



Roadmap gelijkspanning

Deze rapportage is door Berenschot opgesteld in opdracht van RVO.nl voor de Topsector Energie op verzoek van TKI Urban Energy

8 april 2018



Conclusies en aanbevelingen (I)

Uitgangspunt

- Deze Roadmap gelijkspanning richt zich op “DC-microgrids” en zeven specifieke toepassingsgebieden daarvan¹. Een microgrid is als volgt gedefinieerd: “een systeem van gekoppelde bronnen en verbruikers die dan wel zelfstandig dan wel gekoppeld aan een hoger net kunnen functioneren en energie kunnen uitwisselen”

Conclusies

- DC-microgrids bevinden zich wat betreft innovatiefase aan het begin van de s-curve; onzekerheden zijn groot en er bestaan verschillende meningen en beelden over de (maatschappelijke) waarde van DC-microgrids
- De Nederlandse markt voor DC-microgrids is zowel qua omvang als qua aantal spelers nog relatief klein, maar bevindt zich in een internationale kopgroep als het gaat om DC-pilots
- De toepassing en opschaling van DC-microgrids vindt plaats in een speelveld waarin AC de absolute norm is; dat bemoeilijkt de adoptie van DC-microgrids
- DC-technologie is in basis voorhanden; ontwikkelingsbehoeften zijn met name aanwezig rondom hoge en/of langdurige belasting en liggen op het vlak van betrouwbaarheid, levensduur, efficiëntie, miniaturisering en kosten
- DC-microgrids toegepast in openbare verlichtingsnetten en de glastuinbouw lijken op korte termijn de meest kansrijke toepassingsgebieden voor DC
- Op basis van de systeeminnovatiebenadering van Hekkert, worden de grootste knelpunten voor verdere ontwikkeling van DC-microgrids gevormd door het feit dat specifieke kennis bij slechts een gering aantal (markt)spelers beschikbaar is, een beperkt kennisniveau bij gewone installateurs, het geringe aantal betrokken partijen in het innovatiesysteem en de beperkte experimenteerruimte

1. De toepassingsgebieden variëren in schaalniveau van DC-microgrids binnen de schil van huizen en gebouwen (in pandig), nutsvoorziening (openbare verlichting) tot lokale elektriciteitsnetten; DC in hoogspanningsnetten valt buiten scope van deze roadmap



Conclusies en aanbevelingen (II)

Aanbevelingen

- Het is zinvol om op dit moment de ontwikkeling van DC-microgrids verder te ondersteunen, zowel rondom het onderbouwen van de maatschappelijke businesscase van DC-microgrids, als door het gericht ondersteunen van de meest kansrijke toepassingsgebieden ervan (OVL en glastuinbouw)
 - stimuleer verdere kennisontwikkeling, pilots en demonstratieprojecten die gericht zijn op het in de praktijk onderzoeken, kwantificeren en daarmee onderbouwen of falsificeren van de maatschappelijke businesscase; op deze manier kunnen de bestaande onzekerheden worden weggenomen
 - ondersteun op de korte termijn de verdere ontwikkeling van de meest kansrijke toepassingsgebieden voor DC-microgrids: openbare verlichtingsnetten (OVL) en glastuinbouw; deze niches kunnen als het ware dienen als 'stepping stones' voor bredere ontwikkeling en toepassing van DC-microgrids
- Voer een evaluatie uit van deze roadmap na 3-5 jaar
- Creëer extra ruimte in wet- en regelgeving om te kunnen experimenteren; met name voor experimenten in publieke elektriciteitsnetten moet het makkelijker worden om tijdelijk en plaatselijk wet- en regelgeving te verruimen
- Ontwikkel vakopleidingen vermogenselektronica toegespitst op DC-toepassingen of de toepassing hiervan in DC-microgrids; vermogenselektronica is immers het bouwblok voor het elektriciteitssysteem van de toekomst en daarmee dus ook voor DC-microgrids
- Ondersteun het afdekken van financiële projectrisico's als geïnvesteerd wordt in DC-toepassingsgebieden; onzekerheden en risico's zijn in de huidige ontwikkelfase namelijk nog groot



Inhoudsopgave

Conclusies en aanbevelingen

	Pag.
1. Inleiding	
• Achtergrond en doel	6
• Scope van de roadmap	8
• Aanpak en werkwijze	11
2. Markt- en technologie	
• Huidige DC markt in Nederland	13
• Drijvende factoren voor DC	14
• Voordelen van DC	15
• Technologieontwikkelingen DC	16
3. Roadmap DC	
• Interessante toepassingsgebieden en toekomstbeelden DC	18
• Tijdslijn DC met mijlpalen, drivers, innovaties en acties	26
• Belangrijkste knelpunten voor verdere ontwikkeling	27
• Actieplan	31
4. Internationale kansen	35
5. Bijlage	38



1

Inleiding



RVO en TKI Urban Energy zien behoefte aan een handelingsperspectief voor DC voor bedrijven en investeerders

Door groeiende toepassing van gelijkspanning in (huishoudelijke) apparatuur en duurzame opwek...

Elektriciteitsnetwerken zijn aangelegd volgens wereldwijde standaard: wisselspanning (AC); tegenwoordig werken steeds meer apparaten op gelijkspanning (DC)

- Door de opkomst van elektronica, batterijtechnologie en DC-elektromotoren, werkt bijna elk (huishoudelijk) elektrisch apparaat intern op gelijkspanning: computers, televisies, LED-lampen, vaatwassers, etc.
- Door de opkomst van warmtepompen en elektrisch vervoer (ook DC) zal het gebruik van elektriciteit toenemen

Daarnaast nemen duurzame bronnen in de stroomproductie een grote vlucht

- Denk bijvoorbeeld aan zonnepanelen (intern DC) en stroom uit offshore windparken die steeds vaker via DC-kabels aan land komt

... zien RVO en TKI Urban Energy behoefte aan een handelingsperspectief voor DC

RVO en TKI Urban Energy zien met het oog op hiernaast genoemde ontwikkelingen een grote behoefte aan een handelingsperspectief voor DC voor bedrijven en investeerders

- Dat handelingsperspectief is gebaat bij een goed inzicht in het potentieel van DC in Nederland, een gedragen en gedeelde visie op de toekomstige ontwikkelingen en kansen en een roadmap waarin beschreven staat hoe het potentieel voor DC tot stand kan komen

Om deze reden heeft RVO aan Berenschot gevraagd om een Roadmap Gelijkspanning (DC) ten behoeve van de TKI Urban Energy op te stellen



Doelstelling van deze roadmap is het geven van inzicht in de toekomstige ontwikkelingen op het gebied van DC in Nederland

Doelstelling van deze roadmap is het geven van inzicht in de verwachte ontwikkelingen op het gebied van DC in Nederland

- Op basis daarvan kan de TKI Urban Energy bepalen of en op welke onderdelen/onderwerpen eventuele ondersteuning gewenst is

Daartoe worden de volgende elementen in beeld gebracht

- Een gedegen inschatting van de drijvende factoren achter de toepassing van DC
- Relevante trends en ontwikkelingen voor DC op technisch, economisch, sociaal en juridisch gebied
- Knelpunten en uitdagingen rondom het gebruik en de verwachte toekomstige groei van DC
- Acties die knelpunten en belemmeringen kunnen wegnemen
- Het toekomstige potentieel voor DC in Nederland (2035 en doorkijk naar 2050) en hoe dat in de tijd bereikt kan gaan worden
- De internationale ontwikkelingen voor DC waar Nederland een bijdrage aan kan leveren en de mate waarin er kansen zijn voor de export



In dit document beschouwen we 'DC-microgrids' en de vermogenselektronica daarin; we kijken naar een aantal specifieke toepassingsgebieden van DC-microgrids

In dit document bedoelen we met DC: 'microgrids op DC' en de vermogenselektronica daarin

Als we in dit document spreken over 'Roadmap DC', hebben we het in feite over 'microgrids op DC' en over de mogelijkheden van vermogenselektronica daarin

We gebruiken de volgende definitie van een microgrid:
"een systeem van gekoppelde bronnen en verbruikers die dan wel zelfstandig dan wel gekoppeld aan een hoger net kunnen functioneren en energie kunnen uitwisselen"

Zowel de 'markt' van DC (*market pull*) als de technologie (*technology push*) vallen binnen scope

- Met de 'markt' van DC bedoelen we bijvoorbeeld de voor- en nadelen van DC en de (maatschappelijke) businesscase
- Met de technologie bedoelen we technologie die relateert aan een microgrid; te denken is aan omvorm-, schakel- en sturingstechnologie¹

We beschouwen een aantal specifieke toepassingsgebieden

DC in zijn algemeenheid betreft een grote deelverzameling van ontwikkelingen en toepassingen; de scope van de roadmap betreft daarom een aantal specifieke toepassingsgebieden:

- Openbare verlichting (OVL-net)
- Glastuinbouw
- Datacenters
- Snelladen binnen de stad
- Utiliteitsbouw met een in pandig DC-net
- Woningen met een in pandig DC-net
- Lokaal DC-net naar bedrijven / woningen

Deze roadmap richt zich op toepassingen op laag- en middenspanningsniveau; hoogspanning is buiten scope

1. Technologieën als DC-motoren, LEDs, elektrolyseapparatuur, zonnepanelen en batterijen (niet direct relaterend aan de technologie van een microgrid zelf) vallen qua inhoudelijke uitwerking buiten scope van deze roadmap



De toepassing van DC-microgrids vindt plaats in een omgeving waarin AC de absolute norm is; dat bemoeilijkt opschaling

Het Nederlandse elektriciteitsnet werkt op vrijwel alle niveaus met AC

Het elektriciteitsnet is een 'brownfield' AC-speelveld, van het midden- en laagspanningsnet tot achter de meter

- Al meer dan 100 jaar is AC de wereldwijde standaard
- Componenten zijn goedkoop, betrouwbaar en relatief eenvoudig

De elektriciteitswet, maar ook de onderliggende net-, meet- en tarievenscodes, zijn grotendeels geënt op AC

- Binnen het Nederlandse elektriciteitssysteem op AC is geen ruimte voor uitzonderingen, daar de netcode geen uitzondering toestaat; dit bemoeilijkt de toepassing van DC

Experimenten met DC nog beperkt mogelijk; geen normen en standaarden vastgesteld voor DC

Er kan met DC geëxperimenteerd worden zolang dit binnen één installatie, achter de aansluiting gebeurt

- Knelpunten ontstaan indien verschillende installaties met elkaar worden verbonden en een netwerk ontstaat dat beheerd moet worden door een netbeheerder

Er zijn nog weinig normen en standaarden voor DC

- Tevens is het nog onduidelijk hoe DC gemeten en verrekend moet worden; ook daarvoor bestaat nog geen norm. De huidige (slimme) meters zijn hier niet geschikt voor en andere meters zijn nog niet toegelaten
- Standaarden voor gebruiksapparatuur zijn nog nauwelijks ontwikkeld, zoals stekkers en stopcontacten. DC-consumentenapparatuur is nog nauwelijks beschikbaar (met uitzondering van USB-C)
- Een werkgroep van de Technische NEN 1010-commissie werkt op dit moment aan nieuwe bepalingen voor DC



DC-microgrids bevinden zich wat betreft innovatiefase aan het begin van de s-curve; onzekerheden zijn groot en meningen lopen op een aantal punten nog vaak sterk uiteen

Onzekerheden zijn groot en meningen lopen uiteen...

De snelheid van ontwikkelingen in de vermogenselektronica maakt vooruitkijken erg lastig

- Dit geldt voor de lange termijn (>10 jaar), maar ook voor de kortere termijn

DC is geen revolutie die plotseling komt en alle AC vervangt

- Het gaat over nieuwe mogelijkheden met DC, als gevolg van ontwikkelingen in vermogenselektronica en vanwege de huidige DC-toepassing in bijvoorbeeld (huishoudelijke) apparaten, EV-laden, zonnepanelen en batterijopslag.

DC microgrid toepassingen staan voor bedrijven en woningen nog in de kinderschoenen

- Nederland wordt wel als toonaangevend gezien in het uitvoeren van pilots met DC-microgrids

... waardoor het opstellen van een breed gedragen roadmap een uitdaging bleek

Bij het opstellen van deze roadmap is een uitgangspunt geweest om een zo breed mogelijk draagvlak voor de resultaten van de roadmap te bewerkstelligen

Hiertoe is een groot aantal stakeholders betrokken¹ door middel van:

- Expert interviews
- Een brede stakeholder sessie in december 2017
- Een validatiesessie in januari 2018

De algemene strekking van deze roadmap lijkt grotendeels gedeeld te worden door betrokken partijen, maar op onderdelen kunnen meningen en beelden afwijken



Om tot een zo breed mogelijk gedragen en goed onderbouwde technology roadmap te komen, hebben we een zo breed mogelijke groep stakeholders betrokken in het proces



1. Voor een overzicht van betrokken stakeholders (interviews, expertgroep en klankbordgroep), zie bijlage A en B



2

Markt en technologie



De Nederlandse markt voor DC is zowel qua omvang als aantal spelers nog relatief klein, maar bevindt zich in een internationale kopgroep als het gaat om DC-pilots

Beleid: De Nederlandse overheid is op dit moment in enige mate betrokken bij de ontwikkeling van DC (met een bestaande Green Deal DC, EZK subsidiestromen voor pilots en R&D en agendering onder de Topsector Energie (TKI UE); er zijn geen concrete beleidsdoelen

Onderzoek & onderwijs:

Er zijn verschillende onderzoeks- en onderwijsinstellingen betrokken bij DC (pilot)projecten en technologie-ontwikkeling: o.a. TU Delft, TU/e, De Haagse Hogeschool, TNO, HAN, TVVL, Zuyd Hogeschool

Industrie:

Het aantal bedrijven dat zich bezighoudt met DC in Nederland is nog relatief klein. De meest actieve en prominente ondernemingen bevinden zich in het MKB. Grote technologiebedrijven geven overwegend aan nog niet grootschalig op DC in te zetten maar de ontwikkelingen wel te volgen. Een overzicht van koplopers wordt gegeven in bijlage C

Marktvraag:

Het aantal commerciële DC-projecten is nog zeer gering. Op dit moment lijkt er vooral vraag te zijn naar meer praktijktoepassingen van DC in pilot- en demonstratieprojecten

Ondersteunende organisaties: In Nederland zijn er diverse ondersteunende organisaties actief, zoals de Stichting Gelijkspanning, KIEN en de TKI UE

De DC-markt in Nederland is relatief klein, maar wel vooruitstrevend wat betreft pilots

- De markt voor DC is zowel qua omvang als aantal spelers nog relatief klein en kan gekarakteriseerd worden als een nichemarkt
- De meest actieve en prominente ondernemingen bevinden zich in het MKB
- Er lijkt vooral vraag te zijn naar meer praktijktoepassingen van DC in pilot- en demonstratieprojecten
- Onder experts heerst het gevoel dat Nederland zich in een internationale kopgroep bevindt op basis van de bestaande bedrijvigheid rondom DC; met name wat betreft DC-pilots



De ontwikkelingen in (vermogens)elektronica, IT, lokale en flexibele energieopwek en -verbruik vormen drijfveren voor de toekomstige toepassing van DC-microgrids

Eindgebruik steeds meer DC

Door toevoeging van elektronica aan veel producten wordt het eindgebruik steeds meer DC. Bijna alle huishoudelijke apparaten werken intern op DC; denk hierbij aan laptops, tv's, wasmachines, LED-lampen, etc.

Datacenters zijn pure elektronica en lopen daarom vaak voorop in de toepassing van DC. Hierdoor worden standaarden gecreëerd die ook navolging kunnen krijgen bij andere DC-toepassingen.



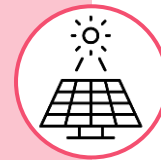
DC-vermogenslektronica wordt steeds goedkoper en efficiënter

De vooruitgang in vermogenslektronica maakt DC toepasbaar bij steeds grotere vermogens en grotere systemen. Deze componenten worden steeds goedkoper en efficiënter (Nota bene: vermogenslektronica is ook nuttig voor AC systemen).



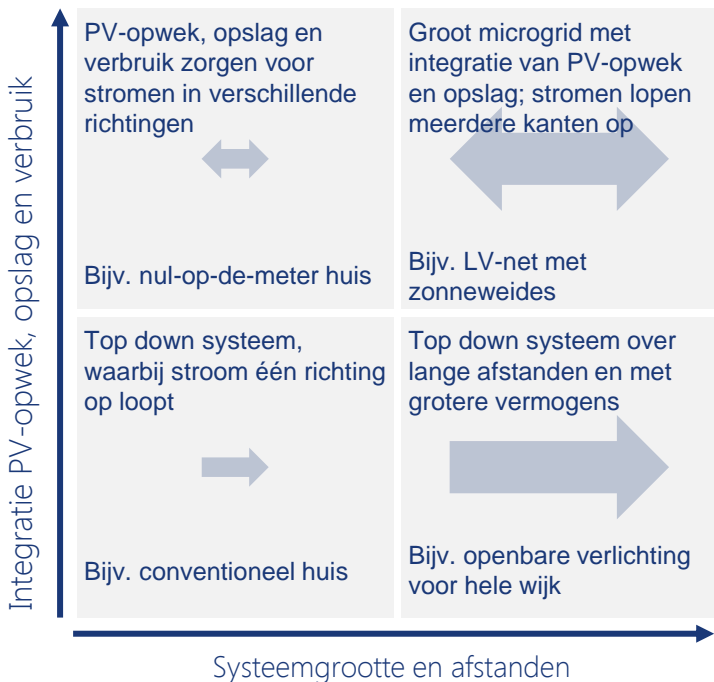
Decentrale energieopwekking (ten dele DC) vraagt om slim energiemanagement

Bij decentrale energieopwekking zullen vraag en aanbod al lokaal beter op elkaar afgestemd moeten worden d.m.v. slim energiemanagement. Daarnaast werkt mogelijk een deel van zo'n systeem op DC: PV panelen wekken DC-stroom op en batterijen slaan DC-stroom op. Om energieverliezen te verkleinen kan een deel van de omvormingsstappen worden vermeden wanneer het microgrid ook DC is. Dit zien we al vaker terug in stand-alone microgrids met hun eigen energieopwekking.



De voordelen van DC zijn situatieafhankelijk: DC-microgrids worden interessanter naarmate PV-opwek, opslag en verbruik worden geïntegreerd en het DC-microgrid groter wordt

Verschillende systeemsituaties DC op basis van systeemintegratie en grootte



DC interessanter bij grotere systemen en vergaande integratie van PV-opwek, opslag en verbruik

- ↔ Systeemintegratie van PV-opwek, opslag en verbruik
Hoe groter de integratie van PV-opwek en flexibele opslag en verbruik (allen DC) des te vaker de stroom van richting verandert en omgevormd zou moeten worden. Bij een DC-microgrid worden alle tussengelegen AC/DC en DC/AC omvormingsstappen vermeden. Dit kan leiden tot een grotere energie-efficiëntie van het microgrid ten opzichte van AC
- ➔ Systeemgrootte en afstanden
Bij toenemende afstand worden kabelverliezen bij DC kleiner dan bij AC en kan materiaalgebruik minder worden door toepassing van dunnere kabels; bij gelijkblijvende diameter kabel heeft DC een grotere capaciteit en kan dan een groter vermogen distribueren

Overige onafhankelijke voordelen: levensduurverlenging, ruimtebesparing en comfort/esthetiek

Belangrijkste punt van aandacht: schakelbaarheid, bij grotere vermogens wordt dit ingewikkelder en neemt dit vaak meer ruimte in dan bij AC-systemen



DC-technologie is in basis voorhanden; ontwikkelingsbehoeften liggen met name bij hoge en/of langdurige belasting in betrouwbaarheid, levensduur, efficiëntie, miniaturisering en kosten

Technologische ontwikkelbehoeften voornamelijk gerelateerd aan de mate van belasting

Door experts is aangegeven dat DC-technologie t.b.v. van DC-microgrids reeds in basis voorhanden is

- De meest relevante technologische ontwikkelingsbehoeften zijn gelegen in:
 - omvormercomponenten
 - schakelaars, beveiliging en aarding
 - controle en stuurbaarheid
 - kabels
- Onderscheidend element hierbij is de mate van belasting
 - hoog en langdurige belaste componenten hebben nog een lagere Technology Readiness Level (TRL)

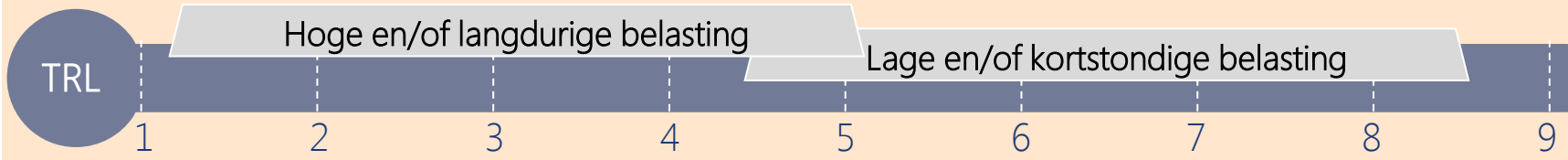
Verbetering gewenst op betrouwbaarheid, levensduur, efficiëntie, miniaturisering en kosten

Voor vrijwel alle technologie geldt dat er verdere ontwikkeling gewenst is op het gebied van:

- Levensduurverlenging
- Betrouwbaarheid
- Efficiëntie
- Miniaturisering

Ontwikkelingen op deze onderdelen moeten uiteindelijk leiden tot kostenreductie en prijsdaling

Illustratief voorbeeld van verschil in TRL



3

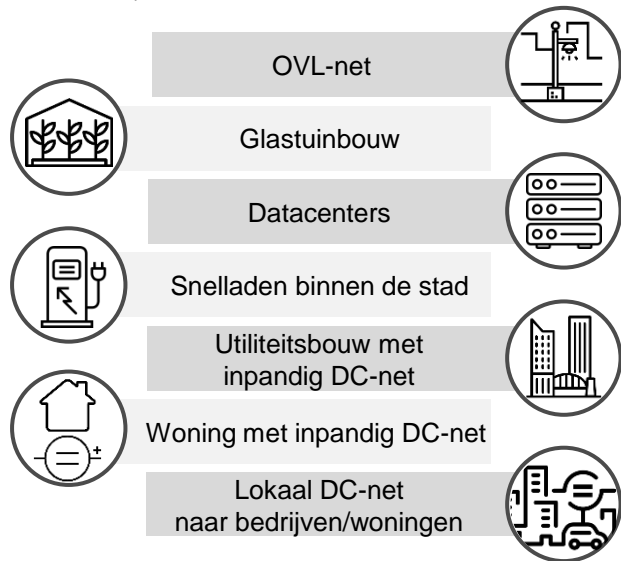
Roadmap DC



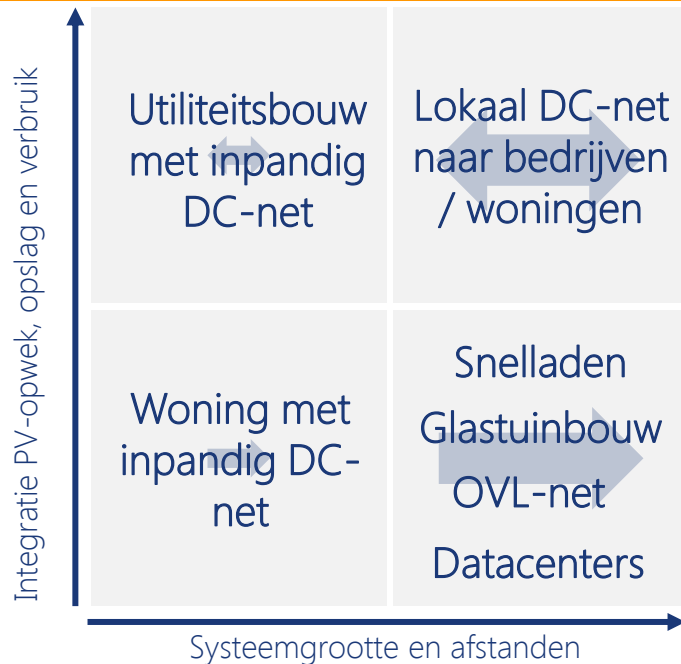
We kijken naar 7 interessante toepassingsgebieden voor DC-microgrids die op basis van de interactieve stakeholder sessie zijn geïdentificeerd

Expertselectie van toepassingsgebieden met mogelijk potentie voor DC ...

In de interactieve stakeholder sessie hebben de experts een zevental interessante toepassingsgebieden benoemd; deze lijst is niet uitputtend, maar is een eerste shortlist



... en met verschillende systeemgrootte en mate van integratie



Een DC OVL-net biedt voordelen voor slimme aansturing en energiebesparing; dit is in lijn met het Energieakkoord, waardoor in 2025 een aanzienlijk deel van het OVL-net DC kan zijn

Openbare verlichtingsnet (OVL-net)

Een (uitpandig) OVL-net met DC-armaturen (bijv. LEDs) die zijn aangesloten op een DC solonet¹ met een centrale AC/DC omzetting; mogelijk met koppelingen met zonnepanelen en laadpunten

Voordelen DC t.o.v. AC

- ✓ **Eenvoudiger integratie slimme aansturing:** individueel dimmen van lantaarnpalen via powerline communicatie is eenvoudiger met DC
- ✓ **Energiebesparing:** rond de 5% energiebesparing mogelijk door centrale AC/DC omvorming (invoering energiemanagement en LEDs levert mogelijk totale energiebesparing tussen 40 – 70%)
- ✓ **Materiaalbesparing en levensduur:** grotere netcapaciteit bij zelfde diameter kabels of kabels met een kleinere diameter (koperbesparing); daarnaast zijn er minder voedingskasten nodig en kennen componenten een langere levensduur
- ✓ **Veiligheid:** geen kortsluitvermogen en wel aardlekbeveiliging

De toepassing van DC in OVL-netten ondersteunt de doelstellingen uit het Energieakkoord

DC in OVL-netten wordt op kleine schaal al commercieel toegepast. Gemeenten zijn de belangrijkste actoren voor het OVL-net. Doelstellingen voor OVL uit het Energieakkoord zijn:

- 50% energiebesparing in OVL in 2030 t.o.v. 2013 d.m.v. LEDs
- in 2030 moet het OVL-net voorzien zijn van slim energiemanagement (schakelen/dimmen en smart city toepassingen)

DC biedt voordelen bij het behalen van deze doelstellingen, doordat het extra energiebesparing kan opleveren, er sprake is van minder omzetting en energieverlies, en doordat slim energiemanagement makkelijker toepasbaar is dan bij AC. De energiebesparing van het DC-systeem is groter als er koppelingen aanwezig zijn met lokale PV-opwek en opslag en bijv. elektrisch laden (centrale omvorming i.p.v. decentraal). Ook het slim managen van deze koppelingen is bij DC eenvoudiger. Mede door de doelstellingen uit het Energieakkoord is de verwachting dat vanaf 2025 een aanzienlijk deel van het OVL-net DC kan zijn.



1. In de toepassing van DC in het OVL-net wordt een onderscheid gemaakt tussen combikabels (voeden naast OVL ook woningen en gebouwen; ca. 65%) en solokabels (voeden alleen OVL; ca. 35%). DC wordt m.n. kansrijk geacht voor deze laatste categorie. Gegevens op basis van gesprekken (Citytec, Alliander), de stakeholdersessies en bronnen (zie bijlage D: 1,2)



Pilot in glastuinbouw laat positieve businesscase voor DC zien door langere levensduur, materiaal- en energiebesparing; DC kan visie voor klimaatneutrale glastuinbouw ondersteunen

Glastuinbouw

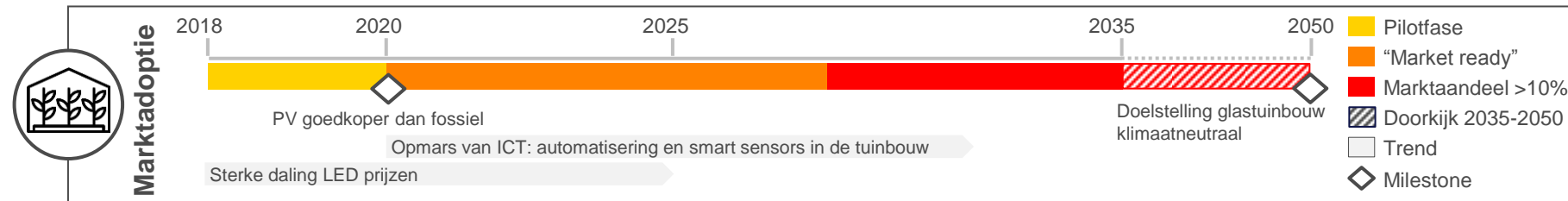
Glastuinbouwkassen met een in pandige DC-elektriciteitsinstallatie met één centrale AC/DC omzetting waarop de verlichtingsinstallatie met DC-armaturen (SON-T of LED) en mogelijk WKK zijn aangesloten

Voordelen DC t.o.v. AC

- ✓ **Langere levensduur van armaturen:** door gebruik van dunne film condensatoren i.p.v. elektrolytische condensatoren kunnen componenten worden gebruikt met een langere levensduur
- ✓ **Eenvoudiger integratie slimme aansturing:** individueel dimmen van armaturen via powerline communicatie is eenvoudiger met DC
- ✓ **Materiaalbesparing:** gebruik van kabels met een kleinere diameter mogelijk (koperbesparing)
- ✓ **Energiebesparing:** centrale omvorming zorgt voor minder energieverliezen dan lokale omvorming per lamp (2-3%)

DC in glastuinbouw kan snel uit de pilotfase komen; verdere groei mogelijk door vraag naar sensoren en PV

Er is Nederland een eerste succesvolle pilot afgerond die een positieve business case laat zien; de pilot wordt nu op grotere schaal voortgezet. Bij nieuwbouw of renovatie van kassen ontstaat een mogelijkheid om de elektriciteitsinstallatie in een kas op DC uit leggen, waarbij DC gevoede SON-T (of in de nabije toekomst LED) armaturen voordelen bieden op levensduur, materiaal- en energiebesparing en slimme aansturing. Daarnaast is een koppeling mogelijk met WKK. Zodra de kosten van LED-armaturen sterk omlaag gaan kan er een overstap plaatsvinden naar deze lichtbron. De verwachting is dat werken met DC de kosten van LED-installaties zal verlagen, zoals ook bij SON-T. Hiermee zou verdergaande energiebesparing mogelijk zijn. Onbekend is echter nog hoe LED t.o.v. SON-T de groei van verscheidene gewassen exact beïnvloedt. In de toekomst is het gebruik van PV-panelen en de inpassing van slimme innovaties (zoals stuurbare armaturen, smart sensors) een hoge prioriteit voor de glastuinbouw. De integratie van deze technieken met een DC-microgrid kunnen de voordelen versterken.



Bij datacenters speelt DC een rol in het verminderen van het energieverbruik

Datacenters

Datacenter met in pandig DC-microgrid, waarbij een centrale AC/DC omvormer rechtstreeks de DC-apparatuur voedt (servers, koelapparatuur, verlichting, etc.). Overige apparatuur wordt gevoed vanuit een parallel AC-microgrid.

Voordelen DC t.o.v. AC¹

- ✓ **Energiebesparing:** Mogelijk 10% minder energieverbruik door centrale AC/DC omvorming, daarnaast minder koelvermogen
- ✓ **Ruimtebesparing:** ~25% door vervanging van losse omvormers in de servers met één centrale omvormer
- ✓ **Verkleinen storingskans:** doordat er minder componenten nodig zijn is de kans op uitval kleiner

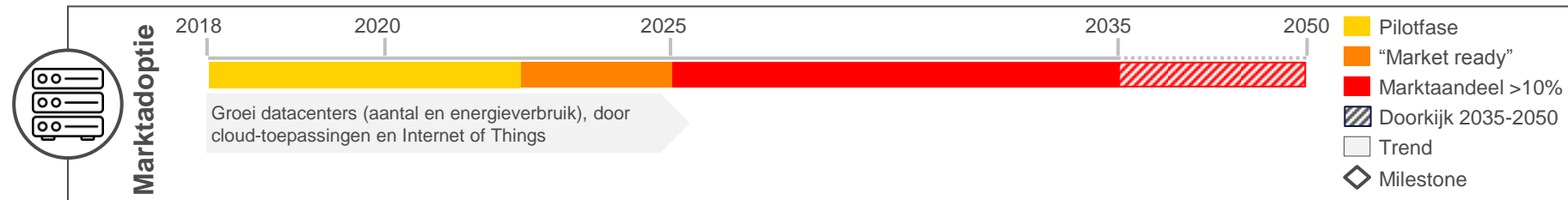
Implementatie van DC in datacenters² met name relevant voor vermindering energieverbruik

In Nederland zijn er nog geen datacenters op DC, maar in Zwitserland en Duitsland zijn twee voorbeelden bekend die voordelen laten zien van het gebruik van een DC-microgrid in een datacenter.

Energiebesparing levert direct een significante kostenbesparing op voor datacenters en veel onderzoek richt zich dan ook op het efficiënter maken van datacenters. Door een sterke groei in datagebruik en internetdiensten (cloud en IoT) blijft het energieverbruik van datacenters in Nederland stijgen met ca. 3% per jaar tot mogelijk 2,6 TWh in 2030.

DC biedt daarbij mogelijk nog voordelen in ruimtebesparing, doordat er geen omvormers in de servers meer nodig zijn. Daarnaast kan DC voordelen bieden voor de opschaalbaarheid van datacenters; door toepassing van DC kan het datacenter meer modulair worden opgebouwd.

Tot slot zijn er ook voorbeelden van zonneweides die aan datacenters gekoppeld worden. Hierbij is een DC-microgrid voordelig omdat er minder omvormingsstappen nodig zijn tussen de PV-panelen en het datacenter.



1. Cijfers gebaseerd op Green datacenter ABB in Zwitserland. 2. Vooral innovatieve datacenters (enterprise en cloud) met een eigen beheer worden hiervoor kansrijk geacht. Overige gegevens op basis van gesprekken (Green IT Amsterdam), de stakeholdersessies en andere bronnen (zie Bijlage D: 6,7)



Snelladen binnen de stad is lastig door ruimtegebrek, onderzocht moet worden of DC-snellaadstations compact de grote vermogens kunnen leveren

Snelladen binnen de stad

De toepassing van DC-microgrids rondom snellaadmogelijkheden (snellaadstations) in stedelijk gebied. Hierbij wordt vanuit een centrale AC/DC omvormer een DC-microgrid en de hierop aangesloten laadinfrastructuur gevoed.

Voordelen DC t.o.v. AC

- ✓ **Ruimtebesparing:** aanzienlijke verkleining van de installatie (laadpaal) door te werken met een centrale AC/DC omvormer (en daardoor ook kostenbesparing)
- ✓ **Energiebesparing:** minder verliezen door één centrale AC/DC-omvormer te gebruiken i.p.v. één per laadpaal
- ✓ **Materiaalgebruik:** minder omvormers nodig

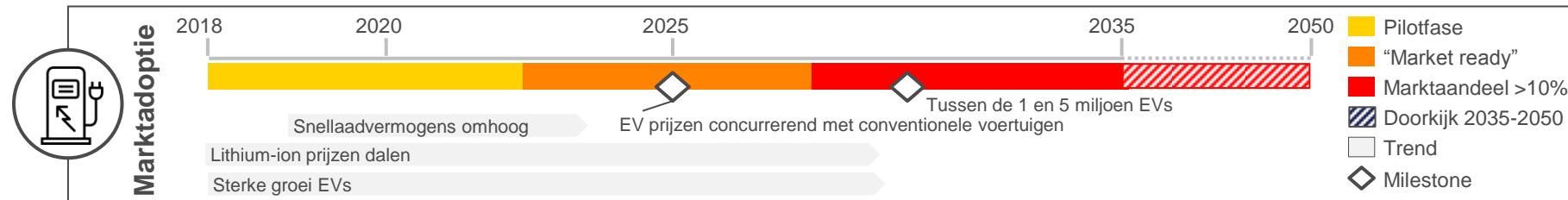
Een DC-snellaadstation kan mogelijk grote vermogens leveren met weinig ruimtebeslag

Verwacht wordt dat rond 2025 EV's op een prijsniveau komen dat concurrerend is met conventionele voertuigen. Naar schatting zijn er in 2030 tussen de 1 en 5 miljoen EV's in Nederland. Hiervoor is in de komende jaren de aanleg van een dekkende laadinfrastructuur benodigd.

Op dit moment zijn marktpartijen als FastNed en Tesla al actief in het plaatsen van laadpalen en het ontwikkelen van snellaadstations, nu vooral nog buiten de stad. Snelladen binnen de stad vormt in de praktijk een grotere uitdaging, onder meer vanwege de gerelateerde grotere belasting op het bestaande net en de beperkt beschikbare ruimte.

De laadpalen van een DC-snellaadstation in een DC gevoed microgrid kunnen mogelijk compacter zijn dan AC-varianten. Op die manier zouden DC-snellaadstations eenvoudiger in dichtbebouwde gebieden geplaatst kunnen worden.

De komende jaren zullen pilots- en demonstratieprojecten verduidelijkend kunnen bieden in de toepasbaarheid van dit concept binnen de stad.



In de utiliteitsbouw met veel DC-aanbod en -vraag, biedt DC voordelen voor energiebesparing; de toepassing van DC kan een bijdrage leveren aan de ambities in Energieakkoord

Utiliteitsbouw met in pandig DC-net

Nieuwbouw of grootschalig renovatie van gebouwen waarbij DC-bronnen (m.n. PV), batterijopslag en DC-gebruikers (apparaten, verlichting, warmtepompen, EV-laden, etc.) worden gekoppeld in een in pandig DC-net, mogelijk parallel met een AC-net.

Voordelen DC t.o.v. AC

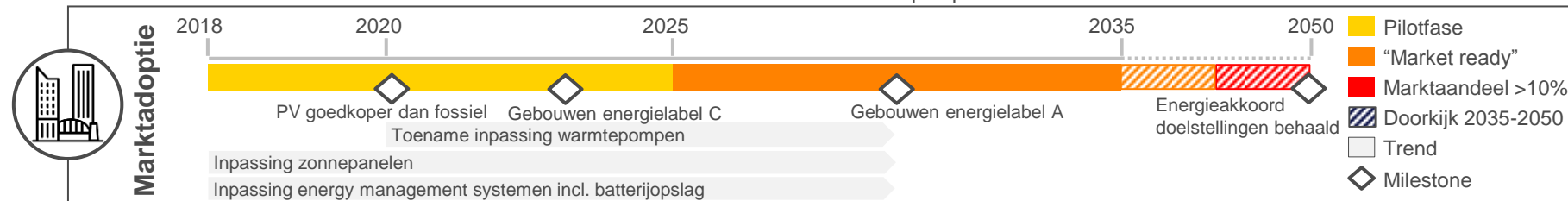
- ✓ **Energiebesparing:** door minder conversieverlies, vooral met directe koppelingen met PV, verlichting, warmtepompen, en EV
- ✓ **Materiaalbesparing:** minder adapters, daarnaast kan een in pandig laagspanning DC-net op (bijv. 48V) isolatie uitsparen voor apparaten op lage spanning
- ✓ **Eenvoudiger integratie slimme aansturing:** individueel aansturen van apparaten is eenvoudiger met DC door powerline communicatie
- ✓ **Comfort:** minder adapters en gemakkelijk individueel aanstuurbare verlichting en apparaten

Het Energieakkoord stimuleert energiebesparing in utiliteitsbouw; DC kan hier een rol in spelen

Er zijn in NL enkele voorbeelden van gebouwen die deels op DC zijn uitgerust. De ambities voor de gebouwde omgeving in het Energieakkoord zijn:

- een energie-neutrale gebouwde omgeving 2050. Als tussenstap dienen in 2030 alle gebouwen over een energielabel-A te beschikken. Vanaf 2023 geldt voor kantoren een energielabel-C verplichting

In de komende jaren zijn energiebesparende maatregelen nodig om deze doelen te behalen - met name door het gebruik van hernieuwbare energie en energieopslag, elektrische warmtepompen, LED's en slimme aansturing. In de integratie van deze innovaties kan een DC-microgrid interessant zijn. Energiebesparing wordt gerealiseerd middels directe koppeling van DC-bronnen en -verbruikers. De toepassing van DC-architectuur biedt daarnaast ook mogelijke voordelen m.b.t. de herinrichting van gebouwen. De verwachting is dat groei van DC in dit toepassingsgebied relatief langzaam verloopt – omdat de voordelen pas zichtbaar zijn met grootschalige overstap naar PV, EV en warmtepompen.



Het gebruik van een in pandig DC-net in woningen wordt interessanter (meer energiebesparing) naarmate er meer decentrale opwekking en inpassing van warmtepompen is

Woning met in pandig DC-net

Nieuwbouw of grootschalige renovatie van woningen waarbij DC-bronnen (m.n. PV), batterijopslag en DC-gebruikers (apparaten, verlichting, warmtepompen, EV-laden, etc.) worden gekoppeld in een in pandig DC-net, mogelijk parallel aan een AC-net.

Voordelen DC t.o.v. AC

- ✓ **Energiebesparing:** (3-5%) door minder conversieverlies, vooral middels directe koppelingen met zon-PV, warmtepompen en EV
- ✓ **Materiaalbesparing:** minder adapters, daarnaast kan een in pandig laagspanning DC-net op (bijv. 48V) isolatie uitsparen voor apparaten op lage spanning
- ✓ **Eenvoudiger integratie slimme aansturing:** individueel aansturen van apparaten is eenvoudiger met DC door powerline communicatie
- ✓ **Comfort:** minder adapters en gemakkelijk individueel aanstuurbare verlichting en apparaten

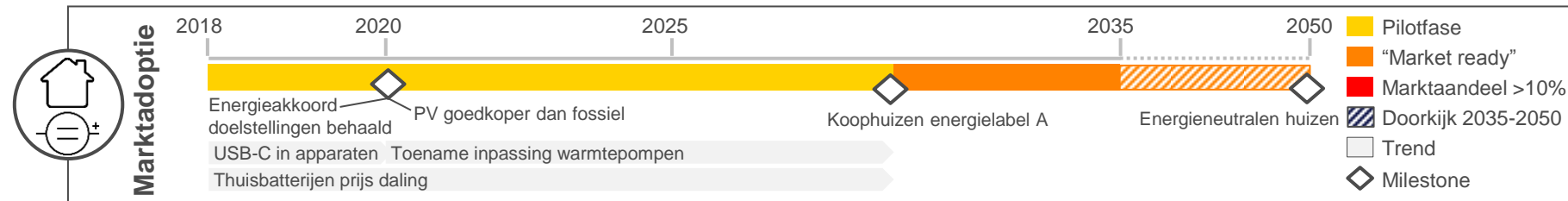
Het Energieakkoord is een trigger om huizen te verduurzamen; DC kan hier een rol in spelen

Een aantal pilots zijn onderweg met huizen die deels of volledig beschikken over een (in pandig) DC-net; de businesscase is nog onduidelijk. In het Energieakkoord zijn de volgende ambities voor woningen geformuleerd:

- In 2020 moeten alle nieuwbouw voldoen aan de eisen van 'bijna energieneutrale gebouwen'; in 2030 heeft het gemiddelde koophuis het energielabel-A; in 2050 zijn alle huizen energieneutraal

Om deze doelen te realiseren is verder gebruik van (decentrale) hernieuwbare energie en de toepassing van energiebesparende maatregelen benodigd. Wanneer combinaties van zon-PV, energieopslag, elektrische warmtepompen en bijv. EV's een grotere rol gaat spelen in huizen, wordt in dit kader de directe koppeling met een (in pandig) DC-net interessant om energie te besparen.

Aangezien de combinatie van deze toepassingen commercieel gezien nog ver in de toekomst ligt, is de verwachting dat dit toepassingsgebied pas op de lange termijn mogelijk interessant wordt voor DC-microgrids.



In de verre toekomst kunnen lokale DC-netten ontstaan door het verbinden van DC-microgrids, waarbij energiestromen beter stuurbaar zijn

Lokaal DC-net naar bedrijven / woningen

Een lokaal uitpandig DC-laagspanningsnet in de vorm van een tweede parallel DC-net naast een AC-net. Dit net kan gekoppeld worden aan andere DC-laagspanningsmicrogrids in de buurt.

Voordelen DC t.o.v. AC



Stuurbaarheid van complexe energievraag en -aanbod: koppelen van verschillende DC-microgrids relatief eenvoudig doordat er minder rekening hoeft te worden gehouden met harmonischen



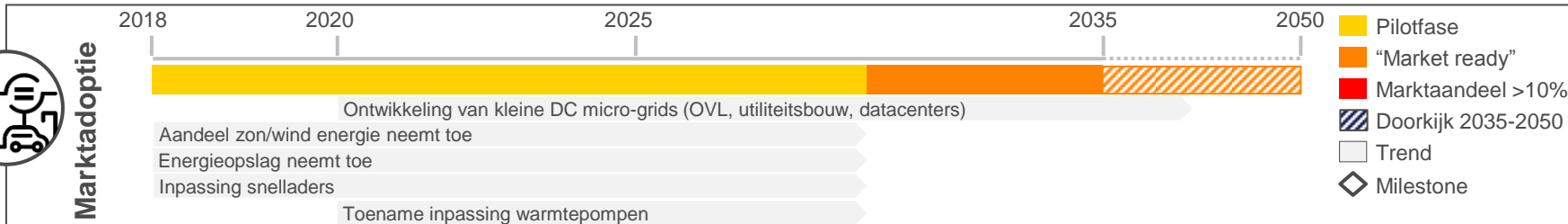
Mogelijk andere voordelen zijn gelegen in materiaalbesparing en energiebesparing: dunnere kabels, minder omvormingsstappen

Toekomstige complexe energievraag en -aanbod zou met een lokaal DC-net eenvoudiger te integreren zijn

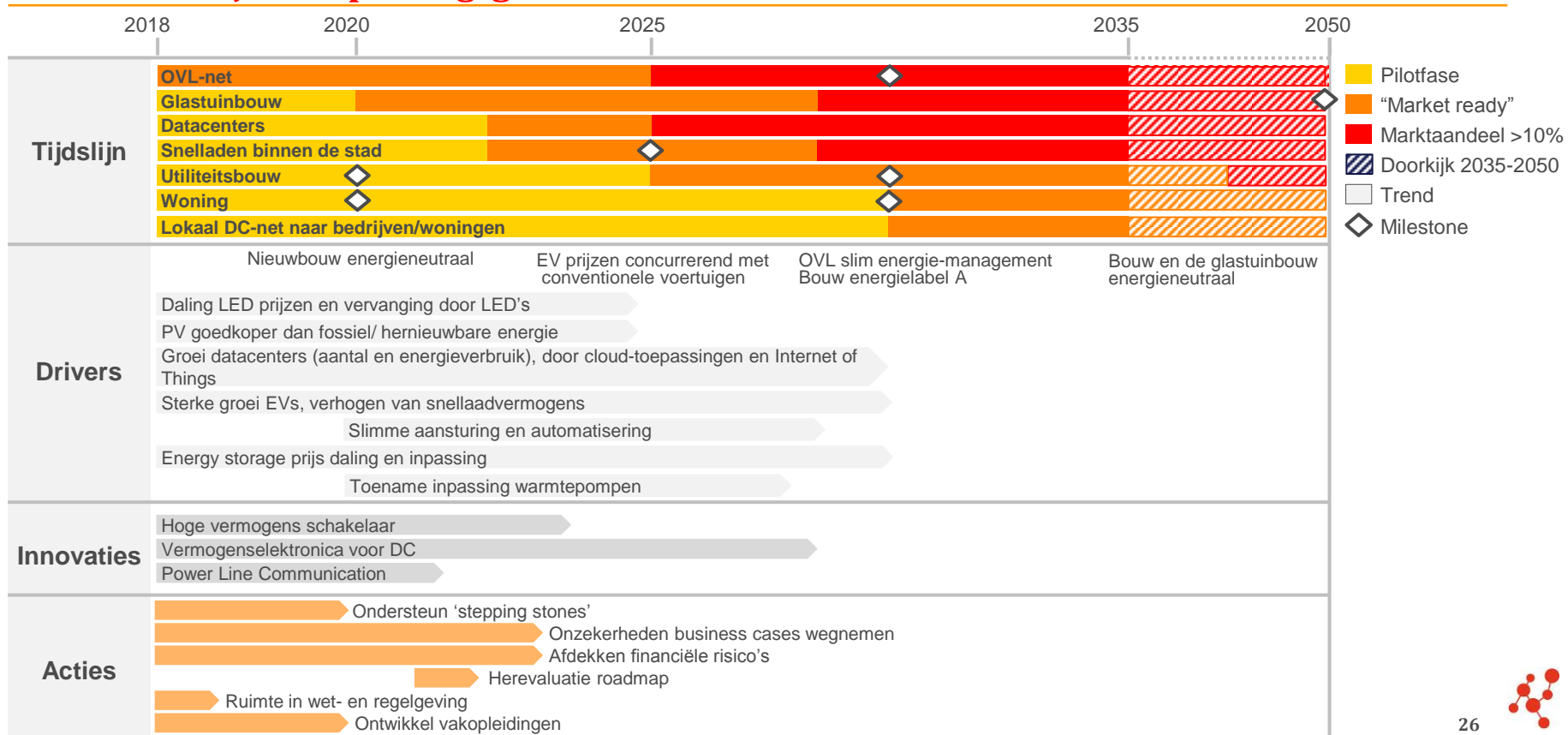
Een pilot voor een lokaal DC-net is aanstaande op het bedrijventerrein van Lelystad Airport. Ondanks deze geplande eerste pilot zijn nog niet alle exacte voordelen bekend die lokale DC-netten in de praktijk bieden.

Wel zijn lokale (dan wel landelijke) DC-netten een veel gehoord eindbeeld als het gaat over de toekomst van DC. DC-microgrids zouden goed de verbinding kunnen leggen tussen de lokale en grillige energieopwekking en de variabele en groeiende elektriciteitsvraag door warmtepompen en EV's. Lokale DC-microgrids kunnen relatief eenvoudig aan elkaar gekoppeld worden en dit smart grid zou de onbalans in het energiesysteem lokaal kunnen oplossen.

Op de korte en middellange termijn wordt een 'eerste' net (geen AC meer en alleen maar DC) niet kansrijk geacht. Het gaat dus altijd om een parallel net. Een lokaal tweede parallel DC-net zal volgens experts waarschijnlijk eerder bij bedrijven dan in de consumentenmarkt worden aangelegd.



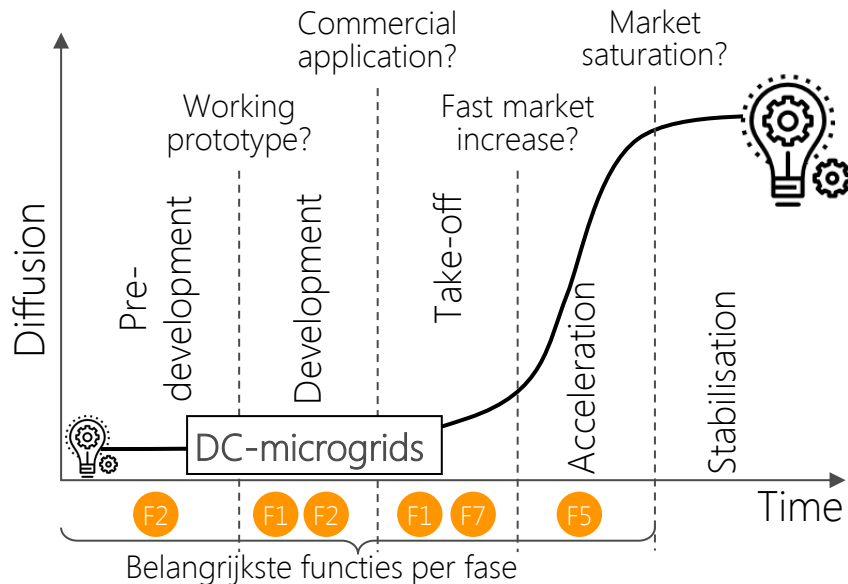
DC-microgrids toegepast in OVL-netten en de glastuinbouw zijn op korte termijn de meest kansrijke toepassingsgebieden voor DC



Innovatiebenadering van Hekkert: stimulering van kennisontwikkeling en creëren van experimenteerruimte zijn essentiële functies in de 'development' fase van DC

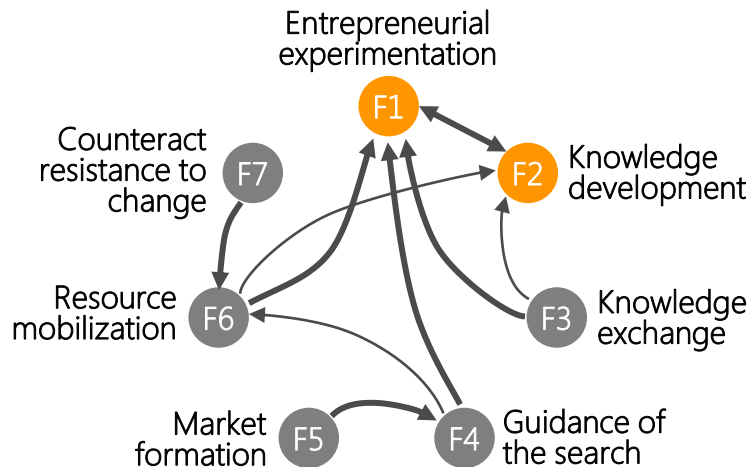
DC-microgrids bevinden zich over het algemeen in de 'development' fase ...

DC is in de 'development' fase: er zijn prototypes, maar over het algemeen nog geen commerciële toepassingen



... belangrijk is dan versterking van Entrepreneurial experimentation en Knowledge development

Volgens de 'Technologische Innovatie Systeembenadering' (TIS) van Hekkert¹ zijn in de 'development' fase de functies *Entrepreneurial experimentation* en *Knowledge development* cruciaal voor verdere ontwikkeling; andere functies kunnen ondersteuning bieden voor verdere ontwikkeling

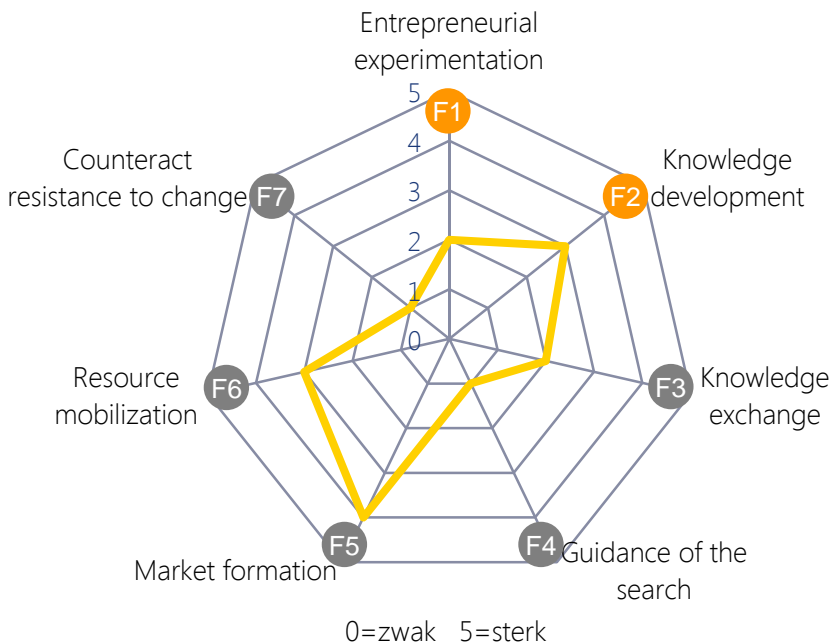


1. Technological Innovation System Analysis. A manual for analysts (Hekkert et al., 2011); zie voor een beschrijving van de functies van het systeem bijlage F



Het innovatiesysteem van DC-microgrids werkt nog niet optimaal; op bijna alle functies is verbetering mogelijk

Het innovatiesysteem van DC-microgrids werkt nog niet optimaal ...



... op bijna alle functies is verbetering mogelijk

- F1 Entrepreneurial experimentation:** aantal kleine bedrijven actief, gebrek aan industriële actoren, beperkte schaalgrootte
- F2 Knowledge development:** hoeveelheid kennis lijkt voldoende, kwaliteit/beschikbaarheid/toepasbaarheid van kennis ondermaats
- F3 Knowledge exchange:** kennisuitwisseling tussen wetenschap, industrie en eindgebruikers is beperkt
- F4 Guidance of the search:** breed gedeelde visie over DC ontbreekt, geen duidelijke beleidsdoelen
- F5 Market formation:** penetratiegraad is op dit moment klein, marktpotentieel is gigantisch
- F6 Resource mobilization:** geen gebrek aan financiering, knelpunten gelegen in kennis onder andere bij installateurs
- F7 Counteract resistance to change:** geen actieve weerstand, maar gevoel van urgentie voor overstap naar DC ontbreekt



Kennis is beschikbaar, maar slechts bij een beperkt aantal spelers, het aantal partijen in het innovatiesysteem is nog gering en daarmee ook de experimenteerruimte

Entrepreneurial experimentation en *Knowledge development* zijn de twee belangrijkste functies in de 'development' fase; knelpunten in deze functies moeten als eerste aangepakt worden voor verdere ontwikkeling van het DC-innovatiesysteem

F1

Entrepreneurial experimentation

2

Knelpunten zijn beperkte experimenteerruimte en gebrek aan aanwezigheid van grote industrie in het DC innovatiesysteem

- Innovatie en experimenten worden voornamelijk door kleinschaligere bedrijven getrokken; de grote industrie is minder betrokken bij de ontwikkelingen in DC-microgrids
 - sommige industriële partijen geven aan de ontwikkelingen wel te volgen, maar vanuit een defensieve strategie
- Hierdoor is er een gebrek aan:
 - testfaciliteiten, voornamelijk voor destructieve tests
 - grootschalige en commerciële productie van DC-componenten

F2

Knowledge development

3

Knelpunten zijn een gebrek aan kennis en kunde en aan businesscases

- Er is technische kennis beschikbaar in patenten en publicaties: technische universiteiten en hogescholen in Nederland (TU Delft, TU/e, RUG, HAN, etc.) doen actief onderzoek op het gebied van DC-microgrids. Kennis lijkt echter versnipperd.
- Specifieke DC praktijkopleidingen zijn niet op alle niveaus aanwezig; elektrotechnische docenten hebben enige kennis van DC, maar installateurs en ontwerpers worden niet specifiek opgeleid voor het werken met DC
- Er zijn nauwelijks goed onderbouwde businesscases en uitsluitend voor zeer specifieke gevallen; hierdoor is het moeilijk algemene conclusies te trekken en investeringen direct te rechtvaardigen



Overige belangrijke knelpunten zijn gelegen in gebrek aan kennisdeling, het ontbreken van een gedeelde visie en het gebrek aan urgentie voor verandering

F3

Knowledge exchange

2

- Kennis is soms wel aanwezig binnen organisaties, maar niet voorhanden over de gehele keten
- Kennisdeling over de landsgrenzen heen vindt plaats, maar draait nog om individuele inbreng: Nederlanders nemen deel aan internationale commissies en conferenties. Conferenties in Nederland worden goed bezocht vanuit het buitenland.

F4

Guidance of the Search

1

- Technische oplossingen voor de meeste toepassingsgebieden zijn niet volledig uitgewerkt en er is vaak geen gedeelde visie op het groeipotentieel; uitzonderingen zijn OVL-net en glastuinbouw
- Er zijn geen duidelijke beleidsdoelstellingen of stimuleringsmaatregelen op het gebied van DC
- Zonder standaarden zijn er weinig richtlijnen voor DC in de praktijk

F5

Market Formation

4

- Markt bestaat nu nog uit slechts enkele niches in een vroege fase van ontwikkeling
- Ontwikkeling kan in deze niches zelfstandig verder, marktgrootte is daarom geen belemmering
- Verwachte marktgrootte is niet geheel helder, maar in potentie zeer groot

F6

Resource mobilization

3

- Goed opgeleid elektrotechnisch personeel dat bekend is met DC is schaars
- Financiële middelen vormen geen significante barrière voor het experimenteren met DC
- Verzekeringen zijn moeilijk af te sluiten
- Materialen zijn voldoende aanwezig

F7

Counteract resistance to change

1

- De implementatiefase van pilotprojecten loopt soms vertraging op door belemmerende regelgeving; regelgeving buiten pilots biedt nagenoeg geen ruimte voor DC
- Er is weinig actieve weerstand tegen DC, maar vooral onverschilligheid en een gebrek aan urgentie voor verandering, door de efficiëntie van het AC systeem en de investeringen daarin

Aanpakken van knelpunten in deze vijf overige functies kan bijdragen aan het versterken van *Entrepreneurial experimentation* en *Knowledge development*.



Functie van het innovatiesysteem



Score van functie binnen het innovatiesysteem



We hebben zes actierichtingen geïdentificeerd die kunnen bijdragen aan de verdere ontwikkeling van DC-microgrids (I)

1

Ondersteun gericht de meest kansrijke toepassingsgebieden voor DC-microgrids: OVL-net en glastuinbouw

- Het feit dat er in niches al commerciële markttoepassing mogelijk is van DC-microgrids biedt kansen: door toepassing van DC in een commerciële marktomgeving, kunnen kennis en inzichten opgedaan worden die veel toevoegen aan kennis die opgedaan wordt in een meer experimentele omgeving
- Deze niches kunnen als het ware dienen als 'stepping stones' voor bredere ontwikkeling en opschaling van DC-microgrids in andere toepassingsgebieden, zowel op het gebied van kennisontwikkeling als in commerciële zin (i.e. vraag creëren voor producten, zodat levering van componenten beter op gang komt).
- Het OVL-net is het enige toepassingsgebied waar DC al commercieel wordt toegepast; om de ontwikkeling van DC-microgrids hier verder te stimuleren, is vooral behoefte aan acties die bijdragen aan het vergroten van de betreffende toepassing in de praktijk:
 - onbekend maakt onbemind: stimuleer actief verdere kennisdeling omtrent DC in OVL-netten door bijvoorbeeld publicaties, workshops, presentaties, etc.
 - Maak DC (deels) onderdeel van publieke aanbestedingen van decentrale overheden bij de aanleg of vervanging van OVL-netten, bijvoorbeeld in het kader van de verduurzaming van de publieke omgeving. RVO kan hiertoe (informerende) activiteiten richting decentrale overheden ondernemen
- De toepassing van DC-microgrids in de glastuinbouw is minder ver ontwikkeld ten opzicht van OVL; hier is vooral behoefte aan acties die bijdragen aan verdere kennisontwikkeling en het betrekken van meer partijen
 - opzetten en stimuleren van meer (grootschalige) pilots waarbij de mogelijkheden van DC-microgrids inzichtelijk worden gemaakt, bijvoorbeeld in het kader van Green Deals of door aansluiting te zoeken met programma's als Kas als Energiebron



We hebben zes actierichtingen geïdentificeerd die kunnen bijdragen aan de verdere ontwikkeling van DC-microgrids (II)

2

Stimuleer kennisontwikkeling, pilots en demonstratieprojecten die gericht zijn op het wegnemen van onzekerheden rondom de (maatschappelijke) businesscase van DC-microgrids

- Faciliteer pilot-, demo- en voorbeeldprojecten; deze zouden zich met name moeten richten op het inzichtelijk maken van het maatschappelijke nut- en noodzaak van DC-microgrids; deze projecten zijn nodig om rekenexercities (e.g. gesimuleerde business cases) te valideren in de praktijk
- Kennisontwikkeling stimuleren door bij deze pilots een grotere groep stakeholders te betrekken, die zoveel mogelijk een vertegenwoordiging zijn van de keten (zoals netbeheerders, energieproducenten, fabrikanten, leveranciers, installateurs, eindgebruikers); op deze manier kan de keten in gereedheid worden gebracht om een mogelijke verdere uitrol en opschaling van DC-toepassingen te faciliteren
- Openbaar maken van resultaten en inzichten kan bijdragen aan het enthousiasmeren van een grotere groep gebruikers, toeleveranciers en installateurs; dit kan gedaan worden door het integreren van disseminatie workshops of conferenties in de projecten

3

Ondersteun het afdekken van financiële projectrisico's

- In deze innovatiefase klinkt de roep uit de markt om het afdekken van financiële risico's.
- Publieke financiering, zoals bijvoorbeeld door TKI UE verstrekt in tenderregelingen of in de vorm van garantieregelingen, kan worden ingezet om innovatieontwikkeling te ondersteunen; daarmee kunnen financiële risico's worden verkleind om de toepassing van DC in de praktijk te verkennen



We hebben zes actierichtingen geïdentificeerd die kunnen bijdragen aan de verdere ontwikkeling van DC-microgrids (III)

4

Voer een evaluatie uit van deze roadmap na 3-5 jaar

- Ontwikkelingen rondom DC-microgrids gaan snel; evaluatie van de roadmap en het benoemen van (nieuwe) stepping stones kan na een aantal jaar weer richting en nieuwe incentives geven aan de ontwikkeling van DC-microgrids

5

Creëer ruimte in wet- en regelgeving om te kunnen experimenteren

- Met name voor experimenten in publieke elektriciteitsnetten moet het makkelijker worden om tijdelijk en plaatselijk wet- en regelgeving te verruimen; dit betreft met name de mogelijkheid tot aanpassing van de net-, meet- en/of tarievenscode voor tijdelijke of kleinschalige experimenten of pilots. Op dit moment is er geen experimenteerruimte en lopen specifiek netbeheerders tegen moeilijkheden aan bij de uitvoering van pilots
- Ministerie EZK is de partij die dit mogelijk zou kunnen maken. De Autoriteit Consument en Markt is handhaver/uitvoerder

6

Ontwikkel vakopleidingen vermogenselektronica toegespitst op DC-toepassingen of de toepassing hiervan in DC-microgrids

- Vermogenselektronica is het bouwblok voor het elektriciteitssysteem van de toekomst en daarmee ook voor DC-microgrids; opleidingsinstituten met DC-kennis (m.n. universiteiten en hogescholen) kunnen in samenwerking met vakscholen in het praktijkonderwijs deze opleidingen vormgeven. Op deze manier kunnen er installateurs worden opgeleid die DC-microgrids kunnen aanleggen en onderhouden



4

Internationale kansen



De ontwikkeling van DC-microgrids staat ook internationaal in de belangstelling; in Europa is naast Nederland met name Duitsland actief met studies en pilotprojecten

Voorbeelden van internationale projecten

Duitsland

Standaardiseringsroutekaart voor laagspanning-DC; Bachmann GmbH & Co KG uit Stuttgart: commercieel DC micro-grid in een kantoorgebouw

China

Xiamen University: DC-microgrid met PV en LED verlichting

Japan

Tohoku Fukasi University: Sendai Microgrid een hybride AC/DC-microgrid; telecombedrijf NTT: 4 datacenters op DC in regio Tokio

USA

Demonstratieprojecten (Bosch, Emerge Alliance gefocuste op hybride AC/DC-microgrids)

Taiwan

DC demonstratiefaciliteit met PV panelen, windturbines, brandstofcellen en energieopslag



De Nederlandse praktijkervaringen met DC-microgrids bieden kansen om de goede internationale positie van Nederland uit te bouwen

Sterktes

- Nederland loopt internationaal voorop met het uitvoeren van pilot-, demo- en voorbeeldprojecten
- In verschillende toepassingsgebieden vinden pilots plaats
- In de verschillende pilots is de triple helix (bedrijven, overheid en kennisinstellingen) betrokken

Kansen

- De drivers voor DC zijn wereldwijd geldig (groei in DC-bronnen en –verbruik); potentieel is er sprake van een enorme afzetmarkt
- Producten en (praktijk)kennis omtrent DC-microgrids in OVL-netten en de glastuinbouw kunnen in het buitenland vermarkt worden
- Door de huidige voortrekkersrol kunnen internationale bedrijvigheid en geïnteresseerde studenten naar Nederland worden gehaald

- Geen vakopleidingen in vermogenslektronica
- Kennis is versnipperd en zeer specifiek
- Bestaande wet- en regelgeving belemmert de implementatie van DC-toepassingen in de praktijk
- Businesscase van DC-microgrids veelal nog onduidelijk (buiten OVL-netten en de glastuinbouw)
- De huidige DC-markt is een nichemarkt – nog weinig schaalgrootte

Zwaktes

- Concurrentie: grote buitenlandse technologiebedrijven zetten ook in op DC-technologie
- Op dit moment ontbreken (internationale) standaarden; bij vaststelling in de toekomst kan dit mogelijk nadelig uitvallen voor reeds ontwikkelde DC-producten

Bedreigingen



Bijlagen



Bijlage A - Expertgroep, klankbordgroep en stuurgroep

Expertgroep	Organisatie	Naam
	TKI Urban Energy	Yvonne Boerakker
	EZ	Erik ten Elshof
	RVO	Olivier Ongkiehong
	RVO	Nicole Kerkhof
	DNV GL / TU Delft	Peter Vaessen
	Siemens	Dick Roo
	LTO	Rob van der Valk
	TU Eindhoven	Korneel Wijnands
	UNETO-VNI	Michel Wijbrands
	-	Michiel Heijnekamp
	Philips	Oscar Deurloo
	ABB	Arno Bronswijk
	CityTec	Wilfred Akerboom
	CityTec	Sandor Dubbeld
Direct Current BV	Harry Stokman	
Alliander	Paul Juffermans	
Alliander	Maarten van Riet	
Stichting KIEN	Henry Lootens	
Stichting Gelijkspanning	Pepijn van Willigenburg	
VolkerWessels	Wouter Beelen	
TNO	Berend Evenblij	

Stuurgroep	Organisatie	Naam
	TKI Urban Energy	Yvonne Boerakker
	EZ	Erik ten Elshof
	RVO	Olivier Ongkiehong
	RVO	Nicole Kerkhof

Klankbordgroep	Organisatie	Naam
	TKI Urban Energy	Yvonne Boerakker
	EZ	Erik ten Elshof
	RVO	Olivier Ongkiehong
	RVO	Nicole Kerkhof
	TU Delft	Pavol Bauer
	DNV GL / TU Delft	Peter Vaessen
	Siemens	Dick Roo
TU Eindhoven	Korneel Wijnands	
UNETO-VNI	Michel Wijbrands	

Noot: speciale dank is verschuldigd aan Alliander, die in de totstandkoming van deze roadmap gedurende het gehele traject nauw betrokken is geweest als expert op het gebied van de ontwikkeling van (publieke) energie-infrastructuren; tussenresultaten zijn telkens met Alliander afgestemd



Bijlage B – Overzicht van interviews

Interviews	Organisatie	Naam
	ABB	Arno Bronswijk
	Alliander	Paul Juffermans, Maarten van Riet
	CityTec	Wilfred Akerboom
	Croonwolter&Dros	Renée Beke, Frans Eilering
	Direct Current BV	Harry Stokman
	DNV GL / TU Delft	Peter Vaessen
	Dynniq	Lucien Linders
	Eekels Technology	Marvin de Haan, Aart Hoogerwerf, Hans Boer
	Green IT Amsterdam	Jaak Vlasveld
	LTO	Dennis Medema
	Philips	Oscar Deurloo
	Siemens	Dick Roo
	Stichting Gelijkspanning	Pepijn van Willigenburg
	Stichting KIEN	Henry Lootens
TU Delft	Pavol Bauer	
TU Eindhoven	Korneel Wijnands	



Bijlage C - Koplopers

In Nederland is een verscheidenheid aan bedrijven en organisaties actief die zich met DC bezighouden of eigen DC-technologie ontwikkelen. Onderstaande lijst is gebaseerd op een het DC-koplopers event van Stichting Gelijkspanning en aangevuld met partijen die tijdens het project ter sprake zijn gekomen.¹ Het betreft een niet limitatief overzicht.

Netbeheerders	Fabrikanten/technologieleveranciers	Installateurs/technische dienstverleners	Belangenorganisaties	Kennisinstellingen
Alliander Stedin	Eaton ABB Direct Current BV Siemens Philips Innosys Delft Fastned Danfoss Victron Belpa	Uneto-VNI Dyonic Citytec Hollander Techniek Bredenoord VolkerWessels iCity Chematronics Homij DC Opportunities R&D GFSC Consultants and Engineers Joulz	Stichting Gelijkspanning Stichting Kien	TU Delft TU Eindhoven TVVL TNO Zuyd Hogeschool Haagse Hogeschool HAN

1. Tijdens het project is door de experts opgemerkt dat er veel MKB-bedrijven actief zijn op het gebied van DC productontwikkeling en het leveren van maatwerkdiensten; deze zijn niet opgenomen in bovenstaande lijst



Bijlage D – Aanvullende bronnen met betrekking tot toepassingsgebieden

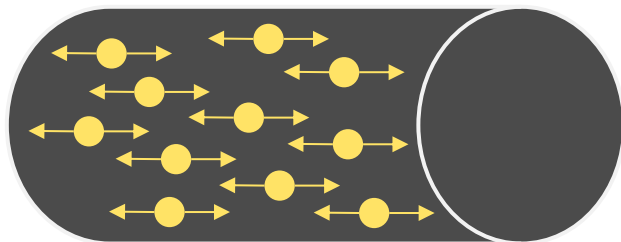
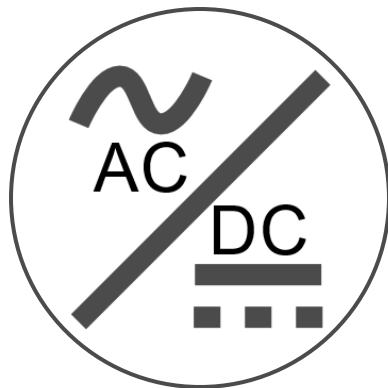
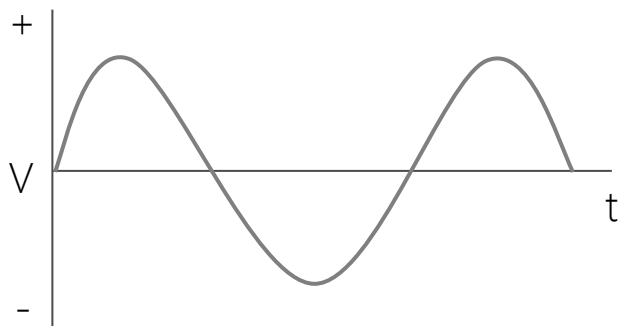
1. UNETO VNI; Dekra; Stichting Lightrec; OTIB; OVLNL (2017). *LED Trend Report 2017*. LED Expo Benelux. OVL Monitor 2017 (OVLNL.nl)
2. Rijkswaterstaat Leefomgeving (2016). *Openbare verlichting in het energieakkoord*. OVL Monitor 2016.
3. Rooijers, F. and Schepers, B. (2015). *Visie 2030 Glastuinbouw - Energie en Klimaat*. CE Delft.
4. Stichting Gelijkspanning (2011). *DC en duurzaamheid gaan samen in glastuinbouw*
5. World Economic Forum (2016). *Renewable Infrastructure Investment Handbook: A Guide for Institutional Investors*.
6. M.R. (Maarten) Afman (2014) *Energiegebruik Nederlandse commerciële datacenters 2014-2017: Nieuwbouwplannen en ontwikkeling energiegebruik*. CE Delft.
7. Koeken, R. (2017). *ABB: Maximale energie-efficiëntie in datacenters met DC – wisselspanning versus gelijkspanning*.
8. Rabobank (2016). *De elektrische auto: a convenient truth: De visie van de Rabobank op de elektrische auto*.
9. Bloomberg New Energy Finance (2017). *Electric Vehicle Outlook: BNEF's annual long-term forecast of global electric vehicle (EV) adoption to 2040*
10. Kieft, A., Harmsen, R., & Wagenar, P. (2015). *Warmtepompen in de bestaande bouw*. Copernicus Institute of Sustainable Development.
11. *Totaal aantal in gebruik zijnde warmtepompen in de utiliteit, kassen en stallen, eind 2015* (Bron: CBS)
12. *Totaal aantal in gebruik zijnde warmtepompen in de woningbouw, eind 2015* (Bron: CBS)



Bijlage E – Bij gelijkspanning is de spanning constant en loopt de stroom één kant op; dit in tegenstelling tot wisselspanning

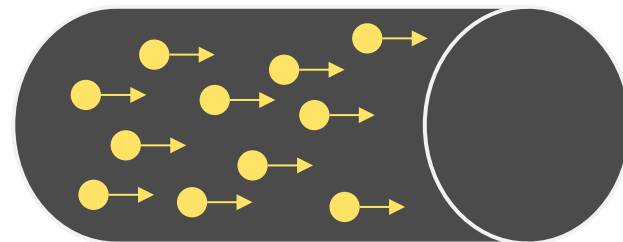
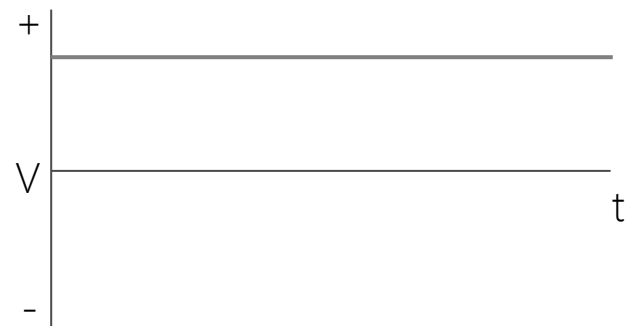
Wisselspanning / Alternating Current / AC

- Sinusvormige spanning
- Stroom loopt twee kanten op



Gelijkspanning / Direct Current / DC

- Constante spanning (wisselt in ieder geval niet van teken)
- Stroom loopt één kant op



Bijlage F – Definities van de functies in het innovatiesysteem (Hekkert)

Entrepreneurial activities

Involves projects (experiments, pilots, and demonstrations) aimed to prove the usefulness of emerging technology in a commercial environment

Knowledge development

Involves learning activities in technology, markets, networks, and users

Knowledge exchange

Involves the interactions between actors, such as partnerships, workshops, and joint projects, which stimulate knowledge diffusion about the technology

Guidance of the search

Refers to activities that determine the needs and expectations of actors in regards to the technology; this includes policy targets, directives, and visions

Resource mobilization

Refers to activities which aid the financial, material, and human capital necessary for further development (subsidies, investments, R&D)

Market formation

Refers to activities which stimulate demand for the technology, such as financial support or taxing competing technologies

Counteract resistance to change

Activities which decrease resistance to and legitimize the technology



Bijlage G – Contactgegevens auteurs Berenschot



Michiel van Werven

Managing Consultant

m.vanwerven@berenschot.nl



Jan Warnaars

Consultant

j.warnaars@berenschot.nl



Jort van Aken

Consultant

j.vanaken@berenschot.nl



Laura van der Laan

Stagiair

l.vanderlaan@berenschot.nl

