

Verkenning elektrisch rijden

Deel 2:

Innovatieagenda elektrisch rijden Nederland
2010 – 2020

D-INCERT

D-INCERT (Dutch Innovation Centre for Electric Road Transport) is in 2008 opgericht op initiatief van de drie technische universiteiten in Eindhoven, Delft en Twente en de Hogescholen Rotterdam en Arnhem/Nijmegen, als platform om wetenschappelijk onderzoek, technologische innovatie en onderwijsvernieuwing nauw te kunnen verbinden met de transitie naar elektrisch vervoer in Nederland. Het platform stimuleert snelle kennisdoorstroming, afstemming en samenwerking tussen de aangesloten partijen. D-INCERT is toegankelijk voor kennisinstellingen en het innovatieve bedrijfsleven dat werkt aan technologische oplossingen voor elektrische mobiliteit. De benadering van D-INCERT is pre-competitief en gericht op onafhankelijke kennis- en technologieontwikkeling en heeft tot doel een strategische bijdrage te leveren aan de ontwikkeling van noodzakelijke innovaties en aan de marktadoptie van elektrische mobiliteit in Nederland.

COLOFON

Redactie:

Prof.dr. Cees de Bont
 Dr.ir. Stephan van Dijk
 Ir. Ruud van Heur
 Dr.ir. Sacha Silvester

Werkgroepvoorzitters & auteurs deelstudies:

Prof.dr. Henk Nijmeijer (TU Eindhoven)	Elektrische voertuigtechnologie
Prof.dr. Peter Notten (TU Eindhoven)	Batterijtechnologie
Prof.dr.ir. Pavol Bauer (TU Delft)	Laad-, betaal- en energie-infrastructuur
Ir. Frank Rieck (Hogeschool Rotterdam)	Milieu en Veiligheid
Prof.dr. Jan Schoormans (TU Delft)	Gebruikersperspectief
Prof.dr.ir. Bart van Arem (TU Delft)	Ruimtelijke en vervoerskundige inpassing

D-incert coördinatie:

Drs. Pauline van der Vorm
 Dr.ir. Stephan van Dijk

Vormgeving:

DC (www.dcworks.nl)

©D-INCERT, juni 2011



VOORWOORD

Op 3 juli 2009 werd het Plan van Aanpak Elektrisch Rijden door de Regering aangeboden aan de Tweede Kamer. Hierin wordt vorm en inhoud gegeven aan de ondersteunende rol die het Rijk wil spelen bij de versnelde introductie van elektrisch rijden. De ambitie werd uitgesproken om Nederland in de periode 2009-2011 tot gidsland en internationale proeftuin voor elektrisch rijden te maken.

Omdat de ontwikkelingen rond elektrisch rijden elkaar in hoog tempo opvolgen, is een adequaat kennismanagement noodzakelijk. Dit was aanleiding voor het Ministerie van Verkeer en Waterstaat om in december 2009 D-INCERT de opdracht te verlenen om bestaande kennis en technologische mogelijkheden rond elektrisch wegtransport in Nederland te inventariseren. Door allereerst een objectieve kennisbasis vast te stellen, en onzekerheden en kennisvragen te identificeren, kan vervolgens in nauwe samenspraak met kennisinstellingen, bedrijfsleven en overheden een nationale innovatieagenda voor elektrisch rijden in Nederland worden ontwikkeld.

Met dit doel hebben ruim dertig experts van verschillende universiteiten, hogescholen en kennisinstellingen de belangrijkste technologische aspecten geïnventariseerd die van belang zijn voor de transitie van mobiliteit op basis van fossiele brandstoffen naar oplaadbare elektrische voertuigen. Zij verzamelden de kennisvragen die nog beantwoord moeten worden om de introductie te faciliteren van het door het kabinet voorziene aantal van 200.000 elektrische voertuigen per 2020¹. Dit heeft geresulteerd in Deel I Verkenning Elektrisch Rijden.

¹ Geraamd is het aantal plug-in hybrides en volledig elektrische voertuigen dat in 2020 het Nederlandse wagenpark zal betreden. Bron: Brief aan de kamer, Plan van Aanpak Elektrisch Rijden, juli 2009

Daarna is in nauwe samenwerking met belanghebbenden vanuit het bedrijfsleven en de industrie gewerkt aan een innovatieagenda en bijbehorende innovatiesporen. Op basis van een analyse van de economische kansen, competenties en effecten op de transitie naar elektrisch rijden is een keuze gemaakt voor een beperkt aantal sporen waar wij van overtuigd zijn dat Nederlandse innovatie succesvol kan zijn. De innovatieagenda wordt in deze rapportage uitgewerkt. De belangrijkste innovatiesporen zijn:

- Integrale elektrische mobiliteit
- Betaalbare elektrische mobiliteit
- Connected EV
- Fit-for-use drivetrains
- Veilige elektrische voertuigen
- Slim laden
- Duurzame en slimme energienetwerken
- Batterijmanagement
- Duurzame batterijen

Deze innovatieagenda is tot stand gekomen door een unieke samenwerking tussen wetenschappers van universiteiten en hogescholen en experts vanuit het Nederlandse bedrijfsleven. Er is met grote inzet en enthousiasme aan deze agenda gewerkt. Ik wil iedereen die aan de totstandkoming van dit rapport heeft bijgedragen daarvoor danken. Ik ben er van overtuigd dat dit een belangrijke stap is geweest in het bouwen van een hechte kennis- en innovatiegemeenschap op het gebied van elektrisch rijden in Nederland.

Prof.dr. Cees de Bont

Voorzitter D-incert

INHOUDSOPGAVE

	VOORWOORD	3
	SAMENVATTING	5
1. /	<u>DE BELOFTE VAN ELEKTRISCH VERVOER</u>	12
2. /	<u>DOEL EN REIKWIJDTE VAN DEZE STUDIE</u>	15
3. /	<u>METHODOLOGIE</u>	16
3.1	ROADMAPPING	16
3.2	ROADMAPPING METHODE	17
3.3	DEELNEMERS	18
3.4	BEPERKINGEN	19
4. /	<u>RESULTATEN</u>	20
4.1	INLEIDING	20
4.2	TOEKOMSTVISIE OP ELEKTRISCH RIJDEN 2010 – 2020	20
4.3	BETAALBARE ELEKTRISCHE MOBILITEIT	21
4.4	FIT FOR USE DRIVETRAINS	24
4.5	CONNECTED EV	26
4.6	VEILIGE ELEKTRISCHE VOERTUIGEN	27
4.7	SLIM LADEN	28
4.8	INTEGRALE ELEKTRISCHE MOBILITEIT	30
4.9	DUURZAME EN SLIMME ENERGIENETWERKEN	33
4.10	BATTERIJMANAGEMENT	35
4.11	DUURZAME BATTERIJEN	36
5. /	<u>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</u>	38
5.1	CONCLUSIES	38
5.2	AANBEVELINGEN	42
6. /	<u>REFERENTIES EN ACHTERGRONDINFORMATIE</u>	44
6.1	REFERENTIES	44
6.2	ACHTERGRONDINFORMATIE	47
7. /	BIJLAGE I: TYPEN ELEKTRISCHE VOERTUIGEN	49
8. /	BIJLAGE II: LOPENDE SAMENWERKINGSPROGRAMMA'S	50

SAMENVATTING

ACHTERGROND

De internationale ontwikkelingen rondom elektrische mobiliteit lijken niet meer te stuiten. Ieder zich respecterende fabrikant van voertuigen is bezig met de ontwikkeling van hybride en/of volledig elektrische voertuigen. De verwachtingen zijn hooggespannen en de geformuleerde ambities met betrekking tot de adoptie van elektrische voertuigen zijn hoog. Overheden zien een belangrijke rol weggelegd voor elektrische mobiliteit als maatregel voor het behalen van klimaatdoelen en het verbeteren van de luchtkwaliteit.

D-INCERT is door het secretariaat POWER van het Formule E-Team gevraagd om een studie uit te voeren naar de 'state of the art' van de technologische mogelijkheden en onzekerheden op het gebied van elektrisch wegtransport en de competenties van Nederland op dit vlak. Daarnaast is D-INCERT gevraagd om op basis daarvan een Nederlandse innovatieagenda elektrisch rijden 2010-2020 te formuleren, samen met kennisinstellingen en bedrijfsleven. Dit rapport beschrijft deze Nederlandse innovatieagenda.

De innovatieagenda elektrisch rijden 2010-2020 richt zich op de mogelijke bijdrage van elektrische mobiliteit aan de versterking van de economische positie en groei van Nederland. Gezien de forse investeringen van EU-landen zoals Duitsland, Frankrijk, Spanje en Engeland in de ontwikkeling van elektrische mobiliteit is het van groot belang dat de Nederlandse innovatie-inspanningen doeltreffend en doelmatig zijn en onderscheidend zijn aan wat er in Europa en elders in de wereld plaatsvindt. Centraal staat dan ook de vraag welke innovatiekansen er zijn voor specifiek Nederlandse bedrijven en instellingen? De resulterende innovatieagenda bouwt voort op de bestaande competenties van het Nederlandse bedrijfsleven en kennisinstellingen en kan, door de inbreng van experts uit bedrijfsleven, kennisinstellingen, overheid en gebruikersorganisaties, rekenen op brede steun en grote betrokkenheid.

VISIE ELEKTRISCH RIJDEN IN 2020

Op basis van literatuuronderzoek en intensieve workshops met meer dan 80 Nederlandse experts en stakeholders is een inventarisatie gemaakt van de belangrijkste ontwikkelingen, drivers en doelstellingen voor elektrisch vervoer in Nederland voor de periode van 2010 tot 2020. Op basis hiervan is een toekomstvisie geformuleerd die als richtpunt en afbakening geldt voor het ontwikkelen van de innovatiesporen. In het onderstaande kader wordt deze visie samengevat.

ELEKTRISCH RIJDEN IN 2020

In 2020 moet de grootschalige invoering van elektrisch rijden leiden tot een aanzienlijke verbetering van de leefkwaliteit in Nederland, in het bijzonder in het binnenstedelijke klimaat. Het gaat hier om verbetering van de luchtkwaliteit (reductie van fijnstof en NO_x) en een reductie van de geluidsoverlast van voertuigen, vooral in de binnensteden. Daarnaast draagt de grootschalige invoering van elektrisch rijden bij aan de reductie van de (lokale) uitstoot van CO₂. In 2020 heeft Nederland daarmee een van de efficiëntste, schoonste en veiligste vervoerssystemen in Europa. Het grootschalige gebruik van elektrische voertuigen in combinatie met de beschikbaarheid van intelligente elektriciteitsnetten biedt Nederland na 2020 een buffercapaciteit in de energieinfrastructuur en daarmee de mogelijkheid tot verdere verduurzaming van de energievoorziening. De fluctuerende productie van zonne- en windenergie kan met deze buffercapaciteit opgevangen

worden en laat daarmee opschaling van deze productie toe. Dit maakt het mogelijk om de afhankelijkheid van energielevering uit instabiele buitenlandse landen verder te verminderen. De invoering van elektrisch rijden in Nederland heeft er ook toe geleid dat het Nederlandse bedrijfsleven economische groei heeft gerealiseerd door innovatieve product/dienst combinaties te ontwikkelen en deze succesvol op de markt te zetten.

Om deze ambitie te realiseren is het noodzakelijk om de veiligheid, betrouwbaarheid, het gebruiksgemak en de prijs/kwaliteitsverhouding van (PH)EV en bijbehorende laadtechnologie te verbeteren en aansluiting op gebruikersbehoeften centraal te stellen. In 2020 rijden (PH)EV voertuigen dan ook als een Porsche en zijn stil als een Rolls Royce. EVs zijn comfortabeler, veiliger en praktischer dan conventionele voertuigen en vooral 'cool' en 'fun to drive'. (PH)EV maken gebruik van sterke en lichte materialen en bieden betrouwbaar, onderhoudsarm en onbezorgd vervoer. (PH)EV en bijbehorende laadnetwerken zijn veilig en intelligent. De gebruiker hoeft niet meer na te denken over hoeveel, wanneer en waar de batterij wordt opgeladen en verliest hierdoor geen extra reistijd. Het gebruik van (PH)EV is in 2020 goedkoper dan brandstof aangedreven voertuigen en transparante financiering- en betaalsystemen zorgen voor een heldere total cost of ownership.

NEGEN INNOVATIESPOREN, NEGEN UITDAGINGEN

Om de visie voor elektrisch rijden in 2020 te kunnen realiseren is innovatie noodzakelijk en zijn negen innovatiesporen geïdentificeerd die voortbouwen op competenties van Nederlandse bedrijven en kennisinstellingen, en die de grootste kans hebben op economische groei en versterking van de concurrentiepositie. De volgende negen innovatiesporen worden onderscheiden:

1. **Integrale elektrische mobiliteit**

De uitdaging ligt in het leveren van integrale mobiliteitsoplossingen voor de stedelijke omgeving, bestaande uit op elkaar afgestemde producten (voertuigen, laadpunten, etc.) en diensten (mobiliteit, energie, informatie). De focus ligt de komende 5 jaar op de zakelijke markt zoals (additioneel) openbaar vervoer, distributie en transport en personenvervoer (bv. wagenpark, leasemarkt, taxidiensten). De particuliere consumentenmarkt zal zich pas later ontwikkelen. De zakelijke markt bestaat uit een veelheid van nichemarkten. Om actoren in deze niches te kunnen overtuigen om de overstap naar elektrische mobiliteit te zetten zal maatwerk geleverd moeten worden. Kennis over de niches en de specifieke gebruikerseisen en mobiliteitsbehoefte is cruciaal om te komen tot consistente, gebruiksvriendelijke en betaalbare mobiliteitsconcepten en oplossingen. Het inzicht in de (toekomstige) gebruiker binnen de niches (marktkennis en customer insights) is startpunt van dit innovatiespoor.

2. **Betaalbare elektrische mobiliteit**

Binnen dit innovatiespoor wordt de betaalbaarheid van elektrische mobiliteit als centrale uitdaging geplaatst. Welke innovaties zijn noodzakelijk om in 2020 het elektrisch rijden goedkoper te laten zijn dan vervoer middels conventionele voertuigen? En wat is er nodig om een transparante kostenstructuur en prijsvorming in de markt te laten ontstaan? In dit innovatiespoor wordt niet zozeer ingegaan op het verlagen van de kostprijs van technische componenten van het voertuig, maar wordt juist gekeken naar business model innovaties. Voor Nederlandse bedrijven en instellingen wordt hier een duidelijke economische kans gezien.

3. **Connected EV**

Door ICT-ontwikkelingen zal de interactie van het voertuig met zijn omgeving een enorme verbetering kunnen ondergaan. Hierbij moet gedacht worden aan de actieve veiligheid, de verkeersdoorstroming, het downloaden van informatie/entertainment, GPS en routebepaling, diagnose/onderhoud/reparatie en beveiliging van mobiliteitsconcepten. In Nederland (met name in HTAS-verband) is dit innovatiespoor reeds sterk in ontwikkeling. Hoewel 'connectivity' ook voor de traditionele voertuigen een enorme verbetering betekent, is het een onmisbaar element voor het elektrische voertuig. Connectivity is een belangrijk wapen tegen de zogenaamde range anxiety, de angst die bij de gebruikers van volledig elektrische voertuigen bestaat om zonder stroom te komen staan. Daarnaast is het een krachtig middel om de verkeersstromen en de bijbehorende overlast (congestie, parkeren) te reguleren. Belangrijke product-/dienstcombinaties binnen dit traject zijn driver guidance systems die naast de gewenste route/eindbestemming rekening houden met de laadinfrastructuur, het energie-aanbod en -verbruik, de energieprijzen en de parkeervoorzieningen.

4. **Slim laden**

De ontwikkeling van een gebruiksvriendelijke, betrouwbare en veilige laadinfrastructuur is de centrale uitdaging in dit innovatiespoor. De eerste generatie laadinfrastructuur – anno 2010 in aanleg binnen enkele grote Europese steden – schiet op de genoemde aspecten tekort. De laadsnelheid, het gebruiksgemak, en het aansluiten op routines van de gebruiker, zijn eisen die leidend dienen te zijn in de ontwikkeling van de volgende generatie (grootschalige) infrastructuur. In 2020 gebeurt het laadproces snel en route (deductief/inductief/batterijwissel) en semi-snel of normaal op de thuis- en werklocatie (inductief/draadloos). Smart charging houdt ook in dat bij het laden wordt geoptimaliseerd tussen vraag en aanbod van elektriciteit op een zo een lokaal mogelijk niveau.

5. **Batterijmanagement**

Om tot meer betrouwbare en betaalbare batterijtechnologie te komen is het noodzakelijk om de batterijmanagementsystemen (BMS) die het laden en ontladen van de batterij sturen te verbeteren. Een BMS dat beter in staat is om het verouderingsproces van de batterij te monitoren en het laden en ontladen te sturen zodat (te) snelle degradatie wordt tegengegaan, draagt bij aan een hogere restwaarde en langere levensduur van de batterij en daarmee lagere afschrijvingskosten. Daarnaast kunnen verbeteringen in het BMS tot een grotere actieradius leiden.

6. **Fit-for-use drivetrains**

Voor snelle en grootschalige invoering van elektrische voertuigen zijn de huidige beperkingen ten aanzien van o.a. actieradius, gewicht, aanschafprijs, en lange laadcycli een remmende factor bij de acceptatie door de consument. Vooral in de kern van het elektrisch voertuigstelsel, de aandrijflijn, kunnen belangrijke verbeteringen worden gerealiseerd. Elektrische voertuigen met geoptimaliseerde aandrijflijnen voor specifieke drive cycles van gebruikersgroepen (eventueel in combinatie met zuinige range extenders) zijn essentieel om de beperkte actieradius te vergroten en voertuigprestaties beter aan te laten sluiten op de verwachtingen van de gebruikers. Er is behoefte aan optimale (hybride) aandrijftechnologie (componenten en integrale aandrijflijnen), range extender technologie en optimale energiemanagementsystemen voor het gehele voertuig.

7. **Veilige elektrische voertuigen**

Huidige en toekomstige (PH)EV zullen (nog) voor een groot deel omgebouwde conventionele voertuigen zijn. Veel experts geven aan dat er nog een aantal onzekerheden bestaan over de veiligheid van

deze voertuigen. Veiligheid zou in de huidige transitiefase echter buiten kijf moeten staan; in eerste plaats om slachtoffers en schade te voorkomen, maar ook omdat bij een onverwachte calamiteit of ongeluk met deze voertuigen de publieke opinie snel in negatieve zin kan omslaan. De specifieke nieuwe veiligheidsaspecten voor elektrische voertuigen zijn het omgaan met de hoge spanningen bij (de)montage en het ingrijpen van hulpdiensten, de grote massa van de batterijpakketten bij botsingen, en de ongewenste chemische reacties bij blussen of te water raken. Voorts dreigt brandgevaar bij onjuiste laadprocedures en bestaan er onduidelijkheden over de elektromagnetische compatibiliteit. Daarnaast zijn er gevaren voor andere weggebruikers bij lage snelheden als gevolg van het ontbreken van motorgeluid.

8. **Duurzame slimme energienetwerken**

Om in 2020 op grote schaal elektrisch vervoer mogelijk te maken en dit op de meest duurzame manier te realiseren zijn er verbeteringen noodzakelijk ten aanzien van de elektrische infrastructuur en het elektriciteitsnetwerk. Om een zo duurzaam mogelijk mobiliteitssysteem te creëren is het wenselijk dat de energie die wordt gebruikt ook zelf 'duurzaam' is opgewekt. De meest voor de hand liggende schone bronnen zijn hier zonne-energie en windenergie. Het realiseren van een betrouwbare koppeling tussen duurzame energieopwekking en een elektrisch mobiliteitssysteem is een grote uitdaging en van groot belang om te komen tot nul-emissies ten aanzien van CO₂, fijnstof en NO_x als het gevolg van het energiegebruik door het voertuig. Dit stelt nieuwe eisen aan het elektriciteitsnetwerk wat betreft het afstemmen en balanceren van vraag en aanbod van energie, zeker aangezien wind en zon variabele (intermitterende) energiebronnen zijn. Daarnaast is het noodzakelijk om bij de grootschalige implementatie van elektrisch vervoer rekening te houden met lokale piekbelastingen op het netwerk ten gevolge van gelijktijdig laden van grotere aantallen voertuigen. Tot aan 2015 wordt verwacht dat deze piekbelastingen nauwelijks voor zullen komen, echter bij grotere concentraties van laadpunten en voertuigen na 2015 wordt dit wel relevant. Ook het voorkomen van deze piekbelastingen stelt nieuwe eisen aan het elektriciteitsnetwerk en balanceren van vraag en aanbod. Beide ontwikkelingen, zowel aan de aanbodkant van energie (zon en wind) als aan de vraagkant (laden van voertuigen) vragen om een intelligenter elektriciteitsnetwerk.

9. **Duurzame batterijen**

Het zorgvuldig en efficiënt hergebruiken en recyclen 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. Naast de invoer van nieuwe batterijen via de mainports zou Nederland - mede op basis van haar logistieke expertise - een leidende rol kunnen gaan spelen in de wereldwijde recycling en batterijkringloop. 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 ontwikkelen hiervoor second life toepassingen. 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 bij je thuis in de garage. Denk ook aan diensten zoals ver- en betaalconcepten. Als de prestaties van de batterij ook niet meer voldoende zijn voor de second life toepassing, dan is het van belang de batterij optimaal te recyclen en schaarse materialen terug te winnen. Dit is vooral van belang voor de edelmetalen die in de batterij verwerkt zijn.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De Nederlandse innovatieagenda elektrisch rijden 2010-2020 richt de aandacht integraal op de combinatie van elektrische mobiliteit in de stedelijke omgeving, een gebruiksvriendelijke laainfrastructuur gekoppeld aan een duurzame energievoorziening en een sterke oriëntatie op de eindgebruiker en diens behoeften en routines. Op basis hiervan kan een unieke positie verworven worden door Nederlands bedrijven en kennisinstellingen. Negen kansrijke innovatiesporen zijn geïdentificeerd binnen de innovatieagenda. Van niet alle innovatiesporen wordt verwacht dat zij innovaties zullen opleveren die even snel zullen penetreren in de markt. Ook de marktomvang is verschillend voor de in de sporen te ontwikkelen product-/dienstcombinaties. Daarnaast is de mate van competentie in Nederland op deze innovatiesporen verschillend. Op basis van deze criteria is vastgesteld dat van de negen innovatiesporen er vijf op korte termijn sterk moeten worden ingezet. In onderstaande tabel is het resultaat samengevat.

		Adoptiesnelheid	Marktomvang	Competenties	Gemiddeld
1e prioriteit: Korte termijn (→ 2010)	1 Integrale elektrische mobiliteit	++	++	++	++
	2 Betaalbare elektrische mobiliteit	++	++	++	++
	3 Connected EV	+	++	++	++
	4 Slim laden	++	++	++	++
	5 Batterijmanagement	+	++	++	++
2e prioriteit: Langere termijn (→ 2015)	6 Fit-for-use drivetrains	+	++	+	+
	7 Veilige elektrische voertuigen	+	+	++	+
	8 Duurzame en slimme netwerken	+	+	++	+
	9 Duurzame batterijen	+	+	++	+

Voor het realiseren van de innovatiesporen is nauwe samenwerking tussen marktpartijen, kennisinstellingen en overheid een belangrijke voorwaarde. Voor een aantal innovatiesporen staat deze samenwerking al in de steigers en lopen er onderzoeks- en ontwikkelingstrajecten. Om samenwerking te versterken en kritische massa te vergroten volgen vier aanbevelingen:

1. De innovatieagenda pleit sterk voor een focus op de stedelijke gebieden. Hier kan de invloed van de transitie naar elektrische mobiliteit op korte termijn het meest doeltreffend zijn. Het beleid ten aanzien van de verbetering van de stedelijke luchtkwaliteit is een belangrijke voedingsbodem voor de ontwikkeling van elektrische mobiliteit in Nederland. De resultaten van de proeftuinen elektrisch rijden kunnen een belangrijke impuls geven aan de ontwikkelingen binnen de innovatiesporen. Daarnaast vormt de ambitie en het beleid van de grote steden met betrekking tot elektrische mobiliteit een uitstekende en tevens noodzakelijke context voor de geformuleerde innovatieagenda. Aanbevolen wordt om nadrukkelijker de innovatiesporen te koppelen aan de stedelijke (her-)ontwikkeling. De kennisuitwisseling rondom de activiteiten van de vier grote steden op het gebied van elektrisch rijden met bedrijfsleven en kennisinstellingen zou een impuls moeten krijgen door het

oprichten van learning circles. In een learning circle worden de uitvoering van de pilots gemonitord en knelpunten geïdentificeerd, maar deze worden ook meteen gekoppeld aan partijen die hiervoor mogelijke innovatieve oplossingen hebben. In de learning circle is dus een directe koppeling gerealiseerd tussen pilot implementaties en het ontdekken van kansen voor nieuwe innovaties. De ervaring die in de proeftuinen wordt opgedaan, wordt op deze manier beter benut. D-INCERT ziet zichzelf hierbij als een belangrijke initiator en mediator.

2. Aanbevolen wordt om in 2011 voor de vijf geprioriteerde innovatiesporen expertgroepen te vormen. De experts zullen afkomstig moeten zijn uit de kennisinstellingen, het bedrijfsleven en de overheden. De expertgroepen hebben als taak om de internationale en nationale kennis- en innovatieontwikkeling te monitoren en te evalueren. De expertgroepen doen aanbevelingen voor de Nederlandse en Europese onderzoeks- en innovatieagenda en identificeren innovatieprojecten waarin samengewerkt kan worden. De expertgroepen vormen de centrale knooppunten voor het innovatiecluster in Nederland. De lopende werkgroepen van bijvoorbeeld Platform Elektrische Mobiliteit (BOVAG/RAI), Formule E-team en de werkgroepen van D-INCERT kunnen hierin worden gebundeld. D-INCERT heeft samen met haar partners het voortouw genomen om voor het innovatiespoor Slim Laden een eerste expertgroep op te richten. De andere innovatiesporen zullen volgen. Gezien de dynamiek van de ontwikkelingen met betrekking tot elektrische rijden is het belangrijk de innovatieagenda op basis van de bevindingen van de expertgroepen jaarlijks te actualiseren, resulterend in innovatiejaarkalenders.

Om de potentie van de innovatiesporen volledig waar te maken is een consistente regierol van, en faciliteren door de overheid onmisbaar. Het faciliteren en legitimeren door de Rijksoverheid van de eerder genoemde learning circles rondom de proeftuinen en de expertgroepen ten behoeve van de innovatiesporen wordt noodzakelijk geacht.

3. De middelen die beschikbaar zijn voor innovatie in Nederland zijn bescheiden vergeleken met landen zoals Spanje, Duitsland, Frankrijk en Engeland. De Europese middelen (KP7, Green Cars etc.) zijn echter omvangrijk. Nederlandse bedrijven, overheden en kennisinstellingen zijn volop actief en ook succesvol met het participeren in Europese consortia. Echter, op het gebied van elektrisch rijden kan dit beter en fragmentatie ligt sterk op de loer. (Europese) Calls zijn veelal specifiek, bij voorkeur mono-disciplinair en vooral technologie gedreven. De focus op de gebruiker en de gebruikscontext ontbreekt. Een meer integrale benadering - zoals bepleit in de innovatieagenda - waarbij innovatie van maatwerk oplossingen (producten / diensten / business modellen) wordt voorgesteld, moet worden gestimuleerd. Daarnaast moet Nederland bij de formulering van de Europese kaderprogramma's de geprioriteerde innovatiesporen nadrukkelijker inbrengen. Hierin kunnen AgentschapNL en de betrokken Ministeries een belangrijke rol in spelen.
4. De voorbereidende activiteiten ten behoeve van de innovatieagenda hebben al tot een aantal projecten geleid die invulling geven aan de innovatiesporen (i.h.k.v. het HTAS-EVT programma en de ERANET Electromobility+ call). Deze projecten zijn echter ieder beperkt wat betreft budget en looptijd. De innovatiesporen 1 en 3 (zie tabel) zouden respectievelijk kunnen worden aangehaakt aan het HTAS2-programma, innovatiesporen 2 en 4 aan het FES-programma Next Generation Infrastructures, en spoor 5 aan het ADEM programma. De resterende looptijd van deze innovatieprogramma's is vooralsnog echter beperkt en opvolging onzeker. Om tot verdere versterking en uitvoering van de innovatiesporen te komen is het dan ook nuttig om de innovatieagenda elektrisch rijden te verbind-

den met de aanpak van de Topsectoren. Met name inbedding in de Topsector High Tech Materialen en Systemen is van belang om innovatie op langere termijn te agenderen en te borgen. Het uitvoeren van de onderzoeks- en ontwikkelingsuitdagingen die geformuleerd zijn in deze innovatieagenda dienen daarnaast geagendeerd te worden binnen de huidige onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma's van de grote technologische instituten (ECN, TNO), universiteiten en hogescholen. D-INCERT heeft hiervoor al de eerste aanzet gedaan door relevante experts van deze instellingen en instituten in het proces van het opstellen van de innovatieagenda te betrekken.

Op basis van bovengenoemde aanbevelingen die met name gericht zijn op het creëren van focus, versterking van samenwerking, het intensief leren van de praktijk, en het beter aanspreken van Europese middelen voor innovatie, wordt verwacht dat innovatie in elektrisch rijden in Nederland tot een betere leefomgeving en economische groei zal leiden.

1. /

DE BELOFTE VAN ELEKTRISCH VERVOER

1.1 / DE BELOFTE VAN ELEKTRISCH VERVOER

In het denken over de toekomstige vormen van duurzaam wegtransport hebben elektrisch aangedreven voertuigen in de afgelopen twee jaar buitengewoon veel aandacht gekregen. Dagelijks lezen we nieuwe berichten over voorgenomen marktintroductions door de belangrijkste autofabrikanten, en over internationale, nationale, regionale en lokale initiatieven om de transitie naar elektrisch vervoer te bevorderen. Er is een aantal principiële overwegingen die een toekomst met een groot aandeel van geëlektrificeerd wegtransport wenselijk en aannemelijk maken:

ELEKTRICITEIT IS EEN “BRONONAFHANKELIJKE” ENERGIEDRAGER

De wegvervoerssector in Nederland is goed voor ongeveer 32% van de olievraag². Door het wegvervoer (in belangrijke mate) te elektrificeren, wordt het ontkoppeld van specifieke primaire energiedragers zoals aardolieproducten.

² Momenteel wordt 44% van de aardolie vraag veroorzaakt door de transportsector. Hiervan is 73% afkomstig van het wegtransport. Zie ook: www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

Meningen verschillen nog over de vraag of “elektrificatie” ook in de verdere toekomst betekent dat het vervoer volledig elektrisch zal zijn, dan wel een hybride karakter zal hebben. Elektrische aandrijving is in verschillende vormen te combineren met vloeibare of gasvormige brandstoffen zoals biobrandstoffen en waterstof. Afhankelijk van de ontwikkelingen ontstaat dus ook flexibiliteit richting additionele vervoersbrandstoffen en sluiten “neutrale” elektrische aandrijfsystemen andere ontwikkelingen niet uit.

ELEKTRISCHE INFRASTRUCTUUR IS EN BLIJFT BESCHIKBAAR

Elektriciteit is welhaast de ideale energiedrager die efficiënt omgezet kan worden in functionaliteiten zoals licht, beweging en warmte. Algemeen wordt er van uitgegaan dat het relatieve belang van elektriciteit voor de energievoorziening sterk zal toenemen. Introductie van elektrisch wegvervoer vereist geen volstrekt nieuwe infrastructuur (zoals in het geval van waterstof), maar stelt wel extra eisen aan de elektriciteitsvoorzieningsystemen. Investerings daarin beantwoorden tegelijkertijd aan toekomstige behoeftes aan intelligentere netwerken (smart grids) die een meer gedistribueerd en intermitterend aanbod zullen moeten verbinden met de fluctuerende vraag.

ER ZIJN SYSTEEMDOORBRAGEN IN DE VERVOERSSECTOR NODIG OM IN 2050 80% CO₂ EMISSIEREDUCTIE TE KUNNEN HALEN

Onder meer vanwege de strenger wordende Europese wetgeving zullen (CO₂) emissies van interne verbrandingsmotoren voorlopig blijven dalen. Meer dan 40% tot 50% reductie ten opzichte van het huidige niveau wordt door TNO evenwel niet verwacht. Om de transportsector op de lange termijn een evenredi-

ge bijdrage te laten leveren aan een CO₂-emissiereductie van 80-90% [1] zullen we dus tegen de grenzen van de verbrandingsmotoren aanlopen. Elektrisch vervoer doorbreekt die grens en verlegt de uitdaging naar een duurzame elektriciteitsopwekking.

ELEKTRISCHE AANDRIJVING GEEFT GEEN LOKALE EMISSIES

Elektrisch vervoer is lokaal emissieloos en verlegt het vraagstuk van ondermeer fijnstof-, NO_x- en CO₂-emissies naar (centrale) elektriciteitsopwekkingseenheden, waar emissies beter beheersbaar of te voorkomen zijn. Ook door de fysieke afstand tussen opwekkingseenheden en bevolkingsconcentraties zal dit een belangrijke invloed hebben op de lokale luchtkwaliteit in dichtbevolkte gebieden. Geluidshinder, tot slot, wordt in hoge mate veroorzaakt door het wegverkeer. Elektrische voertuigen zijn stiller op lagere snelheden en kunnen een bijdrage leveren aan de verbetering van de leefbaarheid van met name stedelijke gebieden.

NIEUWE ENERGIEOPSLAGSYSTEMEN ZIJN WEZENLIJK VOOR DUURZAME ENERGIEVOORZIENING

In de toekomst zal de elektriciteitsopwekking in belangrijke mate afhankelijk worden van weers- en seizoensomstandigheden (wind, zonlicht). Om een intermitterend aanbod goed te verbinden met de vraag zijn nieuwe energieopslagsystemen nodig. Er is nog veel onzekerheid over hoe die vorm zullen gaan krijgen. De inzet van batterijen is vanuit energie-efficiëntie overwegingen een logische keuze, omdat de verliezen tussen het moment van elektriciteitsopwekking en gebruik klein zijn. Met een grootschalige adoptie van elektrische voertuigen in Nederland kan een elektriciteitsbuffer ontstaan van vergelijkbare grootte als de dagelijkse elektriciteitsproductie, die (deels) door de consument gefinancierd kan worden uit het prijsverschil tussen benzine en diesel en elektriciteit. Elektrisch vervoer en het lange-termijn denken over duurzame energiesystemen in bredere zin liggen daarmee sterk in elkaars verlengde.

DE KETENEFFICIENCY VAN HET ENERGIEGEBRUIK MET ELEKTRISCHE AANDRIJVING IS GROOT

Het rendement van elektromotoren, waarbij elektrische energie omgezet wordt naar beweging, kan –afhankelijk van het type elektromotor– buitengewoon hoog zijn (tot circa 95%). Verliezen in de batterijen tijdens laden, opslag en ontladen zijn vooralsnog groter (10-20%), maar de 'tank-to-wheel'³ verliezen (15-25%) zijn veel lager dan bij interne verbrandingsmotoren (60-80%). Met de huidige wijze van elektriciteitsopwekking moeten de energieverliezen in de centrales (45-60%) en als gevolg van transport (in Nederland 4-8%) uiteraard worden meegenomen om op ketenniveau de integrale energie-efficiency en CO₂ uitstoot te kwantificeren. TNO heeft in 2009 berekend dat een elektrische auto in 2020 zo'n 35% lagere CO₂-emissie kent ('well-to-wheel') dan de gemiddelde auto met een verbrandingsmotor (69 g/km versus 107 g/km) in de situatie dat de elektrische auto wordt geladen met 'gemiddelde' stroom uit het net [2]. Maar zelfs als de elektriciteit wordt geproduceerd in een kolencentrale (zonder CO₂-afvang) houdt de elektrische auto een substantieel voordeel van 22%. In de toekomst, wanneer veel duurzame bronnen als zonnepanelen en windturbines direct elektriciteit leveren, zijn de ketenverliezen dus zeer gering mits die elektriciteit rechtstreeks gebruikt kan worden voor voertuigaandrijving. Het 'European Emissions Trading System' (EU-ETS) zorgt er voor dat de CO₂-uitstoot van elektriciteitsproductie gecompenseerd wordt onder het uitstootplafond. Doordat het plafond in de loop van de tijd daalt, ontstaat er een prikkel voor producenten van energie om een bewuste keuze te maken voor verschillende soorten van energieopwekking (opwekking met meer of minder emissies) om een groeiende vraag naar elektriciteit ten gevolge van het gebruik van elektrische voertuigen in te vullen. Het ETS stimuleert namelijk producenten van energie en elektriciteit om zo efficiënt mogelijk gebruik te maken van hun emissierechten en elektriciteit daar op te wekken waar CO₂ emissies in verhouding het laagst en goedkoopst zijn.

³ Tank-to-wheel emissies zijn de emissies die door het voertuig worden uitgestoten tijdens gebruik; well-to-tank emissies zijn de emissies die worden uitgestoten tijdens de winning, productie en transport van de brandstof; well-to-wheel zijn beide samen, dus over de hele keten.

ELEKTRISCHE MOBILITEIT BIJDT KANSEN VOOR ECONOMISCHE GROEI EN INNOVATIE

Elektrisch rijden biedt naast nieuwe kansen voor de huidige producenten en toeleveranciers in de auto-industrie, tevens kansen voor bedrijven in de energielevering en laadinfrastructuur en nieuwe toetreders in de mobiliteitssector. Het ontstaan van een nieuwe markt op het gebied van elektrisch rijden biedt economische kansen voor bedrijven net als tijdens de beginfase van de zonne- en windenergie industrie in vorige eeuw.

NEDERLAND EN ELEKTRISCH RIJDEN

De Nederlandse regering heeft in het eerste Plan van Aanpak Elektrisch Rijden van de ministers Eurlings en Van der Hoeven in juli 2009 de ambitie uitgesproken om Nederland in de periode 2009 tot 2011 tot gidsland en internationale proeftuin voor elektrisch rijden te maken. Drie beleidsinitiatieven leveren een belangrijke bijdrage aan de realisering van de geschetste doelstelling, te weten:

1. De oprichting van het Formule E-team, met als opdracht het aanjagen van marktontwikkeling en het wegnemen van belemmeringen
2. Concrete rijksmaatregelen op het gebied van
 - praktijkproeven en demonstratieprojecten
 - ‘launching customership’
 - laad- en infrastructuur
 - onderzoek en ontwikkeling en productie van elektrische voertuigen en/of onderdelen daarvoor
 - consortium- en coalitievorming
 - flankerend beleid
3. Gefaseerde marktintroductiebenadering onder coördinatie van het Formule E-team

Het eerste plan van aanpak Elektrisch Rijden omvat mede de intentie voor het financieel ondersteunen van in Nederland gevestigde partijen die in onderzoek, ontwikkeling en de productie van (onderdelen van) elektrische voertuigen en noodzakelijke infrastructuur willen investeren, voor zover dit noodzakelijk is voor een succesvolle implementatie van elektrisch rijden. Dit heeft onder meer geresulteerd in de uitvoering van het succesvolle HTAS EVT programma met een groot aantal innovatieprojecten, en de oprichting en versterking van D-INCERT, het Dutch Innovation Centre for the Electrification of Road Transport, dat samenwerking en kennisontwikkeling beoogt op alle onderdelen van het elektrisch mobiliteitsysteem, inclusief de infrastructuur en gebruikerscontext.

DEFINITIE VAN “ELEKTRISCH RIJDEN”

Waar in de innovatieagenda wordt gesproken over “elektrisch rijden” of “EV”, wordt bedoeld op voertuigen die met elektriciteit uit het elektriciteitsnet gevoed kunnen worden. Het gaat dus zowel om plug-in hybrid electric vehicles (PHEV) als om volledig elektrische voertuigen (electric vehicles of EV) die enkel batterijen als energieopslagsysteem kennen. Hybride voertuigen die enkel vloeibare of gasvormige energiedragers kunnen tanken, vallen buiten het kader van de studie.

2. /

DOEL EN REIKWIJDTE VAN DEZE STUDIE

D-INCERT is door het secretariaat POWER van het Formule E-team gevraagd om in 2010 een studie uit te voeren naar de 'state of the art' van de technologische mogelijkheden en onzekerheden op het gebied van elektrisch wegtransport en de competenties van Nederland op dit vlak. Daarnaast is D-INCERT gevraagd om op basis daarvan een Nederlandse innovatieagenda elektrisch rijden 2010-2020 te formuleren, samen met kennisinstellingen en bedrijfsleven.

In september 2010 is in de 'Verkenning elektrisch rijden deel I' gerapporteerd over de technologische mogelijkheden, onzekerheden en kennisvragen op het gebied van elektrisch vervoer. Voortbouwend op de resultaten van deel I is een Nederlandse innovatieagenda elektrisch rijden 2010-2020 opgesteld in samenwerking met vertegenwoordigers van industrie, overheid en kennisinstellingen. Het resultaat van deze innovatieagenda wordt in dit document beschreven en vormt daarmee deel II van de 'Verkenning elektrisch rijden'.

De innovatieagenda 2010-2020 heeft tot doel een leidraad te vormen voor gecoördineerde innovatie-inspanningen die ondersteuning biedt aan de achterliggende doelen van het plan van aanpak Elektrisch rijden. In het bijzonder gaat het om de identificatie en versterking van Nederlandse competenties en om de Nederlandse concurrentiepositie te versterken in het internationale speelveld rond elektrische mobiliteit. De primaire vraag van de innovatieagenda is:

Welke innovatiekansen zijn er op het gebied van elektrisch rijden in Nederland tot aan 2020 voor Nederlandse bedrijven en kennisinstellingen?

Om deze vraag te beantwoorden moet de volgende secundaire vragen worden geïnventariseerd:

- Welke maatschappelijke en economische factoren hebben invloed op de transitie naar elektrisch rijden tot aan 2020?
- Welke product- en dienstsystemen zijn gewenst om de transitie naar elektrisch rijden te versnellen?
- Welke (technologische) innovaties zijn noodzakelijke om deze product- en dienstsystemen te kunnen realiseren?
- Welke onderzoeks- en ontwikkelactiviteiten zijn noodzakelijke om deze innovaties te kunnen realiseren
- Welke van deze innovatieactiviteiten bouwen voort op de concurrentiekracht van Nederlandse bedrijven en kennisinstellingen en bieden kans op economische groei?

Bij het opstellen van de innovatieagenda wordt gekeken naar innovatiekansen in de breedte. Dit omvat het voertuig, maar betreft ook de laadinfrastructuur, ICT en nieuwe diensten. De nadruk ligt op innovatiekansen met een technologische component en relatief hoge toegevoegde waarde.

3. /

METHODOLOGIE

Doelstelling van deze studie is het opstellen van een innovatieagenda voor de periode 2010-2020 ten aanzien van noodzakelijke innovaties om de adoptie van elektrisch rijden in Nederland te versnellen en economische kansen te benutten voor de Nederlandse industrie en kennisinstellingen. De periode 2010-2020 periode is kort genoeg om innovatiesporen te definiëren die ook gerealiseerd kunnen worden, maar tegelijk lang genoeg om nieuwe ontwikkelingen te kunnen integreren. Aan de innovatieagenda worden een aantal randvoorwaarden gesteld:

- de innovatieagenda moet een duidelijke bijdrage leveren aan de versnelling van de adoptie van elektrisch vervoer in Nederland en aan economische groei voor het Nederlandse bedrijfsleven
- de innovatieagenda moet voort bouwen op bestaande competenties en uniciteit van het Nederlandse bedrijfsleven en kennisinstellingen om de kans op economische groei te vergroten
- de innovatieagenda moet een duidelijke verbinding leggen tussen enerzijds de gebruiker en markt-behoefte, en anderzijds de technologische mogelijkheden en ontwikkelingen. Er dient een duidelijke relatie te zijn tussen vraag en aanbod
- de innovatieagenda dient samen met het Nederlandse bedrijfsleven, de kennisinstellingen en de overheden te worden opgesteld om steun te verkrijgen en commitment voor uitvoering te realiseren.

3.1 ROADMAPPING

Om te komen tot een innovatieagenda die aan deze randvoorwaarden voldoet wordt in deze studie gebruik gemaakt van de methode 'roadmapping'. In een roadmap wordt samenhangend vastgelegd welke technologieën (of technologieplatforms) men moet ontwikkelen om in de toekomst producten en diensten met de juiste functionele prestaties te kunnen leveren. Dit mede in relatie tot de belangrijkste technologische, economische en maatschappelijke ontwikkelingen en drivers of change over een specifieke periode. Een roadmap geeft daarmee op langere termijn focus en discipline voor de betrokken partijen (Albright, 2002; Phaal, 2001). In deze rapportage is de term roadmap synoniem voor de term innovatiespoor.

Het resultaat van het roadmapping proces bestaat uit roadmaps (innovatiesporen) voor technologieontwikkeling en innovatie per product-markt combinatie. Een roadmap is opgebouwd uit vier onderdelen die in de tijd worden uitgezet en die antwoord geven op het waarom, wat, hoe en wie van innovatie. In

het eerste onderdeel worden de belangrijkste drivers of change en internationale, politieke, sociale en (macro-)economische ontwikkelingen geïdentificeerd en vastgelegd. Nederland is een klein land met een open economische structuur. Het zal voor veel facetten van de introductie van elektrisch vervoer direct te maken krijgen met datgene wat elders in Europa of op de wereld op dit terrein speelt. Dit deel bevat daarmee de stuwende en remmende krachten (bijv. drivers of change) die bepalen welke nieuwe producten/diensten gewenst zijn – het waarom. Het tweede onderdeel – het wat – betreft de producten of diensten (of combinaties daarvan) die in de komende tien jaar ontwikkeld kunnen worden om toekomstige behoeften in te vullen en die rekening houden met de drivers of change. Het derde onderdeel – het hoe – legt vast welke technologie-ontwikkeling nodig is om de producten en diensten gerealiseerd te krijgen. Tenslotte geeft het vierde onderdeel (wie/acties) aan welke partijen en competenties van belang zijn om de technologie te realiseren.

3.2 ROADMAPPING METHODE

Een standaard roadmap proces bestaat uit verschillende fasen en is vaak een omvangrijk en tijdsintensief traject (Phaal, Farrukh, Probert, 2001). De volgende stappen worden opvolgend doorlopen:

1. Planning van het roadmap traject (doel, scope, mensen, plan)
2. Markt- en omgevingsanalyse (drivers of change, performance dimensions, swot, gaps)
3. Product-dienst analyse (product features en concepten, impact ranking, product strategie)
4. Technologie analyse (technologische oplossingen, impact ranking)
5. Charting (milestones, product en technologie charting, resources, linken van resources, technologie, product en marktkansen)
6. Waarderen en prioriteren (ranking op basis kosten/baten en risico analyse, implementatieplan)

Aan elk stap wordt meestal één of meerdere sessies gewijd met een groot aantal experts om tot een grondige en betrouwbare analyse te komen. Het geheel wordt vaak nog aangevuld met een verificatie-stap.

Een roadmapping traject wordt over het algemeen uitgevoerd voor één specifieke productcategorie, of productplatform (bijv. MRI scanners voor ziekenhuizen), en niet voor meerdere product-markt combinaties tegelijkertijd. In deze studie hebben we echter te maken met meerdere mogelijke product-markt-combinaties die binnen het veld van elektrisch rijden kansen bieden en die we willen inventariseren. Vanwege de beperkte tijd en de effectiviteit is er daarom gekozen om het roadmapping proces op een iets andere manier in te richten. Om op een efficiënte manier input te krijgen voor de roadmaps heeft D-INCERT onder andere gebruik gemaakt van de bevindingen uit rapport Deel I Verkenning Elektrisch Rijden en aanvullend literatuuronderzoek naar reeds bestaande roadmaps voor elektrisch vervoer. Op basis daarvan zijn zes concept roadmaps opgesteld met daarin een groot aantal product-/marktcombinaties en mogelijke technologie-ontwikkelingsactiviteiten. Deze eerste versie van de roadmaps zijn in

zes workshops besproken en op basis van de input van de experts aangevuld en verbeterd. Tijdens de zes workshops (gemiddeld 20 deelnemers per workshop) werden de deelnemers kritisch gevraagd naar:

1. Wat is de invloed van gewenste innovaties op de adoptiesnelheid van elektrisch rijden?
2. Wat is de economische impact of resultaat van gewenste innovaties?
3. Wat is de mate van onzekerheid van de realisatie van gewenste innovaties?
4. In welke mate bouwen gewenste innovaties voort op bestaande competenties van Nederlandse bedrijven en (kennis)instellingen?

Dat moet er toe leiden dat alleen onderwerpen en activiteiten die positief scoren op bovenstaande vragen in de agenda worden opgenomen. Vervolgens zijn deze verbeterde versies in een schriftelijke verificatie door de expert-deelnemers opnieuw becommentarieerd. Daarna zijn definitieve versies van de roadmaps op basis van alle verkregen input samengesteld en zijn roadmaps geclusterd indien nodig. Deze definitieve uitkomsten zijn nogmaals met experts uit de werkgroepen geverifieerd en prioriteiten zijn aangegeven. In tabel 1 zijn de verschillende stappen samengevat.

Roadmap proces	Activiteit	Bronnen
STAP 1	Ontwikkeling van eerste zes concept innovatiesporen.	Resultaten van werkgroepen in Verkenning elektrisch rijden deel 1 en aanvullende literatuurstudie.
STAP 2	Ontwikkeling van verbeterde versies innovatiesporen.	Intake vragenlijst ter voorbereiding op workshops en zes verschillende workshops met stakeholders. Daarna schriftelijke verificatie met alle deelnemers middels vragenlijsten en innovatiesporen in tabelvorm.
STAP 3	Clustering en evaluatie definitieve innovatiesporen.	Definitieve innovatiesporen. Mondelinge verificatie in gesprekken met werkgroep voorzitters.

Tabel 1. Gevolgde werkwijze roadmapping.

3.3 DEELNEMERS

Om de kwaliteit van de roadmaps te waarborgen en zo breed mogelijk input op innovatiekansen te verkrijgen heeft een groot aantal experts aan het traject meegedaan, zowel vanuit het veld als vanuit de kennisinstellingen. Er zijn experts uitgenodigd die allen werken aan (technologische) innovaties op het gebied van elektrisch rijden, dan wel gebruikers- en marktbehoeften vertegenwoordigen. Aangezien we in de innovatiesporen met name hoge toegevoegde waarde activiteiten willen identificeren is er een voorkeur voor partijen die R&D uitvoeren en producten/diensten zelf produceren en verkopen. Partijen die zich alleen bezig houden met inkoop en verkoop van elektrische voertuigen zijn daarom minder vertegenwoordigd. In tabel 2 zijn de deelnemende organisaties weergegeven. Per organisatie zijn gemiddeld één tot vier experts betrokken geweest.

AGV	Gemco	NXP Semiconductors
Alliander	Gemeente Amsterdam	PBL
ANWB	Gemeente Rotterdam	PEEC-POWER
ARN	Goudappel Coffeng	Phillips App Tech
ATC	Grontmij	ProRail
Athlon Car Lease	HAN	Provincie Noord-Brabant
Benteler	Hogeschool Rotterdam	Punch Powertrain
CE Delft	HTAC	RDW
DAF	HTAS	Rotterdam dS+V
DTI	Imtech	Schiphol The Grounds
QWICC	Ing Bank	Small Advanced Mobility
ECN	Innopay	Spijkstaal Elektro
Ecomovement	Innosys Engineering	Stadsgewest Haaglanden
Eneco	KEMA	Stedin
Enexis	Ministerie van V&W	SWOV
Epyon	Mirco Turbine Technology (MTT)	TNO
Essent	MisterGreen	TNO Automotive
E-traction	Nedcar	TomTom International
Exendis	Newmotion	TU Delft
Formula Zero	Nuon	TU Eindhoven

Tabel 2. Deelnemende organisaties aan het roadmapping proces.

3.4 BEPERKINGEN

Zoals gezegd zijn roadmaps geschikt om een dynamisch beeld van mogelijke ontwikkelingen te geven en vormen innovatiesporen een sterk communicatiemiddel voor betrokken partijen om tot een eenduidige visie op de toekomst te komen (Albright, 2002). Het is wel zo de uitkomsten van een roadmapping proces een exactheid suggereren die er niet is. De toekomst is op onderdelen sterk onzeker en de betrouwbaarheid van voorspellingen over de haalbaarheid van toekomstige technische ontwikkelingen is laag. Roadmapping is voor een deel 'eng' voor betrokken partijen, omdat men zich uitspreekt over wat men vooral niet gaat doen en men zich committeert aan een onzekere toekomst. Het roadmapping proces zoals in deze studie gevolgd, heeft daarnaast een sterk kwalitatief karakter. Er is op basis van een groot aantal workshops en gesprekken met partijen uit het veld getracht boven tafel te krijgen welke innovatiesporen men ziet gebeuren, welke waarde men hier aan geeft en welk commitment men hier aan verbindt. We gaan er daarbij vanuit dat de deelnemers een relatief goed inzicht hebben in de ontwikkelingen in de markt en de technologie op basis waarvan zij hun eigen strategie en commitment baseren. Doordat we meer dan 60 stakeholderspartijen uit het veld hebben betrokken in het proces komt men echter wel tot een kwantificering van deze kwalitatieve uitkomsten. Zeer ideosyncratische of particuliere onderwerpen worden er hierdoor uitgefilterd en de uitkomsten worden door een grote groep deelnemers gedeeld. Opvolgend op deze innovatieagenda kan men met een kleinere groep betrokkenen de verschillende innovatiesporen in meer detail uitwerken, ook ten aanzien van de economische haalbaarheid en groeipotentie

4. /

RESULTATEN

4.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk worden (analoog aan de vier onderdelen van een roadmap) eerst de belangrijkste drivers en ontwikkelingen voor elektrisch rijden in Nederland voor de periode 2010 tot 2020 beschreven. Op basis van deze visie op drivers en ontwikkelingen tot 2020 worden daarna negen verschillende innovatiesporen beschreven die het resultaat zijn van het roadmapping proces. Voor elk innovatiespoor wordt beschreven welke nieuwe product-/dienstcombinaties er in 2020 moeten zijn gerealiseerd om nieuwe behoeftes en ontwikkelingen in te vullen en welke technologie-ontwikkeling en onderzoek daarvoor noodzakelijk is.

4.2 TOEKOMSTVISIE OP ELEKTRISCH RIJDEN 2010 – 2020

Op basis van literatuuronderzoek en consultatie van meer dan 80 Nederlandse experts en stakeholders tijdens de roadmapping workshops is een inventarisatie gemaakt van de belangrijkste ontwikkelingen, drivers en doelstellingen voor elektrisch vervoer in Nederland voor de periode van 2010 tot 2020. Op basis van dit overzicht is een toekomstvisie geformuleerd die als richtpunt en afbakening geldt voor het ontwikkelen van de innovatiesporen. Onderstaand wordt deze visie samengevat.

ELEKTRISCH RIJDEN IN 2020

In 2020 moet de grootschalige invoering van (PH)EV leiden tot een aanzienlijke verbetering van de leef kwaliteit in Nederland, in het bijzonder in het binnenstedelijke klimaat. Het gaat hier om verbetering van de luchtkwaliteit (reductie van fijnstof en NO_x) en een reductie van de geluidsoverlast van voertuigen, vooral in de binnensteden. Daarnaast draagt de grootschalige invoering van (PH)EV bij aan de reductie van de (lokale) uitstoot van CO₂. In 2020 heeft Nederland daarmee een van de efficiëntste, schoonste en veiligste vervoerssystemen in Europa. Het grootschalige gebruik van (PH)EV in combinatie met de beschikbaarheid van smart grids biedt Nederland na 2020 een buffercapaciteit in de energie-infrastructuur en daarmee de mogelijkheid tot verdere verduurzaming van de energievoorziening. De fluctuerende productie van zonne- en windenergie kan met deze buffercapaciteit opgevangen worden en laat daarmee opschaling van deze productie toe. Dit maakt het mogelijk om de afhankelijkheid van energielevering uit instabiele buitenlandse landen verder te verminderen. De invoering van (PH)EV in Nederland heeft er ook toe geleid dat het Nederlandse bedrijfsleven economische groei heeft gerealiseerd door innovatieve product-/dienstcombinaties te ontwikkelen en deze succesvol op de markt te zetten.

Om deze visie te realiseren is het noodzakelijk om de veiligheid, betrouwbaarheid, het gebruiksgemak en de prijs/kwaliteitsverhouding van (PH)EV en bijbehorende laadtechnologie te verbeteren en aansluiting op gebruikersbehoeften centraal te stellen. "In 2020 rijden (PH)

EV voertuigen als een Porsche, zijn stil als een Rolls Royce". EVs zijn comfortabeler, veiliger en praktischer dan conventionele voertuigen en vooral 'cool' en 'fun to drive'. (PH)EV maken gebruik van sterke en lichte materialen en bieden betrouwbaar, onderhoudsarm en onbezorgd vervoer. (PH)EV en bijbehorende laadnetwerken zijn veilig en intelligent. De gebruiker hoeft niet meer na te denken over hoeveel, wanneer en waar de batterij wordt opgeladen en verliest hierdoor geen extra reistijd (in vergelijking met het tanken bij brandstof aangedreven voertuigen). Het gebruik van (PH)EV is in 2020 goedkoper dan brandstof aangedreven voertuigen en transparante financiering- en betaalsystemen zorgen voor een duidelijke total cost of ownership.

Op basis van deze toekomstvisie op elektrisch rijden in 2020 zijn negen relevante innovatiesporen geïdentificeerd. In de volgende paragrafen worden deze negen innovatiesporen beschreven aan de hand van de gewenste innovatieve product-/dienstcombinaties, en de hiervoor noodzakelijke onderzoeks- en ontwikkelactiviteiten.

4.3 BETAALBARE ELEKTRISCHE MOBILITEIT

De introductie van nieuwe producten en diensten in de markt en samenleving is een complex proces. Gebruikers en afnemers moeten allereerst het nieuwe product begrijpen en ontdekken wat de nieuwe functionaliteiten zijn en wat dit voor hen betekenen. Dit brengt met zich mee dat de toegevoegde waarde van de innovatie initieel niet meteen expliciet en helder is voor de gebruiker, terwijl de aanschafprijs van een nieuw product over het algemeen hoger is dan van conventionele producten vanwege de beperkte economies of scale. In het geval van innovaties is de verhouding tussen de prijs en de prestatie (functionaliteit) dus initieel vaak moeilijk te bepalen door de gebruiker. De gepercipieerde prijs/prestatie verhouding van een product is echter van groot belang voor de beslissing van kopers om een product aan te schaffen. Dit geldt ook voor nieuwe vormen van elektrische mobiliteit. Zes basiselementen van het elektrische mobiliteitssysteem bepalen de kosten die een gebruiker/eigenaar maakt voor het gebruik: het voertuig en de batterij, de stroom en laadinfrastructuur, het onderhoud van het voertuig en de rest waarde van voertuig/batterij. Deze elementen bepalen de total cost of ownership (TCO) van elektrisch vervoer voor de gebruiker/eigenaar. De TCO, en met name de aanschafprijs van het voertuig en de batterij, zijn voor veel gebruikersgroepen op dit moment nog relatief hoog ten opzichte van conventionele voertuigen, terwijl de prestaties en nut van het product relatief lager dan huidige voertuigen worden beoordeeld. Er ligt een grote uitdaging om prijs, prestatie en nut beter in balans te brengen. Daarnaast geldt dat de prijsperceptie en het economische afwegingskader per gebruikersgroep sterk kan verschillen; wagenparkbeheerders maken andere economische afwegingen dan gewone consumenten; en early adopters maken andere afwegingen dan de late majority.

In de roadmap Betaalbare elektrische mobiliteit wordt beschreven welke innovaties er noodzakelijk zijn om in 2020 het gebruik van (PH)EV goedkoper te laten zijn dan conventionele voertuigen en wat er nodig is om een transparante kostenstructuur en prijsvorming in de markt te laten ontstaan. In deze roadmap wordt niet ingegaan op het verlagen van de kostprijs van technische componenten van het voertuig, maar wordt juist gekeken naar business model innovaties.

PRODUCTEN EN DIENSTEN

Tussen 2010 en 2020 zullen er een groot aantal nieuwe business modellen ontwikkeld zijn, gebaseerd op combinaties van producten en diensten en nieuwe verdelingen in de waardeketen, die er voor zorgen dat de aanschafprijs en TCO van elektrisch vervoer (in relatie tot de prestatie) beter zijn dan van conventionele voertuigen. Afhankelijk van de prijsperceptie en het economisch afwegingskader van de verschillende doelgroepen zullen specifieke business modellen moeten worden ontwikkeld. De volgende factoren zijn van belang en bieden kansen voor Nederlandse ondernemers:

- ontkoppeling van de aanschaf van het voertuig en de batterij, waarbij alleen het voertuig wordt aangeschaft en de batterij wordt geleased
- volledige ontkoppeling van het gebruik en het eigendom van het voertuig; dit kunnen nieuwe vormen van huur en deel-voertuigen zijn, zowel mogelijk gemaakt vanuit private als publieke partijen of consumenten
- verschillende leveringsmodellen en energie-abonnementen voor de levering van stroom voor het laden van elektrische voertuigen en hieraan verbonden prijzen en prijsprikkels
- verschillende vormen van contracten en prijsprikkels ten behoeve van het terug leveren van stroom in Vehicle-to-Grid systemen (waarin de batterij wordt gebruikt als buffer in het elektriciteitsnet)
- koppeling van additionele diensten (informatie) aan de levering van energie, batterij en het gebruik van EVs
- koppeling van additionele diensten (onderhoud en vervanging) aan de lease/levering van batterijen.

De specifieke invulling van bovenstaande factoren heeft vanzelfsprekend consequenties voor de verschillende partijen in de waardeketen en waar de kosten en baten van elektrisch vervoer neerslaan, maar ook in welke vorm men samenwerkt. De verwachting is dat product-/dienstcombinaties aan de gebruiker worden geleverd door verschillende partners die met elkaar samenwerken (allianties tussen energie, mobiliteit, en voertuigleveranciers). Dit betekent ook dat er systemen moeten worden ontwikkeld die de uitwisseling van informatie en betalingsstromen tussen een groot aantal verschillende partijen mogelijk maken:

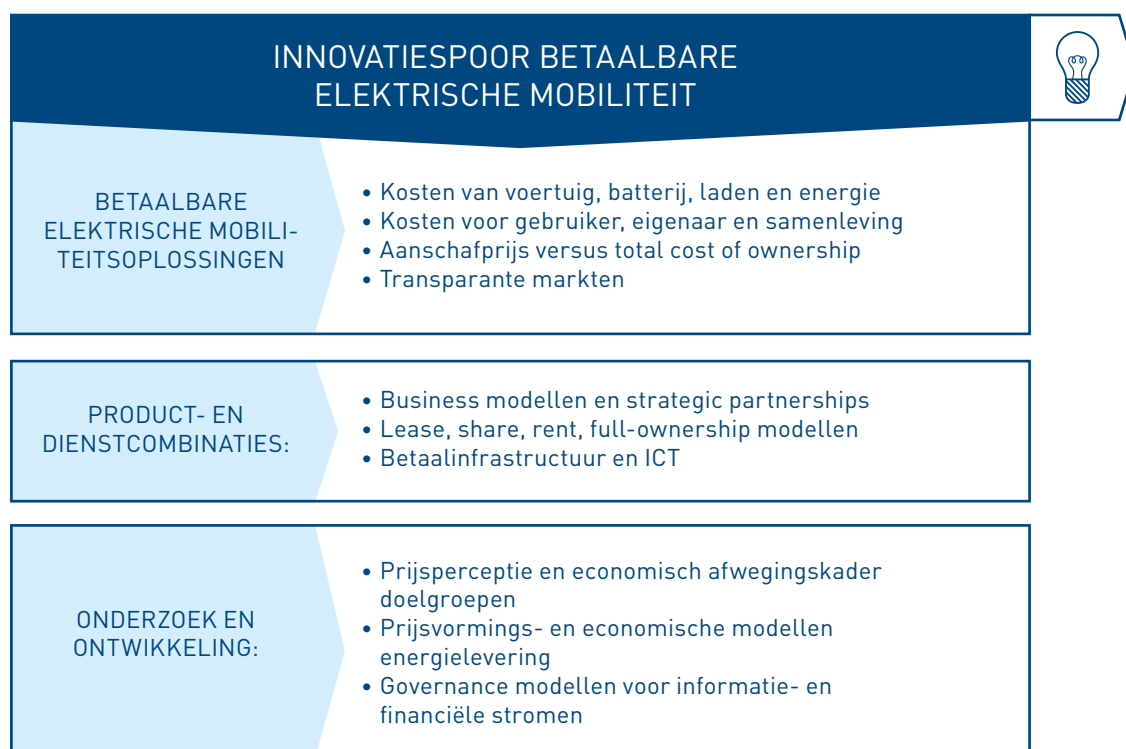
- ontwikkeling van interoperabele betaalsystemen, informatiesystemen en platforms die (meerdere) elektrisch vervoer business modellen ondersteunen.

Daarnaast kunnen nieuwe spelers op de markt interessante business cases ontwikkelen. Het aanbieden van mobiliteitsabonnementen kan onderdeel gaan uitmaken van loyaliteitsprogramma's. Energieleveranciers kunnen met producten en diensten deels de plaats gaan innemen van brandstofmaatschappijen. Mobiliteit kan prepaid worden aangeboden door de plaatselijke supermarkt, zoals dat nu al gebeurt in de markt van mobiele telefonie. Mobiliteit via het opladen van een (PH)EV kan ook worden aangeboden door een openbaar vervoermaatschappij als onderdeel van integrale mobiliteitsconcepten voor en na bus, tram, metro of trein. Door de introductie van (PH)EV kunnen meerdere en ook nieuwe marktpartijen in de rol van *enabler* of *provider* de laad- en energie-infrastructuur gaan vormen. Om te voorkomen dat de prijsvorming ten aanzien van energie en mobiliteit diffuus wordt, is het noodzakelijk dat deze nieuwe markt zijn eigen heldere regels ten aanzien van *governance* en marktwerking krijgt. Een transparante prijsvorming en markt zorgt voor betere concurrentie, snellere prijsverlaging en heldere keuzes voor de koper.

ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

Om nieuwe business modellen voor betaalbaar elektrische mobiliteit te ontwikkelen zijn onderzoek en praktijkexperimenten noodzakelijk. Het gaat hier met name om de volgende twee uitdagingen:

- onderzoek naar en ontwikkeling van beheers- en governance modellen voor informatie- en betaalstromen en inzichtelijke prijsvorming, samenhangend met het gebruik van intelligente laad- en energienetwerken
- onderzoek naar en analyse, evaluatie en optimalisatie van elektrisch vervoer m.b.t. de prijs-perceptie en economische afwegingen die verschillende typen beslissers (fleet owners/private owners) maken. Bijvoorbeeld total cost of ownership versus directe aanschafkosten; eigendom versus gedeeld gebruik; eenmalige investeringen in een voertuig versus mobiliteitsabonnementen.



4.4 FIT FOR USE DRIVETRAINS

Elektrische voertuigen blijven nu en de komende jaren nog min of meer omgebouwde conventionele auto's. De lijst van beperkingen van elektrische auto's is daarnaast aanzienlijk. Denk aan een beperkte actieradius, een hoog voertuiggewicht, lange laadcycli, hoge aanschafprijs, en beperkte beschikbaarheid van verwarming of koeling (auxiliaries). Deze beperkingen kunnen deels worden geaccepteerd in bijvoorbeeld specifieke en kleinschalige toepassingen in nichemarkten. Voor snelle en grootschalige invoering van elektrische voertuigen bij de consument zijn deze beperkingen echter een remmende factor – met name de beperkte actieradius is een kritieke factor. Vooral in de kern van het elektrisch voertuigstelsel, de aandrijflijn, kunnen belangrijke verbeteringen worden gerealiseerd om de actieradius te vergroten of beter aan te laten sluiten op de behoefte aan actieradius van verschillende gebruikersgroepen.

PRODUCTEN EN DIENSTEN

(PH)EVs met geoptimaliseerde aandrijflijnen voor specifieke drive cycles van gebruikersgroepen (eventueel in combinatie met zuinige range extenders) zijn essentieel om de beperkte actieradius te vergroten (→ 500 km) en voertuigprestaties beter aan te laten sluiten op de verwachtingen van grote en verschillende groepen gebruikers. Er is behoefte aan de volgende nieuwe producten:

- optimale (hybride) aandrijftechnologie (componenten en integrale aandrijflijnen)
- range extender technologie (conventionele brandstofmotoren als wel waterstof brandstofcellen)
- optimale energiemanagementsystemen voor het gehele voertuig.

ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

Nederland heeft een bijzondere positie in de Europese en mondiale automobielenindustrie. In het zwaardere segment zijn kennis-, ontwikkel- en productiecapaciteit gebundeld bij bijvoorbeeld industrieën als DAF, Terberg en Scania (vrachtwagens) en VDL (bussen). Daarnaast zijn er meerdere producenten van speciale voertuigen (o.a. Spijkstaal). Buiten enkele exclusieve automerken als Spijker en Donkervoort ontbreekt het Nederland aan nationale autoproducenten in tegenstelling tot bijvoorbeeld Duitsland, Frankrijk en meerdere Aziatische landen. Dat ontbreken kan als een gemis worden gezien in de ontwikkeling van (PH)EV maar er zijn ook voordelen. Zo is er geen verplichte winkelnering bij een eigen nationale autoproducent en is er geen dwang om die autoproducent te ondersteunen of er afhankelijk van te zijn. Dat geldt zowel voor technologie, productie en toelevering als voor onderzoek en ontwikkeling. Op twee thema's is onderzoek en ontwikkeling nuttig.

Conventionele voertuigen zijn ontwikkeld vanuit economies of scale en de veronderstelling dat een gemiddelde voertuigconfiguratie voldoende tegemoet komt aan de gemiddelde behoefte van de gebruiker. Maar een gemiddeld voertuig, zo is de verwachting, presteert op z'n deelgebieden slechts gemiddeld. Bij de ontwikkeling van geheel nieuwe elektrische voertuigen dient zich een goede kans aan om tot optimale configuraties te komen, wars van ongewenste technische en gebruikscapromissen:

- onderzoek wordt aanbevolen naar en ontwikkeling en optimalisatie van componenten voor hybride en plug-in hybride aandrijfconfiguraties en onderzoek naar en ontwikkeling van range extenders.

Bij de introductie van nieuwe technologieën en productconcepten, zoals (PH)EV, zal een vergelijking worden gemaakt met de huidige voertuigen met verbrandingsmotor. Dat is de bekende referentie. Zowel technisch als qua gebruikswaarde, veiligheid en kosten. De metrics van elektrisch vervoer, dus de feitelijke objectieve gegevens waarop zinnige vergelijkingen kunnen worden gebaseerd, ontbreken of zijn nog onvoldoende onderbouwd. Dat maakt de overtuigingskracht van die nieuwe technologieën en veelbelovende productconcepten onnodig kwetsbaar voor kritiek en twijfel:

- nader onderzoek is nodig naar en ontwikkeling en optimalisatie van efficiënte aandrijfconfiguraties en aandrijflijnen, inclusief batterijen en auxiliaries, die optimaal rekening houden met verschillende gebruikerscontexten op basis van reële drive and usage cycles.
- voor de succesvolle grootschalige invoer van elektrisch vervoer is het noodzakelijk om op basis van realistische casestudies onderzoek te doen naar en modellen te ontwikkelen voor life cycle costs (LCC), total cost of ownership (TCO), business cases voor de betrokken industrie en zogenaamde drive cycle metrics voor een goed inzicht in de gebruikskosten voor de consument of zakelijke gebruiker van (PH)EV. Op basis van deze metrics kan ook de totale energiehuishouding worden geoptimaliseerd.



4.5 CONNECTED EV

In 2020 is elektrisch vervoer een integraal en logisch onderdeel van de ruimtelijke ordening in voornamelijk stedelijke gebieden. Er is een fijnmazig laadnetwerk aanwezig en door middel van intelligente driver guidance en navigatiesystemen kunnen gebruikers eenvoudig voor hen geschikte laadpunten vinden. Het vinden en plannen van de juiste laadpunten wordt afhankelijk van de rijafstand, resterende energie in de batterij, verkeersdichtheid en locatie in samenhang met automatische routeplanners uitgevoerd. De gebruiker hoeft niet meer na te denken hoeveel, wanneer en waar de batterij wordt opgeladen en waar wordt geparkeerd. Daarnaast zorgt de koppeling tussen voertuignavigatie en de beschikbaarheid van laadlocaties ook voor een betere benutting en optimalisering van de beschikbare laadinfrastructuur; deze driver-guidance systemen sturen de gebruiker naar beschikbare laadpunten, wat het mogelijk maakt om in totaal minder laadpunten te installeren.

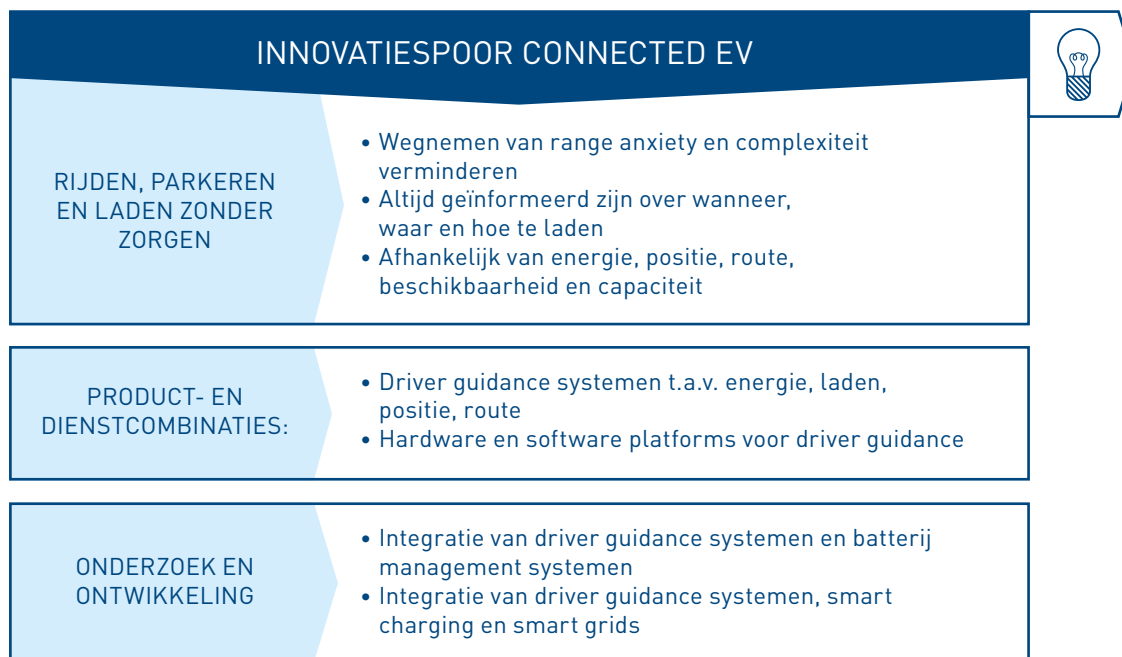
PRODUCTEN EN DIENSTEN

De beperkte actieradius van (PH)EV wordt in de komende vijf jaar nog niet opgelost. Deze beperking wordt gezien als een van de grotere hindernissen bij de acceptatie van elektrisch vervoer. Consumenten en gebruikers zijn bang dat ze met EVs zonder stroom komen te zitten tijdens een rit. Deze range anxiety is reëel. Enerzijds is het noodzakelijk om de actieradius van EVs te vergroten, anderzijds kunnen er producten en diensten ontwikkeld worden die deze anxiety oplossen door een veel betere informatievoorziening en driver guidance tijdens de rit. Producten en diensten die de koppeling leggen tussen routeplan, energieverbruik, rijgedrag en beschikbare laadpunten hebben een grote toegevoegde waarde voor de gebruiker en de consument. ICT bedrijven als TomTom kunnen deze nieuwe functionaliteiten snel integreren in hun systemen. Daarnaast zijn er Nederlandse partijen die driver guidance systemen ontwerpen en ontwikkelen voor (semi-)autonoom rijden op de weg (vooral in relatie tot dynamisch inductief laden: draadloos opladen tijdens het rijden) en automatisch parkeren en manoeuvreren bij (inductieve) laadstations.

ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

De prestaties van de huidige (PH)EV zijn nog ontoereikend in vergelijking met conventionele voertuigen. Een echte stap voorwaarts kan alleen door een slimme integratie en optimalisatie van (ICT) technieken ten behoeve van driver guidance systemen. Deze houdt rekening met verschillende gebruikerscontexten. Nederland heeft een goede positie op het gebied van kennis en ontwikkelcapaciteit ten bate van ICT, navigatie, driver guidance en embedded systems voor slimmere EVs.

Nader onderzoek naar en ontwikkeling en integratie van geavanceerde driver guidance systemen in combinatie met batterijmanagementsystemen en verkeers- en laadinfrastructuren is noodzakelijk. Door de intelligente koppeling van GPS navigatie, smart grids en ruimtelijke en verkeerskundige inpassing kunnen deze worden geoptimaliseerd.



4.6 VEILIGE ELEKTRISCHE VOERTUIGEN

Huidige en toekomstige (PH)EV zullen voor een groot deel omgebouwde conventionele voertuigen zijn. Veel experts geven aan dat er nog een aantal onzekerheden bestaat over de veiligheid van deze voertuigen. Bovendien wordt aangegeven dat voertuigveiligheid voor (PH)EV in internationaal verband nader afstemming behoeft. Veiligheid zou eigenlijk buiten kijf moeten staan; in eerste plaats natuurlijk om slachtoffers en schade te voorkomen, maar ook omdat bij een onverwachte calamiteit of ongeluk met (PH)EV de publieke opinie snel in negatieve zin kan omslaan.

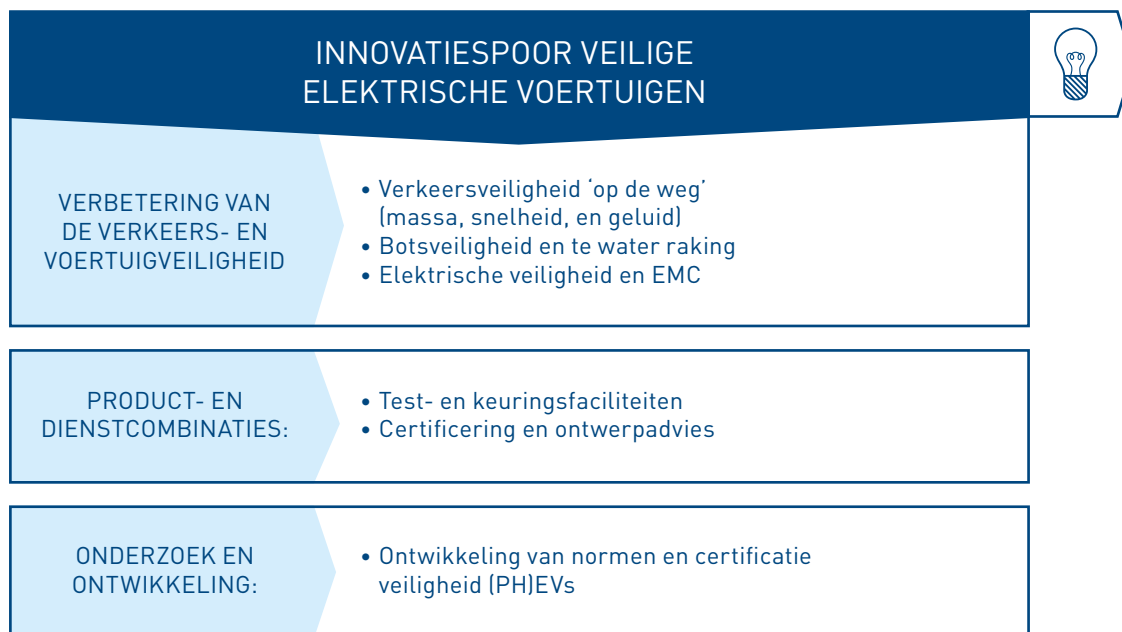
De specifieke veiligheidsaspecten voor elektrische voertuigen zijn het omgaan met de hoge spanningen bij (de)montage en bij het ingrijpen van hulpdiensten, de grote massa van de batterijpakketten bij botsingen en ongewenste chemische reacties bij blussen of te water raken. Voorts dreigt brandgevaar bij onjuiste laadprocedures en bestaan er onduidelijkheden over de elektromagnetische compatibiliteit. Daarnaast zijn er gevaren voor andere weggebruikers bij lage snelheden als gevolg van het ontbreken van motorgeluid. Veiligheidsrisico's van (PH)EVs, ook al zijn ze klein, zullen zo snel als mogelijk inzichtelijk en opgelost moeten worden.

PRODUCTEN EN DIENSTEN

Nederland kan op deze ontbrekende inzichten reageren met de beschikbare kennis en onderzoeksfaciliteiten, testvoorzieningen en met expertisecentra op het terrein van integrale verkeers- en voertuigveiligheid. Nederland speelt in Europa een rol van betekenis. Het testen van (PH)EV staat echter nog in de kinderschoenen. Er bestaat nog geen referentie/beoordelingskader dat specifiek is ontwikkeld voor verkeerssystemen met grote aantallen elektrische voertuigen. Internationale overeenstemming is hierbij noodzakelijk, al was het maar omdat deze voertuigen voornamelijk uit het buitenland zullen worden geïmporteerd en Europese wet- en regelgeving veelal leidend zal zijn boven nationale wetgeving.

ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

Onderzoek naar en beoordeling van verkeersveiligheid van (PH)EV is vereist. Vooral door toenemende voertuigmassa, snellere acceleratie en geringe geluidsproductie. Denk aan rijgedrag en botsveiligheid van vooral eerste generatie (ombouw) voertuigen, gevolgen van te water raking, onderhoud en hulpverlening.



4.7 SLIM LADEN

Er is in de afgelopen 100 jaar van alles gedaan om het tanken van een auto een zo prettig mogelijke beleving te laten zijn. En hoewel de vriendelijke pompbediende, die ook nog even de voorruit schoonmaakte en de olie controleerde, al lang verdwenen is, biedt het zelfbedieningstankstation allerlei diensten zoals voedsel en drank, ontspanning en informatievoorziening. Het laden van (PH)EVs anno 2010 moet zich in dat veld bewijzen als een noodzakelijk maar zeer gebruiksvriendelijk onderdeel van de reis of het parkeren. In 2020 worden in Nederland intelligente normaal- en snel laders ingezet om elektrische voertuigen op te laden. Daarnaast hebben statische en dynamische inductieve laadstations hun intrede gedaan die het gebruiksgemak nog verder vergroten doordat men geen kabels tussen voertuig en lader meer hoeft te gebruiken (draadloos laden). De inductieve laadtechnologie heeft een overdrachtsefficiëntie van meer dan 90% bereikt. In 2020 gebeurt het laadproces snel *en route* (deductief/inductief/batterijwissel) en semi-snel of normaal thuis en op het werk (inductief).

Daarnaast zijn er laadstations nodig die intelligent zijn om mogelijke lokale piekbelastingen te voorkomen. Laadstations dienen op het meest lokale niveau van het elektriciteitsnetwerk te kunnen communiceren om het laadproces van verschillende voertuigen tegelijkertijd te sturen. Als men teveel voertuigen op het zelfde moment wil laden, kan op lokaal niveau (laag- en midden spanning) overbelasting van het netwerk optreden. Als laadstations met elkaar en met het transformatorstation kunnen communiceren dan is overbelasting te voorkomen door het laden van meerdere voertuigen over de tijd verspreid in te roosteren (in dit verband heeft men het over *grid to vehicle* (G2V) stroom- en informatieoverdracht).

PRODUCTEN EN DIENSTEN

Nieuwe producten (en diensten) die noodzakelijk zijn om het gebruiksgemak, kosten en efficiëntie van het laden van elektrische voertuigen te vergroten betreffen met name:

- slimme normaal- en snel laadtechnologie en benodigde vermogenselektronica (componenten)
- slimme inductieve laadtechnologie en benodigde vermogenselektronica (componenten)
- ICT en software platforms ten behoeve van laden, betalen en informeren.

ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

Het ontwerpen van laadinterfaces aan de voertuigzijde zal grotendeels door autoproducenten zelf worden ingevuld. Van Nederlandse kant kan de beschikbare ontwerp kennis en engineeringcapaciteit worden ingezet om componenten en integrale oplossingen van laadinfrastructuren, interfaces, laadinstallaties of batterijwisselstations te ontwerpen en te realiseren.

De laadprocessen van (PH)EV dienen een grote mate van veiligheid te waarborgen. Internationale normen en standaardisatie daartoe ontbreken. Nederland heeft gerenommeerde test-, onderzoeks-, ontwikkel- en energieproductie-organisaties (KEMA, TNO, ECN, energieproductie- en energietransport etc.) en vooraanstaande bedrijven op het terrein van laadtechnologie die een prominente rol spelen. Dit kan uitmonden in een belangrijk exportpositie voor Nederland op het terrein van laad- en energie-infrastructuren.

Het opladen van de batterij van een (PH)EV moet net zo eenvoudig, snel en vanzelfsprekend zijn als het tanken bij de pomp. Er bestaat geen eenduidige of gemiddelde gebruiker van (PH)EV. De verwachtingen van particuliere gebruikers, consumenten, zijn aanzienlijk anders, dan de verwachtingen van fleet owners. En ook binnen die zakelijk doelgroep bevinden zich weer tal van niche groepen met ieder hun wensen, verwachtingen en mogelijkheden. Het opladen van batterijen kan voor de ene gebruikersgroep prima in de daluren of 's nachts gebeuren. Voor andere gebruikers is dat onwenselijk omdat het elektrisch voertuig in wisselende frequentie wordt gebruikt en altijd klaar moet staan:

- nader onderzoek naar en de ontwikkeling van laadinfrastructuren en interfaces op basis van verschillende gebruikersperspectieven en daarbij horende routines is cruciaal
- onderzoek en ontwikkeling van efficiënte en kleine vermogenselektronica en componenten ten behoeve van inductieve en conductieve laadstations.



4.8 INTEGRALE ELEKTRISCHE MOBILITEIT

Zoals in de visie voor elektrisch rijden in 2020 beschreven staat, moet de invoering van (PH)EV leiden tot een aanzienlijke verbetering van de leef- en luchtkwaliteit in Nederland, in het bijzonder in de stedelijke omgeving. Zo moet een optimale integratie van elektrisch vervoer in stedelijke agglomeraties leiden tot minder verkeersdruk en betere luchtkwaliteit. Nederland is een klein dichtbevolkt land met grote druk op het ruimtegebruik, hoge verkeersintensiteit en een internationale reputatie op het gebied van zorgvuldige ruimtelijke ordening.

Het is dan ook van belang dat er juist binnen deze stedelijke omgeving gebruikersgroepen worden geïdentificeerd waarvoor elektrisch rijden ook op de korte termijn al loont en waar Nederlandse partijen kansen voor innovatie en marktontwikkeling hebben. Meest kansrijk worden specifieke stedelijke nichemarkten geacht zoals stedelijke distributie en transport, taxivervoer, personenvervoer in het OV, vervoer en transport op eigen (industriële) locaties, onderhoud- en dienstwagens van bedrijven, en lease-wagens die binnen een beperkte actieradius actief zijn. Gelijktijdig zal de consumentenmarkt zich ontwikkelen, maar de verwachting is dat dit langzamer zal verlopen en dat hier minder innovatiekansen voor Nederlandse bedrijven liggen.

Om de doelstelling te realiseren is het noodzakelijk om de veiligheid, betrouwbaarheid, het gebruiksgemak en de prijs/kwaliteitsverhouding van (PH)EV en bijbehorende laadtechnologie te verbeteren en aansluiting op gebruikersbehoeften centraal te stellen. In 2020 moeten EVs comfortabeler, zorgelozer, onderhoudsarm, veiliger en praktischer zijn dan conventionele voertuigen en vooral ook 'cool' en 'fun to drive' zijn.

PRODUCTEN EN DIENSTEN

De nadruk van dit innovatiespoor ligt op de ontwikkeling en de beschikbaarheid van elektrische voertuigen die integraal de verworven inzichten in gebruiksperspectieven bevatten. Dat geldt niet alleen voor het voertuig zelf, maar ook voor aanvullende diensten voor deze mobiliteit. Dat kunnen betaal- en navigatiediensten zijn, maar ook onderhoud, carsharing of andere mobiliteitsabbonementen. De gebruiksvriendelijkheid, betaalbaarheid, complexiteit, en inpasbaarheid van deze product-dienstsysteem staat voorop om de geboden toegevoegde waarde nauw te laten aansluiten op verwachtingen van toekomstige gebruikers en daarmee de adoptiesnelheid te verhogen. Het leveren van maatwerk-oplossingen (customization) is de uitdaging. Inzicht in de verschillende gebruikers en de verschillende gebruikscontexten is een noodzakelijke voorwaarde voor het leveren van dit maatwerk. Op basis van deze inzichten kunnen door de mogelijkheden van modulair opgebouwde voertuigen en flexibele diensten, maatwerk oplossingen geboden worden.

Naast het leveren van maatwerk richting de gebruiker door unieke mobiliteitsoplossingen, is er maatwerk nodig als het om de inpassing gaat in de stedelijke gebouwde omgeving. Het parkeren en laden – mogelijk in combinatie met lokale duurzame energieproductie – vergt in de bestaande bebouwing veel creativiteit. Nieuwe producten zijn bijvoorbeeld laadvoorzieningen in combinatie met parkeren en laadinfrastructuren langs doorgaande en ringwegen bij steden, of het parkeren van het voertuig tot in het gebouw (een EV heeft immers geen schadelijke emissies). Alle producten dienen van meet af aan ontwikkeld te worden als een onderdeel van geïntegreerde product-/dienstcombinaties. Zo moeten laadvoorzieningen passen binnen oplossingen, waarin diensten zijn voorzien zoals betaling, parkeerreserveringen, reservering van oplaadvoorziening, slimme routegeleiding naar laadvoorzieningen enzovoort.

ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

De elektrificatie van voertuigen biedt nieuwe ontwerpkanalen. Mogelijkheden als drive-by-wire, automatische voertuiggeleiding en actieve veiligheidssystemen dagen uit tot andere ontwerprichtingen, andere voertuigconcepten en andere productiemethoden. Modulariteit kan hierbij een sleutelrol spelen. In dit innovatiespoor geldt dat al in de vroege ontwerpfasen producten kunnen worden ontwikkeld die perfect aansluiten op de verwachtingen van de eindgebruiker en alle andere belanghebbenden in de life cycle van het product.

- Nieuwe (PH)EV zijn voertuigen met een specifieke en heldere unique selling point (USP). Daarop is het voertuig volledig geoptimaliseerd. Een (PH)EV voor woon-werkverkeer is bijvoorbeeld een heel ander voertuig dan een familie-auto of een auto voor stadsdistributie etc. Zo bestaan verschillende uitvoeringsvormen van (PH)EV naast elkaar. De innovatiekennis en ontwikkeltechnologie zijn beschikbaar om deze voertuigen te ontwerpen.

De Nederlandse kennisinstellingen en toeleveranciers beschikken, behalve over kennis en onderzoekscapaciteit met betrekking tot geavanceerde sterke en lichte materialen, ook over expertise op het gebied van systeemintegratie, productietechnologie en logistiek. Zonder systeemintegratie is geen goed modulair platform voor elektrische voertuigen te ontwikkelen noch zijn auxiliaries te integreren. De eerst komende jaren zullen vooral conventionele, maar geleidelijk voor (PH)EV geoptimaliseerde voertuigconcepten, het licht zien. Naar verwachting zal de technologische respons met betrekking tot modulaire platformen zich pas doen gelden in de periode na 2016. In de eerdere jaren zal onderzoek nodig zijn en de automobielenindustrie kent een zekere traagheid in de acceptatie en toepassing van radicale vernieuwingen.

- De Nederlandse kennis- en voertuigindustrie hebben de technologie en kennis en kunnen in Europese samenwerking een onderscheidende rol spelen bij de ontwikkeling van specifiek voor (PH)EV geschikte modulaire voertuigplatformen. Bijvoorbeeld door de ontwikkeling en toepassing van sterke lichtgewicht materialen, kennis van productietechnieken en een grote kennis van systeemintegratie ten behoeve van intelligente voertuigen.

Wat betreft de expertise omtrent de inpassing van elektrische mobiliteit in de gebouwde omgeving is in Nederland kennis- en onderzoekscapaciteit aanwezig die, ook in internationaal verband, een rol van betekenis speelt. Denk hierbij aan de grotere ingenieursbureaus voor infrastructuur, leveranciers van geïntegreerde navigatie apparatuur en aan aanbieders van vervoercapaciteit en betaaltechnologie. Daarnaast is het potentieel aan launching customers zoals fleet owners en (lokale) overheden groot. Ontwikkelingen in de communicatietechnologieën en het gebruik hiervan leiden tot nieuwe mogelijkheden voor het ontwikkelen van aantrekkelijke proposities voor elektrische mobiliteit. Virtuele communities blijken bijvoorbeeld een interessante manier te zijn voor zowel het ontwikkelen als het evalueren van nieuwe product-/dienstcombinaties. Virtuele communities zijn veranderd: bestonden de eerste voornamelijk uit zogenaamde early adopters, heden ten dage zijn ze erg populair en grote groepen consumenten nemen deel om producten en diensten te bediscussiëren.

Voor de ontwikkeling van dit innovatiespoor zijn de volgende onderzoeks- en ontwikkellijnen van belang:

- Onderzoek naar, analyse, evaluatie en optimalisatie van de functionele utiliteit van elektrische voertuigen voor verschillende groepen gebruikers in verschillende gebruikerscontexten en tussen de verschillende beschikbare alternatieven.
- Onderzoek naar, analyse en evaluatie van het gebruikers- en rijgedrag van early adopters. Wat zijn de verwachtingen en ervaringen van elektrisch vervoer met betrekking tot laden, gebruik

en onderhoud bij de verschillende proefprojecten in Nederland en daarbuiten? Welke verbeterpunten komen in zicht?

- Onderzoek naar en ontwikkeling en toepassing van modulaire ontwerpen voor chassis, body en auxiliaries (zoals airco's en hydraulische systemen), rekening houdend met batterijsystemen, range extenders, nieuwe materialen en productietechnieken, mass customization en verschillende gebruikerscontexten.
- Onderzoek naar en methode-ontwikkeling voor integrale gebiedsgerichte ontwikkeling van elektrische vervoer en de optimale schaalgrootte, integratie en lokalisering van verschillende laad- en parkeervariaties in de gebouwde omgeving. Dit kan beoordeeld worden in bijvoorbeeld experimenten in stedelijke distributie en met specifieke vervoersdiensten (kosten/baten van (PH)EV, aantal, plaats en aard van oplaadvoorzieningen, planning- en routing, supply chain management etc.).
- Onderzoek naar en ontwikkeling van metrics door middel van realistische casestudies. Het gebruik van (PH)EV moet tot betere inpassing in en optimalisatie van ruimtelijke ordening en verkeerskundige integratie leiden om huidige problemen met congestie (parkeren, files etc.) en leefkwaliteit (lucht, geluid, CO₂) op te lossen.



4.9 DUURZAME EN SLIMME ENERGIENETWERKEN

Om in 2020 op grote schaal elektrisch vervoer mogelijk te maken en dit op de meest duurzame manier te realiseren zijn er verbeteringen noodzakelijk ten aanzien van de elektrische infrastructuur en het elektriciteitsnetwerk. Het 'European Emissions Trading System' (EU-ETS) zorgt er voor dat de CO₂-uitstoot van elektriciteitsproductie gecompenseerd wordt onder het uitstootplafond. Doordat het plafond in de loop van de tijd daalt, ontstaat er een prikkel voor producenten van energie om een bewuste keuze te maken voor verschillende soorten van energieopwekking (opwekking met meer of minder emissies) om een groeiende vraag naar elektriciteit ten gevolge van het gebruik van elektrische voertuigen in te vullen. Het ETS stimuleert namelijk producenten van energie en elektriciteit om zo efficiënt mogelijk gebruik te maken van hun emissierechten en elektriciteit daar op te wekken waar CO₂ emissies in verhouding het laagst en goedkoopst zijn. De meest voor de hand liggende schone bronnen zijn hier onder andere zonne-energie en windenergie. Het realiseren van een betrouwbare koppeling tussen duurzame energieopwekking en een elektrisch mobiliteitssysteem is een grote uitdaging en van groot belang om te komen tot nul-emissies ten aanzien van CO₂, fijnstof en NO_x als het gevolg van het energiegebruik door het voertuig. Dit stelt nieuwe eisen aan het elektriciteitsnetwerk wat betreft het afstemmen en balanceren van vraag en aanbod van energie, zeker aangezien wind en zon variabele (intermitterende) energiebronnen zijn. Daarnaast is het noodzakelijk om bij de grootschalige implementatie van elektrisch vervoer rekening te houden met lokale piekbelastingen op het netwerk ten gevolge van gelijktijdig laden van grotere aantallen voertuigen. Tot aan 2015 wordt verwacht dat deze piekbelastingen nauwelijks voor zullen komen, echter bij grotere concentraties van laadpunten en voertuigen na 2015 wordt dit wel relevant. Ook het voorkomen van deze piekbelastingen stelt nieuwe eisen aan het elektriciteitsnetwerk en balanceren van vraag en aanbod. Beide ontwikkelingen, zowel aan de aanbodkant van energie (zon en wind) als aan de vraagkant (laden van voertuigen) vragen om een intelligent elektriciteitsnetwerk.

PRODUCTEN EN DIENSTEN:

Bij de ontwikkeling en implementatie van deze intelligente elektriciteitsnetwerken kunnen nieuwe producten en diensten door Nederlandse bedrijven in de markt gezet worden. We noemen hier de twee belangrijkste: grid to vehicle technologie (G2V), vehicle to grid technologie (V2G), en de hiervoor noodzakelijke vermogenslektronica en ICT:

- G2V betreft de stroomlevering aan de batterij in het elektrische voertuig en dat dit op een gecontroleerde en betrouwbare manier gebeurt en lokale piekbelastingen voorkomt. Feitelijk gaat het hier dus met name om de 'slimme laders' die in het innovatiespoor 'slim laden' worden genoemd. Op basis van de energievraag en de beschikbare capaciteit op lokaal niveau bepaalt het laadstation wanneer en hoe de batterij te laden. Het laadstation communiceert hierover met het transformatorstation (en indien noodzakelijk nog op hoger netwerk niveau). Om dit mogelijk te maken zijn nieuwe control-componenten en ICT noodzakelijk.
- V2G betreft de teruglevering van stroom van de batterij aan het elektriciteitsnetwerk. Dit maakt het mogelijk dat de batterij van het voertuig (tijdelijk) als buffercapaciteit in het netwerk kan functioneren en zo (lokale) piekbelastingen in het netwerk kan opvangen. Deze buffercapaciteit kan enerzijds aangewend worden om stroom naar andere voertuigen te sturen (in het lokale netwerk) die eerder opgeladen moeten zijn; anderzijds kan deze buffercapaciteit benut worden om een overschot aan energie op te slaan als er meer energie wordt opgewekt dan wordt gevraagd (zon overdag, wind 's nachts) en deze op een later moment wordt terug geleverd. De

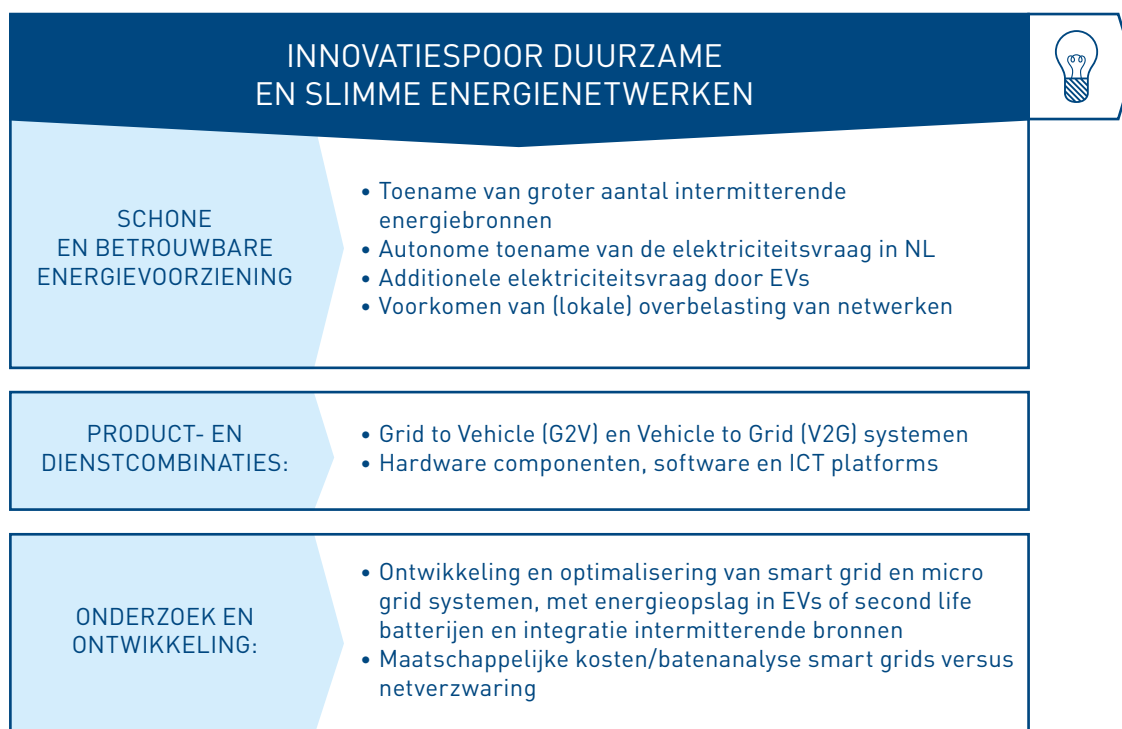
benutting van deze buffercapaciteit wordt nog relevanter in het geval van de implementatie van microgrids, waarbij de energie zoveel mogelijk decentraal en lokaal wordt opgewekt en benut, en waarbij het lokale microgrid zoveel mogelijk ontkoppeld is van het hoofdelektriciteitsnetwerk.

De toepassing van G2V en V2G technologie maakt het ook mogelijk om nieuwe business modellen voor het gebruik van elektrische voertuigen en de hiervoor noodzakelijke energie te ontwikkelen, en de betaalbaarheid van elektrisch vervoer te verbeteren. Denk hierbij aan de energie-abonnementen waarbij ook terug levering aan het netwerk wordt meegenomen en een prijsvoordeel voor de gebruiker kan worden doorberekend (zie de roadmap betaalbare elektrische mobiliteit).

ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

De voordelen van de koppeling van EV aan smart grids ontstaan niet vanzelf. Daar moet de komende jaren in geïnvesteerd worden door de ontwikkeling van grootschalige pilots (EV + smart grids + duurzame energieopwekking). Na 2018 kan dit bij voldoende hoeveelheid van EV ook tot economisch rendabele toepassingen leiden. Nederland heeft een sterke positie op het gebied van smart grids, energievoorziening en vermogenselektronica. Er zijn relevante onderzoeksfaciliteiten, ontwerp kennis en testvoorzieningen, en kenniscentra op het terrein van energie-infra en elektriciteitsnetwerken. Ten aanzien van onderzoek en ontwikkeling moet aandacht besteed worden aan de volgende 2 thema's:

- Onderzoek naar en ontwikkeling van smart grids in combinatie met decentrale energieopwekking (waaronder en met name "groene stroom") en de integratie van (PH)EV batterij technologie. Het betreft V2G concepten.
- Ontwikkeling en evaluatie van ontwerprichtlijnen voor grids en de evaluatie van technische, economische en maatschappelijke kosten/baten van de verzwaring van bestaande netwerken en/of de implementatie van nieuwe smart grids.



4.10 BATTERIJMANAGEMENT

De energiedichtheid van batterijen is van doorslaggevend belang voor de actieradius, het gewicht en de prijs van (PH)EV. De energiedichtheid van de huidige Li-Ion batterijpakketten is nog relatief beperkt, wat er toe leidt dat actieradius beperkt is en het relatieve gewicht en volume groot. Men verwacht jaarlijks een gemiddelde prestatieverbetering van de energiedichtheid van de batterij van tussen de 4% en 6% (Li-gebaseerde batterijsystemen). Deze prestatieverbetering is significant en van groot belang maar zal op de middellange termijn (tot 2020) mogelijk niet snel genoeg gaan om de betaalbaarheid en actieradius van de batterij te verbeteren. Om de komende jaren toch naar meer betrouwbare en betaalbare batterijtechnologie te gaan is het dus daarnaast noodzakelijk om de batterijmanagementsystemen (BMS) die het laden en ontladen van de batterij sturen te verbeteren. Een BMS dat beter in staat is om het verouderingsproces van de batterij te monitoren en het laden en ontladen te sturen zodat (te) snelle degradatie wordt tegengegaan draagt bij aan een hogere restwaarde en levensduur van de batterij en daarmee lagere afschrijvingskosten.

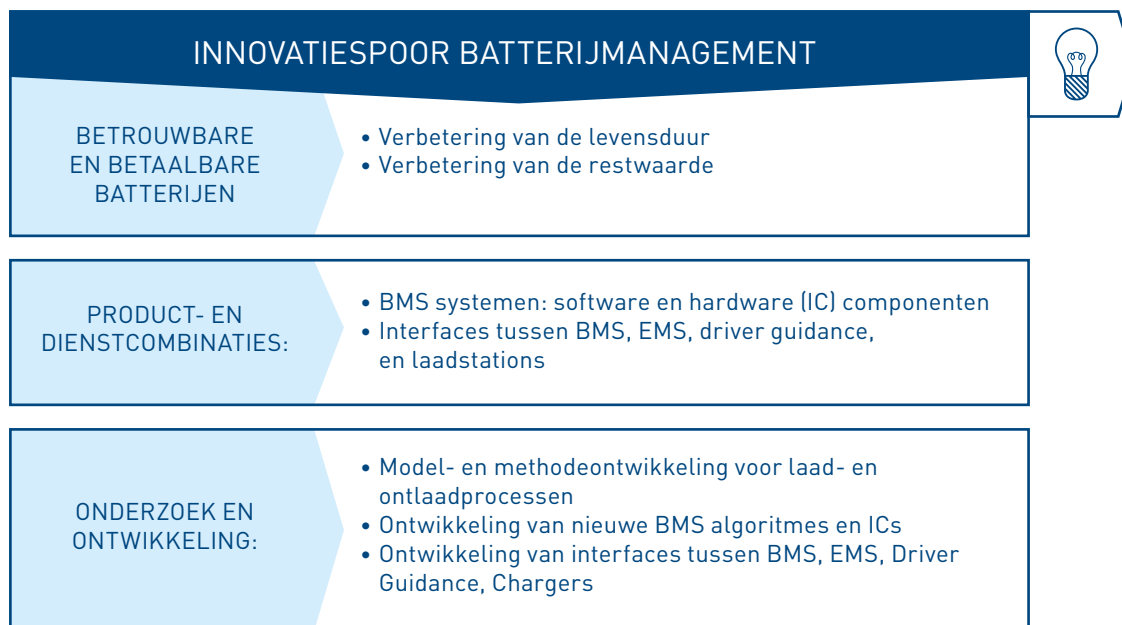
PRODUCTEN EN DIENSTEN

Om de levensduur en restwaarde van de batterijen te verbeteren dienen batterijmanagementsystemen ontwikkeld te worden die het degradatieproces beter monitoren (State-of-Charge en State-of-Health) en besturen. Hiervoor is het noodzakelijk om nieuwe algoritmes en control-software te ontwikkelen en deze te integreren in hardware componenten (integrated circuits: ICs). Daarnaast zijn er koppelingen noodzakelijk tussen deze nieuwe BMS en het EMS van het voertuig, en met het laadstation. Deze nieuwe interfaces vormen ook potentiële producten voor de automotive- en batterijenindustrie.

ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

Nederland kan technologisch reageren met de inzet van door fundamenteel en toegepast onderzoek verkregen kennis en de ontwikkeling van software en hardware voor batterijmanagementsystemen. Nederland speelt in Europa reeds een rol van betekenis, met name op het gebied van:

- Ontwikkeling van technologieën t.b.v. radicaal betere (BMS) batterijmanagementsystemen, zowel software als hardware ICs (chips). Gewenst zijn onder meer modellen voor simulatie en control van laad en ontladprocessen en gerelateerde state-of-charge (SoC) en state-of-health (SoH) berekeningen ten behoeve van de levensduur van batterijen.
- In combinatie met fundamentele en toegepaste fysische en chemische kennis over materiaalgebruik in cellen en batterijpakketten geeft dit een unieke kans en positie voor bedrijven en kennisinstellingen, ook in Nederland.



4.11 DUURZAME BATTERIJEN

In 2020 wordt de batterij van het elektrische voertuig optimaal ingezet en gebruikt over de gehele levenscyclus van de batterij (van productie tot recycling). Dit moet leiden tot een betere kostenbeheersing en benutting, maar ook tot een minimale milieubelasting van de batterij en het zorgvuldig omgaan met schaarse grondstoffen.

PRODUCTEN EN DIENSTEN

Dit innovatiespoor beschrijft een uitdagende combinatie van producten en diensten: (1) het zorgvuldig en efficiënt recyclen van grote aantallen batterijen en (2) het invullen van een buffer in het elektriciteitsnet zijn product-/dienstcombinaties waar Nederlandse partijen een belangrijke rol in kunnen spelen. Naast de invoer van nieuwe batterijen via de mainports zou Nederland – mede op basis van haar logistieke expertise – een leidende rol kunnen gaan spelen in de wereldwijde batterijkringloop.

Laadtechnologie die beter rekening houdt met karakteristieken van Li-Ion batterijen zorgt ervoor dat de batterijen een langere levensduur krijgen. Dit maakt het mogelijk dat de batterijen ook na toepassing in een elektrisch voertuig een second life toepassing hebben (de prestatie van de batterij is dan nog steeds 60%-80%). De batterijen kunnen na gebruik in de EV bijvoorbeeld worden ingezet als statische buffercapaciteit in het smart grid. Dit komt ten goede aan de betaalbaarheid van EV's en batterijen in het bijzonder. Nederlandse partijen ontwikkelen hiervoor second life toepassingen. 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 bij je thuis in de garage. Denk ook aan diensten zoals verreken- en betaalconcepten.

Als de prestaties van de batterij ook niet meer voldoende zijn voor de second life toepassing, dan is het van belang de batterij optimaal te recyclen en schaarse materialen terug te winnen. Dit is met name van belang voor de edelmetalen die in de batterij verwerkt zijn.

ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

Nederland heeft een hoogwaardig netwerk van kennis- en industriële productiecapaciteit als het gaat om verantwoord hergebruik, scheiding en verwijdering van afval. In een klein en dicht bevolkt land kan dat ook niet anders. Bovendien is afvalverwerking een belangrijk economisch proces waarin internationale handel een rol speelt. Nederland zal naar verwachting geen grote speler zijn of worden in de productie van batterijen zelf. Maar de kennis over second life applicaties en het verwerken van grote hoeveelheden batterijpakketten past in de technologische respons die partners kunnen en moeten gaan bieden. Om de rol van Nederland in de batterijenkringloop te verstevigen moet de kennis op de volgende onderwerpen nader verstevigd worden:

- Onderzoek naar en ontwikkeling van concepten voor kostenefficiënt hergebruik (second-life toepassing) van grote aantallen batterijpakketten.
- Onderzoek naar scheidingstechnieken voor het terugwinnen van zeldzame grondstoffen uit op Li-gebaseerde batterijpakketten.



5. /

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 CONCLUSIES

De ontwikkelingen rondom elektrische mobiliteit lijken niet meer te stuiten. Alle grote autofabrikanten zijn bezig met de ontwikkeling en productie van hybride en/of volledig elektrische voertuigen. De verwachtingen zijn hooggespannen en de geformuleerde ambities met betrekking tot de penetratie van elektrische voertuigen zijn hoog. Er is een aantal belangrijke redenen die de wereldwijde belangstelling voor elektrische rijden voeden:

- bijdrage aan de energievoorzieningszekerheid
- bijdrage aan de klimaatdoelen door reductie van CO₂
- verbetering van leefbaarheid in steden door afname van de luchtvervuiling en geluidsoverlast
- bijdrage aan de versterking van de economische positie.

Deze innovatieagenda richt zich op het laatste punt. Deze studie is internationaal gezien niet uniek; zo voert vrijwel ieder Europees land deze analyses uit. Gezien de enorme investeringen die EU-landen zoals Duitsland, Frankrijk, Spanje en Engeland in de ontwikkeling van elektrische mobiliteit steken is het daarom van groot belang dat de Nederlandse innovatie-inspanningen doeltreffend en doelmatig zijn en complementair zijn aan wat er in Europa en elders in de wereld plaatsvindt. Centraal staat dan ook de vraag welke veelbelovende innovatiekansen er zijn voor Nederlandse bedrijven en instellingen?

Drie belangrijke uitgangspunten en ontwikkelingen vormden de basis voor deze Nederlandse innovatieagenda. Allereerst wordt tot en met 2020 een sterke ontwikkeling en toepassing van elektrische mobiliteit in de (binnen-)stedelijke omgeving voorzien. In de steden en binnensteden van Nederland is sprake van lokale urgente problematiek ten aanzien van leef kwaliteit en luchtkwaliteit. Elektrische vervoer- en transportoplossingen kunnen een directe bijdrage leveren aan het verbeteren van de leef kwaliteit. Daarnaast geldt dat het verwachte aanbod van (PH)EVs tot en met 2020 en de verwachte prestaties van deze oplossingen goed aansluiten op de mobiliteitsbehoeften binnen de stedelijke omgeving (relatief korte ritten, hoge start/stop frequentie, goed ontwikkelde infrastructuur). Ten tweede is de beschikbaarheid en gebruiksvriendelijkheid van de laadinfrastructuur essentieel voor een voorspoedige transitie naar elektrisch rijden in 2020. De koppeling tussen het gebruik van elektrisch vervoer en een duurzame energievoorziening is daarnaast gewenst om een minimale milieubelasting over het gehele systeem te realiseren. Ten derde wordt tot en met 2020 voorzien dat de aangeboden elektrische mobiliteitsoplossingen (en laadoplossingen) veel beter gaan aansluiten op de eindgebruiker en diens gebruikersbehoeften en patronen. Tot op heden zijn veel oplossingen ontwikkeld vanuit de beschikbaarheid van nieuwe technologie en (algemene) technologische mogelijkheden zonder sterke focus op de behoeften van specifieke niches of marktsegmenten. Voor een succesvolle opschaling is het echter van belang om specifieke oplossingen te ontwikkelen voor niches. Wil men daarnaast de overgang kunnen maken van de gebruikersgroep 'innovators' en 'early adoptors' naar de gebruikersgroep 'early majority' (binnen elke

niche of segment), dan zal men de betrouwbaarheid, prijs/kwaliteit, en het gebruiksgemak sterk moeten verbeteren. Daarnaast zullen er naast het product, nieuwe diensten moeten worden geleverd ten aanzien van onderhoud, financiering, aanschaf/verkoop, en upgrading. Gebruikers en gebruikerscontext zullen dus veel centraler komen te staan in de ontwikkeling en implementatie van elektrisch vervoer.

Uitgebreide communicatie met Nederlandse experts heeft geleid tot de identificatie van in totaal negen relevante innovatiesporen. Hierbij zijn de aanwezige competenties, de betrokkenheid en de ambities van het Nederlands bedrijfsleven en de kennisinstellingen, bepalende factoren geweest voor de selectie van deze sporen. Van niet alle innovatiesporen wordt verwacht dat zij innovaties zullen opleveren die even snel zullen penetreren in de markt. Ook de marktomvang is verschillend voor de in de trajecten te ontwikkelen product-/dienstcombinaties. Deze criteria en de mate van competentie in Nederland zijn van belang geweest bij de prioritering van de negen trajecten. In onderstaande tabel is het resultaat samengevat (op basis van het, weliswaar kwalitatief, scoren op 3 dimensies door de belangrijkste stakeholders en experts).

		Adoptiesnelheid	Marktomvang	Competenties	Gemiddeld
1e prioriteit: Korte termijn start gewenst (→ 2010)	1 Integrale elektrische mobiliteit	++	++	++	++
	2 Betaalbare elektrische mobiliteit	++	++	++	++
	3 Connected EV	+	++	++	++
	4 Slim laden	++	++	++	++
	5 Batterijmanagement	+	++	++	++
2e prioriteit: Innovatieve kansen langere termijn (→ 2015)	6 Fit-for-use drivetrains	+	++	+	+
	7 Veilige elektrische voertuigen	+	+	++	+
	8 Duurzame en slimme netwerken	+	+	++	+
	9 Duurzame batterijen	+	+	++	+

De volgende innovatiesporen hebben een hoge prioriteit en dienen bij voorkeur op korte termijn te worden gestart:

1. Integrale elektrische mobiliteit

De uitdaging ligt in het leveren van integrale mobiliteitsoplossingen voor de stedelijke omgeving, bestaande uit op elkaar afgestemde producten (voertuigen, laadpunten, etc.) en diensten (mobiliteit, energie, informatie). De focus ligt de komende 5 jaar op de zakelijke markt zoals (additioneel) openbaar vervoer, distributie en transport en personenvervoer (bv. wagenpark, leasemarkt, taxidiensten). De particuliere consumentenmarkt zal zich pas later ontwikkelen. De zakelijke markt bestaat uit een veelheid van nichemarkten. Om actoren in deze niches te kunnen overtuigen om de overstap naar elektrische mobiliteit te zetten zal maatwerk geleverd moeten worden. Kennis

over de niches en de specifieke gebruikerseisen en mobiliteitsbehoefte is cruciaal om te komen tot consistente, gebruiksvriendelijke en betaalbare mobiliteitsconcepten en oplossingen. Het inzicht in de (toekomstige) gebruiker binnen de niches (marktkennis en customer insights) is startpunt van dit innovatiespoor.

2. **Betaalbare elektrische mobiliteit.**

Binnen dit innovatiespoor wordt de betaalbaarheid van elektrische mobiliteit als centrale uitdaging geplaatst. Welke innovaties zijn er noodzakelijk zijn om in 2020 het elektrisch rijden goedkoper te laten zijn dan vervoer middels conventionele voertuigen? En wat er nodig is om een transparante kostenstructuur en prijsvorming in de markt te laten ontstaan? In dit innovatiespoor wordt vooral gekeken naar business model innovaties. Voor Nederlandse bedrijven en instellingen wordt hier een duidelijke economische kans gezien.

3. **Connected EV**

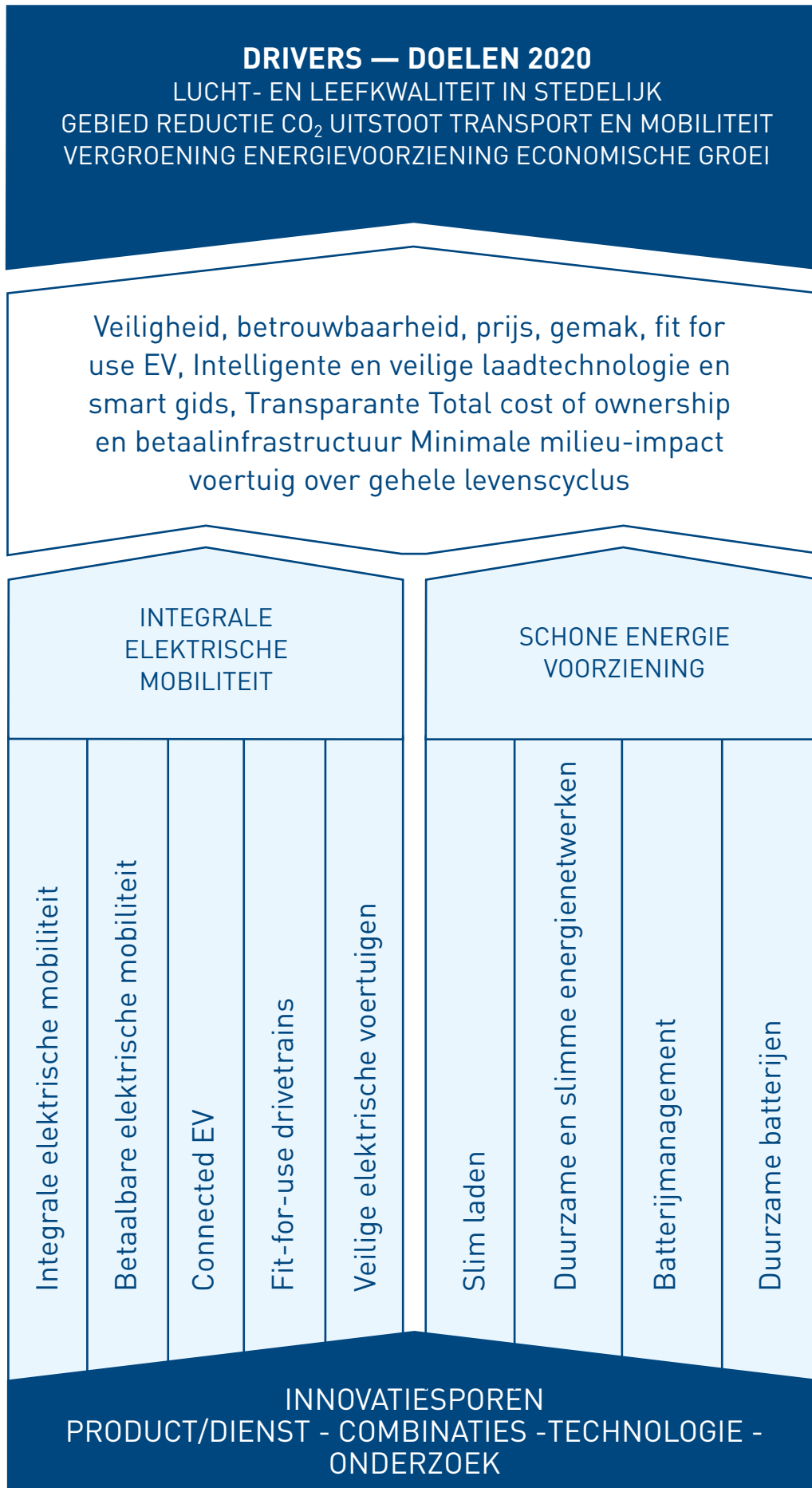
Door ICT-ontwikkelingen zal de interactie van het voertuig met zijn omgeving een enorme verbetering kunnen ondergaan. Hierbij moet gedacht worden aan de actieve veiligheid, de verkeersdoorstroming, het downloaden van informatie/entertainment, GPS en routebepaling, diagnose/onderhoud/reparatie en beveiliging van mobiliteitsconcepten. In Nederland (met name in HTAS-verband) is dit innovatiespoor reeds sterk in ontwikkeling. Hoewel 'connectivity' ook voor de traditionele voertuigen een enorme verbetering betekent, is het een onmisbaar element voor het elektrische voertuig. Connectivity is een belangrijk wapen tegen de zogenaamde range anxiety, de angst die bij de gebruikers van volledig elektrische voertuigen bestaat om zonder stroom te komen staan. Belangrijke product-/dienstcombinaties binnen dit traject zijn driver guidance systems die naast de gewenste route/eindbestemming rekening houden met de laadinfrastructuur, het energie aanbod en verbruik, de energieprijzen en de parkeervoorzieningen.

4. **Slim laden**

De ontwikkeling van een gebruiksvriendelijke, betrouwbare en veilige laadinfrastructuur is de centrale uitdaging in dit innovatiespoor. De eerste generatie laadinfrastructuur – anno 2010 in aanleg binnen enkele grote Europese steden – schiet op de genoemde aspecten tekort. De laadsnelheid, het gebruiksgemak, en het aansluiten op routines van de gebruiker, zijn eisen die leidend dienen te zijn in de ontwikkeling van de volgende generatie (grootschalige) infrastructuur. In 2020 gebeurt het laadproces snel *en route* (deductief/inductief/batterijwissel) en semi-snel of normaal op de thuis- en werk-locatie (inductief/draadloos). *Smart charging* houdt ook in dat bij het laden wordt geoptimaliseerd tussen vraag en aanbod van elektriciteit op een zo een lokaal mogelijk niveau.

5. **Batterijmanagement**

Om tot meer betrouwbare en betaalbare batterijtechnologie te komen is het noodzakelijk om de batterijmanagementsystemen (BMS) die het laden en ontladen van de batterij sturen te verbeteren. Een BMS dat beter in staat is om het verouderingsproces van de batterij te monitoren en het laden en ontladen te sturen zodat (te) snelle degradatie wordt tegengegaan, draagt bij aan een hogere restwaarde en langere levensduur van de batterij en daarmee lagere afschrijvingskosten. Daarnaast kunnen verbeteringen in het BMS tot een grotere actieradius leiden.



5.2 AANBEVELINGEN

Voor het realiseren van de innovatiesporen is nauwe samenwerking tussen marktpartijen, kennisinstellingen en overheid een belangrijke voorwaarde. Voor een aantal innovatiesporen staat deze samenwerking al in de steigers en lopen er onderzoeks- en ontwikkelingstrajecten. Om focus te behouden, samenwerking te versterken en kritische massa te vergroten volgen vier aanbevelingen:

1. De innovatieagenda pleit sterk voor een focus op de stedelijke gebieden. Hier kan de invloed van de transitie naar elektrische mobiliteit op korte termijn het meest doeltreffend zijn. Het beleid ten aanzien van de verbetering van de stedelijke luchtkwaliteit is een belangrijke voedingsbodem voor de ontwikkeling van elektrische mobiliteit in Nederland. De resultaten van de proeftuinen elektrisch rijden een belangrijke impuls kunnen geven aan de ontwikkelingen binnen de innovatiesporen. Daarnaast vormt de ambitie en het beleid van de grote steden met betrekking tot elektrische mobiliteit een uitstekende en tevens noodzakelijke context voor de geformuleerde innovatieagenda. Aanbevolen wordt om nadrukkelijker de innovatiesporen te koppelen aan de stedelijke (her-)ontwikkeling. De kennisuitwisseling rondom de activiteiten van de vier grote steden op het gebied van elektrisch rijden met bedrijfsleven en kennisinstellingen zou een impuls moeten krijgen door het oprichten van learning circles. In een 'learning circle' worden de uitvoering van de pilots gemonitord en knelpunten geïdentificeerd, maar deze worden ook meteen gekoppeld aan partijen die hiervoor mogelijke innovatieve oplossingen hebben. In de learning circle is dus een directe koppeling gerealiseerd tussen pilot implementaties en het ontdekken van kansen voor nieuwe innovaties. De ervaring die in de proeftuinen wordt opgedaan, wordt op deze manier beter benut. D-INCERT ziet zichzelf hierbij als een belangrijke initiator en mediator.
2. Aanbevolen wordt om in 2011 voor de vijf geprioriteerde innovatiesporen expertgroepen te formeren. De experts zullen afkomstig moeten zijn uit de kennisinstellingen, het bedrijfsleven en de overheden. De expertgroepen hebben als taak om de internationale en nationale kennis- en innovatieontwikkeling te monitoren en te evalueren. De expertgroepen doen aanbevelingen voor de Nederlandse en Europese onderzoeks- en innovatieagenda en identificeren innovatieprojecten waarin samengewerkt kan worden. De expertgroepen vormen de centrale knooppunten voor het innovatiecluster in Nederland. De lopende werkgroepen van bijvoorbeeld Platform Elektrische Mobiliteit (BOVAG/RAI), Formule E-team en de werkgroepen van D-INCERT kunnen hierin worden gebundeld. D-INCERT heeft samen met haar partners het voortouw genomen om voor het innovatiespoor Slim Laden een eerste expertgroep op te richten. De andere innovatiesporen zullen volgen. Gezien de dynamiek van de ontwikkelingen met betrekking tot elektrische rijden is het belangrijk de innovatieagenda op basis van de bevindingen van de expertgroepen jaarlijks te actualiseren, resulterend in innovatiejaarkalenders.

Om de potentie van de innovatiesporen volledig waar te maken is een consistente regierol van, en faciliteren door de overheid onmisbaar. Het faciliteren en legitimeren door de Rijksoverheid van de eerder genoemde learning circles rondom de proeftuinen en de expertgroepen ten behoeve van de innovatiesporen wordt noodzakelijk geacht.

3. De middelen die beschikbaar zijn voor innovatie in Nederland zijn bescheiden vergeleken met landen zoals Spanje, Duitsland, Frankrijk en Engeland. De Europese middelen (KP7, Green Cars etc.) zijn echter omvangrijk. Nederlandse bedrijven, overheden en kennisinstellingen zijn volop actief

en ook succesvol met het participeren in Europese Consortia. Echter, op het gebied van elektrisch rijden kan dit beter en fragmentatie ligt sterk op de loer. (Europese) Calls zijn veelal specifiek, bij voorkeur mono-disciplinair en vooral technologie gedreven. De focus op de gebruiker en de gebruiksccontext ontbreekt. Een meer integrale benadering - zoals bepleit in de innovatieagenda - waarbij innovatie van maatwerk oplossingen (producten / diensten / business modellen) wordt voorgesteld, moet worden gestimuleerd. Daarnaast moet Nederland bij de formulering van de Europese kaderprogramma's de geprioriteerde innovatiesporen nadrukkelijker inbrengen. Hierin kunnen AgentschapNL en de betrokken Ministeries een belangrijke rol in spelen.

4. De voorbereidende activiteiten ten behoeve van de innovatieagenda hebben al tot een aantal projecten geleid die invulling geven aan de innovatiesporen (i.h.k.v. het HTAS-EVT programma en de ERA-NET Electromobility+ call). Deze projecten zijn echter ieder beperkt wat betreft budget en looptijd. De innovatiesporen 1 en 3 (zie tabel) zouden respectievelijk kunnen worden aangehaakt aan het HTAS2-programma, innovatiesporen 2 en 4 aan het FES-programma Next Generation Infrastructures, en spoor 5 aan het ADEM programma. De resterende looptijd van deze innovatieprogramma's is voornamelijk echter beperkt en opvolging onzeker. Om tot verdere versterking en uitvoering van de innovatiesporen te komen is het dan ook nuttig om de innovatieagenda elektrisch rijden te verbinden met de aanpak van de Topsectoren. Met name inbedding in de Topsector High Tech Materialen en Systemen is van belang om innovatie op langere termijn te agenderen en te borgen. Het uitvoeren van de onderzoeks- en ontwikkelingsuitdagingen die geformuleerd zijn in deze innovatieagenda dienen daarnaast geagendeerd te worden binnen de huidige onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma's van de grote technologische instituten (ECN, TNO), universiteiten en hogescholen. D-INCERT heeft hiervoor al de eerste aanzet gedaan door relevante experts van deze instellingen en instituten in het proces van het opstellen van de innovatieagenda te betrekken.

Op basis van bovengenoemde aanbevelingen die met name gericht zijn op het creëren van focus, versterking van samenwerking, het intensief leren van de praktijk, en het beter aanspreken van Europese middelen voor innovatie, wordt verwacht dat innovatie in elektrisch rijden in Nederland tot een betere leefomgeving en economische groei zal leiden.

6. /

REFERENTIES EN ACHTERGRONDINFORMATIE

6.1 REFERENTIES

- Albright R. E.**, (2003), *A unifying Architecture for Roadmaps Frames a Value Scorecard*, Albright Strategy Group, LLC, Morristown, New Jersey, USA
- Albright R. E.**, (31 Oktober 2003), *Roadmapping Convergence*, Albright Strategy Group, LLC, Morristown, New Jersey, USA
- Albright R. E.**, (Februari 2002), *Long Term Planning: Roadmapping and Portfolio Process*, Pragmatic Portfolio management for Product Development, Phoenix, Arizona, 21 Februari 2002
- Albright R. E.**, (Juni 2002), *What Can Past Technology Forecasts Tell Us About the Future?*, Albright Strategy Group, LLC, Morristown, New Jersey, USA
- Albright R. E.**, (Oktober 2002), *How to use roadmapping for global platform products*, PDMA Visions October 2002, vol. 26, nr. 4, pag. 19-22.
- Albright R. E.**, (September 2002), *A Roadmapping Perspective: Science Driven Technologies*, Global Advanced Technologies Innovation Consortium, Zurich, 26 September 2002
- Albright R. E.**, (September 2002), *Roadmapping: New Technologies at the Right Time*, IMTS 2002 Manufacturing Conference, Society of Manufacturing Engineers, Chicago, IL, 4 September 2002
- BERR & DfT**, (Oktober 2008), *Investigation into the Scope for the Transport Sector to Switch to Electric Vehicles and Plugin Hybrid Vehicles*
- Berr/Naigt**, (Mei 2009), *An Independent Report on the Future of the Automotive Industry in the UK.*, New Automotive Innovation and Growth Team (NAIGT)
- Bont C. de, Dijk S. van, Hellinga Ch., Silvester S.**, (Augustus 2010), *Verkenning elektrisch rijden., Deel 1*, D-Incert, Delft
- Byung-soon Min, Hyundai-Kia Motors**, (2009), *The Electrification in Transportation Technology and it's Implications for Electricity Industry, PHEV and it's implications*
- Dherbécourt Y., Jensen P.**, (28 Mei 2009), *Demand Response Technology Roadmap* - on occasion of «Printemps de la recherche» EDF R&D
- Die Bundesregierung**, (Augustus 2009), *Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung.*, Berlin
- EMC-MEC**, *Electric Vehicle Technology Roadmap for Canada, A strategic vision for highway-capable battery-electric, plug-in and other hybrid-electric vehicles*, Ontario, www.evtrm.gc.ca/pdfs/E-design_09_0581_electric_vehicle_e.pdf bezocht 28 mei 2010
- EMC-MEC**, *EV for Briefing book v6, Electric vehicles – Opportunities for Canada*, Ontario, www.emc-mec.ca/www.emc-mec.ca bezocht 28 mei 2010
- Eurlings C., Hoeven J. van der**, (Juli 2009), *Plan van aanpak elektrisch rijden*, Kamerbrief, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag

- Federatie Holland Automotive**, (April 2009), *Naar een snelle en grootschalige introductie van de elektrische auto in Nederland.*, Zoetermeer
- Fleet B., Li J.K., Gilbert R.**, (26 Juni 2008), *Situation Analysis for the Current State of Electric Vehicle Technology, A report for presentation at the Electric Vehicle Technology Roadmap Visioning Meeting*, Natural Resources Canada, Canadian Electric Vehicle Industry and Steering Committee
- Fulton L.**, (January 2009), *Technology roadmap, Electric and plug-in hybrid electric vehicles.*, International Energy Agency (IEA), Parijs
- Furore / EARPA**, (2003 – 2007), *R&D technology roadmap, A contribution to the identification of key technologies for a sustainable development of European road transport.*
- Gilbert S., Brantley J.**, (November 2008), *Nov-14-08: Scott Gilbert and Jeff Brantley webinar on "Agile Roadmapping"*, www.enthiosys.com/insights-tools/white-papers/gilbert-brantley-roadmapping/
- High Tech Automotive Systems (HTAS)**, (Juni 2009), *Electric Vehicle Technology.*, Ministerie van Economische zaken, Den Haag
- Hoekstra A.**, (2009), *Elektrisch rijden, Innovatie, Informatie, Inspiratie.* Ministerie van verkeer en waterstaat, Rijkswaterstaat, Den Haag.
- IEA Energy Technology Roadmaps**, (2009), *Charting a Low-Carbon Energy Revolution*, OECD/IEA, www.iea.org/roadmaps/index.asp bezocht 28 mei 2010
- Jak M., et al.** (Oktober-December 2009), *Inventarisatie regionale initiatieven Elektrisch Rijden voor het Formule E-team, Squarewise*
- Kampman B. et al.**, (Januari 2010), *Development of policy recommendations to harvest the potential of electric vehicles.*, Delft
- Lugert G., Affenzeller J.**, (2009), *European Industry Roadmap Electrification of Urban Mobility and Transport*, EPoSS /AVL/ ERTRAC PPP-Infoday, 13 July 2009
- Lugert G.**, (2009), *Joint EC / EPoSS-Siemens / ERTRAC Expert Workshop 2009*
- Meyer G.**, (Oktober 2009), *European Roadmap, Electrification of Road Transport.*, Ertrac / EPoSS
- Mitsubishi Motors Group**, (8 Juni 2009), *Mitsubishi Motors Group Environmental Vision 2020*, Tokyo
- Moore B.**, (November 2009), *A Roadmap to Electric Vehicle Ecosystems*, www.evworld.com/article.cfm?storyid=1784 bezocht 28 mei 2010
- NEDO, (Maart 2009)**, (New Energy and Industrial Technology Development Organization), *Next Generation Vehicle Storage Battery Development Roadmap 2008*, Japan
- Olsthoorn M., et al.**, (Januari 2010), *Discussienotitie Elektrisch Vervoer – Het Beleid*, Baarn
- Petersen J.**, (Juni 2009), *Understanding the Development Path for Li-ion Battery Technologies*, www.altenergystocks.com/archives/2009/06/understanding_the_development_path_for_liion_battery_technologies_1.html bezocht 28 mei 2010
- Phaal R.**, (2001), *Technology Roadmapping*, Centre for Technology Management, University of Cambridge, Cambridge
- Phaal R.**, (2003), *Fast-start technology roadmapping*, UNIDO - *Technology Foresight for Practitioners*, 9th October 2003, Centre for Technology Management, University of Cambridge, Cambridge
- Phaal R.**, (Augustus 2002), *Foresight Vehicle Technology Roadmap, Technology and research directions for future road vehicles.*, Centre for Technology Management, Institute for manufacturing, University of Cambridge, Cambridge
- Phaal R., Farrukh C., Mitchell R., Probert D.**, (1 Maart 2003), *Technology roadmapping: Starting-up road-mapping fast*, www.allbusiness.com/economy-economic-indicators/economic-indicators/10605219-1.html
- Phaal R., Farrukh C., Probert D.**, (Mei 2003), *Technology roadmapping—A planning framework for evolution and revolution*, Centre for Technology Management, University of Cambridge, Cambridge, Technological Forecasting & Social Change, www.sciencedirect.com

- Phaal R., Farrukh C., Probert D.**, (November 2001), *Technology Roadmapping: linking technology resources to business objectives*, Centre for Technology Management, University of Cambridge, Cambridge
- Portland General Electric, Portland State University and OTREC**, (Juni 2010), *E.V. ROAD MAP 2, 6 Month Update on Oregon's Electric Vehicle Initiative*, Portland, Oregon
- Product Roadmap Toolkit™** www.280group.com/productroadmaptemplates.htm bezocht 6 juli 2010
- Product Roadmaps** www.pragmaticmarketing.com/resources/archived-webinars/agile-roadmapping/ en www.enthiosys.com/problems-we-solve/agile-roadmaps/ bezocht 26 juli 2010
- Roadmaps and Roadmapping** www.albrightstrategy.com/roadmap.html bezocht 26 juli 2010
- SCERN Roadmap Template**, (Juli 2006), Roadmapping workshop 11 July 2006, portal.surrey.ac.uk/portal/page?_pageid=992,1073429&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Tanner J.**, (Oktober 2008), Oct-29-08: "Building your Agile Roadmap" webinar with Jason Tanner, www.enthiosys.com/insights-tools/white-papers/oct-ryma-roadmap-tanner/
- U.S. Department Of Energy**, (December 2002), *A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, Ten nations preparing today for tomorrow's energy needs.*, Issued by the Nuclear Energy Research Advisory Committee and the Generation IV International Forum
- U.S. Department Of Energy**, (Juni 2007), *FreedomCAR and Technologies Program, Plug-In Hybrid Electric Vehicle R&D Plan, Working Draft* www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/program/phev_rd_plan_june_2007.pdf bezocht 28 mei 2010
- Vondeling A., et al.**, (September 2009), *Nederland gaat elektrisch rijden, een uitnodiging tot samenwerking.*, Essent New Energy, Enexis

6.2 ACHTERGRONDINFORMATIE

- Axsen, J., A. Burke, and K. Kurani, *Batteries for Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs): Goals and the State of Technology*. 2008, Institute of Transportation Studies, University of California: DAVIS.
- Bandivadekar, A., et al., *On the Road in 2035: Reducing Transportation's Petroleum Consumption and GHG Emissions*. 2008, Massachusetts Institute of Technology.
- BCG, *The Comeback of the Electric Car?* 2009, The Boston Consulting Group.
- Boer, L.C.d., A. Schrotten, and G.M. Verbraak, *Opties voor Schoon & Zuinig verkeer: Effecten op klimaatverandering en luchtverontreiniging*. 2010, CE Delft.
- Boer-Meulman, P.d., et al., *Effect of scenarios and alternatives for electric vehicles and heat pump implementation on grid reliability, sustainability and socio-economy*, in *SenterNovem EOS-LT 05024*. 2010.
- c-mm-n, *Actieplan elektrisch rijden Op weg naar één miljoen elektrische auto's in 2020!* 2009, Transumo.
- CET, *Electric Vehicles in the United States: A New Model with Forecasts to 2030*. 2009, Center for Entrepreneurship & Technology, University of California, Berkeley.
- EC, *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context*. 2006, Concaawe/EUCAR.
- EC, *A European strategy on clean and energy efficient vehicles*. 2010, European Commission.
- EEA, *Transport at a crossroads. TERM 2008: indicators tracking transport and environment in the European Union*. 2009, European Environment Agency.
- Ehrenfeld, J., *Sustainability by design : a subversive strategy for transforming our consumer culture*. 2008, New Haven: Yale University Press. xxii, 246 p.
- Ehsani, M., *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles : fundamentals, theory, and design*. 2005, Boca Raton: CRC Press. 395 p.
- Electrification_Coalition, *Electrification Roadmap: Revolutionizing transportation and achieving energy security*. 2009: Washington, DC.
- Electrification_Coalition, *Economic Impact of the Electrification Roadmap*. 2010: Washington, DC.
- ERTRAC, *Towards a 50% more efficient road transport system by 2030: Executive summary*. 2010, European Road Transport Research Advisory Council.
- ERTRAC and EPoSS, *European Roadmap: Electrification of Road Transport*. 2009.
- EurActiv. *Electric cars: On the road to greener transport?* 2009 31 July 2010]; Available from: <http://www.euractiv.com/en/innovation/electric-cars-road-greener-transport-links dossier-188515>.
- Fahey, L. and R.M. Randall, *Learning from the future: competitive foresight scenarios*. 1998, New York: Wiley.
- Fuhs, A.E., *Hybrid vehicles and the future of personal transportation*. 2009, Boca Raton: CRC Press. xxxii, 470 p.
- Hacker, F., et al., *Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe*. 2009, Eionet (ETC/ACC).
- Hoekstra, A., *Elektrisch rijden: Innovatie. Informatie. Inspiratie*. 2009.
- Hopkins, R., *The Transition Handbook: From Oil Dependency to Local Resilience 2008*: Green Books; 1st edition.
- IEA, *Automotive Fuels for the Future, The Search for Alternatives*. 1999.
- IEA, *Energy to 2050: Scenarios for a Sustainable Future*. 2003.
- Kampman, B., et al., *Green Power for Electric Cars: Development of policy recommendations to harvest the potential of electric vehicles*. 2010: CE Delft.
- Karnama, A., *Analysis of Integration of Plug-in Hybrid Electric Vehicles in the Distribution Grid*. 2009,

- School of Electrical Engineering at Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.
- KEMA, *Trends in electricity demand and supply and effects on grids in the Netherlands*, in SenterNovem EOSLT05024, KEMA, Editor. 2008.
 - Kempton, W. and J. Tomic, *Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy*. Elsevier Journal of Power Sources, 2005. 144(1): p. 280-294.
 - Kendall, G., *Plugged In, The End Of The Oil Age*. 2008, World Wildlife Fund.
 - Lache, R., et al., *Electric Cars: Plugged In, Batteries must be included*. 2008, Deutsche Bank FITT research.
 - MacKay, D.J.C., *Sustainable Energy - without the hot air*. 2009: Cambridge.
 - Markel, T., et al., *Plug-in Hybrid Vehicle Analysis, Milestone Report*. 2006, National Renewable Energy Laboratory.
 - Mitchell, W.J., C. Borroni-Bird, and L.D. Burns, *Reinventing the automobile : personal urban mobility for the 21st century*. 2010, Cambridge, Mass.: MIT Press. x, 227 p.
 - Molen, A.v.d., *Actieplan decentrale infrastructuur*. 2008, Platform nieuw gas en Platform duurzame elektriciteitsvoorziening.
 - Nagelhout, D. and J.P.M. Ros, *Elektrisch autorijden, Evaluatie van transitie op basis van systeemopties*. 2009, Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
 - NAIGT, *An Independent Report on the Future of the Automotive Industry in the UK*. 2009, NAIGT/BERR.
 - PDE/PNG, *Naar een duurzame elektriciteitsvoorziening: Aandachtsgebied decentrale infrastructuur*. 2007, Platform duurzame elektriciteitsvoorziening and Platform Nieuw gas.
 - Pratt, R., *Potential Impacts of High Penetration of Plug-in Hybrid Vehicles on the U.S. Power Grid*. 2007, Presentation Pacific Northwest National Laboratory.
 - Programmabureau_Luchtkwaliteit, *Amsterdam Elektrisch: Plan van Aanpak Elektrisch Vervoer*. 2009, Projectgroep Elektrisch Vervoer (DRO, EZ, DIVV, TOPSTAD, DMB, BBA).
 - Resmini, F. and J. Ohlson, *ZEBRA battery integration in "Think City" pure battery electric vehicle, in EVS 24*. 2009: Stavanger, Norway.
 - van den Berg, J., et al., *Actieplan Elektrisch Rijden Op weg naar één miljoen elektrische auto's in 2020, Achtergronddocument*. 2009, DHV.
 - Verheijen, E., E. Schreurs, and J. Jabben, *Invloed hybride voertuigen op de geluidbelasting*. 2008, RIVM.
 - Vogtländer, I.P.H., *Brandstofmix in beweging: Op zoek naar een goede balans*. 2008, Energieraad: Den Haag.
 - WBCSD, *Mobility 2030, meeting the challenges to sustainability 2004*, Geneva: World Business Council for Sustainable Development.
 - Yates, B.W., *The critical path : inventing an automobile and reinventing a corporation. 1st ed.* 1996, Boston: Little, Brown. xi, 306 p.

7. /

BIJLAGE I:

TYPEN ELEKTRISCHE VOERTUIGEN

Type elektrische voertuig	Acroniem	Mate van gebruik elektriciteitsnet voor laden batterij	Typische karakteristieken
Elektrisch voertuig (Th!nk, Tesla)	BEV (Battery Electric Vehicle)	100%	<ul style="list-style-type: none"> • Elektromotor met batterij oplaadbaar vanuit elektriciteitsnet
Elektrisch voertuig met range extender	REEV (Range Extender Electric Vehicle)	Deels, afhankelijk van de range van de batterijen en gebruik	<ul style="list-style-type: none"> • Elektromotor met batterij oplaadbaar vanuit elektriciteitsnet • Gemodificeerde verbrandingsmotor of brandstofcel voor genereren van elektriciteit
Plug-in-hybride voertuig (Prius PHEV)	PHEV (Plug-in Hybride Electric Vehicle)	Deels, afhankelijk van de range van de batterijen en gebruik	<ul style="list-style-type: none"> • Elektromotor met batterij oplaadbaar vanuit elektriciteitsnet • Combinatie van klassieke verbrandingsmotor en elektromotor • Terugwinning remenergie
Hybride voertuig (Prius, Honda Insight)	HEV (Hybrid Electric Vehicle)	Geen netkoppeling	<ul style="list-style-type: none"> • Combinatie van klassieke verbrandingsmotor en elektromotor • Terugwinning remenergie
Brandstofcel hybride voertuig (Honda FCX Clarity)	FCEV (Fuel-Cell Hybrid Electric Vehicle)	Geen netkoppeling	<ul style="list-style-type: none"> • Elektromotor met brandstofcel voor genereren van elektriciteit

8. /

BIJLAGE II: LOPENDE SAMENWERKINGS-PROGRAMMA'S

ADEM: Advanced Dutch Materials Innovation Lab	NL	3TU/ECN programma voor materialenonderzoek t.b.v. energievoorziening. Aandacht voor batterijen.
DuRAB: Duurzame Recycling van Accu's en Batterijen		DuRAB bevordert de totstandkoming van een veilige beheersstructuur voor de recycling van hoogwaardige, geavanceerde accu's en batterijen voor elektrische voer- en vaartuigen en andere huishoudelijke en/of industriële toepassingen, en wel zodanig dat deze accu's en batterijen aan het einde van hun levenscyclus weer als secundaire grondstoffen kunnen worden ingezet voor nieuwproductie.
E3Car: Nanoelectronics for an Energy Efficient Electrical Car	EU	Grootschalig consortium van automotive industrie en elektronische industrie. Voor Nederland nemen Philips en Epyon deel. Doel is het verbeteren van de efficiëntie EVs door gebruik te maken van geavanceerde halfgeleider componenten voor: Power Conversion, Power Management, Power Distribution Network, Smart Dynamic Monitoring.
ENNEVATE: European Automotive Strategy Network (EU-Interreg IVB) ATC: Automotive Tech Center	EU	Faciliteren en ondersteunen van de introductie van elektrische mobiliteit in Noord-West Europa, door een gestructureerde samenwerking tussen industrie, overheid en kennisinstellingen (looptijd t/m 2012).
EVA: Electric Vehicles for Advanced Cities	EU	Samenwerkingsverband op Europees niveau bestaande uit 19 steden, 17 autobouwers, 12 energiebedrijven en enkele vooraanstaande organisaties op het gebied van ICT en research hebben een projectvoorstel gedaan aan de Europese Commissie. Dit voorstel, gecoördineerd door de gemeente Rotterdam, is gericht op het stimuleren van elektrisch vervoer in Europa.
GROWDERS: Grid Reliability and Operability with Distributed Generation using Flexible Storage	EU	Veldtesten en demonstratie van de technische en economische mogelijkheden van de huidige energieopslag-technologieën. Voor Nederland participeren KEMA (coördinatie), Continuum en Exendis.
HTAS-ETS: High-Tech Automotive Systems - Innovatie Programma Elektrische Voertuigtechnologie	NL	In 2010 is het HTAS-innovatie Programma Electric Vehicle Technology van start gegaan. In dit programma staan vijf thema's centraal; chassis & body, powertrain, control, auxiliary equipment en overige (design, development, engineering, interfaces with infrastructure). In mei 2010 heeft de Minister Van der Hoeven van Economische Zaken de projecten bekend gemaakt die zullen worden gesubsidieerd vanuit het HTAS-EVT programma. De geselecteerde tien projecten verkeren nog in de ontwikkelfase, maar een belangrijke eis voor de toekenning is dat de innovaties bijna in productie kunnen worden genomen. De projecten zijn: <ul style="list-style-type: none"> • TomTom, TNO, Quipment Group, E-laad.nl en o.a. Renault en Prestige Taxi Centrale ontwikkelen navigatieapparatuur voor de bestuurders van elektrische auto's. Deze apparatuur voorspelt de actieradius nauwkeurig en houdt daarbij rekening met het weer, verkeer, route en laadpunten.

		<ul style="list-style-type: none"> • Gemco E-trucks, TNO, DAF, Icova en Truckland gaan voor de gemeente Amsterdam een prototype van een plug-in hybride vuilniswagen ontwikkelen. PDE-automotive, Philips Apptech, Drivetrain Innovations werken ook aan de ontwikkeling van een toekomstige stadsvrachtwagen via een prototype van een volledig hybride vuilniswagen. • All Green Vehicles (AGV), Centric Automotive, Drivetrain Innovations, Epyon, NXP, Philips Apptech, TU/e starten een project om de componenten van elektrische/hybride aandrijflijn te integreren. • Mr Green Holding, Technolution, SP-Innovation, Wetac, TU/D, TNO en Kema ontwikkelen een systeem waarmee de integrale kostprijs per kilometer en de restwaarde van accu's kan worden bepaald. Dit kan zeer bruikbaar zijn voor de lease maatschappijen omdat hiermee bijvoorbeeld de accurate kilometerprijs kan worden berekend. • Sycada, i.s.m. Remotion, Zero Emission Mobility (Zwitserland) en RDM Automotive (GB) werken aan de verbetering van de batterijen waardoor de actieradius wordt vergroot. • Peec Power, MTT (micro turbine techn.) en AGV werken in 'Range Extender Innovations' aan diverse oplossingen voor het verlengen van de actieradius. • Gear Chain Industrial, Gemco E-trucks en TU/e bekijken hoe voor zware voertuigen de energie bespaard kan worden die nodig is bij de overbrenging van de elektromotor naar de wielen. • Teamwork Technology, Lightweight Structures, WE Engineering, TU/e, Vredestein zijn bezig met een lichtgewicht wielophanging met wielnaafmotor voor een volledige (elektrische) wielmodule. • Gemco E-trucks, Advanced Electromagnetics, HAN, Motio Development werken aan de ontwikkeling van een modulair platform die als basis zal dienen voor de ontwikkeling van hybride- en elektrische auto's, van bestelwagen tot zware vrachtwagens.
ITM: Intelligent E-Transport Management	NL	Intelligent E-transport management. Mogelijkheden van vraagsturing elektriciteitsverbruik van EVs en warmtepompen. Consortium bestaande uit KEMA, ECN, ESSENT, Continium & IWO
NGInfra: Next Generation Infrastructures	NL	NGInfra (netwerk van bedrijven, kennisinstellingen en overheden, TU Delft coördineert) is opgericht als antwoord op de groeiende bezorgdheid vanuit de samenleving over de betrouwbaarheid en kwaliteit in de toekomst van infrastructurele diensten. Smart grids komt terug binnen verschillende thema's van het programma.
POLYZION	EU	Nieuwe batterijtechnologie specifiek voor EV (met o.m. KEMA). Polyzion is een Europees-geleid consortium van onderzoeksorganisaties (op het gebied van ionaire vloeistoffen, geleidende polymeren, zink depositie, pulsoplading en batterijen) en MKB partners met expertise in technologie ontwikkeling en materials, en grote bedrijven op het gebied van batterijproductie en state-of-the-art testfaciliteiten. Het consortium omvat ook 2 organisaties met onderzoeksexpertise in opkomende economie Rusland en een high-income land buiten de EU, namelijk Canada.
SPITS: Strategic Platform for Intelligent Traffic Systems	NL	Intelligent Traffic Systems, 13 partners (met o.m. Logica, NXP, TNO, TomTom, 3TU)