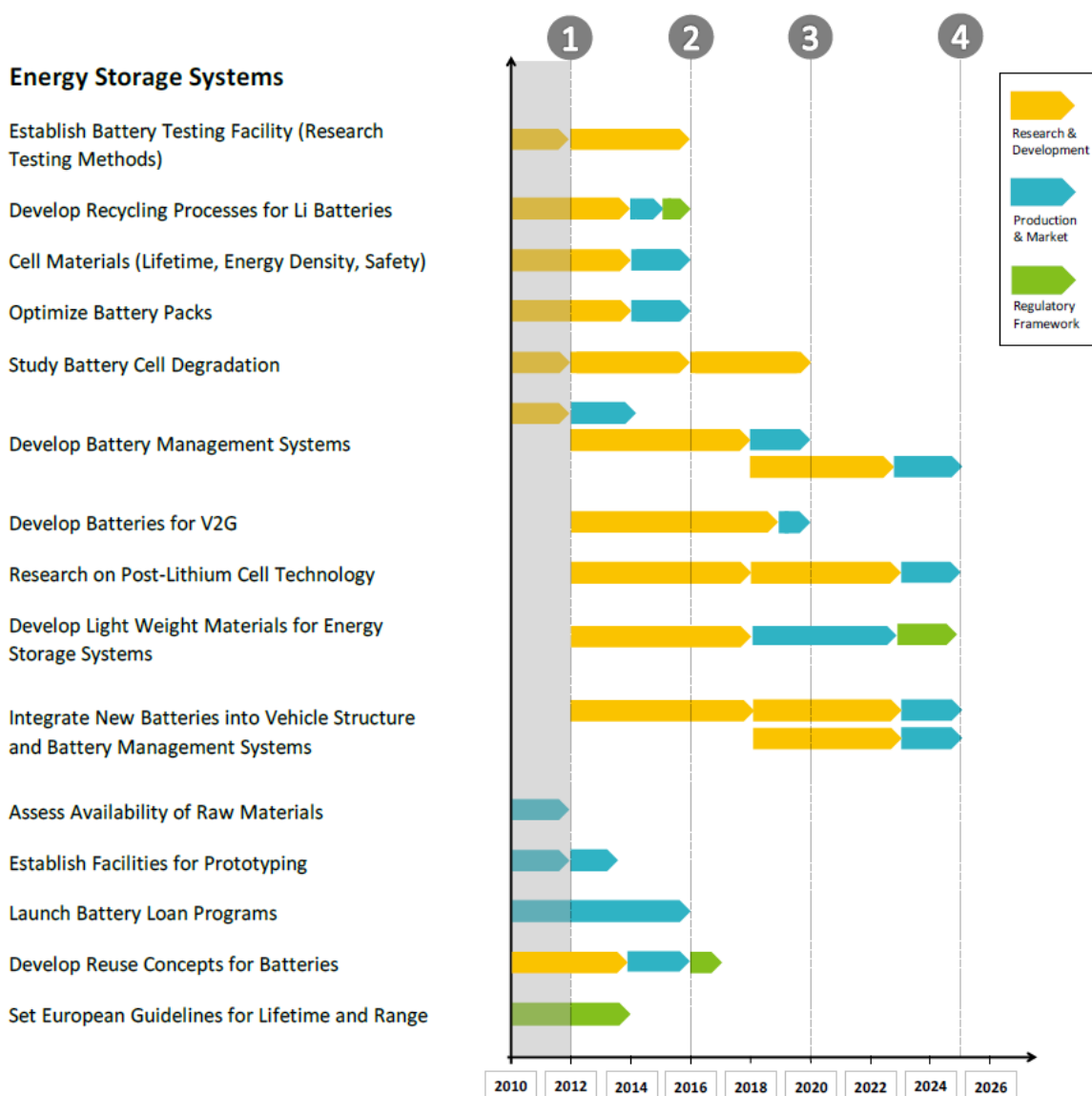


Figuur 5 Bij een hogere werkte temperatuur (lithium ion batterij) neemt de: [57]

- (a) vermogensprestatie toe (meer vermogen)
- (b) zelfontlading toe (meer verliezen)
- (c) interne weerstand toe (meer verliezen)

2.4 Status van ontwikkelingen voor batterij systemen

Vanuit het Green Vehicles Initiative (EGVI) [15], is een roadmap (tot 2025) voor batterij-ontwikkeling opgesteld, weergegeven in onderstaande Figuur 6. Uit dit figuur blijkt dat op dit moment nog een groot aantal ontwikkelingen zich in de R&D-fase bevinden (geel gekleurd), terwijl er ook al een aantal aandachtsgebieden verder in de ontwikkeling zijn (blauw en groen gekleurd).



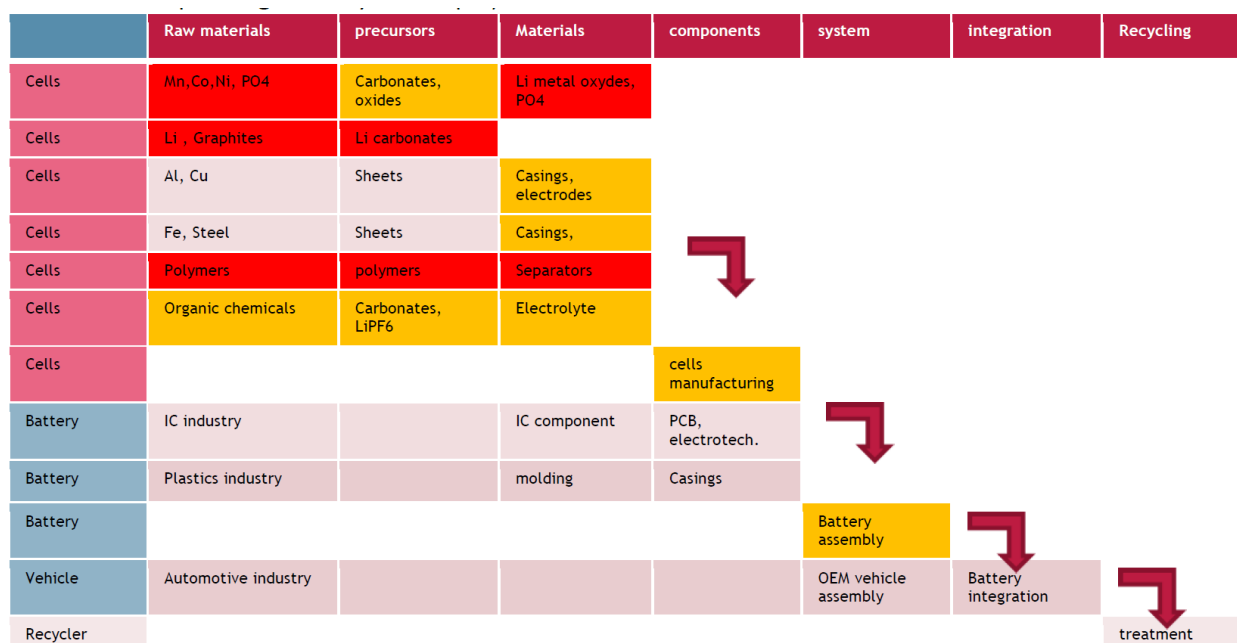
Figuur 6 Roadmap tot 2025 voor voorziene ontwikkelgebieden Europa, met betrekking tot energie opslag systemen voor in BEV's [16]

3 GRONDSTOFFENFASE

3.1 Relevante ontwikkelingen en technologieën

Van grondstoffen worden de halffabricaten geproduceerd die geleverd worden voor de productie van batterijencellen. Deze worden dan uiteindelijk geassembleerd tot batterijpacks.

In een studie uit 2013 van de Europese koepelvereniging voor herlaadbare batterijen Recharge [12], zijn de verschillende grondstoffen en halffabricaten beschreven die uiteindelijk verwerkt worden in geassembleerde batterijpakketten. Een overzicht hiervan staat in Figuur 7. Hierbij kennen de geel- en oranje gekleurde sectoren weinig tot geen industriële activiteit in Europa (zie Figuur 7). De rood gekleurde velden kennen wel industriële activiteit in Europa, dit betreft voor Nederland vooral polymeren en separatoren (zie Hoofdstuk 3.2).



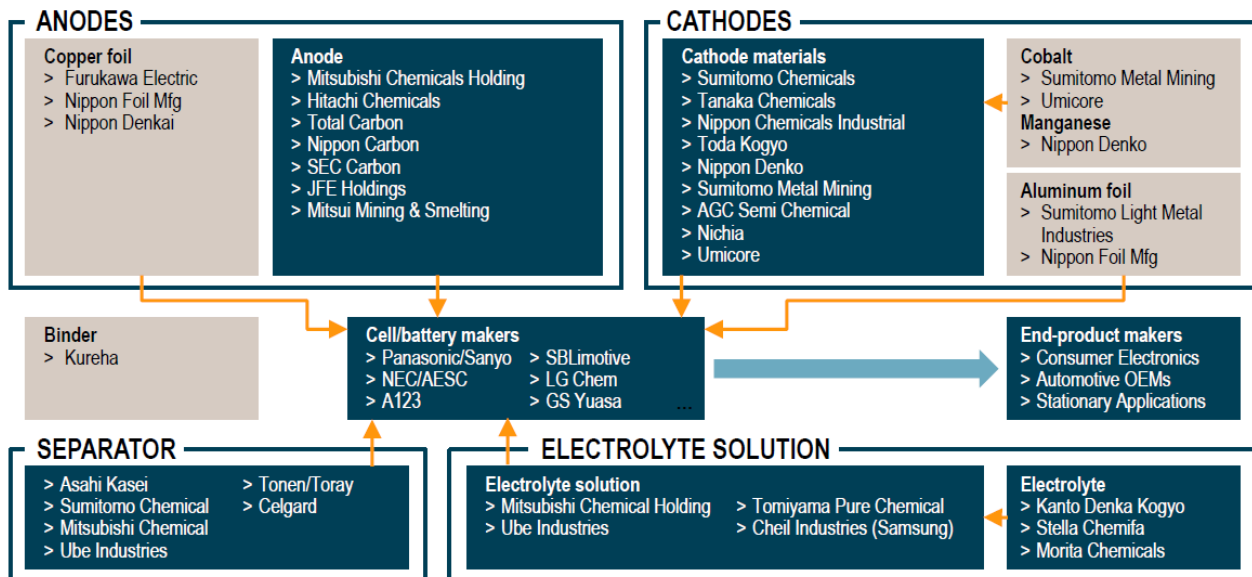
Figuur 7 Verschillende grondstoffen en halffabrikaten voor batterijpacks [12]

De oorzaak van de magere aanwezigheid van de supply chain voor Lithium-ion batterijen in EV in Europa kan verklaard worden uit het feit dat de productie van cellen voor het merendeel in Oost-Azië plaatsvindt. Op zijn beurt is deze concentratie in Oost-Azië weer te verklaren uit het feit dat hier al een bijzonder sterke industrie van Lithium-ion batterijen aanwezig is voor draagbare toepassingen.

In 2011 werd ongeveer 95% van alle Lithium-ion batterijen (voornamelijk draagbare batterijen in consumenten elektronica) in Japan, Zuid-Korea en China geproduceerd. Deze landen hebben de al aanwezige technologische kennis succesvol kunnen uitbreiden naar de Lithium-ion batterijen op groot formaat, waarbij over meer dan twee decennia ook materiaal-aanvoer en machine-industrie zich sterk heeft kunnen ontwikkelen [13].

Ter illustratie van de dominantie van de Aziatische supply chain is deze afgebeeld in Figuur 8. Het Belgische delfstoffenconcern Umicore speelt met haar Japanse en Koreaanse vestigingen een rol in deze toeleverketen [72].

Li-Ion battery supply chain overview



Figuur 8 Verschillende grondstoffen en halffabricaten voor kathode, anode en het elektrolyt en belangrijkste bedrijven [12]

Feitelijk worden in Europa maar door een zeer beperkt aantal fabrikanten Lithium-ion batterijen voor EV voertuigen geproduceerd. Een (mogelijk niet uitputtend) overzicht:

- Nissan heeft met NEC een gezamenlijke productie-plant bij de assemblage voor de Nissan Leaf in Sunderland (UK). Vanuit Sunderland beleeft Nissan ook haar plant in Barcelona (Spanje) die elektrische bestelwagens produceert
- Litec (Joint Venture van Evonik en Daimler) maakt batterijcellen die door Deutsche Accumotive tot batterijpakketten geassembleerd worden
- SAFT produceert in Bordeaux (Frankrijk) en Narzac (Frankrijk) Lithium-ion batterijen die echter hoofdzakelijk voor non-automotive toepassingen toegepast worden
- Hoppecke Batterien GmbH produceert in Brilon (Duitsland) Lithium-ion batterijen die eveneens hoofdzakelijk voor non-automotive toepassingen toegepast worden, maar ook aan fabrikanten van speciale voertuigen geleverd worden
- Magna batteries in Oostenrijk is een wereldwijde leverancier van automotive producten, met productie van Li Ion batterijen in Oostenrijk.

Op nog kleinere schaal vindt niche productie plaats op de volgende locaties:

- Batscap (Joint Venture van Bolloré en EDF) produceert in Quimper (Frankrijk) Lithium-ion batterijen voor de stadsauto Bluecar.
- Johnson Matthey Battery systems produceert in Dundee (Engeland) Lithium-ion batterijen voor o.a. Landrover en Jaguar.

Bosch heeft in 2008 een joint venture opgericht met Samsung, gericht op de productie van EV batterijen. Deze samenwerking is echter in 2012 ontbonden. Bosch heeft na de beëindiging van de joint venture met Samsung aangekondigd productie van batterijcellen en -packs te overwegen.

De evolutie over de komende 10 jaren is op dit moment op geen enkele verantwoorde wijze te voorspellen. Als de groei van EV voertuigen in Europa blijft toenemen, dan zullen de autofabrikanten (*original equipment manufacturers, OEM's*) ongetwijfeld batterijproductie dichterbij de Europese afzetmarkten prefereren. Het is echter op dit moment allerm minst zeker of deze groei zal doorzetten. Ook de invloed hierop van brandstofceltechnologie is nog onvoorspelbaar. In Nederland worden op dit

moment 72 typen EV's verkocht op de markt, ten opzichte van 2 (en nog 1 verwacht in 2016) brandstofcel aangedreven voertuigen (zie ook Figuur 7).

Op basis hiervan is het aannemelijk te stellen dat OEM's op dit moment meer inzetten op batterijaangedreven voertuigen dan op brandstofceltechnologie (zie ook Figuur 9). Het is echter niet duidelijk of dit ook een trend zal zijn die zich in de toekomst (tot 2025 en/of daarna) voort zal zetten [76]. De potentie van brandstofcelvoertuigen wordt door velen hoog ingeschat, waardoor onderzoek en ontwikkeling in Nederland door bedrijven die op dit vlak actief zijn zeker ondersteuning verdient.

BEV's en PHEV's	Waterstof voertuig
- Audi A1 eTron BEV - Audi A6 Hybride PHEV - Audi A8 Hybride PHEV - Audi Q5 Hybride PHEV - BYD E6 - BMW ActiveHybrid3 PHEV - BMW ActiveHybrid5 PHEV - BMW ActiveHybrid7 PHEV - BMW ActiveHybrid X6 PHEV - BMW Mini E BEV - Chevrolet Volt hybride PHEV - Citroen C3 e-HDI PHEV - Citroen DS3 e-HDI PHEV - Citroen C4 e-HDI PHEV - Citroen C-Zero BEV - Fiat Nova500 Hybride PHEV - Ford Fusion Hybride PHEV - Honda Insight PHEV - Honda Civic Hybride PHEV - Honda CR-Z Hybride PHEV - Honda Jazz Hybride PHEV - Honda Accord Hybride PHEV - Hyundai Elantra Hybride PHEV - Hyundai Sonata Hybride PHEV - Hyundai i10 BEV - Hyundai Forte Hybride PHEV - Hyundai Cee'd Hybride PHEV - Hyundai Sorento Hybride PHEV - Hyundai Optima Hybride PHEV - Lexus CT200H PHEV - Lexus IS300H PHEV - Lexus RX450H PHEV - Lexus GS450H PHEV - Lexus LS 600H PHEV - Mercedes E300 Hybride PHEV - Mercedes S400 Hybride PHEV - Mitsubishi Outlander PHEV - Mitsubishi iMiEV BEV - Nissan Leaf BEV - Opel Ampera BEV - Opel Ampera PHEV - Opel Corsa EcoFLEX PHEV - Opel Astra EcoFLEX PHEV - Opel Insignia EcoFLEX PHEV - Peugot 3008-Hybrid4 PHEV - Peugot 508 Hybrid4 PHEV - Peugot RCZ-Hybrid4 PHEV - Peugot iOn BEV - Porsche 918 Spider PHEV - Porsche Cayenne Hybrid PHEV - Fluence Z.E. BEV - Kangoo Z.E. BEV - Zoe Z.E. BEV - Zero BEV - Tesla Model X - Tesla Roadster - Toyota Prius PHEV - Toyota Auris Hybride PHEV - Toyota Yaris Hybride PHEV - Toyota - Volkswagen Polo BlueMotion PHEV - Volkswagen Golf BlueMotion PHEV - Volkswagen Golf TwinDrive PHEV - Volkswagen Golf 7 Hybride PHEV - Volkswagen Jetta Hybride PHEV - Volkswagen Passat BlueMotion PHEV - Volkswagen Touareg Hybride PHEV - Volkswagen E-up! BEV - Volvo V60 Hybride PHEV - Volvo V70 Hybride PHEV - Volvo Volvo XC60H PHEV - Volvo C30 EV BEV	- Toyota Mirai - Hyundai ix35 FCEV - Honda (2016)

Figuur 9 Huidige aantal EV's [54], [55] ten opzichte van het aantal waterstof aangedreven voertuigen [56]

3.2 Nederlandse spelers

Het potentieel in de grondstoffenfase voor Nederland is beperkt tot de polymeren die reeds in Nederland geproduceerd worden en tot halffabricaten voor de batterij-industrie verwerkt kunnen worden. Voor kunststofproducten van deze aard geldt typisch dat om kostentechnische redenen de locatie van de klant niet verder dan 300-400 km van de locatie van de productiefaciliteit verwijderd kan zijn [86].

Momenteel worden door Polytec te Putte afscheidingen tussen batterijcellen geproduceerd. In verband met de doorslagspanning- en isolatie-eisen wordt hier glasvezelversterkt Polypropyleen voor gebruikt, hetgeen door Sabic geproduceerd wordt in Nederland. De Europese koepelorganisatie voor de plasticindustrie, Plastics Europe, geeft aan dat de plastic materialen zoals opgenomen in Tabel 3 verwerkt worden in Lithium-ion batterijen voor EV's. Naast Sabic produceert ook DSM in Nederland polymeren die voor deze toepassingen geschikt zijn [73], [74] en [75].

Tabel 3 Overzicht van gebruikte grondstoffen, met daarbij genoemd producenten in Nederland [88]

Toepassing	Materiaal	Producent in Nederland
battery cell frames with cooling channels	PA66	DSM
(cooling via water/glycol circuit)	PPO	Sabic Bergen op Zoom
battery connectors	PBT	Sabic Bergen op Zoom DSM
battery HV cables	PE-XL	
battery housings	SMC, PP, LGF PP	Sabic Geleen
battery covers or frames	PA6	DSM
Membranes	PPO film	

4 FABRICAGE EN TOELEVERINGSFASE

4.1 Relevante ontwikkelingen en technologieën

In het rapport 'A review of battery technologies for automotive applications' van Eurobat [5], wordt geconcludeerd dat tot 2025 de nadruk voor fabrikanten van batterijen voor EV's zal liggen op verbeteringen op de volgende drie gebieden:

- Hogere prestatie tegen een lagere kostprijs
- Systeemintegratie
- Veiligheid en recycleerbaarheid.

Om de concurrentiepositie van batterijen (en daarmee van EV's) te verbeteren, is verdere ontwikkeling op deze gebieden absoluut vereist. Het Eurobat-rapport [5] concludeert eveneens dat doorontwikkeling van Lithium-ion technologie veelbelovend lijkt. Ook de Europese Commissie heeft deze focusgebieden geïdentificeerd en prioriteit gegeven middels het Horizon 2020 *European Green Vehicles Initiative (EGVI)* [15], waarbij diverse Nederlandse marktpartijen lid zijn van dit initiatief (o.a. NXP, DAF, TUE).

In de volgende sub-paragrafen wordt verder ingegaan op ontwikkelingen voor "*fabricage en toelevering*". De nodige verbeteringen op het gebied van 'hogere prestatie tegen een lagere kostprijs' worden voornamelijk toegelicht in paragraaf 4.1.1 en in 4.1.2 (relevante ontwikkelingen in de '*Batterijcelmaterialen en componenten*' en respectievelijk '*Assemblage van batterijmodules en batterijpakketten*'). Paragraaf 4.1.3 richt zich op de '*Systeemintegratie*' van batterijpakketten en 4.1.4 gaat nader in op '*Veiligheid en recycleerbaarheid*'.

4.1.1 Batterijcelmaterialen en componenten

De verbeteringsslag 'hogere prestatie tegen een lagere kostprijs' is evident voor het algemene succes van elektrisch rijden. Een prestatieverbetering kan zijn een *hogere energiedichtheid of vermogensdichtheid*, een *langere levensduur* of een *betere laadacceptatie*. Deze prestatieverbeteringen zijn deels te behalen op het gebied van batterijcelmaterialen en -componenten. Daarnaast is prestatieverbetering te verkrijgen door veranderingen op het gebied van assemblage van het batterijpakket (zie ook 4.1.2).

De huidige Lithium-ion batterijen zijn hoogvermogensbatterijen. Voor het elektrisch voertuig is het namelijk van belang dat de batterij gedurende een korte periode snel veel vermogen kan leveren bij bijvoorbeeld het optrekken van het voertuig, of dat het batterijsysteem remenergie kan opslaan, hetgeen tot energiebesparing van het elektrisch voertuig leidt. Voor langere periodes zijn de eisen met betrekking tot het leveren van een bepaald vermogen minder hoog. De ladingstoestand speelt een grote rol in de vermogensdichtheid die een batterij kan leveren en/of accommoderen.

Andere eigenschappen, zoals levensduur, werktemperatuur en veiligheid, maken de huidige batterijen op dit moment wél geschikt voor toepassing in elektrische voertuigen. De energiedichtheid kan verhoogd worden door toepassing van nieuwe materialen en aangepaste fabricagetechnieken om de hoeveelheid inactief materiaal in de batterij te verlagen. Om het gewenste niveau van energiedichtheid te halen zullen andere combinaties van materialen gezocht moeten worden, die aan deze eis kunnen voldoen. Batterijfabrikanten richten hun pijlen op verbetering van de *batterijcelmaterialen en -componenten* om hun batterijprestatie te verhogen, dus anode, kathode, separator en electrolyt.

Ontwikkelingen op dit vlak die nu gaande zijn, zijn:

- productontwikkeling van electrode materialen met een hogere capaciteit in MAh/g
- productontwikkeling van cellen met een hoger voltage

- ontwikkeling van alternatieven voor elektroden op carbonbasis
- nieuwe materialen die de prestatie-afname bij lagere temperaturen verminderen.

De levensduur van herlaadbare batterijen wordt doorgaans uitgedrukt in *cycle life* (het aantal cycli dat er geladen en ontladen kan worden tot het moment dat de capaciteit gedaald is tot 70-80% van de initiële capaciteit). Daarnaast speelt de *calendar life* (gewone levensduur uitgedrukt in jaren) een rol. De huidige batterijsystemen zijn meestal oorspronkelijk ontwikkeld voor laptops en mobiele telefoons, die slechts ongeveer drie jaar meegaan en 300 tot 400 keer geladen en ontladen worden. Voor een batterij voor elektrische voertuigen liggen de eisen een stuk hoger.

Voor Lithium-ion batterijen zijn er nieuwe materialen ontwikkeld die de levensduur verder kunnen verlengen, de energiedichtheid wordt hierdoor echter te laag. De werkt temperatuur en tijdelijke hoge temperaturen hebben een negatief effect op de levensduur van de batterij. Om dit negatieve effect te verminderen worden er bijvoorbeeld materialen en additieven ontwikkeld die voor een stabiel systeem zorgen.

4.1.2 Assemblage van batterijmodules en batterijpakketten

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de assemblage van batterijmodules en batterijpakketten.

Voor de assemblage van batterijmodules en batterijpakketten kan het onderscheid gemaakt worden tussen activiteiten die zich richten op de assemblage van batterijpakketten, waarbij cellen worden ingekocht en samengevoegd tot batterij-modulen, en assemblage van batterijpakketten *in EV*, waarbij batterijpakketten dus ingebouwd worden in EV's.

Voor deze assemblagestappen zijn relevante ontwikkelingen en technologieën te vermelden, zoals de ontwikkeling van temperatuurcontrolesystemen, software voor BMS en Vehicle Energy Management (VEM) systemen. Ontwikkelingen spelen zich hierbij af op zowel mondiaal niveau (voornamelijk Oost-Azië, waar de toeleverende industrie voor de batterijproductie zich voornamelijk bevindt, zie ook paragraaf 3.1 op pagina 11), als ook op nationaal niveau (voornamelijk gericht op kleinere seriegroottes van speciale (maatwerk)voertuigen).

De prestatie van de batterij is onder andere afhankelijk van het assemblage proces van het batterijpakket. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan ontwikkeling van koel technieken en temperatuurcontrole technieken, waarbij onder andere het batterijsysteem op een juiste temperatuurwaarde gehouden kan worden door middel van interne ontlading en/of isolatie. Tevens is er, zeker bij de kleinere seriegroottes voor speciale (maatwerk)voertuigen in Nederland, sprake van diverse ontwikkelingen op het gebied van voertuig-integratie van het batterijsysteem.

4.1.3 Systeemintegratie

Een betere integratie van de Lithium-ion batterij in de auto kan de concurrentiepositie van de batterij ook sterk verbeteren. Dit betreft het mechanische ontwerp, gewichtsminimalisering, het BMS en interfaces. Een actuele ontwikkeling op dit gebied is de uitontwikkeling van thermal management systems, die ook de prestatieafname bij lagere temperaturen zullen verminderen.

In een artikel van Peter Miller is geconcludeerd dat, hoewel verbeteringen van de Lithium-ion-chemie zullen helpen het gewicht van batterij-packs te reduceren, de grootste gewichtsreducties zullen moeten komen van het pack-design [31].

4.1.4 Veiligheid en recycleerbaarheid

Met een lagere prioriteit wordt ook gewerkt aan verbetering van veiligheid en recycleerbaarheid, waarbij uiteraard ook een brug geslagen wordt naar de einde-levensfase. Veiligheid kan verbeterd worden door nieuwe monitoringtechnieken, geavanceerde State-of-Health en State-of-Charge-indicatoren en celdiagnostiek om veroudering beter te kunnen beheersen.

Andere gebieden waar gezocht wordt naar verbeteringen voor veiligheid zijn hogere “abuse tolerantie” en robuuster ontwerp van de batterijcellen. Op het gebied van recycleerbaarheid kijken batterijfabrikanten en OEM’s naar verbeteringen met behulp van design for dismantling en veiligheidsstandaarden voor demontage.

Om de veiligheid te garanderen worden er chemische additieven toegevoegd die zorgen voor betere chemische stabiliteit van de actieve componenten. Ook worden er temperatuurgevoelige membranen toegevoegd die bij oververhitting dichtslaan en daarbij de kortsluitstromen blokkeren. De behuizing van de batterijen speelt tevens een belangrijke rol, bijvoorbeeld met behulp van het aanbrengen van veiligheidsventielen voor bijvoorbeeld koelsystemen. Om het laden en ontladen veilig te laten verlopen wordt een BMS-systeem toegepast. Dit is nader toegelicht onder 2.2. Het toevoegen van een BMS-systeem betekent echter in de praktijk een lagere energiedichtheid.

Recycleerbaarheid is binnen de Europese wetgeving vooral een verantwoordelijkheid van de *autoproductent (OEM)*, en niet van de batterijfabrikanten.

4.2 Nederlandse spelers

De activiteiten van Nederlandse spelers binnen de fase ‘fabricage en toelevering’, worden onderstaand toegelicht:

- Batterijcelmaterialen en componenten (paragraaf 4.2.1)
- Assemblage (paragraaf 4.2.2)
- Systeemintegratie 4.2.3 (paragraaf 4.2.3)
- Veiligheid en recycleerbaarheid (paragraaf 4.2.4).

4.2.1 Batterijcelmaterialen en componenten

In Nederland worden geen Lithium-ion batterijcellen geproduceerd. Wel is in Nederland het bedrijf Centurion Accu actief, dat zich richt op de productie van een bi-polaire loodbatterij. Centurion is hiermee de enige producent van cellen in Nederland [66], [67], [68], [87], en er is veel vertrouwen in de ontwikkelde technologie [66], [87]. Voor de ontwikkeling, en in een later stadium ook de productie, van deze batterij, koopt men lood in als grondstof, dat door Centurion tot loodcellen wordt verwerkt. Hierna voegt men een zestal loodcellen samen voor de productie van een batterij.

Deze batterijen hebben een lagere energie-inhoud in vergelijking met Li-ion batterijen en zijn daardoor zwaarder, echter door de eigenschappen van de lood-batterij lenen deze zich voor diep-cyclische toepassingen [84]. Deze bi-polaire batterij is vooral interessant voor toepassingen in kleinere seriegroottes, zoals bijvoorbeeld stadsdistributievoertuigen en kleine transportvoertuigen. Een ander groot voordeel van dit type batterij is het hoge recyclingpercentage vanwege het gebruikte lood in de batterij, en de brandveiligheid van het type batterij [84].

Door de turbulente ontwikkelingsmarkt voor batterijceltechnologieën, kan het voor celproducenten wel risicovol zijn zich te concentreren op één technologie. Zodra een gekozen technologie wordt ‘ingehaald’

door een volgende ontwikkeling, kan het verdienmodel van de producent onder druk komen te staan [87].

4.2.2 Assemblage van batterijmodules en batterijpakketten

Assemblage van batterijen biedt weliswaar kansen voor Nederland, maar gebaseerd op de interviews zal dit zich alleen in nichemarkten concentreren. De kostprijs van stuksproductie batterijassemblage is nu eenmaal een veelvoud van de kostprijs van serieproductie.

Onderstaand wordt ingegaan op de focusgebieden voor bedrijven die in Nederland actief zijn op het gebied van assemblage van batterijmodules en batterijpakketten. Dit wordt gedaan op basis van de volgende onderwerpen:

- Nichemarkten
- CO₂ reductiedoelstellingen
- Ondersteuning aan R&D-activiteiten
- Bedrijfsactiviteiten in Nederland.

De hier vermelde bedrijfsactiviteiten in Nederland zijn hierbij gebaseerd op diverse marktconsultaties.

Nichemarkten: Toepassingsgebieden voor Nederlandse bedrijven worden gevonden in maatwerkvoertuigen als onderdeel van een professionele vloot. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om speciale voertuigen zoals sneeuwschuivers, koelwagens, bussen, trucks, maatwerk-vrachtwagens en overige *heavy duty* maatwerkvoertuigen. Tevens worden batterijpakketten geproduceerd voor stationaire toepassingen zoals zeeboeien of windturbines, echter deze vallen buiten de scope van dit rapport. Diverse bedrijven in Nederland zijn actief, of hebben de ambitie om actief te worden op het gebied van assemblage van EV-batterijmodules en batterijpakketten. Zoals bovenstaand aangegeven (paragraaf 4.1.2, pagina 16) kan hierbij (soms) een onderscheid gemaakt worden tussen de assemblage van ingekochte cellen tot batterijmodulen, en assemblage (inbouw) van batterijpakketten in EV's. Opgemerkt dient te worden dat er ook bedrijven zijn die beide activiteiten bedrijven.

CO₂ reductie doelstelling: Tijdens de marktconsultatieronde is door bedrijven beargumenteerd dat er voor het halen van de energie- en CO₂-reductie-doelstellingen [40] een grote toename van EV gevegd wordt [38], terwijl deze in de praktijk nog erg achterblijft. Dit achterblijven wordt als een gemis gezien ten aanzien van de te ontplooiende bedrijfsactiviteiten. Zo kunnen aanbestedingsvoorwaarden voor OV-concessies erg belangrijk zijn voor verdere ontwikkelingen van speciale voertuigen in Nederland. Een grotere vraag creëert ook behoefte aan ontwikkeling van batterijen. Als in dit verband voorkeur gegeven wordt aan vervoerders die bussen of andere voertuigen met nul emissie inzetten, ontstaan kansen voor batterijassemblage in stuksproductie of kleine serieproducties [20].

Ondersteuning aan R&D-activiteiten: Grensoverschrijdende samenwerkingsverbanden, zoals bijvoorbeeld ELAT, welke een verbintenis creëert tussen hightechbedrijven in Eindhoven, Leuven en Aachen dragen ook bij aan bedrijfsactiviteiten, voornamelijk op het gebied van technologieontwikkeling [24]. Er zijn geen concrete aanwijzingen gevonden dat deze grensoverschrijdende samenwerkingsverbanden ook daadwerkelijk leiden tot meer bedrijfsactiviteiten op het gebied van productie van EV batterijen voor speciale voertuigen.

Bedrijfsactiviteiten in Nederland: Zoals aangegeven zijn de bedrijfsactiviteiten in Nederland geïnventariseerd door middel van een marktconsultatieronde. Opgemerkt dient hierbij te worden, dat de benaderde bedrijven slechts een selectie zijn van bedrijven actief in Nederland. De opzet van deze marktconsultatieronde is dan ook niet om een sluitend beeld te verkrijgen van de bedrijfsactiviteiten in kwantitatieve zin, maar wel om de activiteiten zoals ontplooid door het Nederlandse bedrijfsleven

kwalitatief te kunnen benoemen. De volgende voorbeelden van Nederlandse bedrijfsactiviteiten kunnen worden genoemd op het gebied van 'Assemblage van batterijmodules en batterijpakketten':

- *DAF* heeft activiteiten op het gebied van Elektrisch Vervoer, echter hierbij richt men zich voornamelijk op kleine systemen (e.g. 1,9 kWh) die ingezet worden voor motor efficiency (DAF LF serie; *milde hybride voertuigen*; enkele tientallen stuks verkocht in Europa) en bijvoorbeeld een 5 kWh systeem ten behoeve van koel aggregaten in vrachtwagens. DAF stelt hierbij zelf de batterij specificaties op, en koopt daarna complete batterijpakketten in bij toeleveranciers. Eigen assemblage-activiteiten worden hierbij niet voorzien [85]
- *E-traction* [77] levert als onderdeel van haar portefeuille van e-mobility systemen "commercial off-the-shelf" producten voor het energiemangement aan boord van voertuigen en levert "engineer to order" batterijsystemen op projectbasis. De bredere portefeuille van e-Traction richt zich op de gehele elektrische aandrijflijn van een EV (motortechniek, inverter en connectie & distributie). Batterijen worden op grotere seriebasis als complete systemen ingekocht en geïntegreerd met het aandrijfsysteem. Op projectbasis worden batterijsystemen ook wel zelf samengesteld. Voor dit laatste koopt men modules in (veelal geproduceerd in China, Korea of Japan) die men samenvoegt tot batterij-packs. Dit alles gebeurt 'tailor made' in kleine series voor speciale voertuigen.

Ook ontwikkelt men in eigen huis VEM (Vehicle Energy Management) systemen die een interactieve interface vormen voor communicatie tussen de batterij en bijvoorbeeld het laadstation en de batterij en alle gebruikers in het voertuig. Dit VEM systeem vervult een ECU (Electronic Control Unit) functie binnen het voertuig waarmee de interactie tussen batterij en voertuig, en batterij en wal (-lader) wordt gecoördineerd. Hierdoor wordt bijvoorbeeld het snellaadproces gemanaged, om zodoende de veroudering van de batterij te minimaliseren (bijvoorbeeld het voorkomen van veroudering door te snel laden, door te hoge temperaturen, en door onvoldoende te laden). Hiernaast worden door het VEM systeem veiligheidszaken geregeld zoals het automatisch afschakelen bij een bepaalde lekspanning/stroom. Het bedrijf richt zich hiermee op het ontwikkelen van kennis, die de batterij-levensduur verlengt en het functionele gebruik, met inbegrip van veiligheid, optimaliseert. De batterij-relevante kennis van e-Traction komt tot uiting in de hard- en software, welke toegepast worden in aandrijflijnen voor speciale voertuigen, bijvoorbeeld bussen en andere binnenstedelijke commerciële voertuigen

- *M2Power* levert batterijpakketten ten behoeve van toepassingen in maatwerkvoertuigen. Hierbij moet gedacht worden aan bijvoorbeeld vrachtwagens (klein formaat), waarbij bijvoorbeeld een loodbatterij wordt vervangen door Lithium-ion techniek. Ook richt men zich bijvoorbeeld op (hybride) boten en op stationaire toepassingen voor zonne energie opslag. M2Power assembleert hierbij ingekochte cellen, tot een batterijpakket, waarbij seriegroottes variëren van 1 tot 10 stuks. Men richt zich hiernaast ook op de ontwikkeling van het specieke BMS voor deze batterijpakketten [21]
- *VDL Groep*: binnen de VDL Groep wordt voornamelijk door het onderdeel VDL Bus & Coach [87] gebruik gemaakt van diverse soorten batterijen voor busvervoer. Hierbij worden verschillende toepassingsgebieden onderscheiden, zoals vliegvelden (waar veelal genoeg tijd is om te laden), stadsverkeer (meer snellaadtechnologie nodig), range extenders (e.g. in combinatie met waterstof-brandstofcellen) en toepassingen ten behoeve van *peakshaving*.

Door deze verscheidenheid aan toepassingen en de veranderende technologieontwikkelingen in de batterijmarkt, heeft VDL Bus & Coach een brede scope met betrekking tot batterij-inkoop en eigen assemblage van batterijpakketten en ontwikkeling. Batterijpakketten die men gebruikt variëren gebruikelijk tussen de 60 en 320 kWh, waarmee dit grotere batterijpakketten zijn. Onder andere door deze snelle ontwikkelingen in de markt, wordt de batterij gezien als een onzekere factor, waardoor men ervoor kiest om deze veelal modulair in te kopen. Deze batterijpakketten dienen na verloop van tijd makkelijk vervangen te kunnen worden door nieuwe batterijpakketten van bijvoorbeeld een ander(e) type/vorm. Indien de constructeur ervoor kiest de batterijpakketten zelf samen te stellen, dan koopt men hiervoor de diverse onderdelen in, zoals omkasting (lucht-, water- of vloeistofgekoeld), noodschakelaars en zekeringen, software en BMS. Kansen voor toeleverende industrie zijn hierbij zeker aanwezig. Tijdens de gebruiksfase

richt men zich met name op de monitoring van de batterij, zodat men deze gegevens kan gebruiken voor het doorontwikkelen van bijvoorbeeld software etc.

Voor een ander onderdeel van de VDL Groep, de sterk gerobotiseerde autofabriek van Nedcar, liggen misschien kansen op het gebied van elektrisch vervoer [20]. Echter hoe concreet dit is, is op dit moment niet te zeggen

- *Spijkstaal* ontwikkelt, produceert en verkoopt al 75 jaar elektrisch aangedreven voertuigen voor verschillende toepassingen). Op de volgende vier toepassingen richt het bedrijf zich: trekkers & platformwagens, vrachtwagens & bestelwagens, minibussen & people movers en fietsen & scooters. Deze toepassingen zijn voornamelijk te vinden in bloemenveilingen, luchthavens, autofabrieken, industrie, ziekenhuizen, zorginstellingen, attractieparken en gemeenten [44]. Spijkstaal richt zich hierbij voornamelijk op de inkoop van batterijsystemen en de integratie hiervan in de elektrische aandrijflijn van de geproduceerde voertuigen [90]
- *Technische Universiteit Eindhoven* houdt zich bezig met (fundamenteel) ontwikkelingswerk op het gebied van batterijtechnologie en toepassingsgebieden. Hieronder valt bijvoorbeeld de ontwikkeling van de temperatuur-sensorchip in samenwerking met NXP [89]
- *Tesla Motors*; De Amerikaanse producent van elektrische auto's Tesla heeft op dit moment al een distributiecentrum en een eindassemblagefabriek voor de Europese markt in Tilburg. Op dit moment gaan men uitbreiden met een tweede vestiging. Tesla [60]. Het bedrijf richt zich hiermee op de eindassemblage van het Lithium-ion batterijpakket in de BEV
- *Topcool* brengt een zelf ontwikkelde, gepatenteerde technologie op de markt, die is gebaseerd op een optimalisatie van peltier-elementen-technologie (TEC's/Thermo Electric Cooler), ten behoeve van temperatuurcontrole (het koelen en/of verwarmen) van het batterijpakket. Assemblagebedrijven in Nederland en onze buurlanden, die zich richten op assemblage van cellen in batterijpakketten en assemblage van batterijpakketten in EV's, kunnen hiervoor dienen als afnemers van koelsystemen [71]. Topcool richt zich momenteel op speciale voertuigen, te weten racerij en cargovervoer (koeling voor onderweg).

Volgend uit de marktconsultatie, en literatuuronderzoek kan een aantal bedrijven, niet uitputtend, genoemd worden die actief zijn in het marktsegment van 'Assemblage van batterijmodules en batterijpakketten'. Deze bedrijven zijn (op alfabetische volgorde) als volgt: *Actia* [25]; *Altramotive* [6]; *Benteler Engineering BV* [20]; *Bitronic*; *B-style Business* [6]; *CargoHopper* [6]; *Cleantron* [66]; *Devi-Comfort BV* [6]; *E busco* [46]; *Electric Power Holland* [6]; *Estoechnologies BV* [6]; *E-trucks* [41]; *Frisian Motors* [6]; *Heijnsdijk Electric Cars* [6]; *Heliox* [6]; *Magneto* [6]; *Q Buzz* [69]; *Wetac Motive Power* [6].

Op basis van de uitgevoerde marktconsultatie kan worden gesteld dat een behoorlijk aantal bedrijven in Nederland actief is in het beperkte werkveld van 'assemblage van batterijmodules en batterijpakketten' voor speciale voertuigen. De bedrijfsactiviteiten voor deze bedrijven betreffen het ontwerpen, ontwikkelen, module-assemblage en assemblage van het finale batterijpakket (samenvoegen van meerdere modules tot een batterijpakket).

Toepassingsgebieden zijn elektrische voertuigen met een specifieke functie (speciale voertuigen), die in kleinere seriegroottes of stuksproductie geproduceerd worden. Het omvat ook andere toepassingen in bijvoorbeeld stationaire energieopslagsystemen of systemen die gebruikt worden in de scheepvaart. Een aantal bedrijven richt haar bedrijfsactiviteiten hiernaast aanvullend ook op de 'drive train' voor elektrisch aangedreven speciale voertuigen. Batterijcellen worden dan veelal extern ingekocht, en samengevoegd tot batterijmodules en batterijpakketten.

4.2.3 Systeemintegratie

Integratie van verschillende systeemcomponenten vraagt om specialistische bedrijfsactiviteiten, rondom de EV-batterij. Het produceren en leveren van batterij-integratie-technologie (systemen die in een PHEV en BEV batterij ingebouwd worden) richt zich in Nederland vanuit het bedrijf NXP voornamelijk op

omvangrijke seriegroottes voor PHEV en BEV batterijen. Wereldwijd is het Nederlandse NXP na de *merge* met het US bedrijf 'Freescale' een marktleider op het gebied van chips in auto's [28].

In samenwerking met de Technische Universiteit Eindhoven heeft NXP een nieuwe BMS-chip ontwikkeld [20], [29], [70]. Deze BMS-chips richten zich onder andere op het voorkomen van cel-onbalans. Cel-onbalans komt veelal voort uit zelfontlading en capaciteitsafname, en beide nemen toe door 'leeftijd', 'aantal cycles' en 'temperatuur'. 'Balancering van de cellen' voorkomt een afname van de actieradius, en maximaliseert daarnaast het bereik van het voertuig. Ook kunnen met de chip die NXP ontwikkeld heeft meer data verzameld worden, zoals temperatuurgegevens. Hierdoor kunnen State-of-Health-data afgelezen worden en de efficiëntie en levensduur verhoogd worden. Dit is belangrijk om een inschatting te kunnen maken of een deel van de cellen en/of modules vervangen moeten worden in de EV.

Daarnaast is een eventuele mogelijkheid voor second-life-toepassing hierdoor ook sneller vast te stellen (zie ook hoofdstuk 6) [66] [67]. De verwachting is dat dit ook een afgeleide toegevoegde waarde zal hebben voor de retailsector en voor bedrijven die (Second-Life) stationaire energieopslag nodig hebben in smart-grid-toepassingen.

Gezien de wereldwijde marktleidersrol van NXP op het gebied van chips in auto's, en de potentie van het ontwikkelde product [27], worden de marktkansen in de komende 10 jaar hiervoor hoog ingeschat.

4.2.4 Veiligheid en Recycleerbaarheid

Op het gebied van veiligheid en recycleerbaarheid zijn er in Nederland geen activiteiten geïdentificeerd die *rechtstreeks* gericht zijn op batterijfabricage en de supply chain van toeleveranciers. Indirect kan gesteld worden dat de onder 4.2.3. genoemde activiteiten secundair ook gericht zijn op verbetering van veiligheid.

5 GEBRUIKSFASE

5.1 Relevante ontwikkelingen en technologieën

De diensten Vehicle-to-Grid (V2G) en Grid-to-Vehicle (G2V) hebben potentie voor Nederlandse bedrijven, maar er zijn ook een aantal belemmeringen. Hierbij is het belangrijk om een onderscheid te maken tussen het slim laden van een EV, namelijk G2V, en diensten die de EV als opslag gebruiken: V2G & G2V. Bij opslagdiensten draait het dus om het slim laden alswel slim gebruiken van elektriciteit uit de EV.

Voor opslagdiensten (V2G & G2V) zijn een aantal belangrijke belemmeringen te benoemen:

Hardware in EV's; de meeste BEV's en PHEV's die in 2015 in gebruik zijn kunnen niet terugleveren aan het net omdat ze de hardware missen die deze taak kan uitvoeren. De nieuwere generatie EV's bezit wel de hardware om V2G mogelijk te maken

Salderen; het is mogelijk om bijvoorbeeld zonne-energie op te slaan in de auto en deze op een later tijdstip weer te kunnen gebruiken, echter zolang consumenten mogen salderen is er nauwelijks tot geen incentive voor opslag van energie voor consumenten. Voor het bedrijfsleven of overheid, die niet mogen salderen, zal het prijsverschil tussen de inkoop en verkoop van elektriciteit groot genoeg moeten zijn om opslag in EV's aantrekkelijk te maken

APX (wholesale markt); Consumenten hebben geen toegang tot de kwartierwaarden in de APX elektriciteitsmarkt, en kunnen derhalve dus ook geen 'bedrijfsactiviteiten' opstarten in de handel van energie op deze APX. Consumenten kunnen hierdoor niet profiteren van de prijsvariaties in deze markt. Dit is ook een belemmering voor slimladen (G2V)

State-of-Health; Consumenten kunnen geen inzicht verkrijgen in de "State-of-Health" van de batterij uit de EV. Dit is zowel een belemmering voor opslagdiensten als voor de verkoop van de EV, omdat dit een restwaardebepaling bemoeilijkt

Productaansprakelijkheid; De auto-importeur die de EV op de Nederlandse markt heeft gebracht, kent een productaansprakelijkheid ten opzichte van de EV- inclusief de batterij. Als de batterij echter gebruikt wordt voor een andere toepassing (V2G & G2V) dan de toepassing waar deze voor ontworpen is, kan en wil de auto-importeur niet verantwoordelijk gesteld worden voor de eventuele negatieve consequenties voor de batterij.

Belangrijke belemmeringen bij het slim laden (G2V) zijn:

Opbrengsten vs baten; De baten en lasten liggen vaak niet bij dezelfde partij. Met behulp van slim laden kan het net ontlast worden, waarbij de grootste baten bij de netbedrijven liggen. De batterij dient hierdoor echter wel veelvuldiger ingezet te worden, waardoor deze meer aan veroudering onderhevig is. De lasten van batterijveroudering en het niet zo snel mogelijk weer beschikbaar zijn van een volledig opgeladen EV liggen bij de eigenaar ervan. Netbedrijven zijn publieke, niet-commerciële instellingen die geen commerciële activiteiten mogen ontplooiën. Deze wettelijke barrière zorgt voor een vertraging in de ontwikkeling van G2V diensten

Contractuele afspraken; Energiebedrijven en energieproducenten kunnen ook baat hebben bij G2V diensten. Zij kunnen de EV's bij de laagste elektriciteitsprijs laden en de eindgebruiker laten meeprofiten. Het probleem is dat de eindgebruiker alleen een contract heeft met de energiemaatschappij voor het leveren van elektriciteit aan huis. Voor publieke laadpalen of voor laadpalen bij de werkgever is er geen contract met de eigenaar van de EV. Dit compliceert het ontwikkelen van G2V diensten.

Er zijn weinig tot geen technische belemmeringen om het slim laden (G2V) te implementeren. De verwachting is dan ook dat in de komende 5 jaar (tot 2020) verschillende partijen diensten zullen gaan aanbieden voor het slim laden. Voor opslag diensten (V2G en G2V) zijn er zowel technische als wettelijke (salderen) barrières tot 2020. De verwachting is daarom dat er pas na 2020 commerciële diensten op grotere schaal ontwikkeld zullen worden. Nederland heeft wel de primeur met de eerste grote pilot

waarbij elektrische voertuigen gebruikt worden voor opslag technologie (V2G), in de Utrechtse Lombok wijk [48].

In opdracht van het ministerie van Economische Zaken stelt DNV GL een 'Roadmap voor energieopslag tot 2030' op[58]. In het kader van deze roadmapstudie zijn diverse marktconsultaties gehouden (9 Dec 2014, Rotterdam en 20 Jan 2015, Arnhem) waaruit een aantal kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven zijn geïdentificeerd voor energieopslag (in de brede zin van het woord). Voor twee soorten bedrijfsactiviteiten zijn in deze roadmap-studie kansen geïdentificeerd voor batterijen uit EV's:

- 1 bedrijven die software ontwikkelen voor bijvoorbeeld BMS systemen, maar ook software voor de communicatie tussen laadpaal en EV
- 2 Nederlandse bedrijven (en universiteiten) die complexe business modellen kunnen modelleren, waarbij meerdere partijen betrokken zijn. V2G en G2V zijn nu bij uitstek diensten die afhankelijk zijn van meerdere partijen om tot een positieve business case te kunnen komen.

Er zijn al business-modellen die de verkoop van de batterij en de EV splitsen, denk bijvoorbeeld aan het leasen van de batterij bij de BEV's van Renault. Dit heeft als voordeel dat de aanschafprijs van de EV behoorlijk daalt, de eindgebruiker moet dan wel een maandelijkse premie betalen voor het leasen van de batterij.

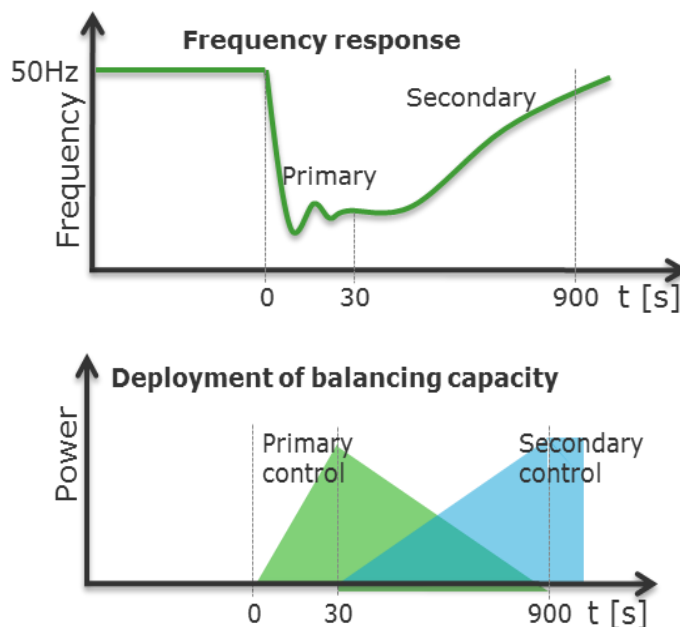
Nieuwe business-modellen proberen niet alleen de verkoop van de batterij en de EV te splitsen, maar pogen ook de extra diensten die mogelijk zijn met de batterij te ontsluiten. De meeste EV's staan het grootste gedeelte van de tijd stil, vaak zelfs 22 van de 24 uur per dag. De batterij kan in de tijd dat de EV niet gebruikt wordt, aangewend worden voor diensten op de balancerings- of de wholesale markt voor elektriciteit. Een manier om deze waarde te ontsluiten is om de netwerkbeheerders de eigenaar te maken van de batterij van de EV's.

De netwerkbeheerders (of een samenwerking van auto-importeurs, netwerkbeheerders en eventueel bedrijven die diensten aanbieden bij laadpalen) hebben als publiek verantwoordelijke partij wel toegang tot deze markten en kunnen zo de extra waarde van de batterij uit de EV ontsluiten. Het voordeel voor de eindgebruiker zou kunnen zijn dat zowel de aanschafprijs van de EV, als de maandelijkse leasepremie voor de batterij lager zijn.

Hiervoor is het noodzakelijk dat verschillende stakeholders uit de automotive - en de elektriciteitssector gaan samenwerken. De kennis om dit soort complexe samenwerkingsvormen op te zetten is aanwezig bij Nederlandse universiteiten. De universiteiten hebben een goede samenwerking met het Nederlandse bedrijfsleven, daarmee zou Nederland in Europa een koploper op dit gebied kunnen worden.

In de whitepaper over electromobility van DNV GL [59] zijn vier diensten uitgewerkt voor V2G & G2V. Voor de eerste drie diensten is het wel noodzakelijk dat de EV's een virtuele energiecentrale vormen. De nieuwe diensten zijn:

- 1 **Portfolio-optimalisatie:** de energieleverancier mag de batterij uit de EV's gebruiken tegen een bepaalde vergoeding om goedkoop in te kopen en duur te verkopen op de 'wholesale' markt
- 2 **Primary control reserve (PCR):** dit is een service waarbij capaciteit, minimaal 1 MWh, ter beschikking wordt gesteld voor het balanceren van het net. De TSO (TenneT) gebruikt deze dienst om het net op korte termijn (maximaal 15 minuten) stabiel te houden (zie Figuur 10)
- 3 **Secondary control reserve (SCR):** dit is een service voor het balanceren van het net. Vergelijkbare dienst als PCR maar naast een capaciteitsvergoeding wordt hier ook een prijs per geleverde MWh vergoed. Balancering door SCR is iets langzamer dan PCR (zie ook Figuur 10)
- 4 **Opslaan van eigen zonne-energie:** deze service kan achter de meter van de eindgebruiker plaatsvinden, er is geen virtuele energie centrale nodig.



Figuur 10 Capaciteit voor primaire en secundaire controle

Voor alle vier de diensten zijn op dit moment nog de nodige barrières te beslechten op het gebied van wetgeving. Een andere complicerende factor is dat door deze diensten de batterij intensiever wordt gebruikt en hierdoor ook sneller verouderd. Door batterij-veroudering zal de waarde van de EV ook afnemen. Bovendien zal de marktpartij die de EV op de Nederlandse markt heeft gebracht geen verantwoordelijkheid willen en kunnen nemen voor de technische staat van de EV, wanneer de batterij voor een andere toepassing is gebruikt dan de toepassing waarvoor hij ontworpen is. Portfolio-optimalisatie en SCR kunnen ook zo ingericht worden dat ze alleen gebruik maken van slim laden. Batterij-veroudering is nauwelijks van toepassing omdat bij slim laden alleen het laden in de tijd verschoven wordt. De EV wordt opgeladen als bijvoorbeeld de prijs het laagste is voor de consument. Een gevolg hiervan is dat het netwerk ontlast wordt op de piekmomenten.

In het Europese *Electromobility+* project "ABattReLife" [32] wordt de BEV-batterij-veroudering onderzocht (o.a. TNO, DNV GL en twee grote Europese OEM's). Batterij-veroudering hangt af van vele factoren, maar met name snelladen en diepe cycles voor het ontladen beïnvloeden de levensduur van de batterij zeer negatief. Het BMS in het batterij-pack zal er in de EV's ook voor zorgen dat de batterij

alleen tussen de 15% en 90% capaciteit kan opereren. Dit om batterij-veroudering door diepe cycles van ontlading tegen te gaan.

De opslagdiensten (G2V & V2G) zullen de kosten van de batterij-veroudering en het aansprakelijkheidsrisico voor de technische staat van de batterij en auto mee moeten nemen in de verschillende business modellen.

In de visie 'Duurzame Brandstoffenmix' wordt gesproken over de mogelijkheden van het stimuleren van de tweedehands EV markt. Het niet kunnen aflezen van de ouderdom (of "State-of-Health") van de batterij in de EV is een barrière voor zowel de services van V2G & G2V als voor de ontwikkeling van de tweede hands EV markt. NXP heeft een chip ontwikkeld waarmee uitlezing van de karakteristieken en de "State-of-Health" mogelijk is. Hierdoor ontstaan er, bij succesvolle marktintroductie hiervan, mogelijk kansen voor toekomstige V2G & G2V dienstverleners.

Een ander voorbeeld van Nederlandse kennis op het grensvlak van de EV en smart grids, is het Europese *electromobility+* project "NEMO" [49]. In dit project worden speciale events gemodelleerd zoals concerten en sportwedstrijden, maar ook wijken of gebieden waar veel EV's tegelijkertijd kunnen laden. De impact van alle EV's op het net kan dusdanig groot zijn dat het huidige net niet toereikend zou kunnen zijn om in deze behoefte te voorzien (afhankelijk van snel-laden, hoeveelheid EV's, etc). Eén van de uitkomsten van NEMO is dat de eerste problemen in het Nederlandse net al vandaag zouden kunnen ontstaan (periode 2015 -2016) bij het plaatsen van openbare snellaadstations. Het is essentieel dat de netwerkbeheerders betrokken worden bij de nieuwe ontwikkelingen op het gebied van dienstverlening rond EV's, vanwege de impact die het kan hebben op het net.

5.2 Nederlandse spelers

De diensten G2V en V2G kunnen extra potentie toevoegen aan het gebruik van EV. Voor verschillende stakeholders zijn er voordelen om EV's in te zetten voor deze diensten. Echter, dit staat nog in de kinderschoenen vanwege bovengenoemde technische, economische, praktische en juridische belemmeringen. Deze belemmeringen zullen weggenomen moeten worden alvorens deze diensten succesvol kunnen worden aangeboden. Verschillende kennisinstellingen zijn dan ook bezig met onderzoek naar oplossingen hiervoor. Enkele van deze onderzoekende bedrijven/universiteiten zijn: Technische Universiteit Eindhoven (TU/e), TNO en DNV GL.

Voorbeelden van projecten waarin onderzoek wordt gedaan naar V2G en G2V zijn het reeds genoemde ABattReLife [50] en NEMO [49] en daarnaast PMC I [51]. In ABattReLife wordt in een samenwerkingsverband van verschillende bedrijven, onderzoeksinstituten en universiteiten gekeken naar second-life en recyclingoplossingen voor EV-batterijen (zie voor deze einde-levensfase hoofdstuk 6). Een mogelijke toepassing van second-life batterijen (zie hoofdstuk 6) zouden V2G en G2V oplossingen kunnen zijn [50]. In het NEMO project worden speciale events gemodelleerd zoals concerten en sportwedstrijden, maar ook wijken of gebieden waar veel EV's tegelijkertijd kunnen laden. Eén van de uitkomsten is dat de impact van al deze EV's op het net dusdanig groot kan zijn dat het huidige net niet toereikend is om in deze behoefte te voorzien en dat slim laden daarvoor een gepaste oplossing zou kunnen zijn [49]. PowerMatching City I (PMC I) is een smart-grid project waarin elektrische auto's slim worden geladen [51].

Ondanks de vele belemmeringen, heeft de Utrechtse wijk Lombok als eerste in Europa een V2G opslag systeem in gebruik genomen in maart 2015. In de wijk staat een laadpaal die ingebouwde intelligentie bevat om een EV als energieopslag te gebruiken en daarmee het eigen verbruik van zonne-energie in de wijk te verhogen en elektriciteitspieken op het net te verlagen. Betrokken private en publieke partijen willen het project opschalen, en zullen hierbij een beroep doen op de experimenteer Amvb om dit binnen de regelgeving mogelijk te maken[48].

Zoals eerder uitgelegd, kan één van de diensten van een EV, energie-opslag zijn. Hierdoor nemen het aantal en de diepte van de cycli echter toe en daardoor zal de batterij sneller verouderen. Een Nederlandse speler die hier goed op in kan spelen is NXP: deze chipfabrikant heeft een chip ontwikkeld waarmee de State-of-Health van de batterij bepaald kan worden (zie hoofdstuk 4.2.3). Daarnaast heeft dit bedrijf, net als bijvoorbeeld The New Motion en Greenflux etc., een systeem ontwikkeld om piekbelastingen door opladende auto's zoveel mogelijk te spreiden. Hierdoor kunnen energieleveranciers hun vermogen efficiënt inzetten, waardoor gebruik van elektrische voertuigen zonder grote problemen kan groeien.

Voor de netbedrijven (Tennet, Alliander, Stedin, Enexis, e.a.) is slim laden (G2V) een interessante dienst omdat het net ontlast kan worden en zij daardoor minder investeringen hoeven te plegen. Enexis is hier mee bezig in het Smart Charging project. In samenwerking met GreenFlux (laadpuntexploitant) ontwikkelt Enexis een open protocol dat het slim laden toegankelijk maakt. Het doel is om met behulp van ICT-toepassingen de laadcapaciteit te verdelen zonder dat auto-eigenaren hier last van hebben. Hierdoor verwacht Enexis een betrouwbaarder netwerk en lagere tarieven voor de consument te kunnen leveren. De afgelopen vijf jaar zijn o.a. de netbedrijven al actief geweest met veldtesten op dit gebied. [52], [61].

Ook netbeheerder Alliander is bezig met deze onderwerpen. In het project Smart Grid Vehicle-to-Grid (V2X) Energy & Mobility wordt geprobeerd een doorbraak te maken naar een bredere maatschappelijke en economische inzet van met lokaal opgewekte energie gevoede elektrische voertuigen. Hierdoor kunnen Smartgrids beter worden gebalanceerd en zou duurzame mobiliteit sneller door kunnen breken. Dit wordt gedaan in samenwerking met technisch dienstverlener Cofely [53].

E-LaadNL, een samenwerkingsverband van de verschillende netbeheerders (voorheen Stichting E-Laad) ondersteunt overheden met advies indien zij van plan zijn om laadpalen te gaan plaatsen en Smart Charging. In het verleden heeft de stichting E-Laad circa 3.000 publieke oplaadpunten voor elektrische auto's gerealiseerd in Nederland. EVnetNL [62] komt voort uit de stichting E-Laad en beheert en vernieuwt de bestaande laadpalen.

6 EINDE-LEVENSFASE

6.1 Relevante ontwikkelingen en technologieën

Wanneer een Lithium-ion batterij niet meer goed genoeg is voor de toepassing in een auto, zelfs niet meer na eventuele remanufacturing of reparatie, dan zal de batterij afgedankt worden voor de automotieve toepassing. De batterij krijgt nu de afvalstatus: Dit kan zijn wanneer de batterij door een dealer vervangen wordt (after-saleskanaal) of als de auto in zijn geheel afgedankt wordt en bij een RDW-erkend demontagebedrijf gederegistreerd wordt.

De afvalbatterij valt nu onder het Besluit beheer batterijen 2008: Dit is de Nederlandse implementatie van het zogenaamde Battery Directive (2006/66/EG). Deze Europese Richtlijn is uitgevaardigd om te voorkomen dat afvalbatterijen milieuschade veroorzaken. Precies om deze reden is daarom voorgeschreven dat een afvalbatterij gerecycled moet worden. Hiermee is immers het storten of verbranden van batterijen niet langer toegestaan. Een zijdelings effect van deze wetgeving is dat de batterij hierdoor niet als *product* hergebruikt mag worden, in plaats van directe recycling. Dit is dan ook meteen een grote belemmering voor de einde-levensfase. Op dit moment lijkt uitsluitend recycling toegestaan: De wettelijke definitie hiervan is na een verwerking opnieuw gebruiken van materialen, hetzij voor het oorspronkelijke doel, hetzij voor een ander doel, daaronder niet begrepen de terugwinning van energie; Hierbij is voorgeschreven dat de verwerking minimaal inhoudt het wegnemen van alle vloeistoffen en zuren en dat verwerking en opslag, tijdelijke opslag daaronder begrepen, plaats dient te vinden in verwerkingsfaciliteiten met ondoorlaatbare oppervlakken en passende weerbestendige afdekkingen of in hiertoe geschikte containers.

Vanuit economische als ecologische motieven zou echter producthergebruik (zogenaamd *Second-Life*) in stationaire toepassingen, waar minder zwaardere eisen aan de batterij worden gesteld, aantrekkelijk zijn.

Omdat op dit moment (maart 2015) binnen het interdepartementale programma "Ruimte in Regels voor Groene Groei" (RRGG) van het Ministerie van Economische Zaken en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu gekeken wordt naar een oplossing voor dit euvel, hebben de opstellers *Second-Life* evenwel naast Recycling opgenomen in dit onderzoek.

6.1.1 Second-Life toepassingen

Tijdens het gebruik van een batterij veroudert/verslechtert de performance van een batterij heel langzaam. Na verloop van tijd is een batterij niet langer geschikt voor toepassing in een auto, omdat de actieradius van de auto dan te laag wordt. De batterij is echter technisch gezien nog niet volledig afgeschreven. Hij kan immers nog steeds geladen en ontladen worden, alleen niet meer volgens de specificaties die hij had aan het begin van zijn automotieve levensduur.

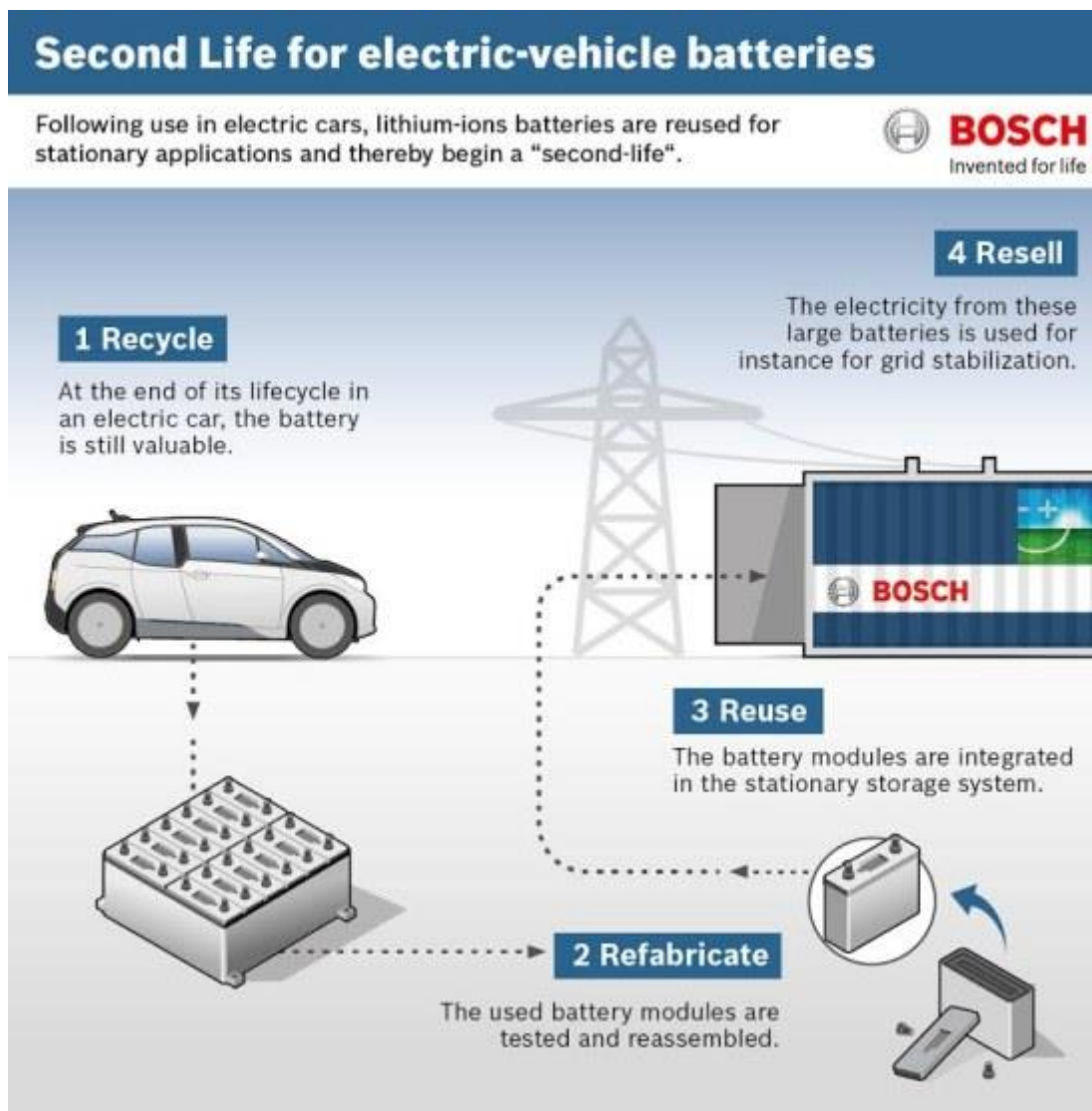
Door verschillende partijen wordt gekeken naar de mogelijkheid om de batterijen na gebruik in een auto nog in een andere toepassing te gebruiken, bijvoorbeeld in een netgekoppelde toepassing. Er zijn verschillende situaties mogelijk waarin deze batterij nog steeds goed kan worden aangewend, terwijl deze voor de auto niet goed genoeg meer is. Dit wordt ook wel *Second-Life* toepassing genoemd. Er zal nog veel onderzoek nodig zijn naar veroudering van batterijen en het hergebruiken van batterijen op een zo veilig en efficiënt mogelijke manier, voordat dit werkelijkheid zal worden. Door de in potentie grote aantallen af te danken batterijen en hoeveelheid opslagcapaciteit is dit zeker een interessant onderwerp voor Nederland, als land dat inzet op grote hoeveelheden EV's.

In Duitsland zijn accu's uit elektrische auto's ingezet in een particuliere huishouding als onderdeel van het Effizienz Haus Plus [34] project dat door de federale overheid is gefinancierd. In het Verenigd Koninkrijk zijn accu's uit elektrische auto's ingezet op een off-grid-locatie die geheel zelfvoorzienend is

met energie, als onderdeel van het Everest project. Dit project is eveneens door de overheid gefinancierd [35].

In Duitsland heeft BMW een project opgezet om met uitgevallen Lithium-ion batterijen uit het i3 model, duurzaam opgewekte energie op te slaan, in samenwerking met het energiebedrijf Vattenfall en systeemintegrator Bosch [36].

Zoals in Figuur 11 te zien is dient in dit project "Second-Life for electric vehicle batteries" het decentrale stationaire energieopslagsysteem als stabilisering van het elektriciteitsnetwerk [37].



Figuur 11 Second-life toepassingen voor batterijen uit EV (PHEV en BEV) [37]

Nederland heeft de primeur gehad om met daadwerkelijk afgedankte BEV batterijen een Second-Life proefopstelling in te richten. Op de off-grid locatie Pampus wordt momenteel een afgedankt batterijpack ingezet, waarbij gemonitord wordt wat de veroudering is van de batterijpack en tevens de besparingen zijn voor de dieselgenerator die het eiland tot voor kort geheel van stroom voorzag [78].

In Tabel 4 wordt een aantal mogelijke second-life opties opgesomd:

Tabel 4 2nd Life toepassingen [23]

Storage application		Examples
1	Grid stabilization (high voltage)	Load shifting, control reserve, peak sharing
2	Uninterruptible power supply (UPS)	Backup power for hospitals, IT centers, cell towers, elevators
3	Batteries for industrial trucks, recreational vehicles	Forklifts, towing tractors, cleaning machines
4	Storage for renewable energies (PV, wind)	Temporary storage for PV plants and wind turbines (load shifting)
5	Batteries for electric cars	X BEV's of PHEV's with lower standards
6	Large power packs (stationary)	Electricity supply, e.g. stationary pumps, measuring instruments
7	Onboard power for vehicles	Buses, ships, heavy duty vehicles
8	Electric drives for agricultural vehicles	Tractors farming machines
9	Small power packs (mobile)	Power supply for outdoor equipment, caravans etc.

Naast de al genoemde regelgevingsbelemmering is er nog een juridisch belemmering die Second-Life-toepassingen nu in de weg staat: Dit betreft de producentenverantwoordelijkheid, die de producenten (dit zijn de importeurs die de auto's als eerste op de Nederlandse markt brengen) voorschrijft dat zij verantwoordelijk blijven voor de batterijen tot nadat ze afgedankt worden. Wanneer echter de batterijen in hun tweede leven voor een andere toepassing gebruikt gaan worden dan de toepassing waarvoor ze ontworpen zijn, kunnen en willen de oorspronkelijke producenten (dus de importeurs) niet hiervoor verantwoordelijk gesteld worden. Om deze belemmering weg te nemen zou de partij die de batterij in een tweede leven weer op de markt brengt, als de nieuwe producent geregistreerd moeten worden.

6.1.2 Recycling

Zoals al aangehaald in hoofdstuk 6.1 is een wettelijke vereiste, voortvloeiend uit het Besluit beheer batterijen en accu's 2008 dat Lithium-ion batterijen, nadat ze afgedankt zijn en de afvalstatus gekregen hebben, gerecycled moeten worden. Hierbij moeten de batterijen conform Commission Regulation 2012/493/EG voor 50% van het gewicht gerecycled worden.

Parallel hieraan valt de Lithium-ion-batterij ook onder de autowrakkenrichtlijn, die voorschrijft dat auto's voor 95% nuttig moeten worden toegepast aan het einde van de levensduur (ELV directive; [10]). Binnen deze autowrakkenwetgeving, het Besluit beheer autowrakken uit 2002, is producthergebruik overigens wel toegestaan, als zijnde de meest geprefereerde vorm van nuttige toepassing.

In Europa zijn er op dit moment slechts 4 recyclingbedrijven technisch in staat om grote Lithium-ion batterijen te recycleren:

- Umicore Battery Recycling te Hoboken (B)
- Accurec Recycling GmbH te Mülheim D)
- SNAM sas, te Viviez (F)
- Recupyl sa te Domène (F).

De Europese koepelvereniging voor batterijrecyclers EPBA geeft aan dat op dit moment het langetermijn-perspectief ontbreekt bij recyclers om te investeren in recyclingcapaciteit voor Lithium-ion batterijen:

De onzekerheid over de typen batterijen die zullen domineren, alsmede de te verwachten hoeveelheden afgedankte Lithium-ion batterijen is nog te groot [63]. Echter doordat er toch een keuze gemaakt lijkt te worden voor bepaalde lithium ion typen (zie hoofdstuk 2, op pagina 4), kan de recycling industrie meer en meer haar processen aanpassen aan de toekomstige batterijcompositie. [64]

Juist door deze onzekerheid over de te verwachten toekomstige volumes van afgedankte EV batterijen, zijn ook de benodigde investeringen voor uitbreiding van de recyclingcapaciteit nog niet gepleegd. Een bijkomend gevolg van deze huidige ondercapaciteit is dat de poorttarieven erg hoog liggen. Ook wanneer in de toekomst vraag en aanbod van afgedankte Lithium-ion batterijen beter op elkaar zijn afgestemd, zullen overigens ook poorttarieven betaald dienen te worden voor het ontdoen van deze batterijen: In tegenstelling tot de batterijen in hybride auto's, die van het type NiMh zijn, zijn er in Lithium-ion batterijen te weinig waardevolle metalen aanwezig om de batterijen een positieve restwaarde te geven.

Een belangrijke voorwaarde voor de recycling van Lithium-ion batterijen is dat in het recyclingproces aantoonbaar minimaal 50% recycling moet plaatsvinden. Omdat in recyclingprocessen relatief veel materiaal verloren gaat, passen alle vier genoemde recyclingbedrijven eerst handmatige modulaire demontage toe van de zogenaamde "quick wins" die per onderdeel een zeer hoog percentage recycling opleveren (bijv. stalen casings en frames en kunststof monostromen). De resterende batterijcellen worden vervolgens met behulp van hydrometallurgische of pyrometallurgische processen verwerkt.

Een voor Nederland zeer interessante ontwikkeling vindt plaats in Noorwegen. De organisatie Batteriretur ontmantelt in een demontageplant in Sandefjord (N) hiervoor genoemde "quick win" materialen om vervolgens slechts de resterende batterijcellen te laten recyclen in één van de vier genoemde recyclingfaciliteiten. Batteriretur claimt dat men de operationele kosten van de recycling van Lithium-ion batterijen hiermee heeft weten te halveren [79]. Dit voorbeeld kan in Nederland uitstekend navolging vinden.

6.2 Nederlandse spelers

6.2.1 Second-Life toepassingen

Het zorgvuldig en efficiënt hergebruiken van grote aantallen batterijen en het invullen van een buffer in het elektriciteitsnet zijn product-/dienstcombinaties waar Nederlandse partijen een belangrijke rol in kunnen spelen. Spelers en actoren in deze markt kunnen worden gevonden bij bijvoorbeeld netwerkbedrijven, maar ook partijen betrokken bij het afdanken van de batterijen, state of health bepaling en refurbishment van batterij systemen.

Allereerst is het zo dat de batterijen na de toepassing in een elektrisch voertuig nog in andere toepassingen gebruikt kunnen worden. De batterijen kunnen bijvoorbeeld na gebruik in de voertuigen worden ingezet als statische buffercapaciteit in de intelligente elektriciteitsnetwerken. Dit komt ten goede aan de betaalbaarheid van elektrische voertuigen en batterijen in het bijzonder. Nederlandse partijen beginnen hiervoor Second-Life toepassingen te ontwikkelen.

Een scala aan mogelijke producten en diensten ligt in het verschiet wat betreft de Second-Life toepassingen van batterijen. Denk hierbij aan kleine opslagcentrales, centraal of particulier, in de straat of woonwijk, bedrijventerrein of thuis in de garage. Als de prestaties van de batterij ook niet meer voldoende zijn voor de Second-Life toepassing, dan dient de batterijen uiteraard uiteindelijk ook gerecycled te worden (zie paragraaf 6.2.2).

Een voorbeeld van een innovatieve potentiële toepassing van een Second-Life batterij is de standalone catering unit voor evenementen. Een container kan omgebouwd en voorzien worden van zonnepanelen en een Second-Life Lithium-ion batterij en daarmee zelfvoorzienend zijn voor de benodigde energie tijdens evenementen. Hiermee kunnen de kosten van een duur aggregaat bespaard worden. Een Second-Life batterij is dan aanmerkelijk goedkoper dan een nieuwe home storage tractie batterij [80].



Figuur 12 Impressie van een container met zonnepanelen en Second-Life batterij

6.2.2 Recycling

In Nederland bevindt zich momenteel geen recyclingfaciliteit voor Lithium-ion batterijen. Echter het recyclingbedrijf Ensartech te Delfzijl heeft zich in samenwerking met Nederlandse, Duitse en Belgische uitvoeringsorganisaties (resp. ARN en Stibat, GRS en Bebat) georiënteerd op de mogelijkheid om ook Lithium-ion cellen te recyclen [81].

Deze installatie is vanwege het faillissement van Ensartech NL-1 BV op het moment niet in bedrijf, maar kan wel vrij snel opnieuw opgestart worden. In de installatie kan materiaal gesmolten worden, dit is de kern van het proces. De te smelten materialen zijn afvalstromen die sterk vervuild zijn, waardoor de hoge verwerkingskosten in het proces gerechtvaardigd kunnen worden.

Deze afvalstromen worden als specifieke mix ingebracht in de installatie, dit omdat het proces gericht is op de productie van basalt, die identiek moet zijn aan de natuursteen. In het proces worden de organische componenten in de voeding met zuivere zuurstof verbrand, wat voor zeer hoge temperaturen (tussen 1400 en 1500 °C.) zorgt.

Vervolgens ontstaat basalt en verzamelen de in de voeding aanwezige metalen zich. Ook ontstaat een zeer heet gas waarin ook eventueel aanwezig zink als zinkstof (zinkoxide) wordt meegevoerd. Het zinkoxide wordt in filters afgevangen en verkocht aan zink-recyclers. De energie van het hete gas wordt met een ketel teruggewonnen door de productie van stoom van 28 bar druk.

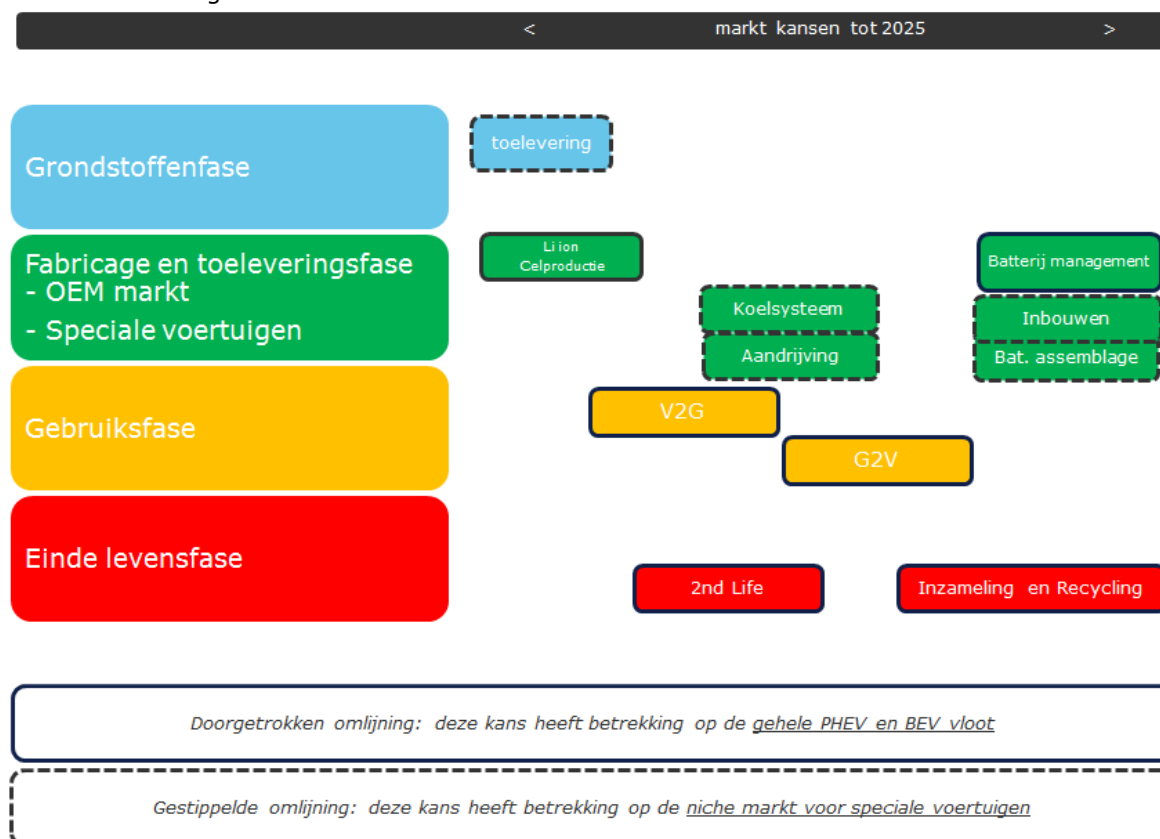
Belangrijkste eigenschap van het proces is dat het in staat is een zeer diverse en vervuilde voeding om te zetten in een bijna-natuursteen die zo schoon is dat alle wettelijke testen die vereist zijn voor de vrije toepassing ervan gehaald worden. Dit basalt-achtig gesteente kan in weg- en waterbouw toepassing als materiaal hergebruikt worden.

De Ensartech installatie zou in combinatie met een modulaire demontage, zoals die nu in Sandefjord, Noorwegen wordt toegepast door Batteriretur, de overgebleven batterijcellen kunnen verwerken en als materialen kunnen hergebruiken.

Ten tijde van het opstellen van deze scan waren gegadigde investeerders in gesprek met de curator over de mogelijkheden om het recyclingbedrijf in Delfzijl weer op te starten. Hierbij is vastgesteld dat, aangezien de oorspronkelijk materiaalvoedingsinstallatie uitgelegd is voor verpompaar materiaal, er additionele investeringen gepleegd dienen te worden aan de voedingsinstallatie om ook batterijcellen te kunnen verwerken, ter grootte van ca. €700.000 [81].

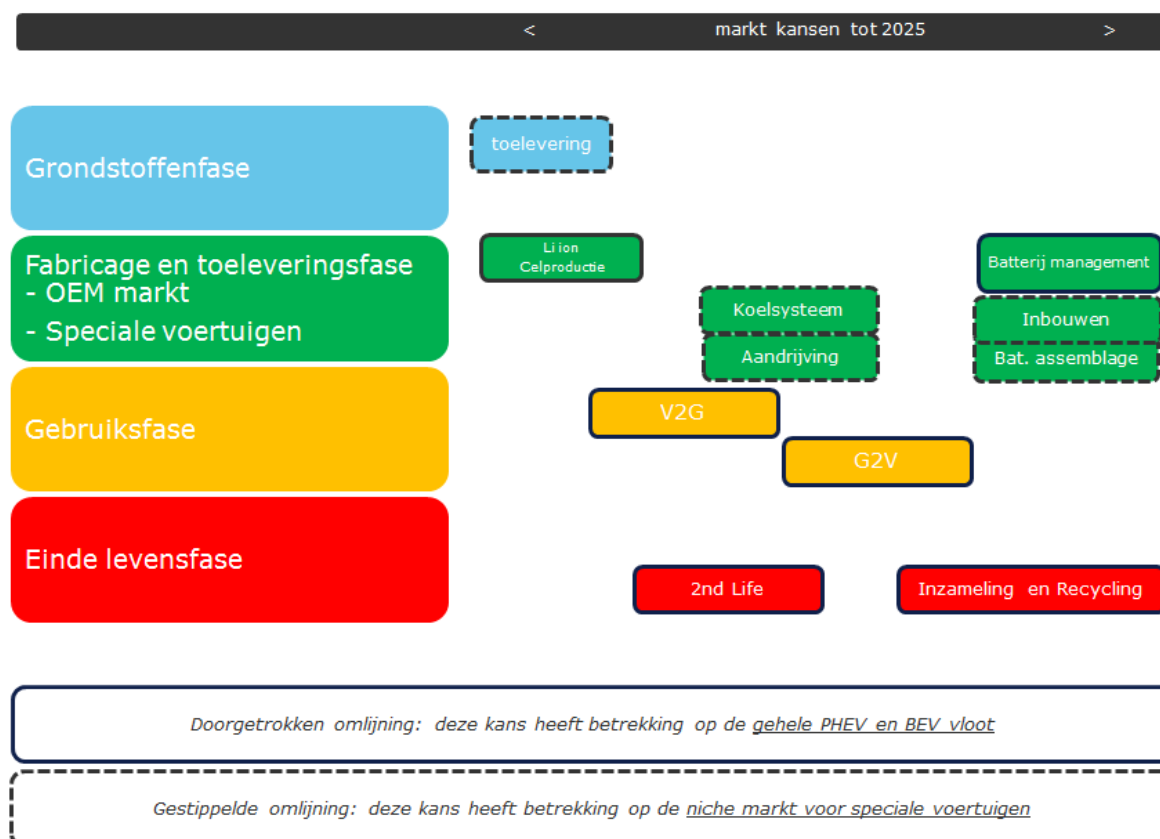
7 INSCHATTING POTENTIEEL

Onderstaande Figuur 13



Figuur 13 toont de markt kansen voor Nederland, op het gebied van batterijen voor elektrische voertuigen, en aangrenzende gebieden. Hierbij geeft 'laag (<)' aan dat er weinig tot geen bedrijfsactiviteit gesignaleerd is in Nederland, tijdens het uitvoeren van deze studie, terwijl 'hoog (>)' aangeeft dat verschillende bedrijven werkzaam zijn op dit gebied. Tevens is een onderverdeling gemaakt naar de verschillende marktsegmenten (grondstoffen, fabricage en toeleveringsfase, gebruiksfase en einde-levensfase), en naar de toeleveringsmarkt (aan batterijfabrikant en voor maatwerkvoertuigen).

In onderstaande paragrafen 7.1 tot en met 7.4 wordt de figuur nader toegelicht.



Figuur 13 Marktkansen voor Nederland

7.1 Grondstoffenfase

Op basis van de in hoofdstuk 3 beschreven status van de 'Grondstoffenfase' ligt het potentieel voor het Nederlandse bedrijfsleven vooral in de *polymeren* die als grondstof dienen voor *kunststofcomponenten* van de EV batterijen. Polymeerproducenten leveren basisgranulaat aan spuitgiet- en extrusie-bedrijven die vervolgens de halffabrikaten maken voor EV batterijen.

De grote onzekerheid bij de bepaling van het potentieel voor deze markt wordt, zoals in hoofdstuk 3 beschreven is, gevormd door de achterliggende toekomstige omvang van de EV batterijproductie in Europa. Momenteel zijn er geen verwachtingen dat deze batterijproductie in Europa op termijn sterk uitgebreid zal gaan worden. Hierdoor moet het potentieel voor de afzet van deze toepassingen in Europa vooralsnog laag ingeschat worden.

Voor spuitgiet- en extrusieproducten in het bijzonder geeft de branche aan dat concurrentiekracht snel afneemt bij een afstand tot de klantlocatie van meer dan 300-400 km. Hierdoor moet voor spuitgiet- en extrusie halffabrikaten het potentieel nog lager ingeschat worden, omdat met deze beleveringsradius slechts Noord-West Europa bestreken kan worden.

7.2 Fabricage en toeleveringsfase

Op basis van de in hoofdstuk 4 beschreven status van de 'Fabricage en toeleveringsfase' kan een tweeledig potentieel voor het Nederlandse bedrijfsleven worden vastgesteld voor EV batterijen. Aan de ene kant richten bedrijfsactiviteiten in Nederland zich op (indirecte) toelevering van de

batterijfabrikanten die de OEM's beleveren. Aan de andere kant richten Nederlandse bedrijfsactiviteiten zich op de productie van batterijpakketten voor speciale (maatwerk)voertuigen.

De eerst genoemde bedrijfsactiviteiten (toelevering aan de batterijfabrikanten) is met name relevant voor het bedrijf NXP. Dit bedrijf is wereldwijd marktleider in het maken van chips voor de automotive sector en is zeker ook in staat tot het leveren van BMS chips ten behoeve van State-of-Health en temperatuurcontrole van batterijpakketten voor grotere seriegroottes.

De bedrijfsactiviteiten die zich richten op de productie van maatwerkvoertuigen zijn wijder verspreid in Nederland. Diverse bedrijven houden zich hiermee bezig, waarbij de bedrijfsactiviteiten een aantal werkgebieden beslaan. Lang niet altijd zijn deze bedrijfsactiviteiten ook de core business van de betreffende bedrijven, echter bedrijven zien wel kansen in de ontwikkeling en toepassing van de batterijen in de zin van 'Batterijassemblage (het samenstellen van batterijpakketten uit ingekochte onderdelen)', 'toepassing en ontwikkeling van batterij koelsystemen', 'het inbouwen van batterijpakketten in maatwerkvoertuigen', 'ontwikkelen en produceren van Batterij Management systemen' voor bijvoorbeeld 'eigen batterijassemblage', en 'integratie van het batterijpakket in de aandrijflijn van het maatwerkvoertuig'.

Bij speciale (maatwerk)voertuigen kan worden gedacht aan diverse type voertuigen, van bussen (die met relatief grote Lithium-ion batterijpakketten worden uitgerust), tot voertuigen waarvoor een lagere actieradius en/of snelheid kan volstaan (e.g. voor toepassing op een vliegveld, in de binnenstad, of op industriële locaties). Inzet van deze maatwerkvoertuigen, indien geladen met groene stroom, draagt bij aan klimaatdoelstellingen en geeft mogelijk een nadere invulling aan het MVO beleid van veel bedrijven. Er kan daarom zeker verwacht worden dat de markt voor deze speciale voertuigen groeit.

Onzekerheden voor Nederlandse bedrijven zijn bijvoorbeeld te vinden in de snel veranderende markt, en ontwikkeling van nieuwe toekomstige batterij technologieën. Dit biedt zowel kansen als bedreigingen voor bedrijven, daar investeringsbeslissingen hierdoor zowel gunstig als ongunstig kunnen uitpakken.

7.3 Gebruiksfase

De diensten Vehicle-to-Grid (V2G) en Grid-to-Vehicle (G2V) hebben potentie voor Nederlandse partijen, maar er zijn ook een aantal belemmeringen. In de periode 2015 – 2020 is het de verwachting dat er een aantal diensten zal worden ontwikkeld door verschillende Nederlandse partijen op het gebied van slim laden (G2V). Er zijn nauwelijks technische en wettelijke belemmeringen om deze diensten aan te bieden. De grootste belemmering zal het aantal EV's zijn dat tot 2020 op de Nederlandse markt wordt gebracht, om de investeringen voor deze diensten terug te kunnen verdienen.

Ondanks deze belemmering omtrent het aantal EV's mag verwacht worden dat een aantal Nederlandse partijen toch diensten gaat aanbieden, vanwege het strategisch belang om één van de eerste spelers te zijn op deze markt. De verwachting is wel dat pas na 2020 de markt voor slim laden echt interessant zal worden voor de meeste partijen aangezien het aantal EV's op de markt dan substantieel groter zal zijn.

Voor opslagdiensten (V2G & G2V) zoals thuisopslag van zonne-energie met de EV is de verwachting dat een aantal Nederlandse partijen demonstratieprojecten zal opzetten of bestaande demonstratieprojecten zal continueren tot 2020. Eén van de belemmeringen is dat consumenten geen toegang hebben tot de wholesale elektriciteitsmarkt. Door de wettelijke en technische belemmeringen is het niet de verwachting dat hiervoor al commerciële diensten worden ontwikkeld.

Financieel is het voor thuisgebruik niet interessant om zonne-energie op te slaan zolang de thuisgebruiker mag "salderen". Het is op dit moment de verwachting dat "salderen" nog tot 2020 mogelijk blijft. Als na 2020 de "salderingsregeling" vervalt is de vraag welke andere regeling hier voor in

de plaats komt. In het algemeen is het zo dat opslagdiensten pas interessant worden als er een groot prijsverschil tussen inkoop en verkoop van elektriciteit zal ontstaan.

7.4 Einde-Levensfase

Het potentieel voor het Nederlandse bedrijfsleven kan voor wat betreft Second-Life toepassingen groot zijn, mits de regelgevingsbelemmeringen opgeheven worden en ook de oorspronkelijke producenten geen verantwoordelijkheid meer dragen voor het tweede leven van de batterij. Zonder opheffing van deze belemmeringen maakt de dan ontbrekende rechtszekerheid het ondernemersrisico op dit terrein te groot voor marktpartijen die batterijen in een tweede levensvorm willen gaan inzetten.

Zonder een veronderstelling over het verhelpen van de belangrijke in hoofdstuk 6 genoemde belemmeringen is het op voorhand bijzonder moeilijk om een potentieel in te schatten voor Second-Life toepassingen: Het is op dit moment echter te vroeg om een veronderstelling te kunnen maken over de waarschijnlijkheid van aanpassingen van de wetgeving.

Voor wat betreft Recycling speelt nadrukkelijk de onzekerheid over de toekomstige aantallen en typen afgedankte EV-batterijen een grote rol: In dat licht gezien moeten hoge kapitaalsinvesteringen op dit moment als (te) riskant beschouwd worden. Voor recycling lokaties waar de recycling-procesfaciliteiten al voorhanden zijn (zoals de beschreven plant in Delfzijl van het voormalige Ensartech), en waar met relatief lage aanpassingsinvesteringen ook EV batterijen verwerkt kunnen worden, is wel degelijk een groot potentieel in Nederland.

Onlosmakelijk verbonden met dit potentieel is de al aangehaalde modulaire demontage, waarbij grote onderdelen van de batterijen met een positieve restwaarde, handmatig gedemonteerd worden alvorens de resterende batterijcellen tegen hoge kosten gerecycled worden. Het aangehaalde voorbeeld van Noorwegen zou groot potentieel kunnen hebben om bijvoorbeeld ook in Nederland te kunnen worden toegepast.

8 CONCLUSIES

8.1 Grondstoffenfase

Grondstofleveringen ten behoeve van EV batterijen beperken zich in Nederland hoofdzakelijk tot polymeren en halffabrikaten die hiermee geproduceerd worden, met behulp van extrusie- en spuitgietproductieprocessen. Voor de grondstoffenfase is de afhankelijkheid van de toekomstige ontwikkeling van batterijproductie in Europa het sterkst voelbaar. Met de huidige onvoorspelbaarheid van de toekomstige EV productie in Europa is ook de evolutie van het potentieel voor polymeren en hiervan afgeleide halffabrikaten onzeker. Hiervoor kan dan ook objectief slechts een laag potentieel verwacht worden.

8.2 Fabricage en toeleveringsfase

De 'Fabricage en toeleveringsfase' biedt zowel kansen voor bedrijven met bedrijfsactiviteiten voor de (indirecte) toelevering van de batterijfabrikanten die de OEM's beleveren, als ook voor bedrijven die zich richten op de productie van batterijpakketten voor speciale (maatwerk)voertuigen.

De eerstgenoemde bedrijfsactiviteiten richten zich hierbij op de levering van onderdelen voor een batterijpakket. NXP levert hierbij hardware en software, voor in het batterijpakket en kent vanwege haar mondiale reikwijdte volumematisch een groot potentieel. De laatste groep bedrijven is in aantal het grootst, waarbij de bedrijven zich richten op diverse taken binnen deze levenscyclusfase. Volumematisch is het potentieel van deze nichemarkten echter klein. Bedrijven zien kansen in diverse werkgebieden, zoals:

- Batterij assemblage (het samenstellen van batterijpakketten uit ingekochte onderdelen)
- toepassing en ontwikkeling van batterij koelsystemen
- het inbouwen van batterijpakketten in maatwerkvoertuigen
- ontwikkelen en produceren van Batterij Management systemen' voor bijvoorbeeld 'eigen batterij assemblage
- integratie van het batterijpakket in de aandrijflijn van het maatwerkvoertuig.

Het toepassingsgebied voor deze bedrijven kan gevonden worden in de diversiteit van de maatwerkvoertuigen. Hierbij kan gedacht worden aan bijvoorbeeld elektrisch aangedreven bussen (die met relatief grote Lithium-ion batterijpakketten worden uitgerust), en voertuigen waarvoor een lagere actieradius en/of snelheid kan volstaan (e.g. op een vliegveld, in de binnenstad, of op industriële locaties).

Inzet van deze maatwerkvoertuigen, indien geladen met groene stroom, draagt bij aan de klimaatdoelstellingen. Er kan daarom zeker verwacht worden dat de markt voor deze speciale voertuigen groeit. Onzekerheden voor Nederlandse bedrijven zijn bijvoorbeeld te vinden in de snel veranderende markt, en ontwikkeling van nieuwe toekomstige typen batterij technologieën. Dit biedt zowel kansen als bedreigingen voor bedrijven, omdat investeringsbeslissingen hierdoor zowel gunstig als ongunstig kunnen uitpakken.

8.3 Gebruiksphase

De diensten Vehicle-to-Grid (V2G) en Grid-to-Vehicle (G2V) hebben potentie voor Nederlandse partijen, maar er zijn ook een aantal belemmeringen. In de periode 2015 – 2020 is de verwachting dat er een aantal commerciële diensten zal worden ontwikkeld door verschillende Nederlandse partijen op het

gebied van slim laden (G2V). Door de nog beperkte aantallen BEV's en in mindere mate PHEV's, tot 2020 zullen de meeste diensten op het gebied van slim laden echter pas na 2020 op de markt komen. Voor opslagdiensten (V2G & G2V) is de verwachting dat een aantal demonstratieprojecten zal plaatsvinden tot 2020, maar dat de technische en financiële belemmeringen tot 2020 voorlopig nog te groot zijn voor commerciële diensten. Eén van de financiële belemmeringen is de "salderingsregeling" voor zonne-energie voor consumenten. Financieel is het voor thuisgebruik namelijk niet interessant om zonne-energie op te slaan zolang de thuisgebruiker mag "salderen". Het is op dit moment de verwachting dat "salderen" nog tot 2020 mogelijk blijft. Als na 2020 de "salderingsregeling" vervalt is de vraag welke andere regeling hier voor in de plaats komt. In het algemeen is het zo dat opslagdiensten pas interessant worden als er een groot prijsverschil tussen inkoop en verkoop van elektriciteit zal ontstaan. Opslagdiensten met EV's zullen hierdoor pas na 2020 op de markt komen.

8.4 Einde-levensfase

Voor de Einde-levensfase maken we een onderscheid tussen productthergebruik en materiaalhergebruik. Voor productthergebruik in de vorm van stationaire, zogenaamde "Second-Life" toepassingen, zijn er volop mogelijkheden om als goedkoop alternatief voor nieuwe stationaire opslagbatterijen te fungeren. Praktische toepassingen staan uiteraard nog in de kinderschoenen aangezien het aantal beschikbare batterijen voor Second-Life nu nog minimaal is.

Echter de mogelijkheden die zich zullen aandienen voor Second-Life toepassingen kunnen pas ten volle benut worden wanneer de belemmeringen op dit vlak verholpen zijn. Dit betreft enerzijds de (Europese) regelgeving die bepaalt dat batterijen na afdanking gerecycled dienen te worden.

Anderzijds is dit de wettelijke producentenverantwoordelijkheid die pas afloopt nadat een batterij afgedankt is. Hierbij kan de oorspronkelijke producent, te weten de auto-importeur, onmogelijk verantwoordelijkheid dragen voor een stationaire toepassing in een tweede leven die anders is dan de automotieve toepassing waarvoor de batterij ontworpen is.

Voor materiaalhergebruik is er gezien de verwachte aantallen EV batterijen die in Nederland afgedankt zullen worden, een marktkans voor recyclingbedrijven. Deze marktkans is op zijn beurt weer als volgt te splitsen:

- een recyclingfaciliteit die EV batterijen in zijn geheel kan verwerken binnen de geldende Europese wetgeving die voorschrijft dat 50% van het gewicht van de batterij als materiaal hergebruikt wordt
- gekoppeld hieraan een modulaire demontagefaciliteit die grote onderdelen van de batterij met een positieve restwaarde kan demonteren en recycleren.

Deze twee recyclingvarianten zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden: De modulaire demontage faciliteit kan borgen dat de 50% recyclingeis wordt behaald en dat de totale recyclingkosten per batterij niet buitensporig worden.

Voor een recyclingfaciliteit zijn de initiële kapitaalsinvesteringen om een recycling proces in te richten op dit moment een te grote belemmering om recyclingcapaciteit te creëren. Echter voor locaties waar basisinvesteringen al gepleegd zijn en slechts nog aanpassingen nodig zijn om EV batterijen fysiek te kunnen verwerken, biedt dit een grote kans: In Nederland geldt dit voor het voormalige recyclingbedrijf Ensartech in Delfzijl, welk momenteel door een faillissement niet actief is.

9 FACTSHEETS

Op de volgende pagina's worden de volgende factsheets weergegeven:

- factsheet Grondstoffenfase
- factsheet Fabricage en toeleveringsfase
- factsheet Gebruiksfase
- factsheet Einde levensfase.

Deze factsheets geven een beknopt beeld van de relevante ontwikkelingen en technologieën, bedrijfsactiviteiten en het potentieel per levensfase.

Onder *Spelers* wordt in de factsheets omschreven welke (type) organisaties in Nederland actief zijn op het specifieke terrein; onder *Technologie* worden de technische ontwikkelingen in Nederland omschreven; onder *Potentieel* wordt de toekomstige marktpositie ingeschat.

De basismaterialen waar Lithium-ion batterijen uit zijn opgebouwd, vinden hun weg naar de productieketen vanuit diverse geografische hoeken. Materiaalinnovatie is belangrijk om de kosten te reduceren, veiligheid te verbeteren en prestatie te verhogen.

Samenstelling en toepassing van de batterij, zijn beslissend voor welke grondstoffen toegepast worden. Het grootste deel van de batterijen is opgebouwd uit hoogwaardige metalen (koper, aluminium, nikkel, kobalt, mangaan, lithium), hoogwaardige polymeren, vloeibare chemische verbindingen en koolstof.

Productie in Nederland voor grootschalige toepassing in batterij-cellen en componenten is beperkt tot hoogwaardige polymeren.

Spelers

Activiteit

- 1 Chemische industrie (plastics-producerend) en afgeleide extrusie- en spuitgietbedrijven

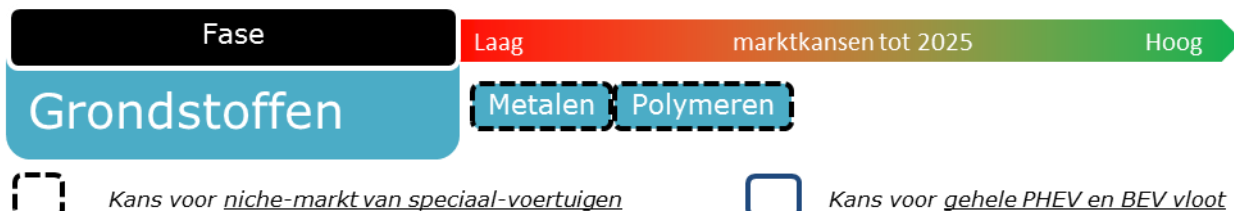
Technologie

Grondstof en toepassing

PA66 voor battery cell frames met cooling channels	
PPO cooling via water/glycol circuits	
PBT voor batterij connectors	
PE-XL voor batterij HV cables	
SMC, PP, LGF, PP voor batterij housings	
PA6 voor batterij covers of frames	
PPO film voor membrane	

Potentieel

Nederlandse leverantie van hoogwaardige grondstoffen aan de productieketen van batterijen, is afhankelijk van al reeds aanwezige productiecapaciteit. Daarbij is de Europese batterij-industrie kleinschalig, Oost-Azië is veruit de grootste producerende regio. De al in Nederland aanwezige productie van materialen die ook in batterijen toegepast worden is beperkt tot de chemische industrie en de afgeleide kunststofproductie : Voor deze industrieën zijn de kansen klein door de geringe schaal van de Europese productie en de beperkte economische reikwijdte -300 tot 400 km- voor kunststofmaterialen.



Ontwikkeling, fabricage, toelevering en assemblage van onderdelen voor de batterijenketen wordt verzorgd door enkele specifieke spelers in Nederland. Productie van onderdelen voor serieproductie is zeer beperkt aanwezig in Nederland, terwijl onderdeelproductie voor- en assemblage van gehele batterijpakketten voor maatwerkvoertuigen substantiël is.

De expertise rondom onderzoek en vermarkting op dit terrein bevindt zich vooral binnen en rondom NXP, dat chips levert voor automotive Batterij Management Systemen. De finale assemblage van een batterijpakket in een voertuig, kan zowel in serieproductie als stuksgewijs plaatsvinden. In Nederland ontbreekt serieproductie van batterij-aangedreven voertuigen, maar op beperkte schaal worden wel batterijen bij personenauto's, bussen, vrachtvoertuigen en overige speciale voertuigen ingebouwd.

Spelers

Activiteit

- 1 Assemblagebedrijven (samenstellen van batterijpakketten)
- 2 Ontwikkelaars van koelsystemen
- 3 Producenten van Batterij Management Systemen (hardware)
- 4 Producenten van Batterij Management Systemen (software)
- 5 Batterij-inbouwers (maatwerkvoertuigen)
- 6 Universiteiten en expertisecentra
- 7 Celproducenten

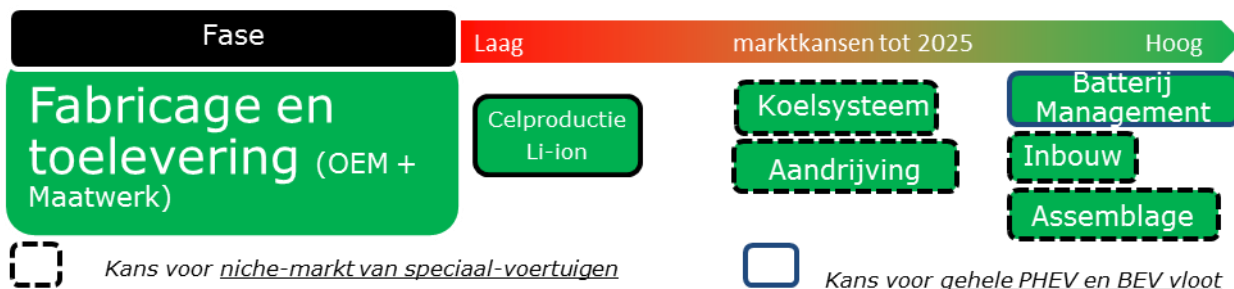
Technologie

Technologie en toepassing

- Temperatuurcontrole van batterijpakketten (gepatenteerd)
- Assemblage van batterijpakketten vanaf celniveau
- Assemblage van batterijpakketten vanaf modulair niveau
- Integratie van complete systemen
- Temperatuur sensor chips voor batterijen
- Ontwikkeling bi-polaire loodcel(batterijen) voor kleine serieproductie

Potentieel

Productie van speciale (maatwerk)voertuigen biedt grote kansen voor Nederlandse fabrikanten van bijvoorbeeld stadsbussen, stadsdistributievoertuigen, vuilniswagens etc. Elektrische aandrijving is niet altijd de kernactiviteit van deze bedrijven, maar het aandeel hiervan kan groeien naar gelang electromobilititeit en infrastructuur zich verder ontwikkelen. Op OEM leveringsniveau is kennis vooral geconcentreerd binnen en rondom NXP. Als wereldmarktleider is NXP in staat te voldoen aan de markteisen voor de gevraagde seriegroottes van autoproducenten.



Nederland staat bekend om zijn relatief hoge dichtheid aan elektrisch aangedreven voertuigen. De mobiliteitsgebruiker waardeert EV's; vanwege het stimulerende belastingklimaat, de toegankelijke infrastructuur en het gebruiksgemak van deze auto's. Hierdoor is Nederland, na Noorwegen, wereldwijd het land met procentueel de meeste EV's op de weg.

'Gebruik' omvat distributie van batterijen, en slimme laad- en communicatiestructuren zoals grid-to-vehicle en vehicle-to-grid. Op R&D gebied vinden hier veel ontwikkelingen plaats, maar marktintroductie is door de vele beperkingen nog beperkt.

Spelers

Activiteit

- 1 Netbeheerders
- 2 Netbedrijven
- 3 Laadpuntexploitanten
- 4 Universiteiten en kenniscentra

Technologie

Technologie en toepassing

- State-of-Health controle om veroudering vast te stellen
- Smart-Grid verbindingen ten dienste van energieopslag
- Piekbelastingssystemen om netproblemen door overmatige EV-charging te voorkomen
- ICT-oplossingen die laadcapaciteit verdelen

Potentieel

Diensten zullen worden ontwikkeld door Nederlandse partijen op het gebied van slim laden (G2V). De grootste belemmering is de terugverdientijd, met nauwelijks technische en wettelijke belemmeringen. Na 2020 zal de markt voor slim laden interessanter worden omdat het aantal EV's op de markt dan substantieel groter zal zijn.

Voor opslagdiensten (V2G & G2V) is de verwachting dat een aantal Nederlandse partijen demonstraties zal opzetten of bestaande demonstratieprojecten zal continueren tot 2020. Opslagdiensten worden pas interessant als er een groot prijsverschil tussen inkoop en verkoop van elektriciteit is.



Dankzij de hoge penetratie aan EV's, verandert ook de afvalstroom van automotive batterijen. Zijn dit in auto's met verbrandingsmotoren loodaccu's, de EV's zijn uitgerust met Lithium-ion batterijen. Afvalstromen ontstaan bij productie van auto's en batterijen (productie-uitval), bij het autogebruik in de levensfase (vervanging van batterijen) en bij het eindeleven van de auto, nadat de auto is afgedankt. Lood-accu's hebben een positieve restwaarde, met marktwerking in de beheerstructuur; Lithium-ion batterijen hebben een sterk negatieve waarde. Dit is niet alleen vanwege de geringe materiaalwaarde, maar vooral vanwege veiligheidsvoorschriften, transportkosten en een weinig ontwikkelde verwerkingsstructuur. Om de resterende capaciteit van de EV batterij nog te kunnen benutten, wordt ook onderzocht of deze batterijen hergebruikt kunnen worden in een andere -minder eisende- toepassing, bijvoorbeeld voor stationaire opslag van energie.

Spelers

Activiteit

- 1 Organisaties voor inzameling en beheer
- 2 Recyclingbedrijven
- 3 Reparatie en revisie/remanufacturing
- 4 Netbeheerders en ondernemers met behoefte aan 'off-Grid' stationaire energieopslag

Technologie

Technologie en toepassing

- Inzet van EV batterijen in stationaire toepassingen
- High tech smelt-installatie geschikt voor Lithium-ion batterijen
- Demontage van 'quick-win' batterijonderdelen met positieve restwaarde (plastic & metaal)

Potentieel

De hoge dichtheid van elektrische mobiliteit levert in potentie en op termijn een toevoer en markt van end-of-life batterijen, die op een economisch en ecologisch verantwoorde wijze verwerkt dienen te worden. Er is potentieel voor demontage van grote delen van de batterijen met een positieve restwaarde en recyclinglocaties waar de benodigde procesfaciliteiten al voor handen zijn. Of hier een Nederlandse recycling-infrastructuur zal ontstaan, of dat men afhankelijk blijft van buitenlandse verwerkers is nu nog niet te voorspellen.



10 BRONVERMELDING

10.1 Geraadpleegde literatuur

- [1] D-incert (2010). Werkdocument: Verkenning elektrisch rijden. Deel 1: Technologische onzekerheden en uitdagingen rondom elektrisch rijden in Nederland. <http://www.d-incert.nl/wp-content/uploads/2011/07/D-incert-Werkdocument-verkenning-elektrisch-rijden.pdf>
- [2] Irena. Cost breakdown 22kWh EV battery; <http://costing.irena.org/charts/electric-vehicles.aspx>
- [3] Cost and performance of EV batteries, Final report for The Committee on Climate Change, 21/03/2012; http://www.element-energy.co.uk/wordpress/wp-content/uploads/2012/04/CCC-battery-cost_-Element-Energy-report_March2012_Public.pdf
- [4] Boston Consultancy Group; Batterijen voor elektrische auto's, kansen en vooruitzicht voor 2020. Studie uit 2010; http://batteryuniversity.com/learn/article/batteries_for_electric_cars
- [5] EUROBAT, ACEA, JAMA, Kama, Ila; A review of battery technologies for automotive applications, A joint industry analysis of the technological suitability of different battery technologies for use across various automotive application in the foreseeable future.
- [6] Verzilvering verdienpotentieel, Elektrisch Vervoer in Nederland, Jaarrapportage stand van zaken medio 2014, Datum 6 oktober 2014
- [7] Visie Duurzame Brandstoffenmix, Deelrapport, Tafel Wegvervoer, Duurzaam Elektrisch, Verzilvering verdienpotentieel Elektrisch Vervoer in Nederland, Jaarrapportage stand van zaken medio 2014, Datum 6 oktober 2014
- [8] Article: Battery technology charges ahead; New research suggests that the price of Lithium-ion batteries could fall dramatically by 2020, creating conditions for the widespread adoption of electrified vehicles in some markets. July 2012| by Russell Hensley, John Newman, and Matt Rogers.
http://www.mckinsey.com/insights/energy_resources_materials/battery_technology_charges_ahead
- [9] Leclanché
- [10] ELV Directive; DIRECTIVE 2000/53/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 18 September 2000 on end-of life vehicles;
- [11] Fuelling Europe's future How auto innovation leads to eu jobs, Cambridge Econometrics, Element Energy, Ricardo AEA, 2013
- [12] E-mobility Roadmap for the EU battery industry, Recharge (2013)
- [13] Europe's low carbon industries: A health check, October 2014, Ernst & Young
- [14] European Roadmap Electrification of Road Transport, 2nd Edition;
http://www.egvi.eu/uploads/Modules/Publications/electrification_roadmap_web.pdf
- [15] European Green Vehicles Initiative (contractual public-private partnership dedicated to delivering green vehicles and mobility system solutions which match the major societal, environmental and economic challenges) <http://www.egvi.eu/>;
- [16] European Green Vehicles Initiative;
http://www.egvi.eu/uploads/Modules/Publications/electrification_roadmap_web.pdf
- [17] EFS & DNV GL Research

- [18] Battery experience curve, Bloomberg, <https://handlemanpost.wordpress.com/2013/12/06/up-to-date-cost-curves-for-batteries-solar-and-wind/>
- [19] Centurion Akku: <http://www.centurion-akku.nl/ontwikkeling/index.htm?ontwikkeling/bilaps.htm&2>
- [20] NRC handelsblad, vrijdag 7 maart 2014 op pagina 4 & 5; <http://www.drivenbyhelmond.nl/nieuws/artikel-nrc-over-elektrisch-rijden-en-automotive-campus-helmond/?closeBanner=Y;>
- [21] M2Power website: <http://www.m2power.eu/nl/over-m2-power/>
- [22] E-traction: <http://www.e-traction.com/en/products-and-solutions/services>
- [23] European Lithium-ion battery advanced manufacturing for Electric Vehicles (Elibama); <https://elibama.files.wordpress.com/2014/10/elibama-white-paper-full.pdf>
- [24] ELAT: <http://www.elat.org/>; Eindhoven-Leuven-Aachen kennisdriehoek
- [25] Actia Batterijen; <http://www.actia.nl/>
- [26] D Incert; Verkenning Elektrisch rijden 2011; Deel 2: Innovatieagenda elektrisch rijden Nederland; 2010 – 2020; <http://www.d-incert.nl/wp-content/uploads/2011/07/Innovatieagenda-elektrisch-rijden-Nederland-2010-2020.pdf>
- [27] NXP, Sensorless Electrical-Vehicle Battery Management:
 - 1) <http://www.nxp.com/news/whats-cooking-in-rd/ev-battery-management.html>
 - 2) http://www.nxp.com/wcm_documents/technologies/documents/sensorless_battery_cell_temperature_measurement.pdf
- [28] Merge van NXP met Freescale; <http://www.nrc.nl/nieuws/2015/03/02/chipfabrikant-nxp-neemt-amerikaanse-rivaal-over/>
- [29] Elsevier article: Sensorless battery temperature measurements based on electrochemical impedance ; L.H.J. Raijmakers a, D.L. Danilov a, J.P.M. van Lammeren b, M.J.G. Lammers b, P.H.L. Notten a, Energy Materials and Devices (EMD), Department of Chemical Engineering and Chemistry, Eindhoven University of Technology, and b NXP Semiconductors, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775313014961>
- [30] Johnson Matthey Technol. Rev., 2015, 59, (1), 4, doi; <http://www.technology.matthey.com/article/59/1/4-13/>
- [31] Artikel: Peter Miller (2015). Automotive Lithium-ion Batteries: State of the art and future developments in Lithium-ion battery packs for passenger car applications. Johnson Matthey Technology Review, 59, p. 4-13.
- [32] Europese electromobility+ project ABattReLife; <http://www.abattrelife.eu/>
- [33] <http://storage.pv-tech.org/news/bosch-bmw-vattenfall-resurrect-more-ev-batteries-for-Second-Life-as-large-s>
- [34] Publication "Efficiency House Plus with Electric Mobility", Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development, 2013

- [35] "The Beginnings of EVEREST: Suitable Second Use Batteries", Ian Goodman, Goodwolfe Energy, EEVC, 2014
- [36] "Oude accu's BMWi krijgen tweede leven bij Vattenfall", www.duurzaambedrijfsleven.nl, 03022015
- [37] Wat gebeurt er met oude accu's van elektrische voertuigen?", www.groen7.nl, 03022015
- [38] <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/auto/elektrisch-rijden>
- [39] A Roadmap for the Next Generation of Batteries Materials, Chemistries, Performance and Cost; Kai-Christian Möller; Project Group Electrochemical Energy Storage; Fraunhofer, 3 Israeli Power Sources Conference 2013 (Powerpoint presentation)
- [40] Energieakkoord tussen de NL overheid en bedrijfsleven; <http://www.energieakkoordser.nl/>
- [41] E-trucks; website <http://e-truckseurope.com/>
- [42] Website Hoppecke (www.hoppecke.com)
- [43] Website Saft batterijen (<http://www.saftbatteries.com/>)
- [44] Website Spijkstaal: <http://www.spijkstaal.nl/home-organisatie>
- [45] Persbericht NU.nl; <http://www.nu.nl/auto/1948865/nedcar-en-karmann-beginnen-met-elektro-autos.html>
- [46] Website Ebusco; <http://www.ebusco.eu/nl/>;
- [47] Website Yintongroup; e-busses; <http://www.yintonggroup.com/en/pro-anid-69.html>
- [48] V2G/G2V artikel Lombok heeft Europese primeur met eerste Vehicle2Grid-energieopslagsysteem: <http://www.ecomobiel.nl/nieuws/item/items/lombok-heeft-europese-primeur/>
- [49] Project website EU Project NEMO: <http://www.nemo-project.eu/>
- [50] Project website EU Project Abattrelife: <http://www.abattrelife.eu/>).
- [51] Project website Powermatching city: <http://www.powermatchingcity.nl/site/pagina.php?id=34>
- [52] <http://enexisinnovatie.nl/themas/elektrisch-rijden/>)
- [53] <http://tki-switch2smartgrids.nl/projecten/smart-grid-v2x-energy-mobility-v2x/>
- [54] aantal elektrische voertuigen; <http://www.elektrischeauto.nl/modellen/>
- [55] aantal hybride voertuigen; <http://www.hybrideauto.eu/>
- [56] ARN 2015
- [57] Electropedia; Battery and Energy Technologies / Battery Life (and Death); Battery Performance Characteristics; <http://www.mpoweruk.com/performance.htm>; <http://www.mpoweruk.com/life.htm#dod>
- [58] 'roadmap voor energieopslag tot 2030'; DNV GL; H. van de Vegte et al; in opdracht van het ministerie van Economische Zaken;
- [59] Whitepaper over electromobility; DNV GL (verwachte publicatie maart 2015);
- [60] Tesla; <http://fd.nl/ondernemen/899030/autofabrikant-tesla-opent-tweede-vestiging-in-tilburg>

[61] <http://tki-switch2smartgrids.nl/projecten/>

[62] <http://www.evnet.nl/>

[63] Alain Vassart, EPBA, ICBR 2013

[64] Alain Vassart, ICBR September 2014

10.2 Persoonlijke communicatie

[65] Communicatie met Polytec, door H. Timmers ARN (Januari 2015)

[66] Communicatie met Automotive NL,, door B. in 't Groen (DNV GL) (Januari 2015)

[67] Communicatie met Automotive NL, door B. in 't Groen (DNV GL) (Januari 2015)

[68] Communicatie met Stichting Doet, door B. in 't Groen (DNV GL) (Februari 2015)

[69] Communicatie met Ministerie van Infrastructuur en Milieu Directoraat-Generaal Milieu en Internationaal, door H. Timmers ARN.

[70] Communicatie met NXP, door K. Broess (DNV GL) (Februari 2015)

[71] Communication met Topcool, door B. in 't Groen (DNV GL (Februari 2015); en <http://www.top-cool.eu/nl/>

[72] Communicatie met Recharge, door H. Timmers (ARN) (Januari 2015)

[73] Communicatie met Plastics Europe, door H. Timmers (ARN) (Januari 2015)

[74] Communicatie met Sabic Europe. door H. Timmers (ARN) (Februari 2015)

[75] Communicatie met DSM, door H. Timmers (ARN) (Februari 2015)

[76] Communicatie met Ministerie van I&M, door H. Timmers (ARN) (Januari 2015)

[77] Communicatie met E-traction ; door B. in 't Groen (DNV GL) (Februari 2015)

[78] Communicatie met Alliander; door ARN en DNV GL (Januari 2015)

[79] Communicatie met Batteriretur; door ARN, H. Timmers (Januari 2015)

[80] Communicatie met Emmergy; door ARN H. Timmers (november 2014)

[81] Communicatie met ARN; Ir. Pieter Kuiper, door H. Timmers ARN, februari 2015

[82] Communicatie met M2Power, door B. in 't Groen (DNV GL) (Februari 2015)

[83] Communicatie met Stichting E-Laad, door A. Tiggelman (DNV GL) (Januari 2015)

[84] Communicatie met Centurion, door A. Tiggelman (DNV GL) (Januari 2015); B. in 't Groen (DNV GL (Maart 2015);

[85] Communicatie met DAF, door B. in 't Groen (DNV GL) (Februari 2015)

[86] Communicatie met VDL; door H. Timmers (ARN) (Januari 2015)

[87] Communicatie met VDL,; door B. in 't Groen (DNV GL) (Februari 2015)



- [88] Communicatie met Plastics Europe, door H. Timmers (ARN) (Januari 2015)
- [89] Communicatie met TUE, door Bart in 't Groen (DNV GL) (Maart 2015)
- [90] Communicatie met Spijkstaal, door Bart in 't Groen (DNV GL) (Maart 2015)