

Update Gelijkspanning

December 2020

door Rutger Bianchi, Thijs Verboon en Liesbeth van Klink



Dit rapport is tot stand gekomen in opdracht van RVO op verzoek van de TKI Urban Energy

Berenschot



TKI URBAN ENERGY
Topsector Energie



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland



STICHTING
GELIJKSPANNING
NEDERLAND

Inhoud

1	Aanleiding	5
2	Wat is gelijkspanning en wisselspanning?	7
2.1	Gebruik van gelijk- en wisselspanning	7
2.2	Ontwikkelingen rondom gelijkspanning	8
2.3	Verschillen tussen gelijk- en wisselspanning	8
3.	Markttrends gelinkt aan gelijkspanning	11
3.1	Systeemintegratie (vraag/aanbod afstemming)	12
3.2	Focus op marktsegmenten	13
4.	Voordelen en nadelen van gelijkspanning	15
4.1	Voordelen gelijkspanning	15
4.2	Nadelen gelijkspanning	16
4.3	Vermogenselektronica	17
5.	Lessen uit de Roadmap	19
5.1	Verwachte tijddlijnen/marktadoptie	19
6.	Knelpunten gelijkspanning	21
7.	Conclusies/aanbevelingen	23
7.1	Innovatiebeleid (MMIP's)	23
7.2	Aanbevelingen voor beleid en innovatie	23
7.2	Rol TKI Urban Energy en RVO	24
7.4	Rol Stichting Gelijkspanning Nederland	24



Update Gelijkspanning

door Rutger Bianchi, Thijs Verboon en Liesbeth van Klink

December 2020

Dit rapport is opgesteld door Berenschot in opdracht van RVO op verzoek van de TKI Urban Energy. Bij de totstandkoming is Stichting Gelijkspanning Nederland (SGSN) nauw betrokken geweest.

Over TKI Urban Energy en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

TKI Urban Energy is een onderdeel van de Topsector Energie. De organisatie stimuleert bedrijven, kennisinstellingen, maatschappelijke organisaties en overheden om samen te werken op het gebied van energie-innovaties. De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) is een overheidsorganisatie gericht op het Nederlandse ondernemersklimaat. Ondernemend Nederland kan bij hen terecht met vragen op het gebied van duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen.

TKI Urban Energy en RVO bevorderen samen onderzoek naar energie-innovaties voor een snelle transitie naar een duurzaam, betrouwbaar en betaalbaar energiesysteem in de gebouwde omgeving en de infrastructuur door initiatieven financieel te steunen, betrokken partijen bij elkaar te brengen en kennis te delen. Hiermee versterkt zij de economische concurrentiekracht van betrokken Nederlandse bedrijven en kennisinstellingen.

Heeft u innovatieve ambities op het gebied van flexibiliteit? Mogelijk kan TKI Urban Energy of RVO u ondersteunen bij uw ambities. De medewerkers van TKI Urban Energy staan klaar om uw ideeën te toetsen en u te helpen bij het vinden van samenwerkingspartners en het opzetten van een consortium. U kunt bij RVO terecht als u wilt toetsen of uw ideeën in aanmerking komen voor subsidie (cofinanciering) vanuit de Topsector Energie.

Wilt u n.a.v. deze whitepapers in contact komen met RVO of TKI Urban Energy, neem dan contact op met:

Maarten de Vries

Programmamanager Smart Energy Systems
06 168 364 90, maarten@tki-urbanenergy.nl
www.tki-urbanenergy.nl

Nicole Kerkhof-Damen

Senior adviseur Smart Energy Systems
06 272 396 45, nicole.kerkhof@RVO.nl
www.rvo.nl

Over Stichting Gelijkspanning Nederland

Stichting Gelijkspanning Nederland (SGSN) is ervan overtuigd dat gelijkspanning (DC) een zinvolle bijdrage aan de energietransitie kan leveren zodat er uiteindelijk een CO₂ uitstootarme samenleving zal ontstaan. SGSN doet dat door kennis van DC te verzamelen en verspreiden. Dit doet zij door projecten te initiëren en eraan deel te nemen. De SGSN spant zich actief in om lessons learned uit diverse projecten voor iedereen inzichtelijk te maken. Heeft u kennis of heeft u kennis over DC nodig, mogelijk kunnen we dan iets voor elkaar betekenen. Neem dan gerust contact met ons op:

Pepijn van Willigenburg

Voorzitter Bestuur SGSN
06 482 791 02
Pepijn.van.willigenburg@gelijkspanning.org

Berenschot



TKI URBAN ENERGY
Topsector Energie



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland



**STICHTING
GELIJKSPANNING
NEDERLAND**



1 Aanleiding

Al ruim honderd jaar vormt wisselspanning de basis van ons elektriciteitssysteem. Deze keuze komt voort uit een periode met een andere stand van de technologie, maar ook een andere combinatie van elektriciteitsvragers en -productie. De keuze toen was logisch met het oog op elektriciteitsopwekking, transport en verbruik. Inmiddels is ons energiesysteem drastisch veranderd en vindt er een transitie plaats van centrale opwek naar decentrale opwek. Hierdoor krijgen we te maken met steeds meer gelijkspanningstechnologieën zoals bijvoorbeeld batterijen en zonnepanelen. Bovendien zijn er nieuwe innovaties op het gebied van vermogenslektronica en zijn veel barrières voor het veilig gebruik van gelijkspanning uit het verleden verdwenen, dan wel beter te adresseren.

Deze ontwikkelingen maken dat gelijkspanning een nieuw perspectief biedt om efficiënter en met minder materiaal elektriciteitsstromen te handhaven. Daarom hebben TKI Urban Energy en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) in 2018 de Roadmap Gelijkspanning laten opstellen. Hierin is voor een aantal marktsegmenten een perspectief geschetst welke rol gelijkspanning mogelijk kan gaan spelen. Doordat er de afgelopen jaren in deze marktsegmenten ontwikkelingen zijn geweest, is er behoefte aan een update van deze Roadmap. In deze rapportage wordt de stand van zaken op het gebied van gelijkspanning in Nederland besproken, worden de verschillen tussen gelijkspanning en wisselspanning geadresseerd, veranderingen in het energiesysteem geduid, en de voor- en nadelen van gelijkspanning besproken.

De rapportage voor u richt zich op gelijkspanning in Nederland in het algemeen. Daarnaast zijn er vijf Whitepapers bijgevoegd die elk ingaan op een specifiek marktsegment waarbinnen gelijkspanning ontwikkeld wordt. In de Whitepapers wordt er voor deze marktsegmenten dieper ingegaan op de toepassing van gelijkspanning en de voordelen. Daarnaast wordt een overzicht van projecten gegeven en is een inventarisatie gedaan van knelpunten en aanbevelingen om de adoptie van DC binnen dat marktsegment te bevorderen.

Dit betreft de volgende marktsegmenten:

- Woningen en utiliteit.
- Glastuinbouw.
- Laadinfrastructuur.
- Openbare verlichtingsnetten.
- Lokale DC-netten.

Leeswijzer

Dit document bevat de achtergrondinformatie omtrent de toepassing en ontwikkeling van gelijkspanning in algemene zin. In Hoofdstuk 2 worden de verschillen tussen gelijkspanning en wisselspanning uitgediept. Vervolgens worden in Hoofdstuk 3 de markttrends beschreven die gekoppeld kunnen worden aan de vijf marktsegmenten. In Hoofdstuk 4 worden de voor- en nadelen van de toepassing van gelijkspanning in combinatie met vermogenslektronica toegelicht. Hoofdstuk 5 richt zich op de huidige marktadoptie van gelijkspanning binnen de marktsegmenten. Algemene knelpunten in de marktadoptie worden in Hoofdstuk 6 toegelicht. Tenslotte worden in Hoofdstuk 7 conclusies en aanbevelingen gegeven voor toekomstige beleidsvorming en innovatie.



2 Wat is gelijkspanning en wisselspanning?

In dit hoofdstuk worden de praktische en fysische verschillen tussen gelijkspanning en wisselspanning uitgelegd. Daarnaast wordt er ingezoomd op veranderingen in opwek en gebruik van elektriciteit die ervoor zorgen dat gelijkspanning verder ontwikkeld wordt.

2.1 Gebruik van gelijk- en wisselspanning

Bij de ontwikkeling van elektriciteitssystemen aan het eind van de negentiende eeuw, is er tijdens de 'Oorlog van de stromen' gekozen voor een systeem op wisselspanning (ook wel aangeduid met AC: Alternating Current). De voornaamste reden hiervoor was dat spanning eenvoudig te transformeren was en dat energie op deze manier zonder grote verliezen getransporteerd kon worden. Daarnaast waren elektromotoren op wisselspanning efficiënt en goedkoop. Hedendaags werkt het elektriciteitssysteem nog steeds op wisselspanning. Elektriciteitscentrales met niet-duurzame bronnen zoals gas en kolen produceren wisselstroom en de meeste huishoudelijke apparaten zijn gemaakt om aan te sluiten op het bestaande wisselspanningsnet.

Verandering in opwekking van elektriciteit

Momenteel vindt er echter een ommekeer plaats in de opwekking en het gebruik van elektriciteit. Elektriciteit wordt nu veel lokaler opgewekt, kleinschaliger met behulp van windturbines en zon-PV. Zonnepanelen leveren gelijkstroom (ook wel aangeduid met DC: Direct Current). Om deze stroom te gebruiken op het net, wordt er een omvormer gebruikt die de gelijkspanning omvormt naar

wisselspanning. Bij deze omvorming treedt energieverlies op. In windturbines wordt wel wisselstroom gegenereerd omdat hierbij ook gebruik wordt gemaakt van een 'ronddraaiende' generator. Dit wordt echter alsnog vaak eerst in gelijkstroom omgezet¹⁾.

Verandering in gebruik

Ook bij het gebruik van elektriciteit wordt in diverse apparaten intern gelijkspanning/vermogenselektronica toegepast. Hierbij kan gedacht worden aan mobiele apparaten met microchips als laptops, telefoons en tablets, maar ook televisies, apparaten op USB-C, ledverlichting, elektrische auto's, warmtepompen en accu's zijn gelijkspanningstoepassingen. Deze toepassingen worden de laatste jaren steeds meer gebruikt door de trends in digitalisering, het verbeteren van energie-efficiency en de energietransitie. Daarnaast wordt er voor lange elektriciteitskabels zoals de NorNed-kabel naar Noorwegen ook gebruik gemaakt van gelijkspanning, de zogenoemde High Voltage Direct Current (HVDC)²⁾.

Om van de wisselspanning van het net gelijkspanning te maken voor deze toepassingen, moet er voor elke toepassing een omvormer gebruikt worden waarbij er elektriciteit verloren gaat. Door de groeiende benutting van gelijkspanningstoepassingen, zal er dus in een AC-georiënteerd systeem meer elektriciteit in deze omvormingen verloren gaan.

1) De draaisnelheid van de rotor of turbine van de windturbine is vaak niet gelijk met de frequentie van het wisselspanningsnet. Om de frequentie van de wisselspanning gelijk te krijgen met het net wordt de spanning eerst gelijk gericht en vervolgens weer omgevormd tot wisselspanning met de juiste frequentie.

2) Het gebruik van HVDC in plaats van HVAC is op lange afstanden financieel interessant. De AC/DC-omvormers zijn duurder dan AC/AC-omvormers, maar AC-kabels worden duurder ten opzichte van DC-kabels wanneer de afstand groter wordt. Dit komt door de grotere hoeveelheid conductors die nodig zijn bij AC, de constructie die hiervoor verstevigd moet worden en doordat je bij DC minder kabels nodig hebt. Daarnaast heeft AC meer te maken met energieverliezen door het 'skin effect', 'corona-effect', en stralings- en inductieverliezen. Hierdoor ontstaat er een break-even point wanneer HVDC voordeliger is dan HVAC. Op land ligt dit break-even point bij ongeveer 400 tot 700km, en in zee bij ongeveer 25-50km. <https://www.electricaltechnology.org/2020/06/difference-between-hvac-hvdc.html>

2.2 Ontwikkelingen rondom gelijkspanning

Door de groei in gelijkspanningstoepassingen voor de opwek en het gebruik van elektriciteit, wordt er steeds vaker wisselspanning omgezet in gelijkspanning of andersom. Voor het gelijk richten en omvormen van spanning is er vermogenselektronica nodig. Deze techniek is relatief nieuw. Het is door de fysische eigenschappen van gelijkspanning namelijk lastiger om voltage-niveaus te transformeren. Dit wordt verder toegelicht in paragraaf 2.3. Door de ontwikkelingen in vermogenselektronica, ontstaat ook de 'opportuniteit' om gelijkspanningsinfrastructuur op verschillende schalen verder te ontwikkelen dan alleen de 'klassieke' gelijkspanningstoepassingen (tram, trein, trolleybus).

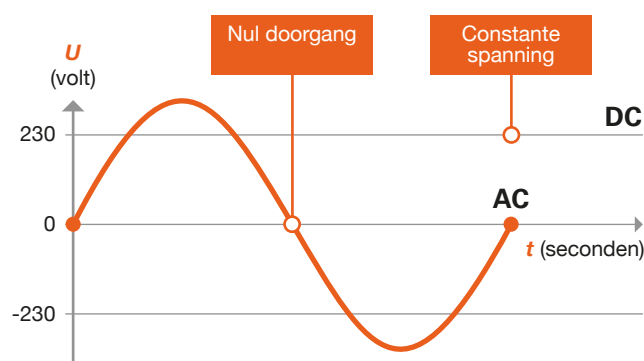
De combinatie van innovatie in vermogenselektronica en de groei van gelijkspanningstoepassingen, zorgt voor een vergrote aandacht voor gelijkspanning en stelt de logica van de keuze voor wisselspanning ter discussie. Wanneer er steeds meer vermogenselektronica nodig is, ontstaat de vraag of gelijkspanningsnetten voor sommige toepassingen niet een logischere keuze zijn. Het elektriciteitsnet is echter enorm met miljarden aan assets die vele decennia mee gaan³⁾. Een totale omschakeling van het systeem op korte termijn is dan ook vrijwel ondenkbaar en bovendien ook niet in elke situatie van significante toegevoegde waarde. Daarom is het van belang om te kijken naar verschillende marktsegmenten en de mogelijkheden van gelijkspanning hierin. Dit wordt gedaan door eerst de verschillen tussen gelijk- en wisselspanning uiteen te zetten, en vervolgens specifiek te kijken naar segmenten waar de voordelen van gelijkspanning de grootste toegevoegde waarde kunnen leveren.

2.3 Verschillen tussen gelijk- en wisselspanning

2.3.1 Fysisch

Het verschil tussen gelijkspanning en wisselspanning is dat de spanning en stroom bij wisselspanning telkens van richting verandert en dat deze bij gelijkspanning altijd in dezelfde richting gaat. De richtingverandering geeft een sinuskromme wanneer het voltage tegen tijd wordt uitgezet. Dit is gevisualiseerd

in Figuur 1. Dit houdt in dat de spanning bij wisselspanning afwisselend negatief en positief is en daartussen nul. Het punt waarop de spanning nul is, heet de nuldoorgang. Gelijkspanning heeft deze nuldoorgang niet, omdat spanning en stroom niet van richting veranderen. Dit heeft grote consequenties voor componenten voor transformeren en beveiligen. Kern van de nieuwe beveiligingssystematiek met vermogenselektronica is dat je de stroom zo constant als mogelijk wil houden en dat continu monitort. Om hoge/grote stromen en vooral stroomveranderingen in DC te voorkomen, moeten extra maatregelen worden genomen. Inschakelstromen moeten voorkomen worden, kortsluitstromen kunnen niet geleverd worden vanuit bronnen achter een omvormer. Het gebruiken van kortsluitstromen als beveiligingsmechanisme is daarom niet meer mogelijk.



Figuur 1 Eigenschappen van gelijkspanning en wisselspanning

De snelheid van het veranderen van richting van stroom en spanning bij wisselspanning heet de frequentie. De eigenschap van frequentie is een nuldoorgang. Dit geldt bij zowel spanning (V) als bij stroom (A). In Nederland is de frequentie 50 hz, stroom én spanning gaan beiden 100 maal per seconde door nul (figuur 1). De frequentie is van belang voor de balans in het elektriciteitsnet waarin de vraag altijd gelijk moet zijn aan het aanbod. Wanneer het aanbod groter is dan de vraag, neemt de frequentie toe, en andersom. Voor wisselspanning is het van belang dat de vraag en aanbod in Europa in balans blijft, de frequentie is dus een indicator voor de stabiliteit van het elektriciteitsnet. Bij gelijkspanning kan de balans niet uitgedrukt worden in frequentie, omdat het niet van richting verandert, daarom wordt het voltage hiervoor gebruikt. De balans van

3) In dit document wordt de Nederlandse situatie besproken. Er zijn ook nog honderden miljoenen mensen op de wereld zonder toegang tot elektriciteit. In die gebieden is sprake van een blanco vel en zijn complete DC-netwerken wellicht eerder de toekomst. Vooral ook omdat dit past bij een systeem met decentrale opwekking met zon-PV en batterijsystemen.

gelijkspanning met het voltage is lokaal van belang, binnen de koppeling van een DC-net. Kortom, in AC zijn spanning en frequentie de belangrijkste parameters voor stabiliteit. In nieuwe DC, met elektronische beveiliging, is de spanningshoogte de belangrijkste indicator. Bij te veel energie loopt de spanning op (in AC: de spanning stijgt en in extreme gevallen: de frequentie stijgt) en bij te veel vraag / weinig aanbod daalt de spanning (in AC, de spanning zakt en in extreme gevallen zakt de frequentie).

Voor lokale toepassingen kunnen veranderingen in het voltage in een gelijkspanningsnet gemeten worden met een simpele voltmeter. Overschotten of tekorten binnen een lokaal net kunnen hierdoor bij gelijkspanning makkelijker gedetecteerd worden. Wanneer voltmeters worden geïmplementeerd in apparaten, kunnen deze (zonder of met externe sturing) reageren op de status van het net op basis van ingestelde bandbreedtes in voltage. Voor slimme, actieve sturing zijn er bij zowel DC als AC toepassingen additionele besturingsmechanismen, zoals in netcodes, noodzakelijk.

Een ander verschil dat voortkomt uit de sinusvorm van wisselspanning, is het maximale vermogen bij een gelijke stroomsterkte. Het effectieve voltage (V_{rms}) van wisselspanning is het maximale voltage gedeeld door $\sqrt{2}$ (wortel 2). Bij gelijkspanning geldt dit niet. Bij een gelijk maximaal voltage, is het vermogen bij gelijkspanning hierdoor minstens 1,41 ($\sqrt{2}$) keer hoger dan bij wisselspanning⁴⁾. Ook is, op papier, meer capaciteit te vinden bij de wisselende stroom (ook wortel 2). Deze beide effecten moeten in de praktijk wel onafhankelijk worden vastgesteld. Het kunnen rekenen met een beperkt kortsluitvermogen kan de capaciteit verder laten toenemen. In Figuur 1 is dit verschil in vermogen te zien aan het verschil in de (absolute) oppervlaktes van beide lijnen.

2.3.2 Praktisch

De nuldoorgang van wisselspanning heeft voordelen voor systeemcomponenten. Zo kunnen spanningen eenvoudig getransformeerd worden naar hogere of lagere spanningen zonder dat daar vermogens-elektronica voor nodig is. Hierdoor is het makkelijker om stroom te transporteren middels hoog voltage

wisselspanningsnetten zonder hoge conversieverliezen. Ook andere componenten zoals installatie-automaten maken gebruik van deze nuldoorgang⁵⁾. Bij het werken met gelijkspanning moeten deze componenten aangepast worden.

Ook heeft het ontbreken van de nuldoorgang bij gelijkspanningstoepassingen effect op de beveiliging. Doordat de spanning nooit nul is, zal een vlamboog niet automatisch doven. Deze vorm van mechanische en/of elektro-magnetische schakeling is dus niet mogelijk. Gelijkspanning moet dus op een andere manier beveiligd worden. Dit kan met behulp van actieve beveiliging waarbij er elektronisch wordt geschakeld in plaats van mechanisch. Hierbij is er een netgedragscode tussen de stroombron en aangesloten apparaten waardoor er sneller en preciezer beveiligd kan worden. Deze techniek (vermogens-elektronica) is niet specifiek voor gelijkspanning en kan ook bij wisselspanning worden toegepast. Het is daar enkel (nog) niet gebruikelijk om het toe te passen.

Door de groei in elektriciteitsgebruik en het lokaal opwekken van elektriciteit is er een groei in het gebruik van vermogens-elektronica. Voor de overgang van DC naar AC wordt een omzetter gebruikt, van AC naar DC een gelijkrichter en van AC naar AC en DC naar DC worden omvormers gebruikt. Bij het gelijkrichten van stroom worden halfgeleiders en elektrolytische condensatoren (elco's) toegepast. Deze elco's zijn gevoelige componenten en hebben veel onderhoud nodig. Er kunnen ook andere condensatoren worden gebruikt die een langere levensduur hebben, maar door de lage kosten van elco's worden deze het vaakst toegepast. Doordat er steeds meer vermogens-elektronica wordt toegevoegd en het net intensiever wordt gebruikt, gaat de hoeveelheid onderhoud sterk omhoog. Ook levert elke toevoeging van vermogens-elektronica energieverlies op.

Op grotere schaal heeft de groei van vermogens-elektronica nadelige effecten op het huidige AC-net. De verzamel naam voor deze effecten is 'power quality'. Dit heeft impact op de levensduur van gevoelige apparatuur. Het voornaamste verschil in de invloeden van power quality in AC- en DC-netten zit in de frequentie-afhankelijke componenten. In DC-netten

4) Bij een voltage van 325V en een stroom van 16A, kan er bij AC: $325V/\sqrt{2} * 16A = 3.68kW$ over de kabel, bij DC: $325V * 16A = 5.2kW$. ($325V/\sqrt{2} = 230V$; deze spanning op het huidige wisselspanningsnet is dus de V_{rms}). Mogelijk is het vermogen op DC meer dan 1,41 keer hoger, omdat de stroom ook van richting verandert en hierdoor nog een factor 1,41 toevoegt. Of dit in de praktijk daadwerkelijk zo is, wordt nog betwist.

5) Een AC-installatie-automaat (circuit breaker) werkt doordat bij te hoge stromen magnetisme ervoor zorgt dat het circuit wordt doorbroken. Doordat DC niet wisselt, en geen magnetische pool heeft die van richting verandert, werkt deze elektro-magnetische manier van beveiligen niet.

komen deze te vervallen. Dit zijn bijvoorbeeld de onzuivere sinussen die ontstaan door de imperfecties in vermogenselektronica. Niet frequentie-afhankelijke componenten van power quality blijven hetzelfde, bijvoorbeeld het effect van inschakelstromen. Het monitoren en handhaven van frequentie, verdwijnt in DC-netten, waardoor de complexiteit van problemen rondom power quality omlaag gaat.



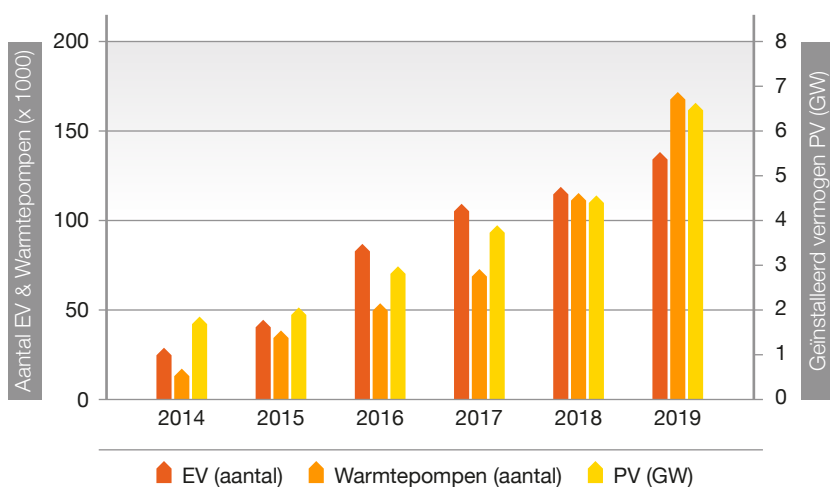
3. Markttrends gelinkt aan gelijkspanning

Zoals beschreven in Hoofdstuk 2 wordt in de huidige spanningsnetten wisselspanning (AC) toegepast. Hoewel wisselspanning tot op de dag van vandaag de standaard is, is er een aantal markttrends dat de afweging tussen wisselspanning en gelijkspanning in de toekomst beïnvloedt. Deze markttrends kunnen nieuwe technologieën zijn die vroeger niet beschikbaar waren, of technologieën die door een veranderende samenleving in korte tijd op grote schaal geadopteerd worden. Hierin zien we een aantal trends: digitalisering en draagbare apparaten, innovatie in vermogenselektronica en veranderingen als gevolg van de energietransitie.

Veranderingen als gevolg van de energietransitie: elektrificatie en hernieuwbare opwek

Een belangrijke trend die invloed heeft op de ontwikkeling van gelijkspanning is de energietransitie, als gevolg hiervan vindt namelijk een hoge mate van elektrificatie plaats. Deze elektrificatie uit zich in gebruikte technieken zoals: zonnepanelen, warmtepompen en elektrische voertuigen. Een groot deel van deze apparaten werkt op gelijkspanning. In

Figuur 2 is de groei van een aantal van deze technologieën gevisualiseerd. Hier is een verviervoudiging van het aantal elektrische auto's te zien. Daarnaast is de verwachting dat het aandeel elektrische auto's in de toekomst zal blijven stijgen, omdat er bijvoorbeeld in het Klimaatakkoord gestreefd wordt naar 100% duurzaamheid voor alle nieuwe auto's in 2030. Batterijen in elektrische auto's worden geladen met gelijkspanning. Ook het aantal zonnepanelen en warmtepompen is erg gestegen. Zo ligt het aantal zonnepanelen in de gebouwde omgeving bijna negen keer hoger en het aantal warmtepompen drie keer hoger dan in 2014. Overkoepelend zorgt dit ervoor dat het aandeel gelijkspanningsapparatuur stijgt en er dus meer omzetting van AC naar DC zal plaatsvinden. Daarnaast zorgt dit ervoor dat energie die voorheen door aardgas en motorbrandstoffen werd voorzien nu in de vorm van elektriciteit terugkomt. Bij volledige elektrificatie kan hierdoor de elektriciteitsvraag van een huishouden verdrievoudigen⁶⁾. Dit heeft ook impact op onze elektriciteitsnetten, deze zijn hier niet op ontworpen met potentiële netcongestie tot gevolg.



Figuur 2 Groei energietransitie technologieën (bron: CBS, 2020)

6) Berenschot, Systeemvraagstukken in de energietransitie voor overlegproces klimaat Tafels (2018)

De energietransitie heeft ook invloed op de manier van koken. De mate waarin elektrisch gekookt wordt zal toenemen, door het afstappen van (aard)gas. Dit leidt samen met het groeiende gebruik van de warmtepomp en het laden van elektrische voertuigen tot een grotere elektrische piekvraag in de avonduren.

Voor verlichting is daarnaast een trend zichtbaar van een groeiend aantal ledlampen. Gloeilampen en halogeenlampen worden in veel gevallen vervangen omdat ledlampen efficiënter zijn (meer lumen/watt) en daarmee zorgen voor energiebesparing. Er wordt verwacht dat deze trend zich voortzet. Ledlampen werken intern op gelijkspanning, en kunnen daarvoor ook goed op een gelijkspanningsnet worden aangesloten.

Naast elektrificatie van verbruik is er ook aan de opwekkant een grote verandering gaande. In plaats van vraaggestuurde energiecentrales, wordt het systeem steeds meer op intermitterende hernieuwbare opwek zoals zon- en windenergie gericht. Deze opwek wordt decentraal in het systeem ingepast⁷⁾. Ook dit zijn DC-technieken (zie voor toelichting windenergie voetnoot paragraaf 2.1), waarbij met name zonne-energie voor een hoge gelijktijdige belasting op het elektriciteitsnet zorgt en vaak decentraal op gebouwen wordt toegepast. Door de toepassing van DC-netten kunnen deze energietransitie-technologieën efficiënter geïntegreerd worden in het huidige energiesysteem. Waarbij bijvoorbeeld gedacht wordt aan een lokaal samenspel van zonne-energie, batterijen (al dan niet in elektrische voertuigen) en onder andere warmtepompen⁸⁾. Hierdoor kan netcongestie ten dele voorkomen worden⁹⁾. De voordelen van DC bij de integratie van deze technieken is verder toegelicht in Hoofdstuk 3 en de Whitepapers.

Digitalisering en groei van draagbare apparatuur

Een andere belangrijke trend is digitalisering. De afgelopen jaren is elektronische apparatuur steeds belangrijker geworden in onze samenleving. De verwachting is dat deze trend doorzet, onder andere met de komst van 'smart technology', 'smart cities' en 'Internet of Things (IoT)'. Digitalisering maakt veel gebruik van elektronische apparatuur, zoals bijvoorbeeld sensoren, en is daarmee sterk gecorreleerd met een stijging van het elektriciteitsverbruik. Een ander voorbeeld van digitalisering is de groeiende afzet van draagbare apparaten, denk hierbij aan

mobiele telefoons, laptops en 'smart watches'. Deze technologieën maken allemaal gebruik van accu's die met behulp van USB-C op gelijkspanning opgeladen worden en hebben op deze manier invloed op de keuze voor gelijkspanning.

Innovatie in vermogenselektronica

Daarnaast zijn er de laatste jaren veel ontwikkelingen geweest in vermogenselektronica. Vermogenselektronica maakt het mogelijk het elektrisch vermogen te sturen, te schakelen en om te vormen. De verbeterde energieprestaties in huishoudelijke apparatuur komen bijvoorbeeld voornamelijk door toepassing van deze nieuwe vermogenselektronica. Ook wordt het bijvoorbeeld mogelijk een net met behulp van vermogenselektronica te beveiligen. Dit gebeurt nu nog mechanisch. Een DC-net kan alleen beveiligd worden met vermogenselektronica; een mechanische beveiliging werkt hier namelijk niet. Dit betekent niet dat vermogenselektronica alleen in een DC-net kan worden toegepast. Ook AC-installaties en -netten kunnen ook gebruik maken van vermogenselektronica, in zogenaamde 'smart transformers' en eveneens elektronische beveiliging.

3.1 Systeemintegratie (vraag/aanbod afstemming)

Veel van de benoemde trends beïnvloeden elkaar, en hebben ook invloed op het elektriciteitsnet. Zo zorgt een groei in elektriciteitsvraag en een groei van lokale opwek voor meer druk op het elektriciteitsnet. De verwachting is dat de uitdagingen hier verder zullen toenemen naarmate er meer lokale opwek in het systeem komt. Dit leidt tot de behoefte om het net te verzwaren. Een alternatief hiervoor is het afstemmen van vraag en aanbod. Hiermee kan het elektriciteitsnet langer mee met de ontwikkelingen en trends die nu gedetecteerd worden. De toepassing van gelijkspanning kan mogelijk helpen netverzwaring te voorkomen door bestaande kabels beter te benutten en door een slimmer ontwerp waarbij technologieën passief reageren op de spanning in het net.

In het huidige net kan systeemintegratie gefaciliteerd worden door 'smart technology' die elkaar aanstuurt. Hierbij kan apparatuur handmatig of automatisch gestuurd worden met behulp van een dataverbinding en een extern besturingssysteem. Een nadeel

7) Klimaatakkoord zoals ondertekend in 2019

8) Berenschot, Systeemvraagstukken in de energietransitie voor overlegproces klimaat Tafels (2018)

9) Berenschot (2020): Klimaatneutrale energietoekomst 2050

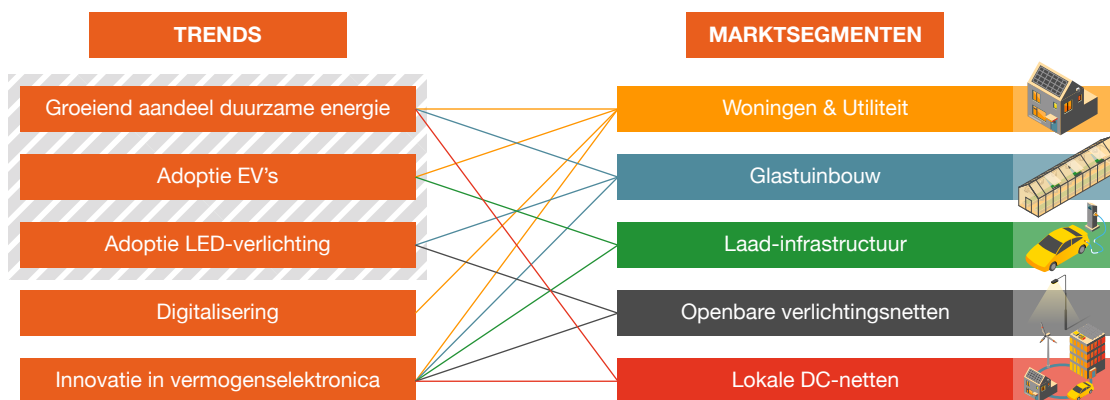
hiervan is dat er een fysieke verbinding nodig is tussen de converters en dat de dataverbinding het systeem gevoelig maakt voor eventuele hackers. Een voordeel voor DC is dat er geen fysieke verbinding nodig is voor de dataverbinding, omdat dit over de DC-elektriciteitskabel kan middels powerlinecommunicatie (PLC).

In een gelijkspanningsnet kan er bovendien op een passieve manier gereageerd worden op het spanningniveau, met behulp van ingestelde bandbreedtes. Hiermee biedt het systeem mogelijkheden om lokaal te balanceren, op basis van lokale omstandigheden, mogelijk zonder externe input als prijzen/tarieven. Hiermee wordt niet dezelfde mate van besturing bereikt als bij 'smart technology'. Het passief reageren op spanningniveau zou echter wel interessant kunnen zijn voor bepaalde apparatuur, om netverzuring mogelijk te voorkomen of te verminderen. Dit geldt voor apparaten die flexibel om kunnen gaan in hun gevraagde vermogen, vaak doordat ze warmte of elektriciteit op kunnen slaan of doordat het niet erg is als een proces, zoals het opwarmen van een oven, wat langer duurt. Andere voorbeelden hiervan zijn boilers, warmtepompen en elektrisch vervoer. Hiermee kan op een relatief eenvoudige manier binnen een DC-net overbelasting voorkomen kunnen worden, zonder significant hogere kosten in aanleg of beheer.

3.2 Focus op marktsegmenten

In Nederland is het hele energiesysteem al ontworpen, een zogenoemde 'brownfield' situatie. Dit maakt het niet realistisch om DC-toepassingen (in één keer) voor het algehele net toe te passen. Het is waarschijnlijker dat DC eerst in bepaalde marktsegmenten en op bepaalde locaties een plek zal krijgen, en geleidelijk door kan groeien. Daarom is er in deze studie voor gekozen om de markttrends te beschrijven voor vijf specifieke marktsegmenten. In deze marktsegmenten wordt voorzien dat DC op korte termijn meerwaarde kan bieden. De trends en bijbehorende marktsegmenten zijn te zien in Figuur 3. In het figuur is te zien dat de innovatie in vermogenselektronica is gelinkt aan de toepassing van DC in alle marktsegmenten. Bovendien hebben alle marktsegmenten te maken met minstens één van de drie trends omtrent de energietransitie. De marktsegmenten waar de Whitepapers op ingaan zijn:

- Woningen en utiliteit
- Glastuinbouw
- Laadinfrastructuur
- Openbare verlichtingsnetten
- Lokale DC-netten



Figuur 3 Markttrends gelinkt aan gelijkspanning met bijbehorende marktsegmenten



4. Voordelen en nadelen van gelijkspanning

De combinatie van DC en vermogens-elektronica levert voordelen op. In dit hoofdstuk wordt er ingegaan op de generieke voordelen en nadelen van gelijkspanning. Deze voordelen en nadelen gelden voor DC in het algemeen. In de Whitepapers wordt dieper ingegaan op de specifieke voordelen van gelijkspanning binnen een marktsegment. Daarnaast worden de voordelen van vermogenselektronica hier besproken omdat deze een prominente rol spelen binnen DC.

4.1 Voordelen gelijkspanning

■ Materiaalbesparing

Wanneer er meerdere DC-apparaten op een DC-net worden aangesloten, neemt het aantal AC/DC omvormers af, en het aantal DC/DC omvormers toe. Nu vindt deze omvorming namelijk bij ieder apparaat apart plaats. Dit is niet meer nodig wanneer de apparaten gevoed worden door een DC-net. AC/DC-omvormers kosten meer materiaal (ongeveer twee keer zoveel) dan DC/DC-omvormers. Er wordt dus materiaal bespaard bij gebruik van DC/DC-omvormers in plaats van AC/DC-omvormers. Daarnaast kan er koperdraad bespaard worden doordat er met DC een hogere capaciteit kan worden bereikt op dezelfde draad, zoals besproken in paragraaf 2.3.1. De draad kan dus met een kleinere diameter hetzelfde vermogen leveren.

■ Verhoogde levensduur

Zoals beschreven in Hoofdstuk 2 maken AC/DC-omvormers gebruik van elektrolytische condensatoren (elco's) om energieverlies tijdens de nuldoorgang te beperken/voorkomen. Deze elco's verouderen relatief snel en genereren warmte. Daarnaast zorgen deze elco's ervoor

dat ook het omliggende materiaal door warmte-ontwikkeling sneller verouderd. Doordat er in een DC-net andere condensatoren gebruikt kunnen worden (er hoeft geen nuldoorgang opgevangen te worden), die minder snel verouderen en minder warmte produceren, neemt de levensduur van de componenten in de installatie of in het net toe. In AC kunnen ook andere condensatoren worden toegepast, maar wordt dit vanuit kosten oogpunt vaak niet gedaan.

■ Onderhoud

Door minder gebruik van elco's slijten de materialen minder snel (zie verhoogde levensduur). Daardoor is er minder vaak controle en/of onderhoud nodig. Daarnaast kunnen netten in een ringvormige structuur worden bedreven. Dit maakt het mogelijk spanning te houden op het deel dat niet in onderhoud is, wanneer er aan één kant van het net onderhoud plaatsvindt¹⁰⁾. In een DC-net kan er van de andere kant worden ingevoed zonder dat er downtime is; de ring is namelijk altijd al aan twee kanten aangesloten. Bij een AC-net moet er eerst geschakeld worden voordat er vanaf de andere kan worden ingevoed. Bovendien is het onderhoud voorspelbaarder, omdat je veranderingen in spanning nauwkeuriger kan signaleren en hiermee problemen sneller kan opmerken. Een verandering in de spanning kan bijvoorbeeld duiden op corrosie of slechte contacten.

■ Energiebesparing

Wanneer een elektriciteitsbron (zon-PV) en een verbruiker (elektrisch voertuig) op hetzelfde DC-net worden aangesloten valt er een DC/AC-omzetting en een AC/DC-omzetting weg (ten opzichte van de huidige meest voorkomende situaties). Er zijn daarentegen wel meer DC/DC-omvormers. DC/DC-omvormers zijn efficiënter dan AC/DC-omvormers, waardoor een kleine energiebesparing optreedt wanneer er over

¹⁰⁾ AC-netten zijn ook in ringen uitgelegd, maar worden radiaal bedreven. Dit betekent dat de stroom van één kant komt. Bij onderhoud moet daarom de stroom 'omgeleid' worden waardoor de spanning dan tijdelijk van het net moet. Bij DC is dit niet het geval en blijft er in een ringvormig net bij onderhoud spanning op het net, behalve op de sectie die in onderhoud is.

wordt gestapt op een DC-net. Er is onenigheid bij experts hoeveel deze efficiëntiewinst is en of deze winst echt significant te noemen is. Er is enige consensus dat deze winst maximaal enkele procenten bedraagt. Bij specifieke toepassingen is deze winst mogelijk significant ten opzichte van bestaande omvormers, die vaak ook verbeterd kunnen worden.

■ **Passieve regeling op basis van (lokale) spanning**

Een DC-net maakt het mogelijk om individuele toepassingen in het net via het gevraagde vermogen te laten beïnvloeden op basis van lokale spanning. Apparaten worden ingesteld op een bepaalde grenswaarde. Op het moment dat het apparaat deze grenswaarde waarneemt, is het apparaat ingesteld om bijvoorbeeld minder vermogen te vragen of helemaal uit te gaan. Op het moment bijvoorbeeld dat de spanning onder een bepaalde drempelwaarde valt, gaan de warmtepomp en de lader van de auto minder vermogen vragen. Op deze manier kunnen de apparaten ervoor zorgen dat het net niet overbelast raakt. Bij AC is het niet mogelijk om apparatuur op basis van spanning reactief te regelen, aangezien de spanning wisselt (frequentie).

■ **Minder spanningsval**

Wanneer een net op gelijkspanning wordt aangesloten, zijn er geen capacatieve lekstromen. Deze lekstromen zorgen bij een AC-net voor spanningsval. Dit betekent dat er in een DC-net minder spanningsval is. Dit voordeel wordt groter bij langere kabels. Daarnaast kan een gelijkspanningsnet aan twee kanten gevoed worden. Over het algemeen zorgt dit ervoor dat de omvormer in het transformatorhuisje dichterbij de gebruiker is, waardoor er minder spanningsval optreedt, en er minder elektriciteit verloren gaat. Bij DC zijn er daarmee minder omvormers nodig over langere afstanden.

■ **Grotere capaciteit**

Doordat de spanning in een DC-net constant blijft, is de effectieve spanning hoger dan in een AC-net. Deze spanning is $\sqrt{2}$ keer hoger dan in een wisselspanningsnet. Daarnaast is de stroom in theorie ook $\sqrt{2}$ hoger, maar het is onduidelijk of dit ook in de praktijk zo is. De spanning en stroom zijn direct gecorreleerd aan de capaciteit van een kabel. Dit betekent dat er minstens $\sqrt{2}$ keer zoveel energie over dezelfde kabel kan in vergelijking met een AC-net. Onderzoek moet uitwijzen of dit $2 \times \sqrt{2}$ is, dus zowel voor de stroom als de spanning.

■ **Verhoogde 'power quality in DC-net**

Er komt steeds meer vermogenselektronica in onze netten. Problemen met 'power quality' komen zowel in AC als DC voor, bijvoorbeeld met inschakelstromen. Het verschil is dat frequentie, ook voor de power quality -problemen die frequentie afhankelijk zijn, niet aanwezig is in een DC-net. Hierdoor heeft een DC-net minder variabelen op basis waarvan power quality gewaarborgd dient te worden, dan een AC-net (zie ook Hoofdstuk 2).

4.2 Nadelen gelijkspanning

■ **Achterstand gelijkspanning**

Het elektriciteitssysteem is ingericht op AC en hiermee is een 'lock-in' gecreëerd. Dit betekent dat alles verenigbaar is met AC en alle huidige apparatuur functioneert op een AC-net en dat wet- en regelgeving (zoals netcodes) hierop ingericht zijn. Dit betekent dat de huidige apparatuur in bijvoorbeeld woningen en utiliteit niet geschikt is voor een DC-net. Hierdoor zal veel apparatuur opnieuw ontworpen moeten worden bij een omschakeling naar DC-netten. Het AC-regime heeft ook tot gevolg dat het uitdagend is om hiermee te concurreren, omdat de AC-componenten al op grote schaal geproduceerd worden en al sterke kostenreducties hebben behaald. Bovendien maken DC-fabrikanten nu zowel DC- als AC-componenten, waardoor de producten binnen het bedrijf met elkaar concurreren.

■ **Vlamboog**

Wanneer je bij AC een stekker uit een stopcontact trekt, ontstaat er heel kortstondig een vlamboog. Deze vlamboog dooft weer omdat de spanning een aantal keer per seconde nul is. Mechanisch schakelen werkt op het principe van een fysieke afstand creëren tussen twee draden, dan ontstaat een vlamboog die heel snel weer dooft, doordat de spanning 100 keer per seconde 0 is. Bij gelijkspanning is dit niet het geval en blijft de vlamboog bestaan. Het is dus niet gewenst om in een DC-net mechanisch te schakelen. Hierdoor is het noodzakelijk om te schakelen met behulp van vermogenselektronica.

■ **Solid state componenten**

Doordat gelijkspanning niet van richting verandert en geen nuldoorgang heeft, zijn er ander type componenten nodig voor de beveiliging van het systeem, zogenaamde solid state-componenten. Aan deze componenten valt (zonder nadere

indicatie) niet te zien of ze aan- of uitgeschakeld staan. Dit is een nadeel omdat er bij wisselspanning wel een zichtbare fysieke schakelaar moet zijn. Acceptatie bij vakmensen ontbreekt hierdoor bij deze componenten.

■ **Gebrek aan elektriciens met DC kennis**

In de huidige DC-toepassingen speelt gebrek aan kennis bij elektriciens een rol. Elektriciens zijn opgeleid om veilig met AC te werken, en weten niet hoe dit bij DC werkt. Dit kan leiden tot onveilige werksituaties. Uit een aantal concrete projecten blijkt dat het vinden van elektriciens met DC-kennis lastig is, zo wordt in interviews aangegeven.

4.3 Vermogenselektronica

Vermogenselektronica wordt gebruikt om met behulp van elektronische componenten elektrische vermogens te schakelen, sturen en om te vormen. De afgelopen jaren zijn er veel ontwikkelingen in vermogenselektronica, waardoor hier steeds meer gebruik van wordt gemaakt in het net. Hier worden de voordelen van vermogenselektronica ten opzichte van een net zonder vermogenselektronica besproken.

■ **Beveiligen met vermogenselektronica**

Het beveiligen met behulp van vermogenselektronica maakt het mogelijk om te schakelen in een DC-net. Daarnaast kan er preciezer beveiligd worden en lek- en overstromen snel gedetecteerd worden.

— Schakelen

Het is niet mogelijk om in een DC-net mechanisch te schakelen, omdat de vlamboog niet verbroken wordt. Vermogenselektronica maakt elektronisch schakelen wel mogelijk. Vermogenselektronica kan namelijk detecteren of er (mechanisch) geschakeld wordt en direct de stroom wegnemen, waardoor er geen vlamboog ontstaat.

— Sneller beveiligen

Ten opzichte van mechanisch beveiligen kan elektronisch beveiligen veel sneller plaatsvinden. Wanneer er met vermogenselektronica elektronisch beveiligd wordt, wordt er direct afgeschakeld. Terwijl er in een wisselspanningsnet pas afgeschakeld wordt als de spanning door de nuldoorgang gaat. Dit maakt elektronisch beveiligen sneller dan mechanisch beveiligen, omdat de mechanische beveiliging met de snelheid van de frequentie afschakelt.

Elektronische beveiliging is hier niet van afhankelijk en kan daardoor sneller afschakelen.

— Snel ontdekken van fouten in het net

Vermogenselektronica kan in een korte periode onvolkomenheden in het net detecteren. Denk hierbij aan lek- of overstromen. Wanneer deze stromen ontdekt worden, kan er snel afgeschakeld worden. Dit maakt elektronisch beveiligen door de snelheid veiliger dan de huidige manier van (mechanisch) beveiligen.

■ **Omvormen DC naar DC**

Een DC/DC-omvormer is een voorbeeld van vermogenselektronica. Deze vermogenselektronica maakt het mogelijk om de spanning in een gelijkspanningsnet te verhogen of te verlagen. Dit zorgt ervoor dat gelijkspanningsnetten gebouwd kunnen worden.

■ **Regelbaarheid door middel van PLC**

Door vermogenselektronica kan er slimme powerlinecommunicatie (PLC) over stroomkabels plaatsvinden. Hierdoor kunnen toepassingen eenvoudig bestuurd worden. Dit is robuuster met DC- dan met AC-toepassingen, omdat AC kan gaan interfereren met de signalen van de PLC.



5. Lessen uit de Roadmap

In 2018 is een Roadmap Gelijkspanning opgesteld. In deze Roadmap wordt de toegevoegde waarde voor gelijkspanning in zeven marktsegmenten uitgelegd. Daarnaast werd er voor zeven marktsegmenten een tijdlijn opgesteld, waarin gevisualiseerd is wanneer gelijkspanning in dit marktsegment 'market ready' wordt. Ook worden in de Roadmap een aantal algemene aanbevelingen gedaan, deze aanbevelingen zijn nodig om gelijkspanning verder te brengen. De aanbevelingen uit de Roadmap zijn:

- ondersteun gericht de meest kansrijke toepassingsgebieden voor DC-microgrids: OVL-net en glastuinbouw
- stimuleer kennisontwikkeling, pilots en demonstratieprojecten die gericht zijn op het wegnemen van onzekerheden rondom de (maatschappelijke) businesscase van DC-microgrids
- ondersteun het afdekken van financiële projectrisico's
- creëer ruimte in wet- en regelgeving om te kunnen experimenteren
- ontwikkel vakopleidingen vermogenselektronica toegespitst op DC-toepassingen of de toepassing hiervan in DC-microgrids.

Wat is er in de tussentijd gebeurt?

Op gebied van het ondersteunen van kansrijke toepassingsgebieden is er vooral veel gebeurd binnen OVL-netten. Er zijn veel nieuwe projecten ontstaan, waarvan ook sommige zonder subsidie. Daarnaast kan gelijkspanning in OVL in sommige projecten concurreren met AC. Daarentegen is er de afgelopen jaren weinig gebeurd op gebied van glastuinbouw. Hier zijn de afgelopen jaren bijna geen ontwikkelingen geweest.

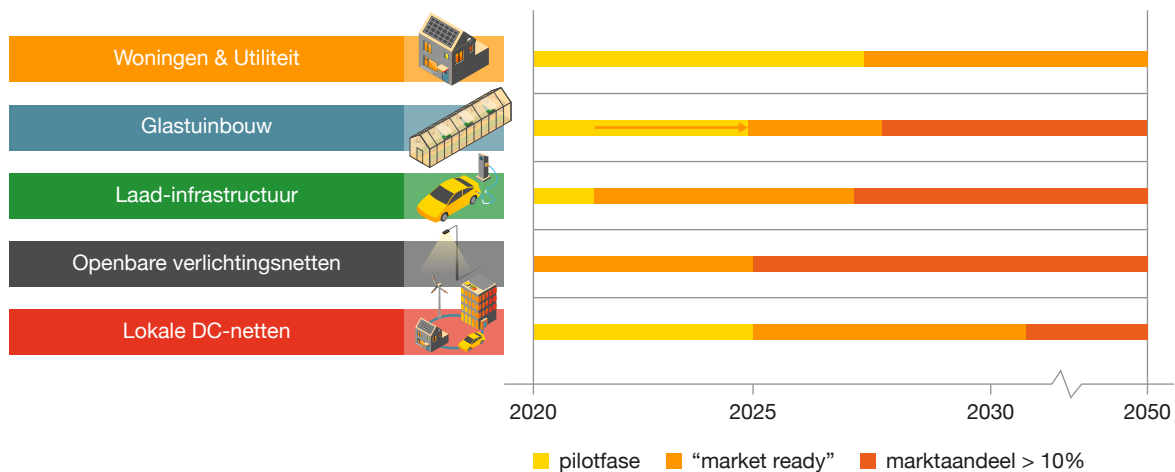
Daarnaast zijn bestaand ontwikkelingen/projecten binnen de andere marktsegmenten doorgegaan. Er zijn echter nog veel onzekerheden rondom de businesscase van gelijkspanning in verschillende marktsegmenten, zo blijkt uit interviews en de

validatiesessie (zie bijlage voor deelnemers). De financiële risico's worden nog niet in elk marktsegment afgedekt, gelijkspanning verliest het nog vaak op kosten van AC. Sinds de Roadmap uit 2018 is er ook niet meer ruimte in wet- en regelgeving gekomen. Vakopleidingen van vermogenselektronica toegespitst op DC-toepassingen bestaan nog niet. Wel wordt er op andere manieren aan kennisverspreiding gedaan (Webinars/Congressen/Whatsappgroepen).

In de Roadmap Gelijkspanning werden een aantal lessen getrokken. Deze lessen in de Roadmap focussen zich met name op het ondersteunen van kansrijke toepassingsgebieden, het stimuleren van pilots, het afdekken van financiële risico's, het creëren van ruimte in wet- en regelgeving en het ontwikkelen van vakopleidingen in vermogenselektronica.

5.1 Verwachte tijdlijnen/marktadoptie

In de Roadmap Gelijkspanning worden zeven marktsegmenten besproken. Van deze marktsegmenten is de marktadoptie en de ontwikkeling in de toekomst geschetst. In deze update is er uitgegaan van vijf marktsegmenten, waarbij woning en utiliteit samen-gevoegd zijn, en het marktsegment datacenters niet in deze update is meegenomen. De voortgang in marktadoptie is getest in interviews met experts. Hieruit bleek dat het marktsegment glastuinbouw vertraagd is ten opzichte van de Roadmap in 2018. De voorspelling van marktadoptie voor de andere marktsegmenten blijft van toepassing. Dit is weergegeven in Figuur 4. Hieruit blijkt dat laadinfrastructuur op DC en openbare verlichting (OVL) op DC verder zijn in de ontwikkeling dan de andere marktsegmenten. Deze marktsegmenten zullen het eerste "market ready" zijn, en hier liggen dus op de korte termijn veel kansen voor DC. Glastuinbouw lijkt daarentegen zich minder snel te ontwikkelen dan initieel verwacht, met name de adoptie van ledverlichting gaat minder snel dan gedacht, hetgeen als één van de belangrijke trends wordt gezien voor de toepassing van DC binnen de glastuinbouw.



Figuur 4 Verwachte tijdlijnen voor marktadoptie van glastuinbouw, laadinfrastructuur, lokale DC netten, openbare verlichting, en woningen en utiliteit

In de vijf Whitepapers wordt er dieper ingegaan op de huidige stand van zaken en marktadoptie van de toepassing van DC in de segmenten.

6. Knelpunten gelijkspanning

Zoals beschreven in Hoofdstuk 4 zijn er verschillende voordelen voor het gebruik van gelijkspanning in combinatie met vermogenselektronica. Toch is in veel marktsegmenten gelijkspanning nog niet ‘market ready’. In dit hoofdstuk worden knelpunten en bottlenecks voor de algemene ontwikkeling van gelijkspanning geïdentificeerd. Specifieke knelpunten voor marktsegmenten worden in de losse Whitepapers behandeld. De geïdentificeerde algemene knelpunten hebben een sterke invloed op elkaar. Dit is weergegeven in Figuur 5.

■ Normalisatie van DC-componenten

Doordat DC nog niet op grote schaal wordt toegepast, is de NEN 1010 hier niet op aangepast. De NEN 1010 bevat de minimumveiligheidseisen waaraan een LS-net moet voldoen. Er zijn dus geen standaarden waarmee de veiligheid gewaarborgd is. Hierdoor ontbreekt het aan kennis bij bijvoorbeeld elektriciens en is de markt terughoudend in het kiezen voor DC-toepassingen.

Daarnaast is er een gebrek aan CE-keurmerken en productnormen waardoor het niet altijd mogelijk is om apparatuur te verkopen. Hierdoor ontstaat er een cirkel waarin er door fabrikanten niet wordt gefocust op DC-apparatuur omdat er geen keurmerken zijn, waardoor de apparatuur niet op de markt komt en er daardoor ook geen verder onderzoek naar apparatuur gedaan wordt.

Een ander knelpunt voor normalisatie is het gebrek aan juridisch erkende meetapparatuur voor DC. Er bestaan DC-kWh-meters maar het is nog niet toegestaan op basis van deze meters elektriciteit af te rekenen. Dit heeft invloed op de toepassing van DC binnen laadpalen, woningen en lokale netten.

■ Kennis van DC-mogelijkheden en DC-gebruik

Kennis is op twee manieren een knelpunt in de ontwikkeling van gelijkspanning: ‘awareness’ en ‘know-how’. Er wordt aangegeven dat marktpartijen niet altijd van het bestaan van gelijkspanning

of gelijkspanningscomponenten afweten. Op het moment dat een gebruiker niet op de hoogte is van de voordelen en het bestaan van gelijkspanning kan er geen goede afweging gemaakt worden tussen AC en DC. Dan zal een gebruiker altijd voor het bekende AC kiezen.

Daarnaast is er weinig kennis over het ontwerp, aanleg, gebruik en onderhoud van gelijkspanningsnetten, installaties en toepassingen. Er zijn geen standaarden om een installatie te ontwerpen, waardoor niet veel netontwerpers op de hoogte zijn van het ontwerpen van een gelijkspanningsnet/installatie. Dit probleem speelt ook bij elektriciens. Elektriciens zijn over het algemeen niet goed op de hoogte hoe zij een gelijkspanningsinstallatie veilig moeten onderhouden. De reden hiervoor is het ontbreken van praktische opleidingen voor elektriciens voor DC.

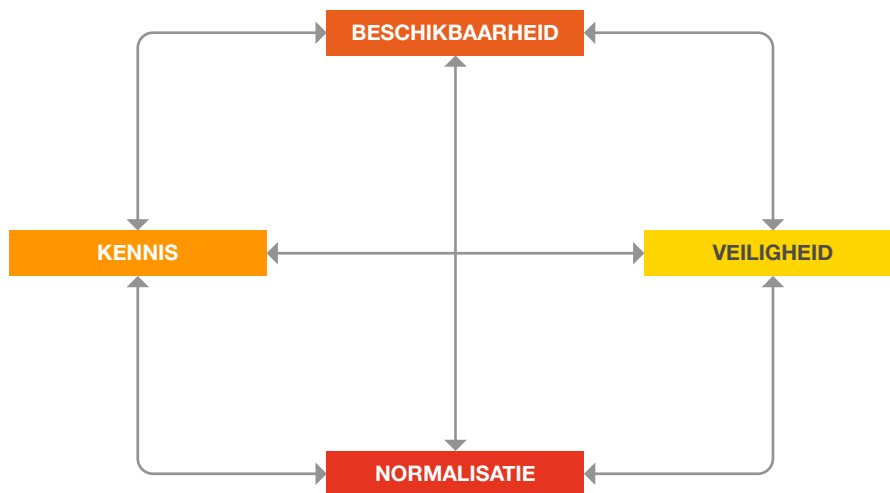
■ Beschikbaarheid DC-componenten

Momenteel missen er keurmerken en normering voor DC-componenten en DC-apparatuur. Dit zorgt ervoor dat producenten het nog niet aandurven om op grote schaal DC-producten te ontwikkelen. Projectontwikkelaars hebben hierdoor beperkt keuze op het gebied van DC-componenten. Daarnaast zijn componenten niet altijd leverbaar of hebben een lange levertijd, waardoor projectdesigns aangepast moeten worden of vertraging oplopen.

Naast dat bedrijven DC-producten niet op grote schaal produceren, zijn er ook weinig bedrijven actief in de DC-componentenmarkt. Hierdoor is het voor projectontwikkelaars niet mogelijk te kiezen tussen verschillende producenten en kan de leverancier de prijs van de producten bepalen zonder rekening te hoeven houden met concurrentie. Dit is een reden waarom de prijs van de DC-componenten hoog blijft en het aanbod beperkt.

■ (Perceptie van) Veiligheid

Zoals hiervoor besproken heeft een gelijkspanningsnet een andere manier van beveiliging nodig. Hiervoor zijn veiligheidscomponenten beschikbaar, maar deze zijn nog niet genormeerd en hebben nog geen keurmerk. Hierdoor heerst er een perceptie dat gelijkspanning minder veilig is. Dit vooroordeel is gebaseerd op gebrek aan kennis over de werking van de vermogenselektronica in de gelijkspanningstechniek. Deze perceptie van veiligheid is als knelpunt geïdentificeerd voor de ontwikkeling van DC in het algemeen.



Figuur 5 Afhangelijkheid van de knelpunten voor ontwikkeling gelijkspanning

7. Conclusies/ aanbevelingen

In dit hoofdstuk gaan we in op de overkoepelende conclusies uit de interviews en de validatiesessie. We geven een aantal aanbevelingen op het gebied van de ontwikkeling van DC. Daarnaast staan we stil bij op welke manier gelijkspanning past binnen de Missiegedreven Innovatieprogramma's (MMIP's) van de overheid. Het hoofdstuk sluiten we af met een rolbepaling voor RVO, TKI Urban Energy en Stichting Gelijkspanning Nederland (SGNL) in de ontwikkeling van gelijkspanning.

7.1 Innovatiebeleid (MMIP's)

Als onderdeel van het Klimaatakkoord heeft de overheid een Integrale Kennis- en Innovatieagenda (IKIA) opgesteld die de innovatieopgave beschrijft om de de gestelde klimaatdoelstellingen te halen. Onderdeel van de IKIA zijn dertien Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's (MMIP's), die deze innovatieopgave voor de vijf missies beschrijft.

Gelijkspanning raakt aan een tweetal MMIP's.

- **MMIP 5. Elektrificatie van het energiesysteem in de gebouwde omgeving.** Dit programma wil bijdragen aan een efficiënt, betaalbaar, slim en integraal elektriciteitssysteem. De toepassing van DC kan hier op meerdere manieren aan bijdragen. Zoals te zien in de Whitepaper 'Woningen en utiliteit', kan DC een bijdrage leveren aan het optimaal gebruik maken van elektriciteitsnetten door het verhoogde vermogen dat over kabels getransporteerd kan worden en de mogelijkheden van droop control. Dit geldt ook voor lokale DC-netten waarbij mogelijk toekomstige netcongestie voorkomen kan worden door betere benutting van bestaande infrastructuur en bundeling van hernieuwbare opwek binnen een DC-net. Ook de toepassing van DC in OVL-netten kan bijdragen aan het programma doordat er gebruik kan worden gemaakt van parallelle benutting. Daarnaast kan DC in

laadinfrastructuur een bijdrage leveren door slim om te gaan met energiestromen middels V2G.

- **MMIP 9. Innovatieve aandrijving en gebruik van duurzame energiedragers voor mobiliteit.** Dit programma wil bijdragen aan een duurzaam mobiliteitssysteem in Nederland. De ontwikkeling van efficiënte en effectieve laadinfrastructuur is hier een onderdeel van. Zoals te lezen in het Whitepaper omtrent laadinfrastructuur is de combinatie van DC-laden en V2G kansrijk. Bovendien kan de laadsnelheid middels de koppeling tussen verschillende DC-laders in bijvoorbeeld een laadplein eenvoudiger geregeld worden dan bij AC. Dit is niet enkel interessant voor grote vermogens bij snelladen, maar ook bij langzaam laden is dit relevant. Ook de segmenten OVL, en woningen en utiliteit raken aan dit programma door de koppelmogelijkheden met elektrisch laden.

7.2 Aanbevelingen voor beleid en innovatie

De aanbevelingen voor de ontwikkeling van gelijkspanning zijn opgehaald in interviews en de validatiesessie. De aanbevelingen in dit hoofdstuk zijn algemene aanbevelingen en dienen voor de hele gelijkspanningssector. Specifieke aanbevelingen per marktsegment zijn weergegeven in de desbetreffende Whitepapers.

- **Stimulering normalisatie**

Voor de ontwikkeling van gelijkspanning is het noodzakelijk dat er normen komen voor het gebruik van gelijkspanning. Huidige normering voor gelijkspanning is erg beperkt. Op veel verschillende plekken in de sector wordt het gebrek aan normalisering als knelpunt genoemd. Het (versneld) normeren van gelijkspanning neemt een grote drempel weg, voor zowel de productie van componenten als de installatie, ontwerp en toepassing van DC-netten. Ook kan dit bijdragen om potentiële gebruikers vertrouwen te geven in de veilige toepassing van DC.

■ Wet- en regelgeving

Een ander punt dat van belang is voor de ontwikkeling van gelijkspanning is het ontbreken van wet- en regelgeving (zoals netcodes en meetcodes). Dit punt is tweeledig met zowel gebrek aan een juridisch erkende DC-kWh-meter en een verankering van normering in de wet. Er is op dit moment een DC-kWh-meter. Deze is echter nog niet juridisch erkend, waardoor het niet mogelijk is elektriciteit in een gelijkspanningsnet af te rekenen. Dit lijkt triviaal maar is essentieel om DC-netten in te passen; de afrekening van energiestromen is het fundament waarop het systeem in stand wordt gehouden. Dit is voor verschillende marktsegmenten een barrière voor verdere ontwikkeling. Daarnaast is het nodig dat de normen die geschetst worden bij het vorige punt verankerd worden in de wet (middels netcodes en meetcodes). Dit zodat gebruikers erop kunnen rekenen dat gelijkspanning op een professionele en veilige manier wordt toegepast.

■ Demonstraties en pilots

Over het algemeen zijn er nog te weinig demonstraties en pilots op DC-gebied uitgevoerd. Dit zorgt ervoor dat er nog geen duidelijke kwantificatie is van de voordelen ten opzichte van het huidige systeem. Daarnaast ontbreekt ook het 'proof of concept' op verschillende schaalniveaus om DC-breder toe te passen. Er worden in bepaalde segmenten grote claims gedaan over de voordelen van gelijkspanning, maar dit is nog niet in demonstraties bewezen. Het gevolg hiervan is dat er een discussie is ontstaan tussen mensen die wel en mensen die niet in gelijkspanning geloven. Daarom wordt er aanbevolen om in te zetten op demonstratieprojecten en pilots, waar het voordeel van gelijkspanning feitelijke bewezen en onderbouwd kan worden.

■ Monitoring en evaluatie

De veranderingen op gebied van DC gaan erg snel en vinden soms in een onbekend marktsegment plaats. Er wordt aanbevolen om de ontwikkelingen binnen DC structureel (bijvoorbeeld jaarlijks) te monitoren. Het is mogelijk om de koppeling te maken met SGNL, die een lijst bijhoudt met alle DC-projecten.

7.2 Rol TKI Urban Energy en RVO

Uit de validatiesessie bleek dat de verwachting van de rol van TKI Urban Energy en RVO dicht bij de huidige rol ligt. Experts geven aan dat zij een rol zien in het stimuleren van specifieke demonstraties en pilots en het verlenen van subsidies. Er wordt opgemerkt dat de nieuwe opzet van missiegedreven innovatiebeleid¹¹⁾ voldoende aanknopingspunten geeft voor subsidiëring van innovatieprojecten, maar dat het belangrijk is om daarnaast ook voldoende middelen te blijven bieden voor separate projecten gericht op de noodzakelijke (door)ontwikkeling van technische componenten.

Beide instanties worden erkend in hun rol in het delen van uitkomsten en leerpunten van DC-projecten. Daarnaast wordt er aangegeven dat TKI Urban Energy en RVO grote partijen als netbeheerders kunnen stimuleren om mee te doen aan grote projecten. Door te richten op het samenspel tussen grote partijen, kan de link tussen demonstraties en normalisatie vergroot worden. Met name op het terrein van de netbeheerder worden nog veel voordelen onderscheiden voor de toepassing van gelijkspanning. Dit terwijl er vrijwel geen activiteiten zijn geïdentificeerd van netbeheerders¹²⁾ met betrekking tot onderzoek naar dan wel toepassing van gelijkspanning.

7.4 Rol Stichting Gelijkspanning Nederland

Voor Stichting Gelijkspanning Nederland wordt een duidelijke rol voorzien als verbinder en loket door het samenbrengen van partijen en actieve kennisdeling. De rol als kennisdeler wordt reeds concreet gemaakt in bijvoorbeeld het delen van 'best practices', maar ook het verspreiden van bewustzijn over DC. Daarnaast wordt SGNL als partij gezien die de rol van DC kan verduidelijken bij overheden en netbeheerders. Daarmee wordt SGNL ook als lobbypartij gezien. Het uitwerken van diverse businesscases gericht op de toekomst kunnen hier ook in helpen.

11) Sinds 2019 worden subsidiegelden beschikbaar gesteld langs de lijn van Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's (MMIP's). Daarbij ligt een sterke focus op de ontwikkeling van integrale oplossingen. Gelijkspanning raakt met name aan de volgende twee MMIP's.

- MMIP 5: Elektrificatie van het energiesysteem in de gebouwde omgeving. Dit programma wil bijdragen aan een efficiënt, betaalbaar, slim en integraal elektriciteitssysteem.
- MMIP 9: Innovatieve aandrijving en gebruik van duurzame energiedragers voor mobiliteit. Dit programma wil bijdragen aan een duurzaam mobiliteitssysteem in Nederland. De ontwikkeling van efficiënte en effectieve laadinfrastructuur is hier een onderdeel van.

12) Binnen dit onderzoek was niet de ruimte om alle netbeheerders hierover te interviewen. Het dient aanbeveling om hierover het gesprek met de netbeheerders verder te voeren.

Bijlage

Geïnterviewden

Bij het opstellen van deze update hebben wij kennis van de marktsegmenten en de algemene toepassing van gelijkspanning onder andere opgehaald uit de diverse interviews. In de volgende tabel hebben wij de geïnterviewden en bijbehorende organisaties weergegeven.

Naam	Organisatie
Wilfred Akerboom	Citytec
Pavol Bauer	Technische Universiteit Delft
Martijn Bongaerts	Alliander
Richard van Bueren	Gavita International
Johan Driesen	KU Leuven
Menno Kardolus	PRE
Mark Kousman	Eaton
Henry Lootens	Stichting Gelijkspanning Nederland
Laurens Mackay	DC Opportunities
Jan van Os	ATAG Nederland
Wim van Raalte	Technische Universiteit Delft
Goffe Schat	NEN
Korneel Wijnands	Technische Universiteit Eindhoven

Aanwezigen bij validatiesessie

Op 10 november 2020 is er een digitale validatiesessie georganiseerd waarbij diverse mensen uit de sector konden reageren op de inzichten uit de concept Whitepapers. De uitkomsten van deze sessie zijn vervolgens verwerkt in de Whitepapers. In onderstaande tabel zijn de aanwezigen en bijbehorende organisaties weergegeven.

Naam	Organisatie
Wilfred Akerboom	CityTec
Ron Bakker	HTM
Wessel Bakker	DNV GL
Pavol Bauer	Technische Universiteit Delft
Paul Borghouts	Nexans
Sven de Breucker	Dynniq
Giel van den Broeck	DCINERGY
Marcel Eijgelaar	DNV GL
Erik Elich	Gemeente Den Haag
Ronald Fransen	Stichting Gelijkspanning Nederland
Menno Kardolus	PRE
Nicole Kerkhof	RVO
Mark Kousman	Eaton
Henry Lootens	Stichting Gelijkspanning Nederland
Laurens Mackay	DC Opportunities
Sander Mertens	HHS
Wim van Raalte	Technische Universiteit Delft
Maarten van Riet	Alliander
Rob Schaecke	Hogeschool van Amsterdam
Goffe Schat	NEN
Marco van Steekelenburg	Provincie Zuid-Holland
Harry Stokman	Direct Current
Maarten de Vries	TKI Urban Energy
Korneel Wijnands	Technische Universiteit Eindhoven
Pepijn van Willigenburg	Stichting Gelijkspanning Nederland

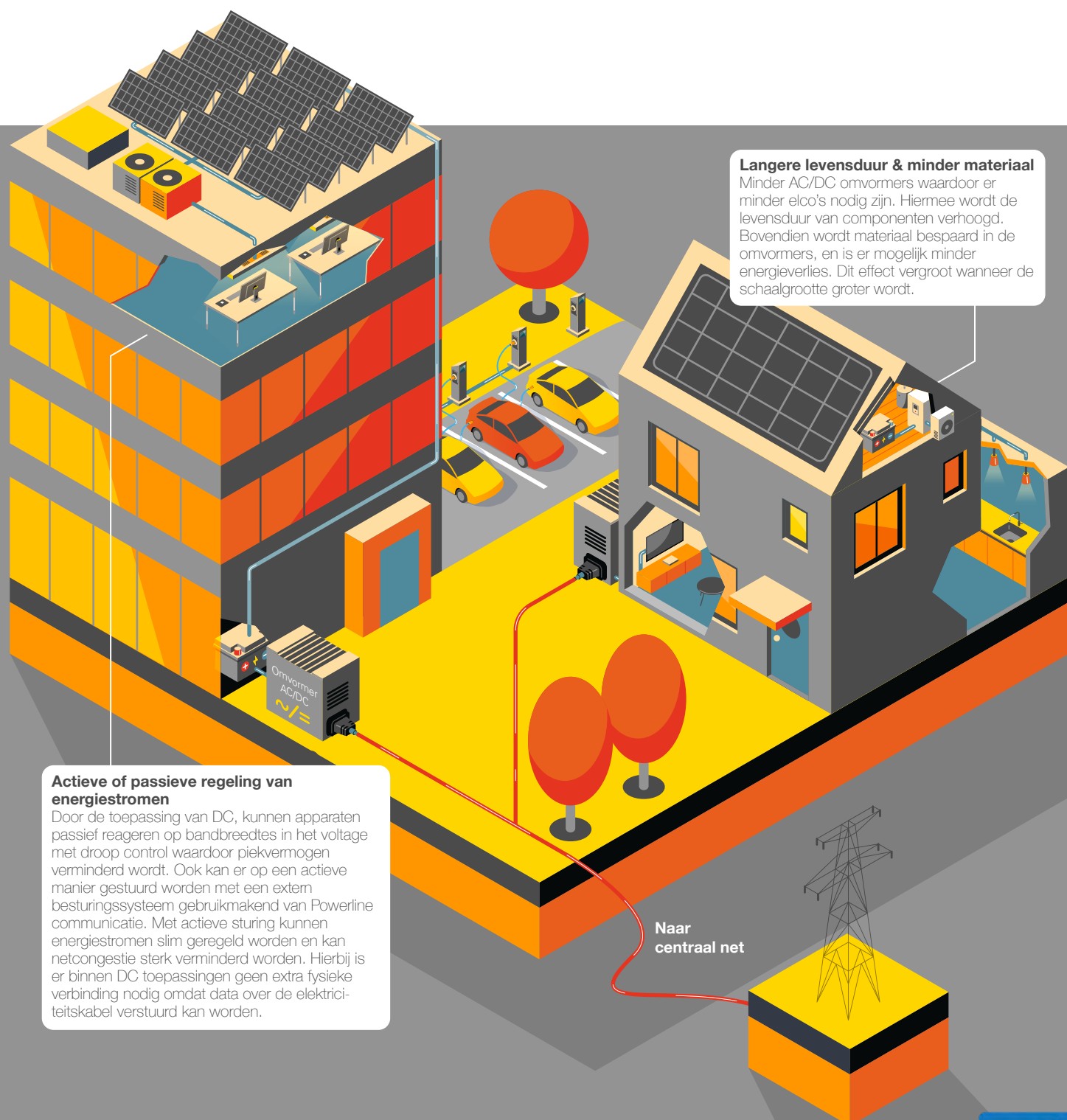
Update Gelijkspanning

December 2020

■ woningen en utiliteit

Dit rapport is tot stand gekomen in opdracht van RVO op verzoek van de TKI Urban Energy

door Rutger Bianchi, Thijs Verboon en Liesbeth van Klink



Langere levensduur & minder materiaal

Minder AC/DC omvormers waardoor er minder elco's nodig zijn. Hiermee wordt de levensduur van componenten verhoogd. Bovendien wordt materiaal bespaard in de omvormers, en is er mogelijk minder energieverlies. Dit effect vergroot wanneer de schaalgrootte groter wordt.

Actieve of passieve regeling van energiestromen

Door de toepassing van DC, kunnen apparaten passief reageren op bandbreedtes in het voltage met droop control waardoor piekvermogen verminderd wordt. Ook kan er op een actieve manier gestuurd worden met een extern besturingssysteem gebruikmakend van Powerline communicatie. Met actieve sturing kunnen energiestromen slim geregeld worden en kan netcongestie sterk verminderd worden. Hierbij is er binnen DC toepassingen geen extra fysieke verbinding nodig omdat data over de elektriciteitskabel verstuurd kan worden.

Naar
centraal net

Berenschot



TKI URBAN ENERGY
Topsector Energie



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland



STICHTING
GELIJKSPANNING
NEDERLAND

Inhoud

Aanleiding	3
Inleiding	3
Raakvlakken met andere marktsegmenten	5
Stand van zaken	5
Marktadoptie	8
Knelpunten	9
Aanbevelingen	9



Gelijkspanning in woningen en utiliteit

DC-toepassingen in woning en utiliteit (bedrijfsgebouwen) kunnen ervoor zorgen dat er mogelijk minder energieverliezen optreden, materiaal uitgespaard kan worden en dat apparatuur makkelijker gestuurd kan worden, actief dan wel passief. Deze sturing heeft als potentieel voordeel een betere afstemming met opwek achter de meter en het voorkomen van congestie op het net. De adoptie van DC in woningen en utiliteit heeft daarbij wel een aantal knelpunten namelijk (1) normalisatie, (2) veiligheid en (3) stimulans voor consumenten (gebouwgebruikers en -eigenaren). Er wordt aanbevolen om in te zetten op grootschalige pilots, ontwikkelen van certificering voor DC-componenten en ontwikkeling van incentive voor de consumenten. Hiernavolgend gaan we in op deze aspecten.

Aanleiding

Dit Whitepaper maakt onderdeel uit van een rapportage over de stand van zaken van gelijkspanning in Nederland. De rapportage is een update van de Roadmap gelijkspanning die in 2018 is opgesteld. Algemene informatie en details over de voordelen, nadelen en uitdagingen van gelijkspanning (DC) worden uitgelegd in de update gelijkspanning. Naast de update gelijkspanning gaan wij dieper in op vijf specifieke marktsegmenten middels vijf Whitepapers. In dit Whitepaper wordt ingegaan op het marktsegment gelijkspanningstoepassingen in woningen en utiliteit. Hierbij gaan we eerst in op het concept vervolgens op de: stand van zaken, marktadoptie, knelpunten en aanbevelingen.

Inleiding

In dit Whitepaper wordt gekeken naar de mogelijke rol van gelijkspanning in de gebouwde omgeving. Deze link tussen DC en de gebouwde omgeving komt voort uit een aantal ontwikkelingen van

gelijkspanningsapparatuur en het feit dat er behoefte is aan sturing van apparatuur. Dit is makkelijker wanneer een DC-net gebruikt wordt.

In woningen en utiliteit kunnen met de implementatie van DC energieverliezen worden gereduceerd doordat er minder AC/DC-omvormers nodig zijn. Daarnaast kunnen er met de toepassing van gelijkspanning materialen worden uitgespaard (uit deze AC/DC-omvormers). Ook kunnen apparaten eventueel via powerline-communicatie slim worden gestuurd. Een andere vorm van sturing is meer passief, door de toepassing van droop-control, waardoor er op basis van grenswaarden voor de spanning in apparaten op een passieve manier het verbruik wordt beïnvloed. Deze sturing is noodzakelijk omdat door digitalisering en de energietransitie het aantal elektrische apparaten groeit. Dit voordeel wordt groter met een toename in decentrale elektriciteitsproductie en elektriciteitsgebruik.

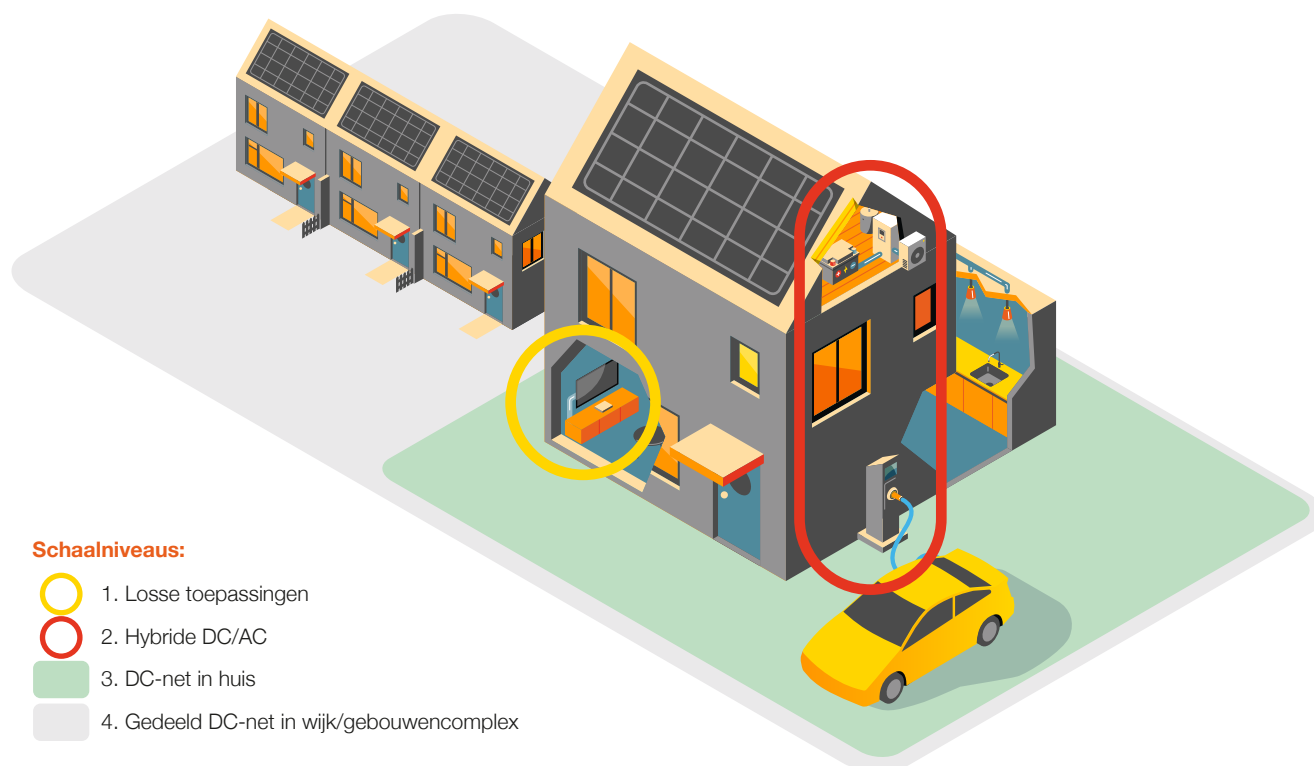
Er is een sterke groei in het aantal toepassingen dat van DC gebruik maakt. Hierbij zijn er twee grote trends gaande, (1) digitalisering en (2) de energietransitie. Voorbeelden van digitalisering waarbij in alledaagse apparatuur DC gebruikt wordt, zijn mobiele telefoons, tablets en laptops. Daarnaast zorgt de energietransitie ervoor dat er meer gelijkspanningstechnologieën in de gebouwde omgeving worden gebruikt. Zonnepanelen leveren bijvoorbeeld DC, en elektrisch voertuigen worden opgeladen met DC.

Daarnaast wordt er verwacht dat het aantal thuisbatterijen (als gevolg van het grote aantal zonnepanelen en het wegvallen van de salderingsregeling) gaat toenemen de komende jaren. Batterijen gebruiken net als zonnepanelen en elektrische voertuigen (EV) ook DC. Kortom, het aantal technologieën dat gebruik maakt van gelijkspanning in de gebouwde omgeving is groot, en stijgt naar verwachting de komende jaren sterk. Het huidige elektriciteitsnet werkt nu op wisselspanning, waardoor al deze technologieën omvormers nodig hebben.

Naast het aandeel elektriciteit dat nodig is voor verwarming stijgt naar verwachting ook het aantal huishoudens dat elektrisch kookt. Dit betekent dat de piekvraag aan energie 's avonds in de toekomst grotendeels bestaat uit elektriciteit (waar deze nu grotendeels met aardgas wordt ingevuld). Er worden capaciteitsproblemen voorzien wanneer deze trends doorzetten, omdat het huidige elektriciteitsnet niet op deze vraag gedimensioneerd is. Dit zou betekenen dat het net verzaamd moet worden, maar DC kan hier ook een oplossing bieden. Door (veel capaciteitvragende) apparaten aan te sluiten op een in pandig gelijkspanningsnet wordt het mogelijk apparaten selectief minder vermogen te geven of uit te schakelen als er overbelasting wordt gedetecteerd, zonder dat hiervoor additionele slimme apparatuur voor nodig is. Daarnaast kan er bij gelijkspanning ook meer vermogen over de zelfde kabel of leiding getransporteerd worden, waardoor het minder snel nodig is de kabel te verzwaren. (zie ook het marktsegment lokale DC-netten)

In dit Whitepaper wordt er onderscheid gemaakt tussen vier verschillende schaalniveaus (Figuur 1).

1. In het laagste schaalniveau maken alleen **losse toepassingen** gebruik van gelijkspanning. Een voorbeeld hiervan is een USB-C hub. Hieraan kunnen meerdere telefoons of laptops geladen worden zonder dat hiervoor per apparaat een omvormer/adapter nodig is. **Voordeel: materiaal besparing door minder AC/DC-omvormers, regeling van energiestromen actief dan wel passief voor bijvoorbeeld individuele apparatuur (door middel van powerlinecommunicatie (PLC) of droop-control).**
2. In het tweede schaalniveau beschikt een gebouw over zowel een in pandig DC- als een AC-net. Toepassingen waar de voordelen van gelijkspanning meer kans hebben, worden van gelijkspanning voorzien, terwijl de rest van het huis nog van wisselspanning voorzien wordt. Een voorbeeld hiervan is een woning waarbij de keuken, zonnepanelen, de elektrische auto en/of batterijen op gelijkspanning zijn aangesloten en de rest van het huis op wisselspanning is aangesloten. **Voordeel: materiaalbesparing voor groepen DC-apparatuur, daarnaast minder energieverlies en onderhoud, passieve beïnvloeding van verbruik door het instellen van grenswaarden binnen een groep apparaten (bijvoorbeeld afstemming binnen de keuken).**
3. Op het derde schaalniveau wordt het hele gebouw voorzien van gelijkspanning. De wisselspanning van het distributienet wordt in de meterkast omgezet naar gelijkspanning. De apparaten die niet op gelijkspanning kunnen functioneren, hebben in dit schaalniveau een AC/DC-omvormer nodig. **Voordeel: mogelijkheid tot aansluiten van auto-laders, zon-PV en thuisbatterijen met minder materiaal, slijtage en daarnaast minder omvormingsverliezen, regeling van energiestromen actief dan wel passief tussen huishoudelijke apparatuur (d.m.v. PLC of droop-control).**
4. Op het hoogste (vierde) schaalniveau wordt een gelijkspanningsnet gedeeld in een wijk of gebouwen complex. Het verschil met schaalniveau drie is dat een deel van het distributienet ook op gelijkspanning moet worden omgezet. **Voordeel: aansluiting op lokale laadinfrastructuur en opwek met minder materiaal, onderhoud en omvormingsverliezen. Regeling van energiestromen actief dan wel passief binnen een wijk (door middel van PLC of droop-control) Hiermee kan in potentie netcongestie worden verminderd.**



Figuur 1 Visualisatie van de schaalniveaus van gelijkspanning in de gebouwde omgeving

Schaalniveau	Kansrijk	Complexiteit	Beschikbaarheid	Nieuwbouw
1: Losse toepassingen DC	Hoog	Laag	Hoog	Niet noodzakelijk
2: Hybride DC / AC net	Hoog	Gemiddeld	Gemiddeld	Niet noodzakelijk
3: DC-net	Laag	Hoog	Laag	Niet noodzakelijk wel complex
4: Gedeeld DC-net in wijk/gebouwencomplex	Laag	Hoog	Laag	Noodzakelijk

Tabel 1 Schaalniveaus van DC in gebouwde omgeving (1/5 = laag, 5/5 = hoog)

Raakvlakken met andere marktsegmenten

Een net voor woningen en utiliteit heeft een aantal raakvlakken met andere marktsegmenten. Op een laag schaalniveau heeft het overeenkomsten met het marktsegment laadinfrastructuur of aan openbare verlichting. Dit komt met name omdat het een net(deel) of installatie is, toegewijd aan één toepassing. Dit maakt overgang naar DC makkelijker aanzien hier niet alle apparatuur op hoeft aangepast te worden. Hierbij zijn minder AC/DC-omvormers noodzakelijk en kunnen energiestromen in potentie middels PLC of droop-control actief dan wel passief slimmer gestuurd worden. Een andere overeenkomst is hier ook de door de energietransitie aangestuurde trend van het groeiende aantal DC-apparaten in de samenleving.

Op een hoger schaalniveau vertoont gelijkspanning in de gebouwde omgeving gelijkenis met een lokaal DC-net. Dit komt met name omdat er meerder gebruikers op het net zijn. En dat een deel van het huidige distributienet omgezet moet worden in DC.

Stand van zaken

Zoals te zien is in Tabel 2 zijn er verschillende projecten op het gebied van DC in woningen en utiliteit. De projecten worden gedaan binnen de verschillende schaalniveaus waarbij de meeste projecten zich in de demonstratie en prototype fase bevinden.

Op schaalniveau 1 zijn er twee projecten bezig met het ontwikkelen van DC-componenten om zo de toepassing van DC in woningen en utiliteit te

faciliteren. Deze projecten richten zich op het ombouwen van bestaande apparatuur en de ontwikkeling van USB-C aansluitingen.

Daarnaast zijn er verschillende projecten gefocust op hybride opties. Hierbij kan de integratie van een DC net naast een AC net op verschillende schaalgroottes plaatsvinden, zoals huizen en koelhuizen maar ook enkel een specifieke zaal of dak. De DC-netten worden in deze projecten gebruikt voor de koppeling van DC-toepassingen.

Twee projecten houden zich bezig met implementaties van enkel DC-netten. Dit is het geval bij een onderwijsgebouw van de TU Delft en bij een 'proof of concept'-project in innovatiewoningen in Heerlen. Deze laatste is het zogenaamde DC-Flexhouse project. Het beoogde doel is daar echter niet behaald, wel is de technologie die in DC-Flexhouse en USB-C is ontwikkeld, succesvol toegepast in Circl en PULSE.

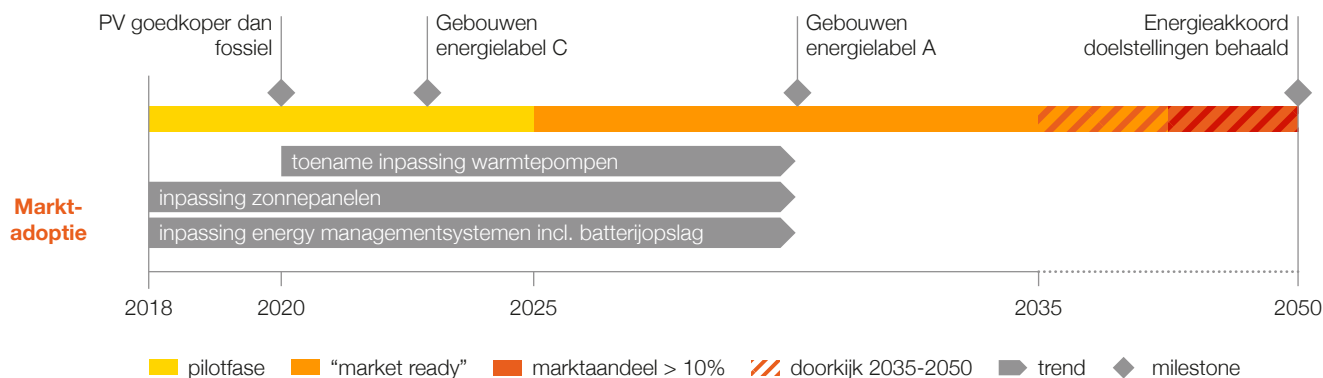
Project-naam	Project	Koppeling met andere technieken	Organisaties	Subsidie	Type	Jaartal (start)
<u>DC domestic appliances</u>	Bestaande apparatuur ombouwen naar DC-voeding	nvt	ABB / ATAG / DC opportunities / Direct Current / HHS / Simulation research / SGSN	Innovaties aardgasloze wijken	Proof of concept	2018
<u>DC flexhouse</u>	Vijf werkpakketen voor de vervanging van energie infrastructuur in woningen	Wijkniveau (DC-netten)	ABB / Direct Current / IPM / HHS / IBC-Solar / Stichting Hogeschool Zuyd / SGNL	IDEEG2	Proof of concept	2015
<u>USB-(D)C</u>	Ontwikkeling en realisatie van elektrische aansluitingen voor gelijkspanningsnetten voor elektronica, verlichting en kleinverbruikers		Direct Current / ABB / BAM / HHS	IDEEG2	Ontwikkeling & marktintroductie	2015
<u>Smart DC lofts</u>	Hybride DC/AC net in innovatieve huizen in Eindhoven (Strijp-S)	PV / opslag / wijk	Volkerwessels Icity / HOMIJ / ABB / Direct Current / Van Mierlo / OpenRemote	DEI	Demonstratie	2016
<u>ZoCool</u>	Hybride DC/AC net voor koelhuisen in de fruitsector	PV / Koelsysteem / regelsysteem	DNV GL / AFI / Direct Current / Fruitpact / I-Thermostat / KEMA / Solar Comfort / Van Kempen Koudetechniek	SDE+ zon & gebouwde omgeving	Demonstratie	2014
<u>Pulse gebouw</u>	Energie neutraal onderwijsgebouw op de TU Delft	PV / USB-C	DC Systems / TU Delft		Demonstratie	2018
<u>Project Stroomversnelling</u>	Woningen in Soesterberg voor nul-op-de-meter concept met DC-module	Warmtepomp / ventilatie-unit / PV	BAM / Volkerwessels / Ballast Nedam / Dura Vermeer / Direct Current	STEP subsidie en FEH lening (voor woningcorporatie en verhuurders)	Demonstratie / prototype	2014
<u>Factory Zero</u>	Dak geïntegreerde energiemodule voor ventileren, verwarmen en koelen op DC	PV / Platte boiler	Factory Zero	MMIP combinatie	Prototype	2020
<u>Smart TinyLab</u>	Onderzoek naar 350VDC grid in woning in vergelijking met AC grid in woning	PV / warmtepomp / opslag / keuken / verlichting	Saxion / Eaton / Bouwschool Twente / BINX / BRControls / Dumont Advies		Proof of Concept	2020
<u>Project CASA</u>	Onderzoeksproject van de TU/e voor innovatieve huisbouw waarin een hybride AC/DC grid ook een onderdeel is	PV-T / verlichting / warmtepomp / keuken / (seizoens) opslag	TU/e / Eaton / SolarTech / DUCO / NRGTEQ / HoCoSto / Geerts		Proof of Concept	2020
<u>Circl</u>	Kantoorpand op de Zuidas op DC	PV / verlichting / ventilatie / batterijen / USB-C	ABN Amro/BAM		Demonstratie	2017

Tabel 2 Projecten met gelijkspanningstoepassingen in woningen en utiliteit

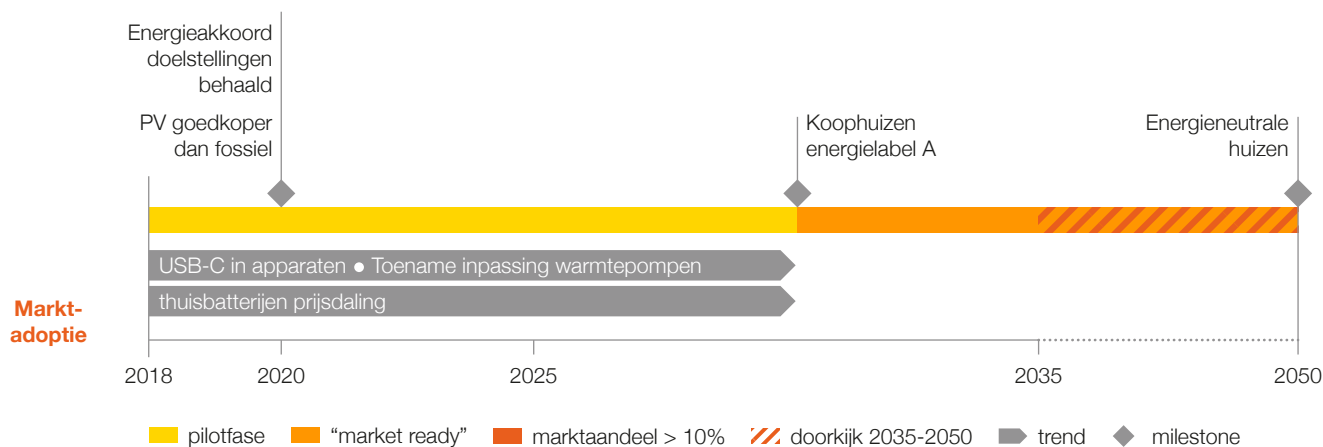
Marktadoptie

In de Roadmap Gelijkspanning uit 2018 zijn tijdlijnen geschetst voor de marktadoptie van gelijkspanning in de verschillende marktsegmenten. In de hiernavolgende Figuren 2 en 3 zijn de tijdlijnen voor gelijkspanning in utiliteit en woningen weergegeven. Zoals aangegeven in 'Bestaande Projecten' zijn er verschillende pilots en demonstraties voor gelijkspanning

in woningen en utiliteit. Verder is de toepassing van gelijkspanning in woningen en utiliteit inderdaad nog niet 'market ready' en lijkt dit lastiger te zijn in woningen dan in utiliteit door de hoge complexiteit in woningen. De marktadoptie lijkt hiermee de verwachte trend te volgen van de tijdlijnen.



Figuur 2 Tijdlijn utiliteit uit Roadmap Gelijkspanning



Figuur 3 Tijdlijn woningen uit Roadmap Gelijkspanning

Knelpunten

Normalisatie, veiligheid en beleid zorgen voor knelpunten in de ontwikkeling van gelijkspanning in woningen en utiliteit. Deze knelpunten zorgen er bijvoorbeeld voor dat gelijkspanningsapparatuur voor de gebouwde omgeving nog niet op grote schaal geproduceerd kan worden. De **beschikbaarheid van apparatuur is dan ook beperkt**. De knelpunten spelen tot een bepaalde mate op alle schaalniveaus. Op het gebied van beleid is er een specifiek knelpunt op het vlak van een wettelijk vastgestelde DC-kWh meter. Dit knelpunt komt ook in de andere marktsegmenten terug.

■ Normalisatie (1)

Certificering is nog maar beperkt ontwikkeld op het gebied van gelijkspanningsapparatuur in de gebouwde omgeving. Op dit moment bestaat er bijvoorbeeld nog geen CE-keurmerk voor gelijkspanningskeukenapparaten. Zonder CE-keurmerk is het niet mogelijk apparatuur te verkopen. Er is hierdoor geen marktvraag. Dit weerhoudt fabrikanten niet alleen om DC-apparatuur te produceren, maar ook om überhaupt onderzoek te doen naar DC-apparatuur.

■ Veiligheid (2)

Volgens fabrikanten is er nog te weinig getest op de veiligheid van gelijkspanningsapparatuur. In testopstellingen en laboratoria is er wel veel onderzoek gedaan naar veiligheid, maar praktische projecten met gelijkspanningsapparatuur in huizen ontbreekt nog. Hierdoor kan er geen volledige veiligheid gegarandeerd worden. Hoewel veiligheid voor alle schaalniveaus een knelpunt is, is het voor lagere schaalniveaus makkelijker op te lossen. Hiervoor hoeft alleen de veiligheid voor één applicatie aangetoond en gecertificeerd te worden in plaats van een heel systeem, waarbij het een combinatie van componenten beslaat die ook in samenspel getest moeten zijn

■ Incentives voor de consument (3)

Een voordeel van gelijkspanning is de regelbaarheid van het systeem. Dit is nu nog geen additioneel voordeel voor de consument. Nu werkt zijn apparatuur namelijk ook. Doordat het voor de consument niet transparant is welke apparaten veel energie vragen, of welke apparaten zorgen voor overbelasting, zal hij in de huidige situatie geen voordelen zien in gelijkspanning. Terwijl deze voordelen er op systeemniveau wel zijn. Bovendien betaalt de consument nu niet extra voor een hogere piekvraag, waardoor het voor de consument niet voordelig is om de piekvraag

te minderen. Op het moment dat de salderingsregeling voor teruglevering van zonne-energie verdwijnt, wordt regelbaarheid van elektriciteitsvraag binnen de woning voor consumenten interessanter. Dit kan bijvoorbeeld via PLC (powerlinecommunicatie) waarbij middels een interface apparaten aangestuurd kunnen worden net zoals bij AC maar dan door data over de kabel. Een andere mogelijkheid die gelijkspanning biedt, is via droop-control waarbij apparaten passief reageren op het spanningsniveau en daar het gevraagde vermogen automatisch op aanpassen. Wanneer er dan juist veel of weinig zonne-energie beschikbaar is zien apparaten dit terug in de spanning en reageren hierop in het verbruik.

Aanbevelingen

Gelijkspanning in gebouwde omgeving is op verschillende schaalniveaus te implementeren. Waarbij de laagste schaalniveaus meer haalbaar lijken op de korte termijn. Overkoepelend wordt er aanbevolen om eerst de knelpunten bij lage schaalniveaus weg te nemen, voordat er wordt gekeken naar de ontwikkeling van hogere schaalniveaus. Om gelijkspanning in de gebouwde omgeving verder te ontwikkelen, is er aandacht nodig voor grote pilots, het ontwikkelen van certificering voor DC-componenten en incentives creëren voor eindgebruikers zoals prijs fluctuaties tijdens piekmomenten.

■ Grootschalige pilots

Veel pilots naar DC in de gebouwde omgeving zijn nu vooral in laboratoria gedaan. Een pilot in een woning is nog niet eerder uitgevoerd, waardoor het precieze voordeel van DC nog niet volledig gekwantificeerd is. Volgens de sector zou het veel meerwaarde bieden om één woning volledig aan te sluiten op DC en deze te vergelijken met een gelijke woning op AC. Op deze manier kan de meerwaarde van DC ten opzichte van AC op een transparante manier onderzocht worden, én wordt DC-apparatuur getest in een alledaagse omgeving. Deze pilot kan op korte termijn al plaatsvinden. In de utiliteitsbouw zijn al meer projecten gedaan, maar de voordelen zijn hier nog niet duidelijk gekwantificeerd.

■ Ontwikkelen certificering voor DC-componenten

Op dit moment speelt er een kip-ei probleem met de certificering van DC apparatuur voor

de gebouwde omgeving. Bedrijven willen niet grootschalig inzetten op gelijkspanningsapparatuur omdat er geen certificering voor gelijkspanningsapparatuur bestaat, en er is geen certificering, omdat er maar enkele bedrijven met DC-apparatuur bezig zijn. Daarnaast komt er uit verschillende niches wel vraag naar gelijkspanningsapparatuur voor de gebouwde omgeving. Deze wordt op dit moment niet geleverd omdat er nog geen certificering is. Daarom wordt er aangeraden om sterk in te zetten op het certificeren van gelijkspanningsapparatuur in de gebouwde omgeving. Deze certificering kan plaats vinden op het moment dat er ook duidelijke normen zijn aan de hand waarvan certificering door geaccrediteerde bedrijven mogelijk is.

■ Incentives creëren voor eindgebruiker

Gebruikers kunnen op twee manieren gestuurd worden om minder elektriciteit te verbruiken tijdens de piekuren. Enerzijds kan dit met passieve droop control, waarbij apparaten automatisch reageren op de bandbreedtes in het voltage. Hierbij is het van belang om incentives te creëren, die ervoor zorgen dat de eindgebruiker beloond wordt om dit systeem goed in te richten. Dit kan bijvoorbeeld met het introduceren van hogere kosten tijdens piekuren. De salderingsregeling gaat dit tegen, omdat de eindgebruiker nu zoveel mogelijk zonne-energie in het systeem wil stoppen en geen incentive heeft om dit zelf op te vangen met behulp van bijvoorbeeld de droop-control bij DC. Anderzijds kunnen er incentives gecreëerd worden voor het introduceren van een slim besturingssysteem, waarbij de gebruiker een kosteneffectieve strategie in gebruik kan kiezen. Ook hiervoor zou er een incentive moeten komen door elektriciteit op piekmomenten hogere kosten te geven. Bovendien zouden de gebruikers hierbij inzicht moeten hebben in real-time verbruik. Deze tweede oplossing kan ook met AC geïntroduceerd worden, echter heeft DC het voordeel dat data over de elektriciteitskabel verstuurd kan worden met behulp van powerlinecommunicatie (PLC) en hier geen additionele verbinding voor nodig is.

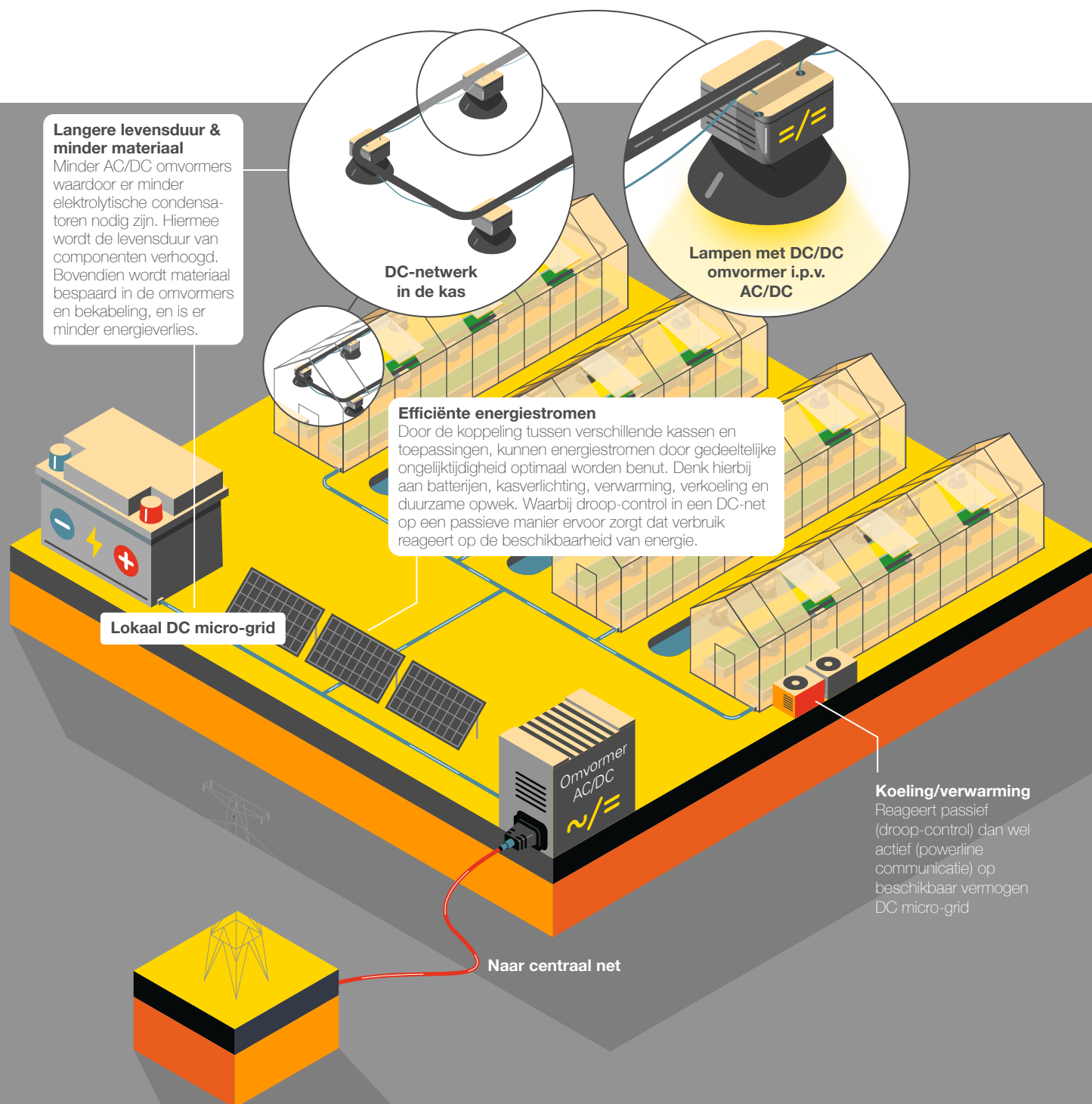
Update Gelijkspanning

December 2020

■ glastuinbouw

Dit rapport is tot stand gekomen in opdracht van RVO op verzoek van de TKI Urban Energy

door Rutger Bianchi, Thijs Verboon en Liesbeth van Klink



Inhoud

Aanleiding	3
Inleiding	3
Raakvlakken met andere marktsegmenten	5
Stand van zaken	5
Marktadoptie	6
Knelpunten	6
Aanbevelingen	7



Gelijkspanning in glastuinbouw

DC-toepassingen in de glastuinbouw kunnen ervoor zorgen dat materiaal langer meegaat en dat apparatuur kan reageren op veranderende spanning, waardoor beschikbare capaciteit beter geregeld kan worden en er minder energieverliezen optreden. De adoptie van DC in de glastuinbouw heeft daarbij wel een aantal knelpunten namelijk (1) hoge financiële risico's, (2) achterlopende adoptie van LED, (3) ontbreken van een proof-of-concept en (4) hoge investeringskosten en complexiteit van een lokaal net. Er wordt aanbevolen om in te zetten op een businesscasestudie per type teelt, een pilot met de netbeheerders en voordelige financieringsconstructies. Hiernavolgend gaan we in op deze aspecten.

Aanleiding

Dit Whitepaper maakt onderdeel uit van een rapportage over de stand van zaken van gelijkspanning in Nederland. De rapportage is een update op de Roadmap gelijkspanning die in 2018 is opgesteld. Algemene informatie en details over de voordelen, nadelen en uitdagingen van gelijkspanning (DC) worden uitgelegd in de update gelijkspanning. Naast de update gelijkspanning gaan wij dieper in op vijf specifieke marktsegmenten middels vijf Whitepapers. In dit Whitepaper gaan wij in op het marktsegment gelijkspanningstoepassingen in de glastuinbouw. Hierbij gaan we eerst in op het concept vervolgens op de: stand van zaken, marktadoptie, knelpunten en aanbevelingen.

Inleiding

In de glastuinbouw kunnen efficiëntievoordelen behaald worden op twee niveaus. Enerzijds met een DC-net in de kas en anderzijds met een DC-net

tussen en rondom kassen en rondom liggende energievragers en opwekkers. Gelijkspanning binnen de kas gaat gepaard met de implementatie van Light Emitting Diode (LED)-verlichting in combinatie met een intern DC-net. Het overstappen naar ledlampen levert een energiereductie op. Bovendien leidt de toepassing van een intern DC-net binnen de kas tot minder elektriciteitsverbruik als gevolg van significant minder omvormingsverliezen, besparing van materiaal en een verhoogde betrouwbaarheid/langere levensduur. Daarnaast zijn er in de glastuinbouw voordelen te behalen door een decentraal DC-net te creëren waar niet alleen de verlichting op aangesloten wordt, maar ook de zon-PV, koeling en/of verwarming en eventuele batterijen. De glastuinbouw is een energie-intensieve sector, een groot gedeelte van de kosten zitten in het energieverbruik. Het reguleren van energiestromen door grenswaarden en het verminderen van verliezen, of het behalen van een hogere opbrengst met dezelfde kosten, is daardoor erg relevant binnen deze sector. Lichtbehoefte van gewassen kan variëren gedurende de dag. De toepassing van ledverlichting heeft voordelen in de vorm van energiebesparing en gaat beter presteren in gedimde toestand (minder warmte). Ledverlichting kan hiermee inspelen op de lichtbehoefte van gewassen. De huidige SON-T-verlichting verbruikt meer energie is moeilijker te dimmen, krijgt een andere lichtkleur/samenstelling en wordt minder efficiënt. SON-T-verlichting is daarentegen wel goedkoper in aanschaf. De concepten voor DC binnen de glastuinbouw worden hiernavolgend uitgewerkt:

■ Concept 1. Verlichtingsnet op DC

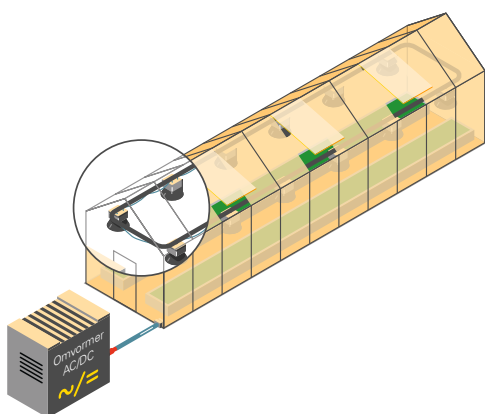
In de glastuinbouw groeit het aantal ledarmaturen, waarbij de huidige hogedruk natriumlampen vervangen worden. Omvorming vindt nu in iedere lamp apart plaats, waardoor er veel kleine omvormers nodig zijn. Het is mogelijk om voor een groep lampen één grote omvormer te gebruiken en de armaturen te voeden met een DC-net, zoals te zien in Figuur 1. Dit zorgt voor minder verliezen omdat de grote omvormer efficiënter werkt dan de kleinere omvormer¹⁾ (1). Daarnaast

1) In de interviews lopen de beelden uiteen in hoeverre deze verschillen in omvormingsverliezen significant te noemen zijn.

gaan de armaturen langer mee, omdat er geen elco's²⁾ meer in de armatuur zitten (2). Er vindt hierbij een trade-off plaats op basis van de schaalgrootte (3).

Een klassieke SON-T-lamp stoot licht in een heel breed spectrum uit. Ledverlichting doet dat niet. Om een gelijke hoeveelheid licht aan te bieden voor de belichting van het gewas moet daarom relatief meer ledverlichting geplaatst worden in vergelijking met de leefomgeving (openbare verlichting, gebouwde omgeving).

Een deel van een kas is relatief eenvoudig op gelijkspanning te zetten en vergt minder investeringskosten dan in één keer over te stappen op gelijkspanning voor de hele kas. De voordelen worden echter groter naarmate er een hele kas of zelfs meerdere kassen op gelijkspanning worden aangesloten. Dit vergt echter hogere investeringskosten, is complexer en brengt een groter bedrijfsrisico met zich mee. Belangrijk voordeel voor de toepassing van gelijkspanning in kassen is dat verlichting wordt aangesloten op gelijkspanning met DC/DC-omvormers in plaats van met AC/DC-omvormers. DC/DC-omvormers gaan langer mee. Daar waar elke 4-6 jaar armaturen met AC/DC-omvormers vervangen dienen te worden gaan armaturen met DC/DC-omvormers veel langer mee. Hierdoor is er een minder frequente vervangingscyclus en wordt ook de financieringsstructuur voor de tuinder minder complex.

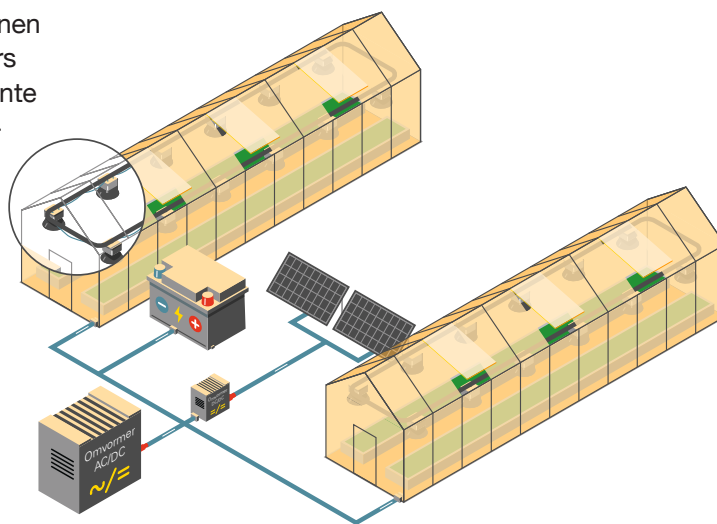


Figuur 1 Verlichtingsnet van een kas(deel) op gelijkspanning

■ Concept 2. Eigen infrastructuur

Er kunnen omvormingsverliezen worden vermeden en materialen worden bespaard wanneer in de glastuinbouw een lokaal DC-net wordt toegepast, zoals te zien in Figuur 2. Dit net voedt de armaturen in de kassen, maar er worden ook andere toepassingen op aangesloten zoals zon-PV, batterijsystemen, verwarming en koeling. Hiermee kan er energie en materiaal bespaard worden omdat alle toepassingen achter één grote omvormer staan. Bovendien is er minder materiaal nodig voor bekabeling (1).

Zon-PV is een gelijkspanningstechnologie die meer en meer geadopteerd wordt door tuinders, vooral ook in het buitenland is dit het geval³⁾. Dit maakt een DC-net voor verlichting en zon-PV een goede match, vooral in combinatie met batterijen. Een groter net met meer DC-toepassingen leidt tot een hogere winst in zowel energie als materialen, omdat er minder AC/DC-omvormers nodig zijn. Daarnaast kunnen er schaalvoordelen behaald worden door verschillende tuinders op eenzelfde net aan te sluiten. Tuinders met verschillende teelt hebben namelijk een andere energiebehoefte (warmte, licht, koelte). Door een gezamenlijk DC-net kunnen er slim energiestromen uitgewisseld worden en kan de energie over het gezamenlijke net efficiënter gebruikt worden (2).



Figuur 2 Eigen infrastructuur

2) Elektrolytische condensatoren: deze zijn noodzakelijk in AC/DC-omvormers vanwege de frequentie maar slijten ook relatief snel en genereren warmte. Voor meer informatie zie ook de Update gelijkspanning.

3) Glastuinbouwtechnologie is een belangrijk exportproduct van Nederland waarbij glastuinbouw in zonnigere werelddelen ook extra baat hebben bij de combinatie met PV-panelen en gelijkspanning.

Raakvlakken met andere marktsegmenten

De hiervoor genoemde concepten hebben raakvlakken met andere marktsegmenten. Concept 1 waarbij de verlichting wordt gevoed door een DC-net komt overeen met het marktsegment 'openbare verlichting'. Bij beide marktsegmenten wordt een DC-net geïmplementeerd waarbij de primaire toepassing verlichting is. Daarnaast is er in beide marktsegmenten een wisselwerking tussen de voordelen van DC-netten en de voordelen van ledverlichting. Een groot verschil is hier dat het niet gaat over dezelfde soort lampen. Ledlampen in de glastuinbouw zijn geavanceerd en moeten veel verschillende golflengtes leveren, waardoor de plant groeit. In de openbare verlichting is een minder breed spectrum nodig, waardoor de ledlamp hier meer energie bespaart (soms wel 90%) ten opzichte van de huidige situatie, dan in de glastuinbouw (40-50% besparing). Financieringslasten vanwege hoge investering aan de voorkant zorgen ervoor dat de potentiële energie-efficiëntie-winsten, bij implementatie van ledverlichting in de tuinbouw, voor een gedeelte wegvallen. Dit maakt de businesscase in de glastuinbouw minder snel rendabel, waardoor er nog maar een klein deel overgestapt is op ledverlichting. Dit gekoppeld aan de onzekerheid over de opbrengsten/effekten op de gewassen zorgt voor terughoudendheid in adoptie.

Het tweede concept lijkt sterk op het marktsegment 'lokale DC-netten', waarin er meerdere toepassingen op een lokaal net worden aangesloten. Net als bij

het marktsegment lokale DC-netten valt op dat de invloed van duurzame energie een voordeel creëert om over te stappen op een lokaal DC-net. Hierdoor vinden er namelijk minder omzettingen plaats en kan er energie bespaard worden. Wellicht een groter voordeel zit in de uitsparing van AC/DC-omvormers en materiaal voor kabels. Dit wordt versterkt als er meer DC-toepassingen op het DC-net worden aangesloten. Bij elke toevoeging van een DC-toepassing wordt een AC/DC-omvormer uitgespaard; er is dan nog wel een DC/DC-omvormer nodig. Deze is echter veel kleiner, slijt minder snel en kost minder materiaal.

Stand van zaken

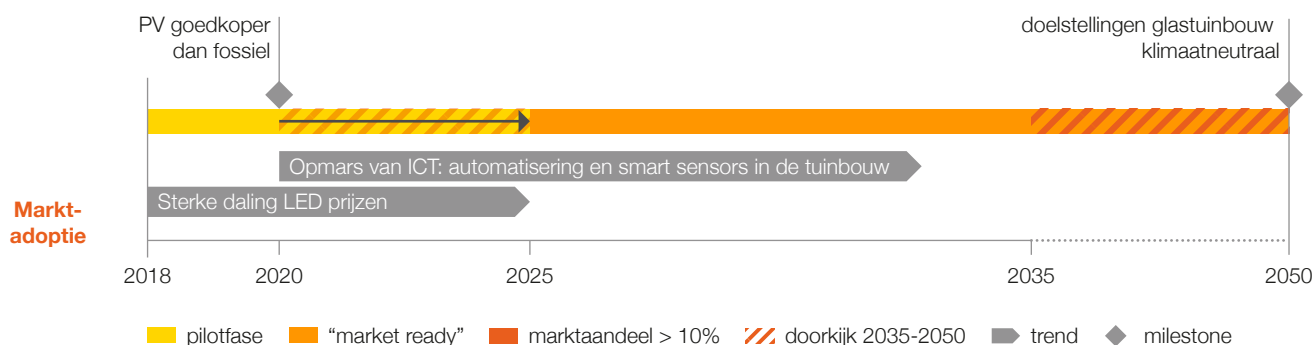
In Tabel 1 zijn de projecten met gelijkspanningstoepassingen binnen de glastuinbouw weergegeven. Zoals te zien in de tabel, zijn dit er slechts twee. Beide projecten zijn uitgevoerd met behulp van subsidie en zijn demonstratie projecten. De twee projecten zijn in hetzelfde gebied, waarbij DOE DC een vervolg is op het DC=DeCent project. Bij deze projecten is er een gelijkstroomnet geïmplementeerd waarbij verschillende toepassingen aan elkaar gekoppeld worden om optimaal gebruik te maken van een verminderde hoeveelheid omvormers. Dit komt dus overeen met Concept 2, zoals hiervoor beschreven. In het eerste project is er gekeken naar de voordelen van de toepassing in dit gebied, het tweede project is gericht op de ontwikkeling van deze toepassing. In dit project lukte het niet om de businesscase rond te krijgen. Het lokaal inrichten leverde minder kostenbesparingen dan verwacht.

Project-naam	Project	Koppeling met andere technieken	Organisatie	Subsidie	Type	Jaartal (start)
DC=DeCent	Glastuingebied PrimAviera waarbij met wind en zon-PV de voordelen van een gelijkstroomnet worden onderzocht dat gekoppeld is aan het glastuingebied en kan fungeren als balans voor het net.	Wind, zon-PV, WKK	Direct Current/ InnoSys/Joulz/ Siemens/ Stallingsbedrijf Glastuinbouw Nederland/SGNL	IPIN-subsidie-middelen 2011	Proeftuin en demonstratie	2011-2015
DOE DC	Het ontwikkelen en het in gebruik nemen van een groot-schalige demonstratieopstelling waaraan een glastuinbedrijf en een zon-PV-veld gekoppeld zijn.	Zon-PV-veld	Direct Current/ Gavita/SGN/ Siemens/Solar Green Point/ SGNL/Vreeken Sierteelt	DEI	Demonstratie	2015

Tabel 1 Projecten met gelijkspanningstoepassingen in glastuinbouw

Marktadoptie

In de Roadmap Gelijkspanning uit 2018 zijn tijdlijnen geschetst voor de marktadoptie van gelijkspanning in de verschillende marktsegmenten. Voor glastuinbouw is de geschetste tijdlijn uit de Roadmap niet meer reëel. In de hiernavolgende Figuur 3 is de aangepaste tijdlijn weergegeven.



Figuur 3 Aangepaste tijdlijn glastuinbouw uit Roadmap Gelijkspanning

Knelpunten

Hoge financiële risico's, achterlopende adoptie van ledverlichting, en het ontbreken van een proof of concept zijn knelpunten in de ontwikkeling van gelijkspanning binnen de glastuinbouwsector. Daarnaast zijn investeringen voor een lokaal DC-net (concept 2) vaak te hoog en te complex voor één bedrijf. Deze knelpunten zorgen er niet alleen voor dat een DC-net nog niet geïmplementeerd is, maar ook dat er nog maar weinig geëxperimenteerd wordt in deze sector.

■ Hoge financiële risico's (1)

Op dit moment zorgt het overstappen op gelijkspanning en ledverlichting nog voor hoge kosten. Deze kosten hebben een lange terugverdientijd, waardoor er grote financiële risico's zijn bij de implementatie bij tuinders. In de glastuinbouw wordt gehandeld vanuit een bedrijfsmatig perspectief: een innovatie moet goedkoper zijn of grote voordelen bieden voor de productie, voordat zij wordt geïmplementeerd. Beide zijn niet hier niet het geval waardoor tuinders nog niet enthousiast zijn over het implementeren van gelijkspanning. Dit is een groot verschil met het marktvenster openbare verlichting, waarbij een innovatie van publiek geld gefinancierd kan worden.

■ Achterlopende adoptie van LED (2)

De kwaliteit van het licht is van groot belang voor de tuinders. Een klassieke SON-lamp stoot licht in een heel breed spectrum uit; ledverlichting doet dat niet. Om een gelijke hoeveelheid licht aan te bieden voor de belichting van het gewas moet daarom relatief meer ledverlichting geplaatst worden. Ledlampen zijn voor de glastuinbouw daarmee een stuk duurder dan voor andere marktsegmenten vanwege de andere kwaliteit/kwantiteit die gevraagd wordt van deze lichtbron. Dit maakt de businesscase voor ledverlichting anders in de glastuinbouw. Het toepassen van gelijkspanning heeft pas echt nut als er ook wordt overgestapt op ledlampen. Waardoor de ontwikkeling van DC-netten afhankelijk is van de implementatie van ledverlichting.

■ Ontbreken van proof-of-concept (3)

Dit gaat om een proof-of-concept op twee niveau's binnen de kas en buiten de kas. De invloed van LED verschilt per teelt. Er wordt gedacht dat elk gewas weer op een andere manier reageert op licht van bepaalde golflengtes. Voor tuinders is tot nu toe niet duidelijk bewezen welke gewassen goed reageren op welke golflengtes (= kleuren). Hierdoor ontbreken businesscases voor telers, waardoor zij de eventuele voordelen van gelijkspanning en LED niet zien. De sector zal pas overgaan op actie, wanneer de technologie bewezen is bij anderen. De ervaringen uit de huidige pilots laten nog niet zien dat de techniek bewezen is.

■ **Complexiteit lokaal net (4)**

Een belangrijk knelpunt voor een lokaal DC-net bij de tuinders is de investeringskosten en complexiteit van een lokaal DC-net. Zeker wanneer meerdere tuinders op één net worden aangesloten, zal er een professioneel infrastructuurdesign nodig zijn. Dit maakt het voor individuele tuinders complex te kiezen voor een DC-net. Daarnaast is er de gedachte dat de verantwoordelijkheid voor een DC-net bij de netbeheerder ligt.

Aanbevelingen

Er is nog veel onduidelijk over de businesscase van gelijkspanning en LED in de glastuinbouw. Om deze onduidelijkheden weg te nemen, wordt er geadviseerd om een businesscase en terugverdientijd per type teelt inzichtelijk te maken. Op het gebied van lokale DC-netten moeten netbeheerders een actieve rol krijgen in het meedenken over het vormgeven van een lokaal DC-net en het aansluiten van wind of zon-PV op dit net. Als de businesscase positief blijkt te zijn, kan de overheid ondersteunen door de risico's van implementatie van DC weg te nemen.

■ **Businesscase per type teelt bepalen (A)**

Er heersen nog veel onduidelijkheden over het **gecombineerde** effect van gelijkspanning en ledlampen. Daarnaast is er nog geen duidelijk voordeel gekwantificeerd. Om DC te laten slagen moet er worden uitgezocht wat het effect is van LED en gelijkspanning om verschillende typen teelt. Dit verheldert welke producten wél baat hebben bij ledverlichting en gelijkspanning en op welke producten LED minder invloed heeft. Hierbij moet ook de efficiëntie winst van een gelijkspanningsnet goed gedefinieerd worden. Hierbij zal gekeken moeten worden naar zowel het kleurenspectrum als de regelbaarheid en dimbaarheid van de lampen.

■ **Netbeheerder meenemen in het proces (B)**

Als blijkt dat gelijkspanning en ledverlichting grote voordelen kunnen bieden in de glastuinbouw is het van belang de netbeheerder te betrekken in de implementatie van een lokaal gelijkspanningsnet. Zo kan een netbeheerder de infrastructuur rondom kassengebied van DC voorzien, zodat de boer of tuinder hierop kan inspelen. Hierbij is het van belang dat er ook slim achter de meter gekeken wordt vooral in combinatie met PV-panelen. Voor de netbeheerder zit hier het voordeel in dat lokaal opgewekte energie op dit lokale net terecht komt en niet op het publieke laagspanningsnet. Een goed ingericht DC-systeem kan dan ook eventueel bijdragen aan een reductie in piekbelasting van het lokale net. Daarom wordt er geadviseerd een pilot te ontwerpen waar zowel de tuinders als de netbeheerder een rol in hebben.

■ **Risico's wegnemen (C)**

Voor de tuinder zit er nu nog te hoge (financiële) risico's aan LED-technologie en gelijkspanningstechnologie, onafhankelijk van elkaar. Tuinders zijn erg afhankelijk van betrouwbare verlichting, en zullen niet snel overstappen op een nieuwe/onbekende techniek. Daarnaast zorgen een lange terugverdientijd en hoge investeringskosten ervoor dat gelijkspanning ook niet financieel aantrekkelijk is. Als blijkt dat er in de glastuinbouw een grote efficiëntie winst behaald kan worden (zie aanbeveling A), kan het helpen om voordelige financieelconstructies op te stellen, om zo de barrière van hoge investeringen weg te nemen.

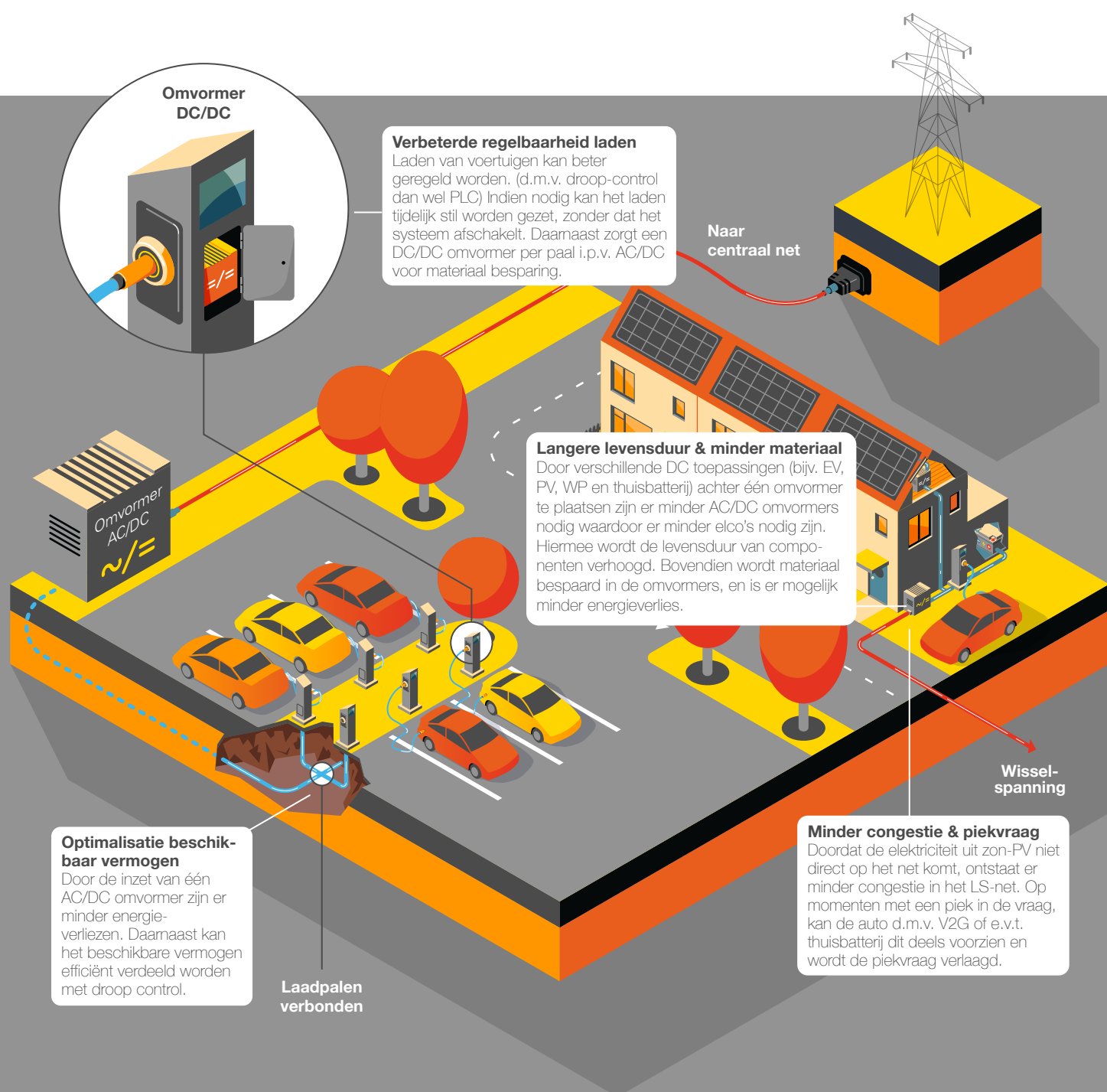
Update Gelijkspanning

December 2020

■ laadinfrastructuur

Dit rapport is tot stand gekomen in opdracht van RVO op verzoek van de TKI Urban Energy

door Rutger Bianchi, Thijs Verboon en Liesbeth van Klink



Inhoud

Aanleiding	3
Inleiding	3
Raakvlakken met andere marktsegmenten	5
Stand van zaken	6
Marktadoptie	6
Knelpunten	7
Aanbevelingen	7



Gelijkspanning in laadinfrastructuur

Gelijkspanningstoepassingen in de laadinfrastructuur kunnen ervoor zorgen dat er minder energieverliezen optreden, materiaal uitgespaard wordt en langer mee gaat, en dat de laadinfrastructuur kan reageren op de belasting op het net. Bij gelijkspanningstoepassing in laadinfrastructuur zijn er wel een aantal knelpunten, namelijk: (1) de huidige software van elektrische auto's, (2) beschikbaarheid en kosten van onderdelen en (3) het genereren van een 'level playing field' in tenders. Er wordt aanbevolen om in te zetten op onderzoek naar snellaadtechnieken, pilots naar het verschil tussen DC en AC in V2G en het bieden van ruimte in tenders voor DC. Hiernavolgend gaan we in op deze aspecten.

Aanleiding

Dit Whitepaper maakt onderdeel uit van een rapportage over de stand van zaken van gelijkspanning in Nederland. De rapportage is een update van de Roadmap gelijkspanning die in 2018 is opgesteld. Algemene informatie en details over de voordelen, nadelen en uitdagingen van gelijkspanning (DC) worden uitgelegd in de update gelijkspanning. Naast de update gelijkspanning gaan wij dieper in op vijf specifieke marktsegmenten middels vijf Whitepapers. In dit Whitepaper gaan wij in op het marktsegment gelijkspanningstoepassingen in laadinfrastructuur voor elektrische voertuigen. Hierbij gaan we eerst in op het concept en vervolgens op de: stand van zaken, marktadoptie, knelpunten en aanbevelingen.

Inleiding

In de laadinfrastructuur kan de implementatie van DC uitgebreid worden en leiden tot de reductie van conversieverliezen en het sturen van energiestromen. Door de energietransitie en de doelen uit het Klimaatakkoord is er een groei ontstaan in het gebruik van elektrische auto's. Deze auto's zijn gelijkspanningstoepassingen die op twee manieren geladen kunnen worden. Met wisselspanning kunnen ze

langzaam geladen worden door de omvormer die in de auto zit, met gelijkspanning kunnen ze naast langzaam ook snel geladen worden. De omvorming vindt dan buiten de auto plaats en de lader wordt direct op de batterij aangesloten. Puur vanuit de technische kant gezien, is omvormen buiten de auto erg interessant omdat het sneller kan met meer capaciteit over de kabel. Elektrische auto's hebben (bijna altijd) een AC/DC-omvormer in de auto aangezien de accu altijd met DC geladen dient te worden. Hierdoor kan de auto zowel op een AC-laadpaal als een DC-laadpaal aangesloten worden. Het plaatsen van de omvormer buiten de auto zorgt ervoor dat er sneller en vaak efficiënter geladen kan worden. De meeste publieke laadpalen en thuisladers zijn vaak echter AC-laadpalen die goedkoper zijn met een beperkte laadsnelheid. Een DC-laadplein met één efficiënte AC/DC-omvormer biedt dan ook voordelen voor onder andere snelladen. De toepassing van snelladen kan gekoppeld worden aan andere gelijkspanningstoepassingen om de voordelen te verhogen. Uit deze mogelijke koppelingen ontstaan twee kansrijke concepten:

■ Concept 1. Lokaal DC-microgrid met slimme combinatie zon-PV en elektrische auto

Het eerste concept is een lokaal DC-microgrid met een slimme combinatie van zon-PV en vehicle-to-grid (V2G). In dit concept wordt een gelijkspanningsnet voor het laden van de elektrische auto in de gebouwde omgeving gekoppeld aan zonnepanelen en eventueel een (thuis)batterij. Dit concept is te zien in Figuur 1. De slimme koppeling brengt verschillende voordelen met zich mee:

Ten eerste wordt de opgewekte elektriciteit uit zonnepanelen direct gebruikt in de elektrische auto dan wel opgeslagen in de thuisbatterij door een directe koppeling met de zonnepanelen. Voor de netbeheerder is dit interessant omdat hiermee de piek van zonne-energie die overdag in het net terecht komt, kleiner wordt waardoor er minder congestie in het LS-net plaatsvindt (1).

Daarnaast zijn er door deze koppeling minder AC/DC-omvormers nodig. Dit zijn over het algemeen dure en gevoelige componenten, die hiermee deels uitgespaard worden. Er is in dit concept nog maar

één AC/DC-omvormer nodig, vanaf het gelijkspanningsnet van de zonnepanelen en elektrische auto, naar het wisselspanningsnet in de rest van het huis. Hierdoor treden er minder energieverliezen op en is er minder onderhoud en materiaal nodig (2).

Bovendien wordt het elektriciteitsgebruik vanuit het reguliere net lager en het 'achter de meter'-gebruik hoger (3). Door de koppeling met de elektrische auto (V2G) kan door de auto te ontladen in de piekvraag in het net omtrent warmtepompen en elektrisch koken (deels) voorzien worden. Dit biedt in potentie grote kansen om netcongestie in de toekomst te voorkomen. Dit effect wordt vergroot wanneer consumenten naast de elektrische auto ook een thuisbatterij aan het DC-net kan koppelen. Dit concept zal voor de consument interessanter worden wanneer de salderingsregeling wegvalt of versobert en/of de prijzen voor de piekvraag van elektriciteit verhoogd wordt.



Figuur 1 Lokaal DC microgrid met slimme combinatie zon-PV en V2G

■ Concept 2. Efficiënt snelladen met een DC- Laadplein

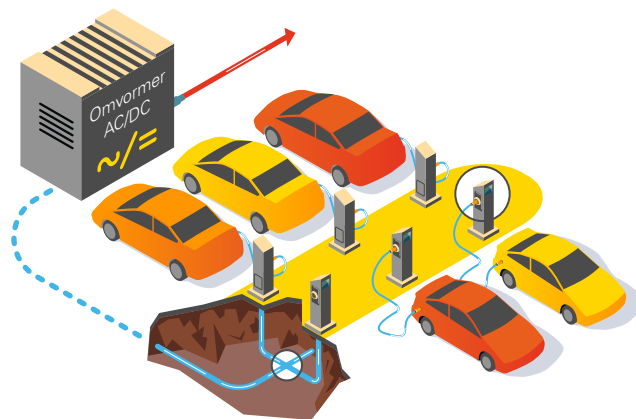
Het tweede concept is het laadpleinconcept (zoals bijvoorbeeld een parkeergarage), waarbij meerdere snelladers aan een gelijkspanningsnet gekoppeld worden, zoals te zien in Figuur 2. Hierdoor is er maar één omzetter nodig van wisselspanning naar gelijkspanning voor meerdere laders. Dit is efficiënter dan het omzetten per lader en bij voldoende schaal (meer dan ~6 snelladers¹⁾) ook goedkoper. Bovendien kan hiermee materiaal bespaard worden (1).

Vanuit een financieel oogpunt is dit concept interessant omdat laders momenteel een korte afschrijvingstijd hebben en relatief duur zijn. Om de investeringskosten te verlagen, is het dus interessant

om de laders goedkoper te kunnen kopen. Doordat de DC/DC-laders geen omvormer nodig hebben, kunnen ze goedkoper geproduceerd worden en zijn ze een stuk efficiënter (inschatting 4%). De omvormer wordt bij deze toepassing wel duurder (want hij wordt groter), maar deze kosten vallen weg vanaf zes laders door de kosten die je bespaart per lader. Bovendien kan er voor deze toepassing een omvormer gebruikt worden die al jaren bij de spoorwegen gebruikt wordt, en daarmee een laag investeringsrisico en een grote efficiëntie heeft. Daarnaast is het vanuit een technisch oogpunt interessant omdat er minder energieverliezen optreden en er een efficiënte verdeling van beschikbaar vermogen binnen het DC-net ontstaat (2).

Daarnaast is de verbeterde regelbaarheid voor het laden van voertuigen ook een interessant voordeel van grote pleinen. Hiermee kunnen grote laadpleinen een balancerende functie in het systeem krijgen. Indien nodig kan het laden tijdelijk worden stil gezet zonder dat het systeem afgeschakeld moet worden. Bovendien wordt bij een laadplein het beschikbare vermogen verdeeld over de auto's die laden en hoeft je het laadplein niet uit te leggen op het piekvermogen. (som van piekvermogen per paal). Vaak is het plein toch niet helemaal vol – als het dan een keer helemaal vol is laad je wat langzamer.

Grote laadpleinen voor bussen kunnen tevens interessant zijn voor grote V2- toepassingen. Laadpleinen van bussen hebben een grote dichtheid aan elektriciteitsopslag met een hoge vermogensvraag. Bovendien kunnen energiestromen hierdoor slimmer tussen bussen gestuurd worden; actief met behulp van powerlinecommunicatie dan wel passief door de toepassing van droop-control. Ook kan het laadplein hiermee eventueel dienen als regelvermogen voor het elektriciteitsnet bij onbalans.



Figuur 2 DC-laadplein

1) Indicatie op basis van interview

Raakvlakken met andere marktsegmenten

■ Woningen en utiliteit

Het eerste concept met V2G en de eventuele combinatie met zonnepanelen en thuisbatterijen bevindt zich bij woningen en utiliteitsgebouwen. In het concept zoals hiervoor beschreven, zal dit een losstaande toepassing zijn met enkel een aansluiting in de meterkast. Het losstaande DC-net, zou echter gekoppeld kunnen worden met

additionele gelijkspanningstoepassingen in huis. In het Whitepaper 'woningen en utiliteit' wordt dit genoemd als AC/DC-hybride netten. Dit kan ook verder uitgebreid worden tot een volledig DC-net waarin het V2G-concept geïntegreerd wordt. De voordelen van het concept kunnen hierbij vergroot worden voor de consument, maar de complexiteit van de toepassing gaat hierbij ook sterk omhoog.

Projectnaam	Project	Koppeling met andere technieken	Organisatie	Subsidie	Type	Jaartal (start)
<u>DC-Laadplein pilot</u>	Technisch ontwerp en het ontwikkelen van nieuwe verdienmodellen voor DC laadpleinen	Test met batterijen, zon-PV en koppeling met tramnetwerk van GVB	Hogeschool van Amsterdam/ Allego/ Ecotap/ Time Shift energy storage	Flexibele energie infrastructuur	Pilot	2018
<u>Slim laadplein Culemborg</u>	Laadplein in combinatie met zonnepanelen waarbij afhankelijk van de vraag en aanbod slim geladen en terug geleverd kan worden	Zon-PV		-	Demonstratie	2020
<u>Toekomst-bestendige Energienetten door Power Quality verbetering Elektrisch Vervoer</u>	Effect van het gebruik van grote getallen elektrische auto's op de power quality wordt onderzocht.		ElaadNL	Flexibele Energie Infrastructuur.	Haalbaarheidsstudie	2019
<u>V2G Wallbox</u>	Linkt de zonnepanelen met een 10 kW (DC) bi-directionele lader. In een gelijkspannings grid	Zon-PV/ batterijen	Venema	?	AI beschikbaar	2020

Tabel 1 Projecten met gelijkspanningstoepassingen in laadinfrastructuur

■ Lokale DC netten

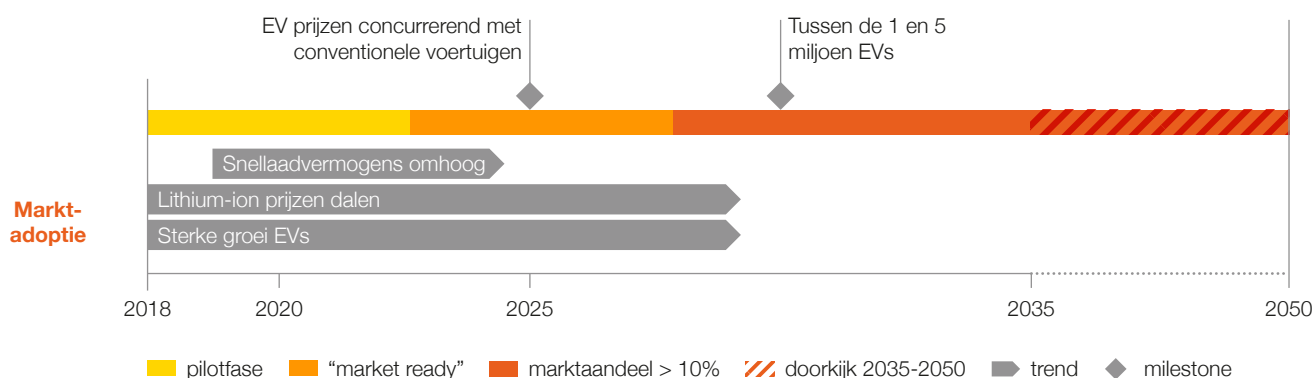
Het tweede concept van de laadpleinen kan gekoppeld worden aan lokale DC-netten. Wanneer deze pleinen uitgebreid worden, komen ze overeen met het concept van lokale DC-netten op laagspanning met een specifieke toepassing. Door de combinatie van het DC-net en de snel laders, worden de voordelen van beide segmenten benut.

Stand van zaken

Zoals te zien in Tabel 1 zijn er slechts enkele projecten die zich bezighouden met DC in laadinfrastructuur. Alle snelladers zijn natuurlijk wel gelijkspanningstoepassingen, maar enkel de projecten waarbij dit gekoppeld wordt in een gelijkspanningsnet worden hier genoemd.

Marktadoptie

In de Roadmap Gelijkspanning uit 2018 zijn tijdlijnen geschetst voor de marktadoptie van gelijkspanning in de verschillende marktsegmenten. In Figuur 3 is de tijdlijn voor gelijkspanning in laadinfrastructuur weergegeven. Het snelladen gebeurt op sommige plekken al op gelijkspanning, daarmee valt te beargmenten dat de techniek market ready is. Hiermee ligt de status van de technologie voor op de geschetste tijdlijn. De geschetste concepten zijn echter nog wel in ontwikkeling en volgen de tijdlijn wel.



Figuur 3 Tijdlijn laadinfrastructuur uit Roadmap Gelijkspanning

Knelpunten

Voor de verdere ontwikkelingen voor gelijkspanning in laadinfrastructuur zijn er diverse knelpunten geconstateerd. Hierbij zijn verschillende algemene knelpunten voor gelijkspanning genoemd zoals normalisatie, veiligheid en kennis. Deze worden uitgebreid behandeld in het overkoepelende document 'update gelijkspanning'. De specifieke knelpunten voor laadinfrastructuur zijn de software in elektrische auto's, beschikbaarheid en kosten van onderdelen en een 'level playing field' in tenders.

■ Software elektrische auto's (1)

Voor de toepassing van V2G moeten elektrische auto's bi-directioneel kunnen opladen en terug leveren. Hier zijn nog niet alle auto's klaar voor doordat de software die gebruikt wordt in veel auto's hier niet op ingesteld is. Dit zou dus aangepast moeten worden voor de integratie van elektrische auto's in V2G.

■ Beschikbaarheid en kosten van onderdelen (2)

De onderdelen die gebruikt worden voor deze toepassingen, zoals de DC/DC-laders, zijn niet standaard. Hierdoor is er geen grote marktconcurrentie en kunnen geïnteresseerden dit maar bij een enkele partij kopen. Het beperkte aanbod zorgt voor een drempel om voor gelijkspanning te kiezen. Met name omdat geïnteresseerden geen keuzevrijheid hebben in leveranciers, waar ze dit bij AC wel hebben. Hierdoor wordt er vaak voor AC gekozen.

■ Level playing field DC in tenders (3)

Overheidstenders beperken zich vaak tot wisselspanning. Partijen die gelijkspanning aanbieden hebben vaak een achterstand om te concurreren in overheidsaanbestedingen, terwijl zij wél dezelfde service kunnen leveren. Hierdoor wordt de ontwikkeling van DC in laadinfrastructuur beperkt.

Aanbevelingen

Gelijkspanning bij het opladen van elektrische voertuigen is iets waar al veel partijen mee bezig zijn. Er wordt aanbevolen meer te focussen in het ontwikkelen van normering. Dit speelt bij meerdere marktsegmenten en wordt uitgebreid behandeld in de update gelijkspanning. Daarnaast wordt er opgemerkt dat er nog te weinig demonstratieprojecten zijn. Als aanbeveling worden er twee specifieke projecten benoemd: onderzoek met snelladen en onderzoek naar hoe gelijkspanning in combinatie met de elektrische auto een bijdrage kan leveren aan de elektriciteitsvoorziening op momenten van geen duurzame opwek. Daarnaast wordt er geadviseerd om in tenders ruimte te geven voor gelijkspanning

■ Onderzoek naar snellaadtechnieken (A)

Er moet meer onderzoek gedaan worden naar de snellaadtechnieken. Op dit moment beschikt iedere auto over een kleine omvormer. Deze omvormer is door zijn grootte niet efficiënt en moet altijd worden meegenomen. Als (snel)laden op DC op meer plekken beschikbaar komt, kan het zijn dat de onboard-omvormers langzaam verdwijnen. Dit scheelt zowel in efficiëntie als het besparen van ruimte in voertuigen waar geen omvormer meer nodig is.

■ Pilot naar verschil DC en AC in V2G (B)

Daarnaast moet de toegevoegde waarde van een V2G-systeem op DC goed onderzocht worden. Hierboven is beschreven dat DC in een V2G-systeem in theorie veel toegevoegde waarde kan bieden. Dit is echter nog niet in de praktijk bewezen. Een pilot waarin het V2G-systeem op DC wordt vergeleken met AC, kan duidelijk het voordeel van DC aantonen.

■ Ruimte in tenders voor DC (C)

Als het gaat om publieke tenders op laadinfrastructuur wordt er vaak weinig ruimte gelaten voor gelijkspanningstechnologie. Dit zorgt ervoor dat gelijkspanningstechnologie in laadinfrastructuur zich niet door kan ontwikkelen. Hierom wordt er geadviseerd om in publieke tenders over laadinfrastructuur AC en DC op een transparante manier te laten concurreren.

Update Gelijkspanning

December 2020

■ openbare verlichting

door Rutger Bianchi, Thijs Verboon
en Liesbeth van Klink

Dit rapport is tot stand gekomen in
opdracht van RVO op verzoek van
de TKI Urban Energy

Langere levensduur & minder materiaal

Minder AC/DC omvormers waardoor er minder elektrolytische condensatoren nodig zijn. Hiermee wordt de levensduur van componenten verhoogd. Bovendien wordt met DC/DC omvormers i.p.v. AC/DC, materiaal bespaard.

Meer toepassingen/meer vermogen

Doordat er meer vermogen op de kabel past bij DC, kan het net parallel benut worden. Of bestaande AC-netten met structurele knelpunten hoeven niet vervangen te worden door ze om te bouwen naar DC-netten.

Ledlampen met DC/DC omvormer i.p.v. AC/DC

Slim beheer

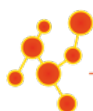
Mogelijkheid door eenvoudige Powerline Communicatie zodat OVL-netten gemakkelijker beheerd en bijgesteld (licht gaat harder branden als fietser voorbij komt) kunnen worden.

Eenvoudig systeem

OVL-netten zijn vaak afgesloten netten met vaak maar één eigenaar en toepassing, waardoor een systeemverandering relatief laagdrempelig is.

Sensor

Berenschot



TKI URBAN ENERGY
Topsector Energie



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland



STICHTING
GELIJKSPANNING
NEDERLAND

Inhoud

Aanleiding	3
Inleiding	3
Raakvlakken met andere marktsegmenten	4
Stand van zaken	4
Marktadoptie	6
Knelpunten	7
Aanbevelingen	7



Gelijkspanning Ontwikkelingen in OVL

De toepassing van gelijkspanning in de openbare verlichting (OVL) zorgt ervoor dat er meer vermogen binnen bestaande netten getransporteerd kan worden waardoor parallelle benutting van OVL-netten mogelijk wordt. Daarnaast gaat de levensduur van de ledlampen in het net omhoog en is powerlinecommunicatie (PLC) mogelijk waardoor adaptieve verlichting wordt gefaciliteerd. De adoptie van DC in OVL heeft daarbij wel een aantal knelpunten voor de adoptie namelijk (1) kosten van DC-componenten, (2) regelgeving rondom parallelle benutting en (3) vertrouwen en bekendheid. Er wordt daarom aanbevolen om innovatie te stimuleren op het vlak van parallelle benutting, aandacht te vragen voor innovatieprogramma's waarbij overheden doelen stellen voor de toepassing van ledverlichting in OVL en daarnaast normalisatie en kennisontwikkeling. Zodat met onder andere aanbevelingen voor aanbestedingen vanuit normalisatie koudwatervrees wordt tegengegaan en adoptie wordt bevorderd. Hiernavolgend gaan we in op deze aspecten.

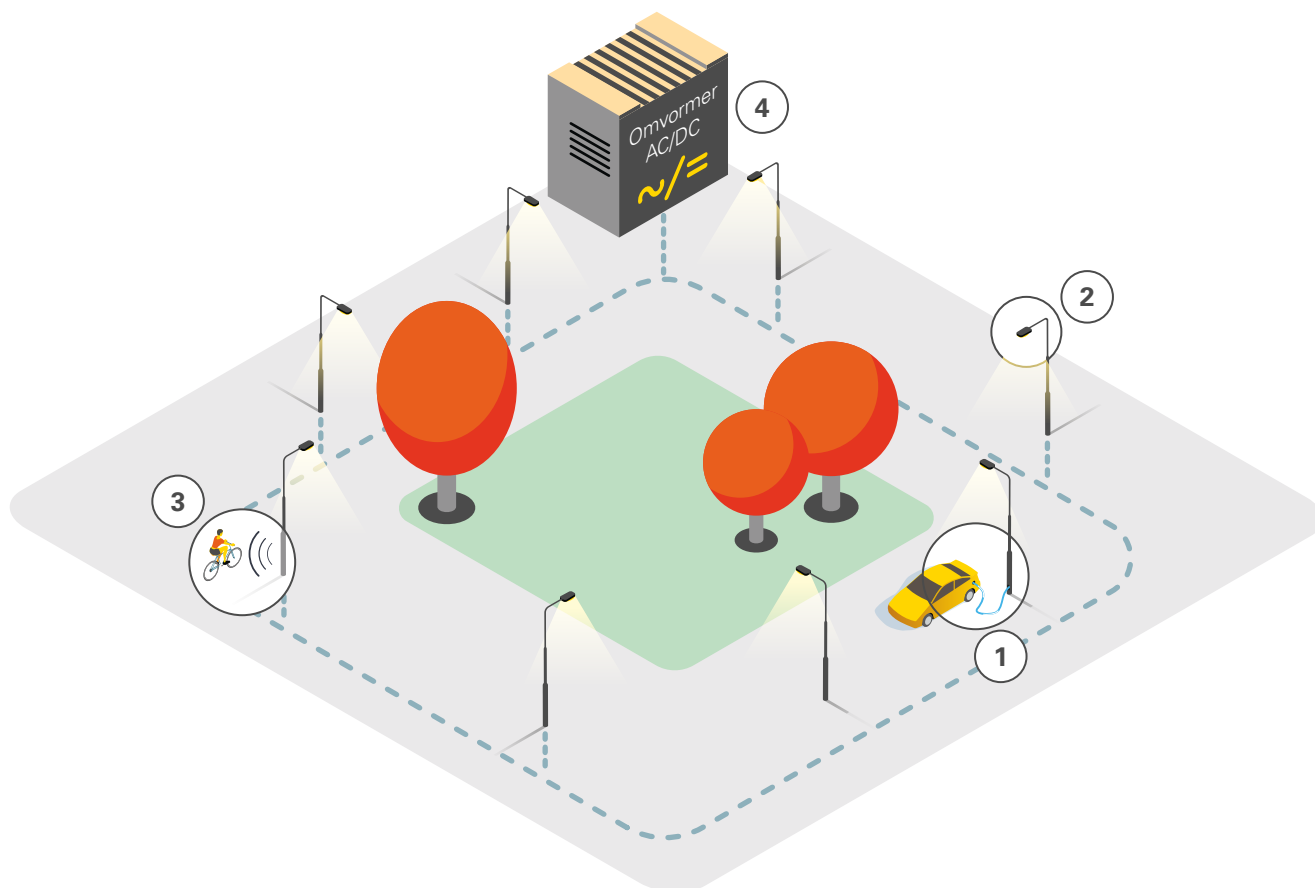
Aanleiding

Dit Whitepaper maakt onderdeel uit van een rapportage over de stand van zaken van gelijkspanning in Nederland. De rapportage is een update van de Roadmap gelijkspanning die in 2018 is opgesteld. Algemene informatie en details over de voordelen, nadelen en uitdagingen van gelijkspanning (DC) worden uitgelegd in de oplegger. Naast de update gelijkspanning gaan wij dieper ingegaan op vijf specifieke marktsegmenten middels vijf Whitepapers. In dit Whitepaper gaan wij in op het marktsegment gelijkspanningsnetten voor de openbare verlichting (OVL).

Inleiding

Het huidige, gebruikelijke openbare verlichtingsnet bestaat uit een wisselspanningsnet waar verschillende armaturen op zijn aangesloten. Deze armaturen maken ofwel gebruik van wisselspanningstechnologie ofwel gelijkspanningstechnologie. Momenteel is er een sterke verduurzamingstrend gaande waarbij de traditionele armaturen worden vervangen door energiezuinigere ledverlichting, waardoor in een armatuur gelijkspanning wordt gebruikt. Bovendien zorgt de groei van zuinigere ledverlichting voor een daling van de elektriciteitsvraag waardoor er capaciteit op bestaande netten vrijkomt. OVL-netten zijn momenteel veelal afgesloten netten met vaak maar één toepassing en eigenaar (vaak overheden), wat het relatief laagdrempelig maakt om hier een systeemverandering van AC naar DC door te voeren. Als het net op DC wordt gezet zijn er minder AC/DC-omvormers nodig. Hierdoor zijn er minder elektrolytische condensatoren (elco's) nodig, waardoor componenten een langere levensduur krijgen. Daarnaast wordt verwacht dat een DC-net meer energie op een veilige manier over dezelfde kabel kan transporteren dan een AC-net. Hiermee is het mogelijk de kabel ook voor andere toepassingen te benutten. Dit wordt parallelle benutting genoemd. Ook maakt de gelijkspanning Powerlinecommunicatie eenvoudiger waardoor OVL eenvoudig beheerd kan worden. Bovendien geeft de mogelijkheid tot een ringvormig net voordelen in zowel minder elektriciteitsverlies als snellere oplossingen bij storingen. De eigenschappen van een OVL-net op gelijkspanning zijn gevisualiseerd in Figuur 1.

Deze eigenschappen maken dat openbare verlichtingsnetten een marktsegment is waar een toegewijd DC-net kans heeft. In de Roadmap gelijkspanning kwam naar voren dat openbare verlichtingsnetten op een toegewijd DC-net, als enige van de onderzochte marktsegmenten al 'market ready' was. Dit maakt het interessant om te analyseren waarom deze techniek wel of niet op grote schaal geadopteerd is, en wat er nodig is op het vlak van innovatie om hierin verdere stappen te maken.



Figuur 1 Concept en voordelen van de toepassing van gelijkspanning in OVL

1. Door DC kan er meer vermogen op bestaande kabels. Hiermee is ofwel parallelle benutting met DC-toepassingen mogelijk, en/of verouderde netten op AC hoeven niet vervangen te worden door ze om te bouwen naar DC.
2. Minder AC/DC-omvormers doordat ledverlichting een DC-toepassing is. Hierdoor zijn er minder elektrolytische condensatoren (elco's) nodig, waardoor componenten een langere levensduur krijgen.
3. Eenvoudige powerlinecommunicatie zodat het net gemakkelijker beheerd en bijgesteld kan worden.
4. Afgesloten net met vaak één eigenaar en toepassing, waardoor een systeemverandering relatief laagdrempelig is.

Raakvlakken met andere marktsegmenten

OVL heeft relatief veel raakvlakken met de andere marktsegmenten: Glastuinbouw, laadinfrastructuur en woningen en utiliteit. In zowel OVL als glastuinbouw, heeft het net één toegewijde toepassing,

namelijk verlichting. De toegewijde toepassing is ook een eigenschap die voorkomt bij het marktsegment laadinfrastructuur. Een raakvlak met het marktsegment woningen en utiliteit kan gevonden worden in de koppeling die gemaakt kan worden met duurzame (gelijkspanning) technologieën. Zo kunnen beide toepassingen van gelijkspanning oplossing bieden voor het invoeden van zonnepanelen op daken of het opslaan van energie in batterijen. De batterijen en zonnepanelen van woningen zouden ook gekoppeld kunnen worden aan het OVL-net.

Stand van zaken

Zoals in tabel 1 aangegeven zijn er verschillende projecten op het gebied van DC in openbare verlichting. De projecten zijn over het algemeen kleinschalig en bedoeld als leerprojecten en demonstraties van de mogelijkheden en voordelen van gelijkspanning. In de DEI subsidie projecten demonstreert men de werking van gelijkspanning in OVL om de voordelen op diverse fronten te duiden en de opgedane kennis en ervaring te delen. Dit geldt voor zowel ombouw als nieuwbouwprojecten. Ook wordt het integreren van diverse parallelle functies getest en worden DC-componenten verder ontwikkeld. Voor

de nieuwbouw-OVL-netten wordt er gebruik gemaakt van een ringvormig net om hierbij het voordeel van het voeden op meerdere punten te testen.

Verschillende gemeenten testen ook de toepassing van gelijkspanning in openbare verlichting. Hierbij vindt er een koppeling plaats met andere technieken zoals elektrisch laden, duurzame opwek en ledverlichting. Daarnaast worden de voordelen van gelijkspanning gedemonstreerd, zoals dimmen via een app, verlaging van het aantal aansluitkasten en

een lagere storingsgevoeligheid. De motivatie voor het toepassen van gelijkspanning varieert tussen het realiseren van energiebesparingen en het realiseren van innovatieve duurzame toepassingen.

Zoals te zien in de volgende tabel zijn er nog geen projecten die zich richten op de opschaling gelijkspanning in OVL. Wel wordt de meerderheid van de projecten uitgevoerd zonder subsidie. Dit laat zien dat de technologie 'market ready' is.

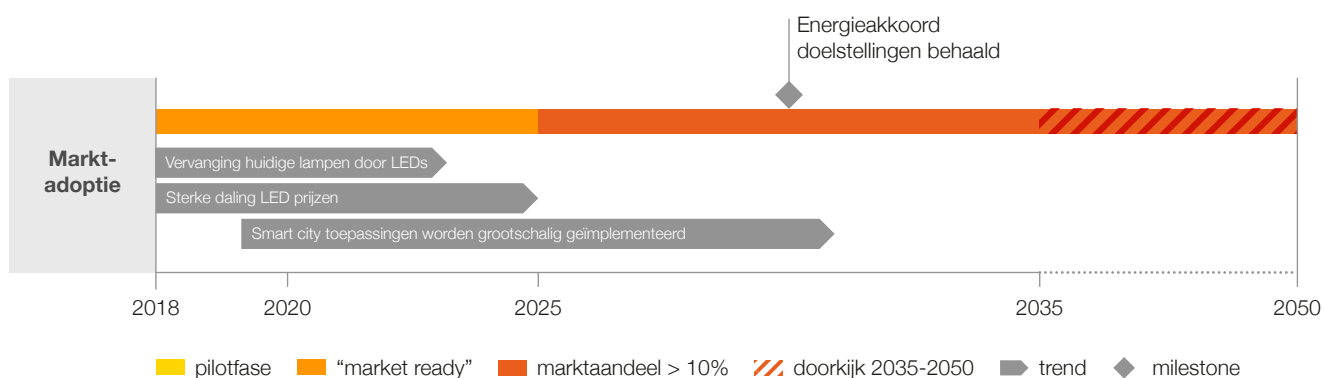
Projectnaam	Project	Nieuw DC /ombouw AC/DC	Koppeling met andere technieken	Organisatie	Subsidie	Type	Jaar (start project)
<u>DC OVL XXL (1)</u>	Tracé aan de Rijndijk	Ombouw		CityTec / SGNL	DEI	Demonstratie	2017
<u>DC OVL XXL (2)</u>	Nieuwbouwwijk Rietlanden	Nieuwbouw		CityTec / SGNL	DEI	Demonstratie	2017
<u>DC OVL XXL (3)</u>	Vermaasd net Driemanspolder	Ombouw	Riool/EV/PV/ straatmeubilair	CityTec / SGNL	DEI	Demonstratie	2017
<u>Meshed DC Grid</u>	The Green Village			CityTec / TUd	TSE Urban Energy	Proof of Concept	2018
<u>Bedrijventerrein de Liede</u>	Bedrijventerrein de Liede	Ombouw	LED	CityTec		Demonstratie	2014
<u>Ecolonia</u>	Ecolonia	Ombouw, ringvorm	LED	CityTec		Demonstratie/toepassing	2015
<u>Centrumplan Musselkanaal</u>	Centrumplan Musselkanaal		Duurzame opwek	CityTec		Demonstratie	2014
<u>Project Sloeweg</u>	N62	Ombouw		CityTec		Demonstratie	2014
<u>Vlietwijk</u>	Vlietwijk	Ombouw		CityTec			
<u>Centrum Delfzijl</u>	Centrum Delfzijl			CityTec / Henk Ensing		Demonstratie	2016
<u>Port of Amsterdam</u>	Fietspad havengebied		Duurzame opwek en opslag, app voor fietsers	CityTec / Luminext		Demonstratie	2016
<u>KIEM Energieproject</u>	Combikabel	Combinatie van AC en DC		Haagse Hogeschool		Onderzoek en Praktijk-simulatie	2018
<u>Energy Wall</u>	N470 (17km)		Duurzame opwek en EV	Dynniq / Provincie Zuid Holland		Demonstratie/toepassing	2017
<u>Bedrijventerrein Nieuw Reijerwaard</u>	Bedrijventerrein Nieuw Reijerwaard	Nieuwbouw	Toekomst: opslagsysteem en duurzame opwek	Engie / CityTec		Demonstratie / toepassing	2019

Tabel 1 Projecten met gelijkspanningstoepassingen in openbare verlichting

Marktadoptie

In de Roadmap uit 2018 is een tijdlijn voor de marktadoptie geschetst voor de verschillende marktsegmenten. Deze tijdlijn is weergegeven in Figuur 2. Kijkend naar de stand van zaken verloopt deze tijdlijn volgens het beeld dat geschetst is in de Roadmap gelijkspanning. Zoals aangegeven in 'Bestaande projecten' zijn er verschillende projecten in OVL met gelijkspanning

bezig. De marktadoptie lijkt hiermee de verwachte trend te volgen, maar monitoring hierop is niet direct aanwezig. Het type projecten is nog relatief kleinschalig en gericht op demonstratie. Dit houdt in dat de technologie 'market ready' is, maar nog geen marktaandeel heeft van > 10 % zoals weergegeven in de tijdlijn.



Figuur 2 Verwachte tijdlijn van de marktadoptie van OVL uit de Roadmap Gelijkspanning

Knelpunten

In OVL is er een aantal knelpunten dat de grootschalige implementatie weerhoudt. Dit zijn normalisatie, vertrouwen en veiligheid, bekendheid, beschikbaarheid en kosten. Een deel van deze punten spelen ook bij andere gelijkspanningstechnologieën een rol. Specifieke knelpunten voor OVL zijn vooral gerelateerd aan vertrouwen en bekendheid, regelgeving rondom parallelle benutting en beschikbaarheid en kosten.

■ Huidige kosten DC-componenten

Actieve beveiligingscomponenten zijn nodig bij een gelijkspanningsnet. Deze zijn duurder dan componenten voor mechanische beveiliging die gebruikt kunnen worden in een wisselspanningsnet. Dit betekent dat een businesscase voor een nieuwbouw OVL net positief wordt als er minstens vijftig lichtmasten op een gelijkspanningsnet worden aangesloten. Hierdoor kan gelijkspanning niet altijd concurreren met wisselspanning.

■ Regelgeving rondom parallelle benutting

De regelgeving voor het koppelen van DC-toepassingen aan een OVL-net is niet eenduidig. Hierdoor kan het voordeel van de toepassing van DC in OVL beperkt worden.

■ Vertrouwen en bekendheid

Er wordt aangegeven dat de markt niet altijd van het bestaan van gelijkspanningstechnologie in OVL af weet of terughoudend is voor de overstap vanwege veiligheidsoverwegingen. De zorgen ten aanzien van veiligheid hebben gedeeltelijk te maken met een kennislacune en met een achterstand van DC op AC. Daarnaast zijn de toepassingen en voordelen van gelijkspanning niet bij iedereen helder. Dit is een kennisbarrière waardoor er in veel gevallen ook bij nieuwbouw voor OVL nog voor wisselspanning gekozen wordt.

Aanbevelingen

Gelijkspanning in openbare verlichting is relatief effectief door te voeren, OVL-netten zijn namelijk afgesloten netten met vaak maar één toepassing en eigenaar. Om dit op grote schaal te adopteren is er innovatie, beleid, normalisatie en kennisdeling nodig.

■ Innovatie

De mogelijkheid tot parallelle benutting is een kans voor gelijkspanning in OVL doordat de toepassingen die gekoppeld kunnen worden gelijkspanningstoepassingen zijn. Bovendien zijn deze toepassingen innovatief, duurzaam en sluiten ze daardoor aan bij markttrends. Naar deze parallelle benutting zou meer onderzoek en ontwikkeling moeten plaatsvinden naar DC-ready producten om zo de markt verder te stimuleren. Hiermee kan een opmars van DC-systeemcomponenten vanuit de markt gecreëerd worden. Hiervoor kan in bestaande projecten, zoals in Nieuw Reijerwaard, Alphen aan den Rijn, bij de N470 of in Zoetermeer wellicht ook experimenteerruimte worden gecreëerd.

■ Aandachtspunten voor innovatiebeleid

Naast de markt zou ook het beleid van overheden ingezet moeten worden op kostenreductie en ontwikkeling van systeemcomponenten. Dit kan gedaan worden door doelen te stellen voor bijvoorbeeld de toepassingen van ledverlichting om op deze wijze innovatie in OVL te ondersteunen. Daarnaast moet de regelgeving voor parallelle benutting aangepast worden om duidelijkheid te creëren.

■ Normalisatie en kennisdeling

Voor de algemene toepassing van gelijkspanning is er een lacune in normalisatie en kennis. Ook voor de toepassing van OVL blijkt uit gesprekken dat kennis en normalisatie een drempel zijn voor partijen om een afgewogen keuze te maken. Uitbreiding van normering en kennisdeling is gewenst om de drempel te verlagen voor zowel de ontwikkeling als toepassing van gelijkspanning technieken. Aanbevelingen en technische specificaties voor aanbestedingen vanuit normalisatie kunnen helpen bij de adoptie.

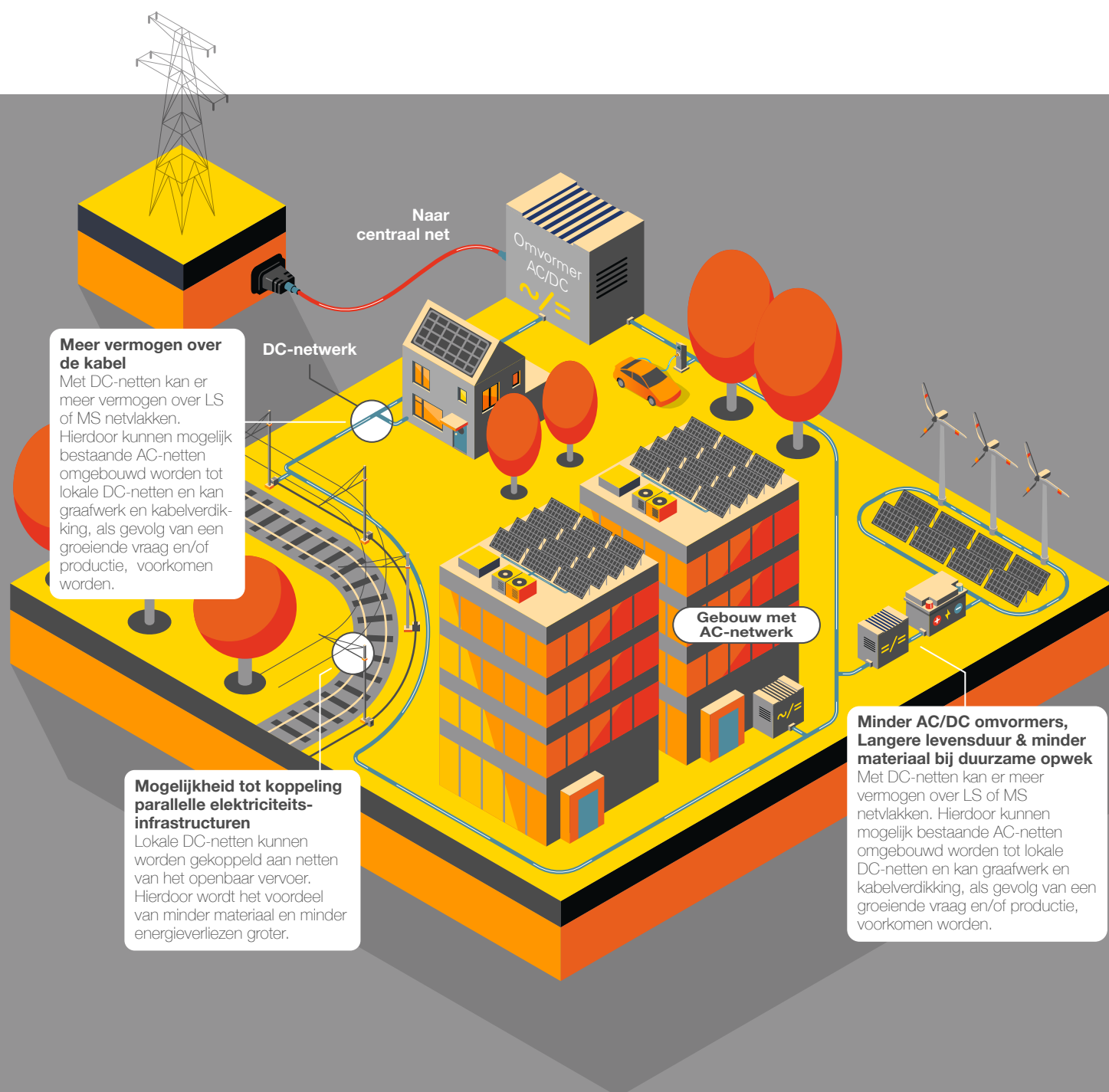
Update Gelijkspanning

December 2020

■ lokale DC-netten

Dit rapport is tot stand gekomen in opdracht van RVO op verzoek van de TKI Urban Energy

door Rutger Bianchi, Thijs Verboon
en Liesbeth van Klink



Inhoud

Aanleiding	3
Inleiding	3
Raakvlakken met andere marktsegmenten	5
Stand van zaken	5
Marktadoptie	6
Knelpunten	6
Aanbevelingen	7



Gelijkspanning in lokale dc-netten

DC-toepassingen in lokale DC-netten kunnen er in potentie voor zorgen dat er minder energieverliezen optreden en bestaande en nieuwe netten beter worden benut, waardoor materiaal uitgespaard wordt. De adoptie van DC in lokale netten heeft daarbij wel een aantal knelpunten namelijk het ontbreken van (1) MKBA, (2) ketenintegratie, (3) experimenteerruimte en (4) erkende meetapparatuur. Er wordt aanbevolen om experimenteerruimte te creëren, een onafhankelijke MKBA uit te voeren en een demonstratieproject uit te voeren waarbij de hele keten wordt meegenomen. Hiernavolgend gaan we in op deze aspecten.

Aanleiding

Dit Whitepaper maakt onderdeel uit van een rapportage over de stand van zaken van gelijkspanning in Nederland. De rapportage is een update van de Roadmap gelijkspanning die in 2018 is opgesteld. Algemene informatie en details over de voordelen, nadelen en uitdagingen van gelijkspanning (DC) worden uitgelegd in de update gelijkspanning. Naast de update gelijkspanning gaan wij dieper in op vijf specifieke marktsegmenten middels vijf Whitepapers. In dit Whitepaper gaan wij in op het marktsegment gelijkspanningstoepassingen in lokale DC-netten.

Inleiding

Netbeheerders hebben in toenemende mate problemen met de capaciteit van LS-netten (Laagspanning) en MS-netten (Middenspanning). Dit probleem speelt zowel in stedelijk gebied als in landelijk gebied. In de gebouwde omgeving komt dit bijvoorbeeld door groei van duurzame opwek met PV, door de elektrificatie van verwarming en koken, en door het laden van elektrische voertuigen waardoor een groter vermogen wordt gevraagd¹⁾. In landelijke gebieden wordt met zonneparken en windturbines een groeiende hoeveelheid duurzame energie opgewekt, wat ook tot congestie leidt. Het komt nu al voor dat netbeheerders zonneparken niet kunnen aansluiten omdat het net het niet aan kan²⁾. En de verwachting is dat dergelijke knappe op de netten ook in wijken en op bedrijfsterrainen gaat spelen. Gelijkspanningsnetten kunnen hier uitkomst bieden.

Gelijkspanningsnetten hebben de potentie om meer elektriciteit te vervoeren op dezelfde draad. Dit Whitepaper gaat in op de volgende concepten:

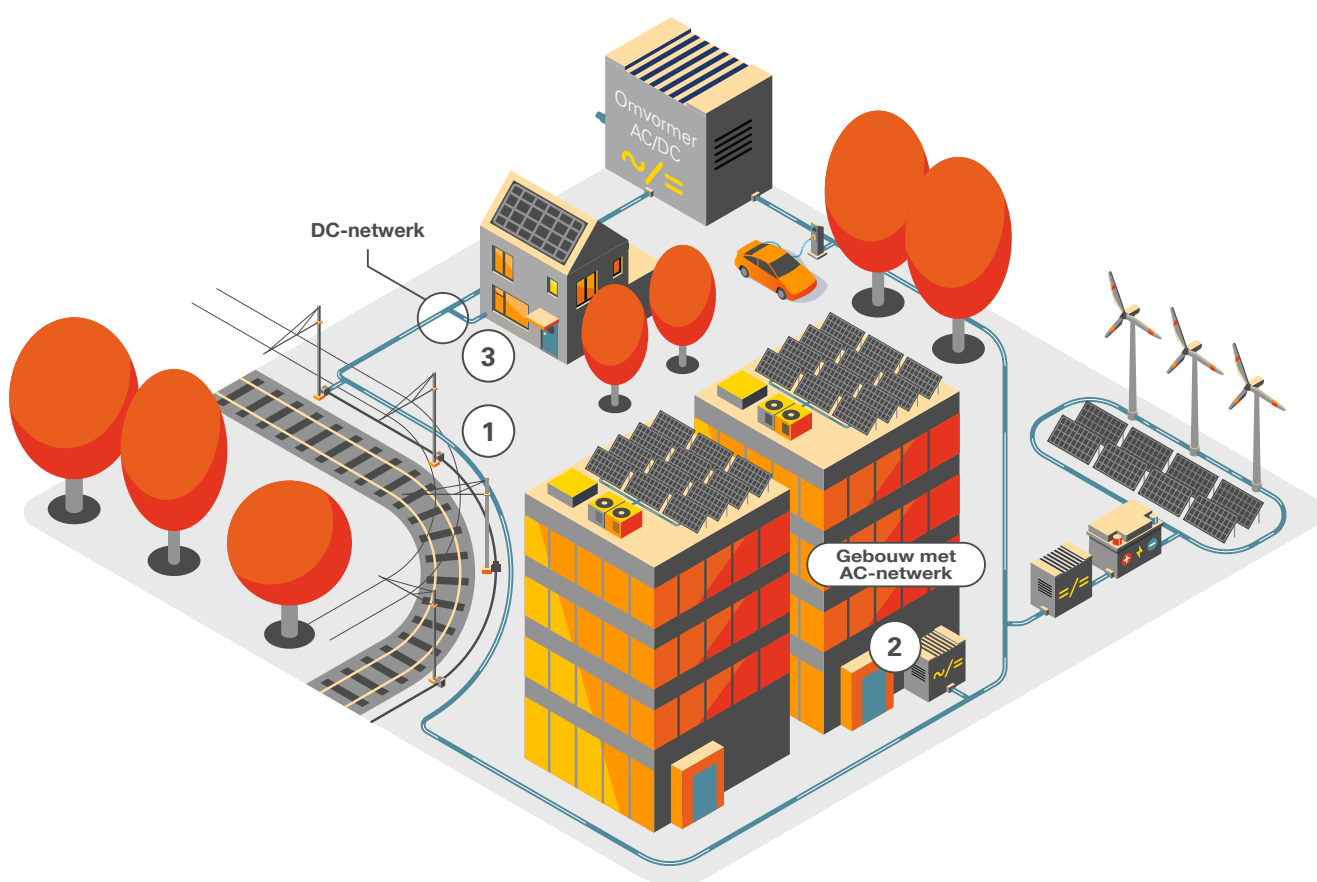
1) Berenschot (2020): Klimaatneutrale energiescenario's 2050

2) Energieia: Nieuwe knelpunten in regionale netten steken van noord tot zuid de kop op. David Duijnmayor, september 2020

Concept 1. Gelijkspanningsnet in de gebouwde omgeving

Het eerste concept is een gelijkspanningsnet in de gebouwde omgeving zoals te zien in Figuur 1. Door de toepassing van DC kan er meer vermogen over de netvlakken. Bestaande AC-netten kunnen worden omgebouwd tot DC-netten waardoor er geen graafwerk voor kabelverdikking nodig is (1). Bij koppeling van het DC-net met DC toepassingen zijn er ook minder materialen nodig. Ook is er minder onderhoud en mogelijk minder energieverlies. Hierbij kan er ook gedacht worden aan parallelle energie infrastructuur

zoals een koppeling met netten van het openbaar vervoer (2) (zoals netten van trams, trolleybussen en treinen). Ook woningen of bedrijven worden in dit concept gevoed vanuit een centraal DC-net. Dit kunnen gebouwen zijn op AC waarbij de stroom van het DC-net in de meterkast wordt omgevormd tot AC. Hierdoor hoeft het gebouw geen gelijkspanningsapparatuur te bezitten (3). Wanneer aangesloten gebouwen ook een inwendig DC-net hebben, kunnen er meer toepassingen zonder omvorming plaatsvinden en zullen de voordelen groter zijn.

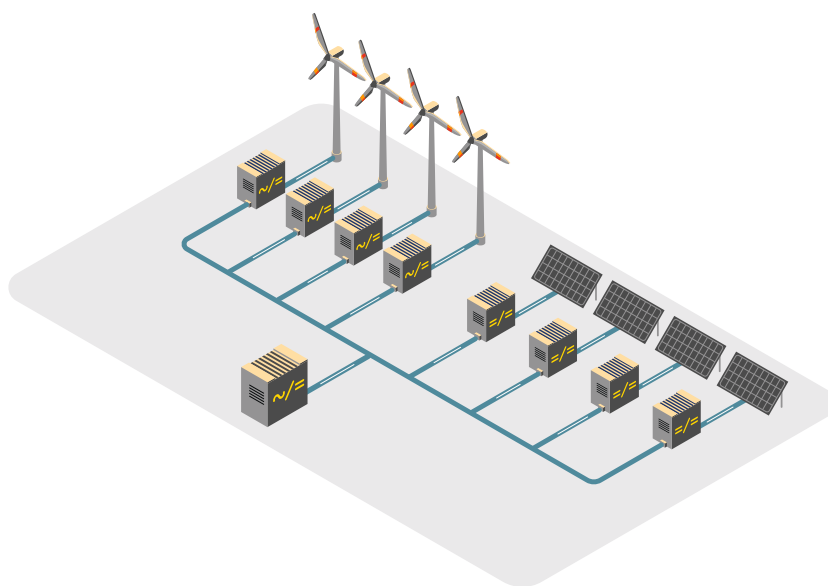


Figuur 1 Gelijkspanningsnet in de gebouwde omgeving

Concept 2. Duurzame energie aansluiten op gezamenlijk DC-net

In het tweede concept worden windturbines en zonneparken samen aangesloten op een gelijkspanningsnet, voordat ze worden aangesloten op het LS/MS-net zoals te zien in Figuur 2. Door deze koppeling kan de aansluiting op het net kleiner worden dan wanneer alles los wordt aangesloten, door de gedeeltelijke ongelijktijdigheid van zonne- en windenergie (1). Verder brengt dit het voordeel met zich mee dat er mogelijk minder verliezen plaatsvinden;

de omvorming van DC naar AC vindt dan namelijk plaats op één centraal punt in plaats van per applicatie. De eerste omvorming van AC van windturbines naar DC zal door het frequentieverschil nog wel per windturbine plaatsvinden (2). Bij zonne-energie zijn door deze toepassing geen DC/AC-omvormers meer nodig (3), waardoor materiaal uitgespaard wordt. Bovendien is de levensduur van DC/DC-omvormers langer dan die van AC/DC. De reductie van het aantal AC/DC-omvormers draagt ook bij aan een verhoogde levensduur van de componenten in het net.



Figuur 2 Gelijkspanningsnet voor duurzame energie opwek

Raakvlakken met andere marktsegmenten

■ Woning en utiliteit

Lokale DC-netten sluiten aan op het marktsegment van gelijkspanning in woning en utiliteit. Een situatie waarin zowel het lokale net als de woning intern op DC werkt heeft als bijkomend voordeel dat er een AC/DC-omvormer minder nodig is. Hierbij kunnen ontwikkelingen in het ene segment, ontwikkelingen in het andere segment bevorderen. Als laatste raakvlak hebben beide segmenten te maken met de complexiteit door verschillende gebruikers. In woning en utiliteit zijn dat de verschillende apparaten die bij een intern DC-net allemaal geschikt moeten zijn voor een DC-aansluiting. Bij een lokaal DC-net zijn dit alle aangesloten partijen (bedrijven/woningen) die allemaal een omvormer nodig hebben. Dit probleem speelt in mindere mate bij het aansluiten van wind- en zonneparken op DC (concept 2).

Stand van zaken

Zoals te zien in Tabel 1 zijn er slechts enkele projecten bezig met gelijkspanningstoepassingen in lokale DC-netten. Het bedrijvenpark in Lelystad en het DC-grid van Eaton zijn beide nog in de vroege fase van experimenteren en het demonstreren van de mogelijkheden van DC in lokale netten. Het project in Lelystad is een project van Liander dat mogelijk is door een (tot nu toe) eenmalige ontheffing van ACM (Autoriteit Consument en Markt) om hiermee te experimenteren. Door de uitstel van ontwikkelingen in dit bedrijvenpark is er echter nog maar met enkele toepassingen en koppelingen geëxperimenteerd. Het Demopark van Eaton is nog in de opstartfase, waarin er contact wordt gezocht met verscheidene partijen en mogelijkheden worden gezocht voor subsidies.

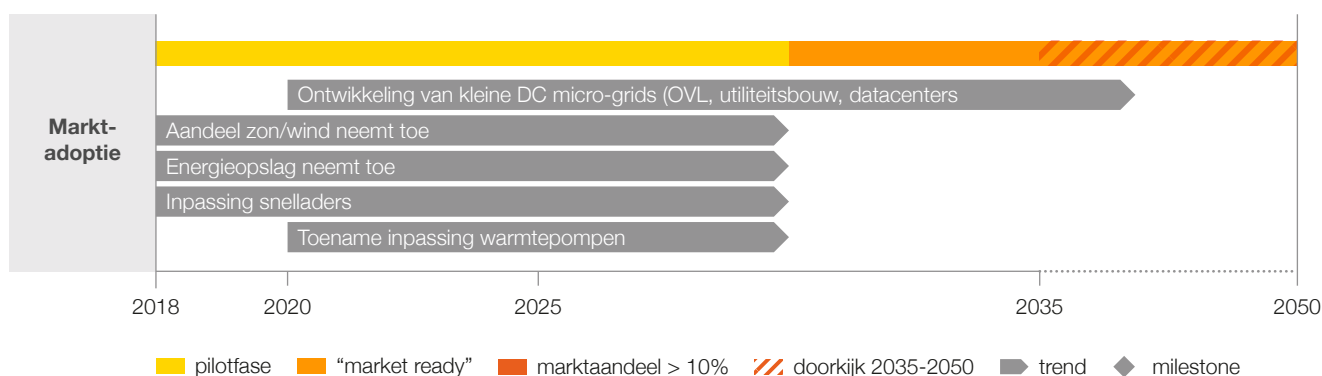
Project-naam	Project	Koppeling met andere technieken	Organisatie	Subsidie	Type	Jaartal (start)
DC Demopark Eaton	Demogrid om toepassing van DC op 700V te testen en hierbij meerdere partijen te betrekken	Zon-PV / opslag / elektrisch laden / verlichting	Eaton		Demonstratie	
Bedrijvenpark Lelystad	Experimenteel publiek gelijkspanningsnet in Lelystad met ontheffing van ACM	Verlichting / bedrijven	Liander		Experiment	2018

Tabel 1 Projecten met gelijkspanningstoepassingen in lokale DC netten

Marktadoptie

De afgelopen jaren is er weinig gebeurd op het gebied van lokale DC-netten. De marktadoptie van lokale DC-netten loopt volgens het geschetste beeld in de

Roadmap. Er wordt voorlopig niet verwacht dat dit marktsegment 'market ready' zal zijn.



Figuur 3 Tijdlijn lokale DC-netten uit Roadmap Gelijkspanning

Knelpunten

Bij lokale DC-netten is er een aantal knelpunten aanwezig, waardoor er maar moeilijk innovatie van de grond komt. De belangrijkste knelpunten zijn hier het ontbreken van experimenteerruimte, ontwikkelingen over de hele keten, het ontbreken van een MKBA en geen erkende meetapparatuur.

■ Ontbreken van een MKBA

De verwachting is dat DC-netten congestieproblemen kunnen verhelpen, doordat er meer vermogen over dezelfde kabel kan bij DC-netten. Dit betekent dat er minder (duur) graafwerk nodig is voor het verzwaren van de bestaande netten. In theorie is dit iets waar netbeheerders veel baat bij hebben. Er is op dit moment echter nog geen

maatschappelijke kosten-batenanalyse uitgevoerd die dit ook bewijst. Hierdoor blijven de concepten niet tastbaar en lastig over te brengen. Onderzoeksvragen zouden kunnen zijn: Wat zijn de kostenverschillen voor netbeheerders om op LS-niveau de grond open te halen ten opzichte van bij iedereen thuis langs te gaan om DC/AC-omvormers te plaatsen? Is DC vooral voor nieuwe netten zinvol of ook voor aanpassing van bestaande? Hoe verhoudt een eventuele toegevoegde waarde van DC zich in LS ten opzichte van MS-netten?

■ Ontbreken van experimenteerruimte

Lokale netten worden beheerd door de landelijke netbeheerders. Deze netbeheerders hebben de taak een stabiele service te verlenen en worden

afgerekend op hun leveringszekerheid. Daarbij krijgen ze van de ACM weinig ruimte om te experimenteren. Dit is ook het geval met gelijkspanning. Hier heeft de ACM één keer bij wijze van grote uitzondering een pilot toegestaan met de opmerking dat dit de enige gelijkspanningspilot zou blijven voor de netbeheerders. Hierdoor verdwijnt de motivatie voor netbeheerders om onderzoek te doen naar lokale gelijkspanningsnetten.

■ **Ontbreken van ketenintegratie**

Weinig partijen bieden componenten aan die nodig zijn in een gelijkspanningsnet. Hierdoor kan degene die een net ontwerpt niet altijd aan de onderdelen komen die hij nodig heeft en moet dan een alternatieve oplossing verzinnen. In een pilot is het daarom belangrijk elektronicafabrikanten te integreren in het proces. Dit gebeurt nu niet. Op het moment dat dit gebeurt, kunnen specifieke onderdelen ontworpen worden voor het DC-net, waardoor het net precies gemaakt kan worden zoals het bedoeld is in het ontwerp.

■ **Ontbreken van juridisch erkende meetapparatuur**

Op dit moment ontbreekt er gecertificeerde en juridisch erkende meetapparatuur om hoeveelheden geleverde elektriciteit te meten in een lokaal DC-net. Op het moment dat dit op een groot bedrijven terrein of woonwijk wordt geïmplementeerd is er dus niet te goed te achterhalen hoeveel elke afnemer gebruikt. Dit levert problemen op met facturering.

Aanbevelingen

Lokale netten zijn minder ver in ontwikkeling op het gebied van gelijkspanningstoepassingen dan de andere marktsegmenten. Dit komt met name omdat er nauwelijks geëxperimenteerd wordt met lokale DC-netten, zeker waar het gaat om elektronische beveiliging. Hierdoor is het effect van een lokaal net op DC ook nog niet goed onderzocht en bewezen. Ruimte om te experimenteren, het doen van een maatschappelijk kosten/batenanalyse en het betrekken van de hele keten zal er voor zorgen dat de potentie van lokale DC-netten goed gedefinieerd kan worden.

■ **Ruimte om te experimenteren**

Zoals aangegeven in het hoofdstuk over de knelpunten is er op dit moment weinig ruimte voor netbeheerders om te experimenteren met DC. Vanwege de toenemende congestie in het net zou

DC juist voor de netbeheerders een oplossing kunnen bieden. Daarom wordt er aanbevolen om netbeheerders meer ruimte te geven om te experimenteren met lokale DC-netten. Hierbij kan ook de koppeling naar laadpleinen voor OV worden gezocht. Uit de validatiesessie bleek dat er grote voordelen gezien worden bij de toepassing van DC in de distributienetten (zoals in dit paper geïllustreerd). Daarentegen werd ook aangegeven dat de netbeheerders hier vrijwel niet mee bezig zijn. Het agenderen en expliciteren van de kansen van DC voor het distributienet in het kader van onder andere de energietransitie behoeft daarom ook aanbeveling.

■ **Berekening van onafhankelijke MKBA**

Er is geen maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) berekend voor de verschillen tussen een net op AC of DC. Tot nu toe wordt er voornamelijk gekeken naar (initiële) kosten en mogelijke risico's. Wanneer bijvoorbeeld maatschappelijke factoren, ruimtelijke impact en duurzaamheid meegenomen worden in de businesscase, zou de keuze mogelijk wel op DC kunnen vallen. Een MKBA zou dus moeten worden berekend om een eerlijke afweging te maken en DC verder op de kaart te zetten.

■ **Demonstratie projecten voor gehele keten**

Door het ontbreken van experimenten, ketenintegratie en meetapparatuur ontstaat er een vacuüm waarin er kennis ontbreekt bij mogelijke klanten en er componenten ontbreken bij fabrikanten. Om dit te doorbreken, zullen er demonstratieprojecten uitgevoerd moeten worden, waarin de gehele keten samenwerkt, van afnemers tot aan fabrikanten. Ook zouden hierbij verschillende DC-toepassingen, zoals zon-PV, ledverlichting, batterijen, wind en/of EV-laders, aan het net gekoppeld moeten worden, want dan worden de voordelen van DC groter. De regie voor zo'n gezamenlijk programma zou door TKI Urban Energy genomen kunnen worden.

