

Update Gelijkspanning

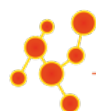
December 2020

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 tijdslijnen/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



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/vermogens elektronica 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 'opportunititeit' om gelijkspanningsinfrastructuur op verschillende schalen verder te ontwikkelen dan alleen de 'klassieke' gelijkspanningstoepassingen (tram, trein, trolleybus).

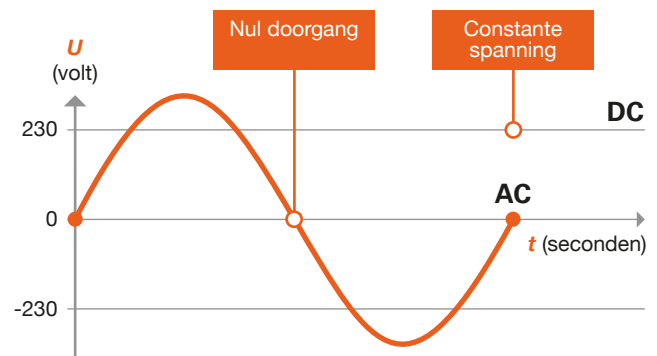
De combinatie van innovatie in vermogenselektronica en de groei van gelijkspanningstoepassingen, zorgt voor een vergrote aandacht voor gelijkspanning en stelt de logica van de keuze voor wisselspanning ter discussie. Wanneer er steeds meer vermogenselektronica nodig is, ontstaat de vraag of gelijkspanningsnetten 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 sinuskrumme 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 vermogenselektronica 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 (vermogenselektronica) 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 vermogenselektronica. 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 vermogenselektronica wordt toegevoegd en het net intensiever wordt gebruikt, gaat de hoeveelheid onderhoud sterk omhoog. Ook levert elke toevoeging van vermogenselektronica energieverlies op.

Op grotere schaal heeft de groei van vermogenselektronica 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.



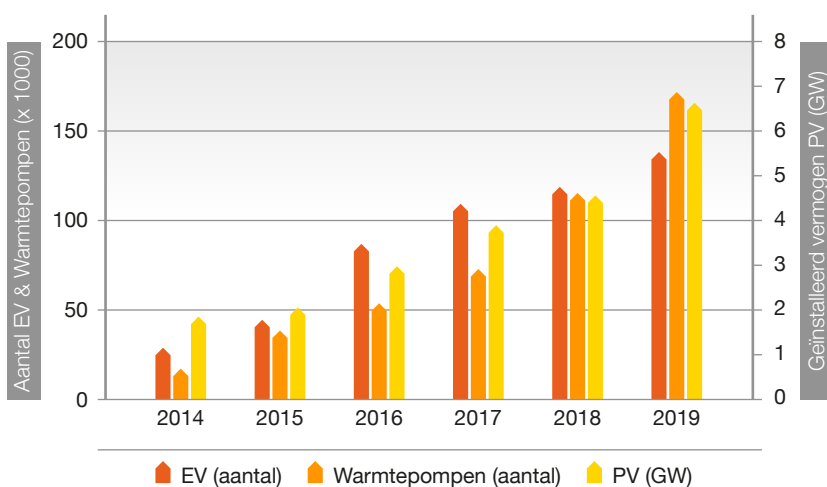
3. Markttrends gelinkt aan gelijkspanning

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 avonden.

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 daardoor 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 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 energiescenario's 2050

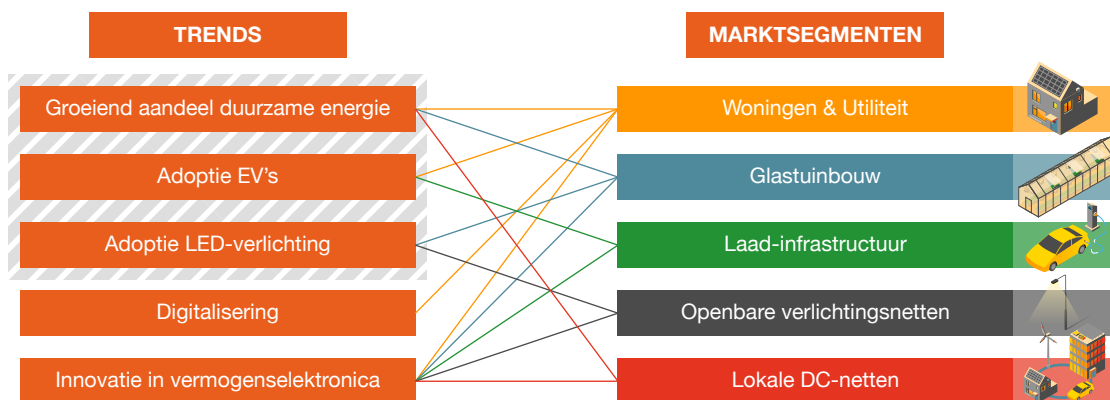
hiervan is dat er een fysieke verbinding nodig is tussen de converters en dat de dataverbinding het systeem gevoelig maakt voor eventuele hackers. Een voordeel voor DC is dat er geen fysieke verbinding nodig is voor de dataverbinding, omdat dit over de DC-elektriciteitskabel kan middels powerlinecommunicatie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

■ **Vlambogen**

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 vermogenslektronica.

■ **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.

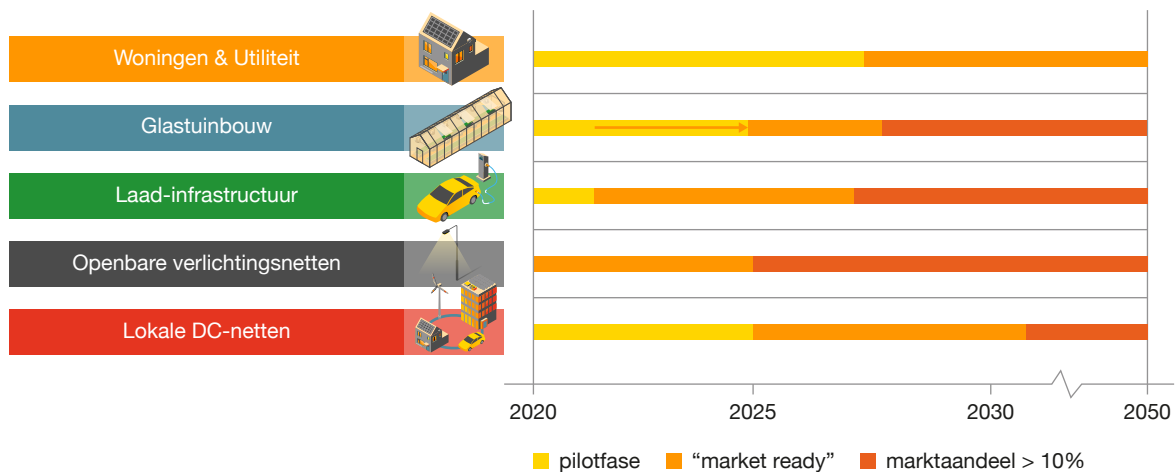
Daarnaast zijn bestaand ontwikkelingen/projecten binnen de andere marktsegmenten doorgegaan. Er zijn echter nog veel onzekerheden rondom de businesscase van gelijkspanning in verschillende marktsegmenten, zo blijkt uit interviews en de

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 samengevoegd 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.

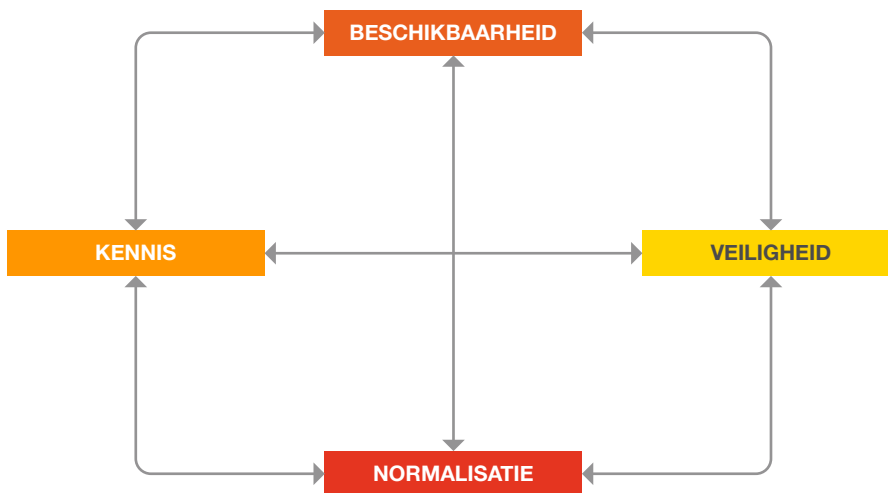
■ Beschikbaarheid DC-componenten

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 vermogenslektronica in de gelijkspanningstechniek. Deze perceptie van veiligheid is als knelpunt geïdentificeerd voor de ontwikkeling van DC in het algemeen.



Figuur 5 Afhankelijkheid 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 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 huidig 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 laainfrastructuur 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

