

Technische analyse van zonnestroom-omvormers bij kleinverbruikers

*Een verkenning van functionaliteiten en toepassingsmogelijkheden
voor het verminderen van spanningopbouw in het laagspanningsnet*



Opdrachtgever:

Ministerie van Klimaat en Groene Groei | Directoraat-Generaal Klimaat en Energie



Uitgevoerd door:

De Zonnemeesters B.V.

Jan-Willem Sips | Stephan van Berkel | Johan Boekholt



Managementsamenvatting

De snelle groei van zonnestroom zet het Nederlandse elektriciteitsnet onder druk. Spanningsopdrijving, als gevolg van gelijktijdige invoeding door zonnestroomsystemen, is een toenemend probleem: de lokale netspanning loopt steeds vaker op en om schade aan apparaten te voorkomen schakelen omvormers soms tijdelijk uit (zoals voorgeschreven door Netcode Elektriciteit).

Vermogenssturing van omvormers kan een bijdrage leveren aan het oplossen van spanningsopdrijving in laagspanningsnetten: door het geleidelijk verlagen van het vermogen van omvormers bij oplopende netspanning stijgt de spanning minder hard. Hierdoor kunnen meer omvormers gedurende langere tijd vermogen blijven leveren.

Dit rapport verkent de technische mogelijkheden van vermogenssturing van huishoudelijke omvormers (reeds geïnstalleerd en huidig aanbod). Het onderzoek bestond uit deskresearch (nationaal en internationaal), een marktuitleg onder omvormerfabrikanten en verdiepende, verifiërende interviews met fabrikanten en andere stakeholders, waaronder aanbieders van sturingsdiensten.

De meest verkochte merken en modellen zijn in dit onderzoek opgenomen, waarmee naar schatting >90% van de geïnstalleerde systemen in Nederland wordt afgedekt.

De belangrijkste conclusie is dat de huidige geïnstalleerde omvormers kunnen bijdragen aan het oplossen van spanningsopdrijving in het laagspanningsnet. Het overgrote merendeel (70-90%) van de sinds 2018 in Nederland geïnstalleerde omvormers – voor 2018 zijn relatief weinig zonnestroomsystemen geïnstalleerd – is zonder fysieke aanpassingen aan de omvormer zelf geschikt voor vermogenssturing.

Wel geldt dat op dit moment bij vrijwel geen omvormer vermogenssturing ingeregeld is; dit moet worden geactiveerd en ingesteld. Vanuit technisch perspectief zijn hiervoor vier hoofdroutes op basis van twee vormen van toegang (lokaal of centraal op afstand) en twee sturingsprincipes (actief of passief). Elke route brengt eigen kansen, beperkingen en open vragen met zich mee die nader onderzocht moeten worden. De routes sluiten elkaar niet uit.

Een eerste analyse is gedaan op drie criteria, waarbij de onderlinge verschillen tussen de scores belangrijker zijn dan de score zelf (het aantal sterren):

- Impact: lost spanningsopdrijving op
- Haalbaarheid: is het technisch, juridisch en organisatorisch mogelijk
- Schaalbaarheid: eenvoudig uit te rollen (organisatorisch en technisch)



Routes 1 en 4 hebben de hoogste impact en scores ook op de gecombineerde criteria (Impact, haalbaarheid en schaalbaarheid) het best. Route 4 leent zich het best voor actie op korte termijn, terwijl route 1 de voorkeursrichting voor de langere termijn vormt.

Route 4 omvat een (eenmalige) landelijke update van alle verbonden omvormers, waarbij het uitgangsvermogen van omvormers afhankelijk wordt van de lokale netspanning. Dit is een pragmatische en technisch relatief eenvoudig uit te voeren oplossing. De route is echter alleen toepasbaar voor omvormers die door fabrikanten op afstand bereikbaar zijn (inschatting 65-80%) en vereist hun medewerking. Daarbij spelen juridische mogelijkheden een belangrijke rol, aangezien het een niet-vrijwillige ingreep betreft. Tot slot vraagt het risico op onderlinge interactie tussen passief sturende omvormers in een netgebied om nader onderzoek, omdat dit tot pendelgedrag en instabiliteit kan leiden.

Route 1 omvat het actief sturen middels lokale toegang tot de omvormers. Deze route lost spanningsopdriving het meest accuraat op, omdat continue sturing mogelijk is, waarbij ook rekening gehouden kan worden met andere, belangrijke net-intensieve apparaten (zoals laadpalen, warmtepompen en batterijen). Deze interactie is fundamenteel, omdat deze apparatuur de spanning “achter de meter” beïnvloedt. Voor consumenten is deelname aan deze route vrijwillig. Door wie en langs welke weg een stuurprikkel wordt gegeven valt buiten dit onderzoek en vraagt om afwegingen en besluitvorming op politiek of beleidsniveau.

Tot slot, Nederland is niet uniek: kijk naar bestaande aanpakken en oplossingen in met name Duitsland en Australië. Stem standaardisatie van vermogenssturing in EU-verband af. Versterk de samenwerking met fabrikanten en het groeiende aantal aanbieders van sturingsdiensten om kennis te delen, werkzame praktijkoplossingen te identificeren en drempels weg te nemen.

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	1	4 Onderzoekresultaten	14
Dankwoord	4	4.1 Beantwoording onderzoeksvragen	14
Over het onderzoeksteam	4	4.2 Aanvullende resultaten	16
1 Inleiding	5	5 Conclusies en aanbevelingen	19
1.1 Onderzoeksdoel	5	5.1 Conclusies	19
1.2 Onderzoeksvragen	5	5.2 Aanbevelingen	19
1.3 Onderzoeksaanpak	6		
1.4 Afbakening	6	6 Bijlagen	20
1.5 Leeswijzer	6	Bijlage 1: Onderzoekstabel	20
		Bijlage 2: Uitvraag Energieleveren.nl	25
2 Kleinverbruik en zonne-energie	7	Bijlage 3: Overzicht geïnterviewde partijen en bronnen	26
2.1 Groei zonne-energie bij huishoudens	7		
2.2 Databronnen en registratie van omvormers	8		
3 Omvormers: werking, instellingen en aansturing	9	Disclaimer	
3.1 Soorten omvormers	9	Dit technische rapport is informatief van aard en gebaseerd op een combinatie van deskresearch, een marktvraag en interviews, uitgevoerd binnen een beperkte doorlooptijd. Hoewel De Zonnemeesters zorg heeft betracht bij het verifiëren van bronnen, kunnen gegevens (vooral waar zij afkomstig zijn van derden of berusten op uitspraken van geïnterviewden) onvolledig zijn of wijzigen. Termen als vaak, doorgaans en vergelijkbare aanduidingen zijn gebaseerd op gedeelde inzichten, niet op statisch onderbouwde data. Aan de inhoud van dit rapport kunnen geen rechten worden ontleend. De Zonnemeesters B.V. en auteurs zijn niet aansprakelijk voor enige schade voortvloeiend uit het gebruik van dit document.	
3.2 Omvormers en spanningsregeling	9	© De Zonnemeesters B.V. - Alle rechten voorbehouden.	
3.3 Toegang tot omvormerinstellingen	11		
3.4 Sturing van maximum uitgangsvermogen	12		
3.5 Internationale ontwikkelingen rondom sturing en communicatie	13		

Dankwoord

Wij willen graag eenieder danken die heeft bijgedragen aan dit onderzoek.

In de eerste plaats danken wij Jaric Wiegman, Micha Rots en Robert van Heel van het Directoraat-Generaal Klimaat en Energie van het Ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG) voor het verstrekken van de opdracht en de constructieve samenwerking gedurende het onderzoek. In het verlengde spreken wij ook onze dank uit aan Paul Bierling, die namens Netbeheer Nederland waardevolle inbreng en ondersteuning heeft geleverd.

Wij zijn bijzonder dankbaar voor de openheid, tijd en kennis die de geïnterviewde partijen met ons hebben gedeeld. Het was een voorrecht met jullie in gesprek te gaan. Daarnaast danken wij iedereen die ons heeft geholpen bij het leggen van contacten met fabrikanten, distributeurs, groothandels en andere marktpartijen binnen het speelveld van dit onderzoek.

Tot slot danken wij de mensen die het rapport hebben meegelezen en waardevolle suggesties hebben aangedragen.

Wij hebben met enthousiasme aan dit onderzoek en rapport gewerkt en vertrouwen erop dat het bijdraagt aan de aanpak van netcongestie en aan een succesvolle energietransitie.

Johan Boekholt, Jan-Willem Sips en Stephan van Berkel

December 2025

Over het onderzoeksteam

De Zonnemeesters is een onafhankelijk adviesbureau rondom duurzame energietechnieken. We helpen organisaties de kwaliteit en veiligheid te verbeteren tijdens installatie en beheer. We inspecteren en adviseren over zonnepanelen, warmtepompen, thuisbatterijen, laadpalen en groepenkasten. Daarnaast voeren we onderzoeken uit die bijdragen aan de professionalisering van de sector en aan de realisatie van de energietransitie. Onze opdrachtgevers zijn onder andere installateurs, woningcorporaties, sectorpartijen en overheden.

Jan-Willem Sips is technisch specialist in zonne-energie en energiemanagement, met ervaring aan zowel de technische als commerciële kant van de sector. Gedreven door zijn interesse in zowel mensen als techniek richt hij zich op het ontwikkelen en verzorgen van solar-, storage- en energiemanagementtrainingen bij Switch2Solar, waarmee hij de professionaliteit in de markt versterkt. Met een achtergrond in informatica en een passie voor kennisdeling maakt hij complexe onderwerpen helder en toepasbaar voor diverse doelgroepen.



Stephan van Berkel is technisch specialist in duurzame energie en elektrotechnische installaties. Met een achtergrond in vliegtuigbouw en duurzame energietechnologie werkt hij sinds 2013 aan het ontwerp, de inspectie en kwaliteitsverbetering van zonnestroomsystemen. Hij is mede-oprichter en inspecteur bij De Zonnemeesters en tevens trainer en ontwikkelaar bij Switch2Solar. Als lid van normcommissies (NEC 82/64) droeg hij bij aan standaarden voor kwaliteit en veiligheid. Stephan combineert technische diepgang met heldere communicatie en oplossingsgerichtheid.



Johan Boekholt heeft ruim twintig jaar ervaring in de energiesector, met een sterke focus op de energietransitie. Als mede-oprichter van De Zonnemeesters richt hij zich op de organisatorische en bedrijfskundige kant van energievraagstukken en vertaalt hij complexiteit naar concrete oplossingen. Hij slaat de brug tussen strategie, beleid en uitvoering en publiceerde recent een sectorrapport over de ontwikkeling naar volwaardig solar asset management. Hij staat bekend als resultaatgericht, analytisch en betrouwbaar – met oog voor maatschappelijke impact.



1 Inleiding

1.1 Onderzoeksdoel

Dit onderzoek heeft, als onderdeel van het Landelijk Actieprogramma Netcongestie, tot doel inzicht te geven in de technische mogelijkheden voor vermogensbegrenzing en spanningsregeling van PV-omvormers bij kleinverbruiksaansluitingen in Nederland. Het richt zich daarbij op zowel de reeds geïnstalleerde omvormers als het huidige aanbod voor zonne-installaties. De resultaten vormen input voor beleidsontwikkeling, het NTA-traject voor zonne-omvormers bij NEN en toekomstige afspraken tussen overheid, marktpartijen en netbeheerders.

De aanleiding voor dit onderzoek ligt in de toenemende druk op het Nederlandse elektriciteitsnet door de snelle groei van zonnestroom bij kleinverbruikers. Momenteel schakelen omvormers automatisch uit zodra de netspanning boven de 253 Volt uitkomt, om schade aan elektrische apparatuur te voorkomen. Dit leidt tot opbrengstverlies. Een alternatief is dat omvormers niet plots uitschakelen bij een spanning van 253 Volt, maar al bij lagere spanningsniveaus hun uitgangsvermogen geleidelijk of stapsgewijs beperken. De verwachting is dat volledige uitschakeling hierdoor veelal niet nodig zal zijn.

Bekend is dat een deel van de omvormers in Nederland over deze functionaliteiten beschikt, maar een volledig overzicht ontbreekt. Er is beperkt inzicht in de technische specificaties en de praktische toepasbaarheid van deze functies. Tegelijkertijd neemt de urgentie toe om hier duidelijkheid over te krijgen, omdat netbeheerders en beleidsmakers zoeken naar mogelijkheden om het elektriciteitsnet beter te benutten, netcongestie te beperken en kleinverbruikers een zo hoog mogelijke opbrengst te laten halen uit hun zonnepanelen binnen de grenzen van het elektriciteitsnet.

1.2 Onderzoeksvragen

Om richting te geven aan dit onderzoek heeft de opdrachtgever een aantal concrete vragen geformuleerd. Deze vragen vormen het uitgangspunt voor onze analyse en dit rapport.

1. Hoeveel omvormers zijn er in Nederland geïnstalleerd en wat is de verdeling qua type en merk?
2. Welk aandeel van de geïnstalleerde omvormers hebben de volgende functionaliteiten:
 - a. Het maximeren van het opgewekte vermogen tot een bepaald percentage van het geïnstalleerde PV-vermogen of omvormervermogen.
 - b. Een spanningsregeling waarbij het actieve vermogen terug geregeld wordt o.b.v. de spanning. Maak onderscheid tussen P(U) regeling en Q(U) regeling.
 - c. Hoe verschillen micro-omvormers van andere omvormers in bovenstaande functionaliteiten?
3. Welke type omvormers worden momenteel aangeboden op de markt en in hoeverre hebben deze bovenstaande functionaliteiten?
4. Hoeveel omvormers zijn al ingesteld om terug te schakelen in plaats van af te schakelen bij spanningsproblemen?
5. Op welke manier en door wie kunnen de instellingen worden aangepast bij omvormers en verschilt dat per type omvormer?
6. Hoe ziet de mogelijke spanningsregeling op omvormers er technisch uit:
 - a. Welke parameters zijn er in te stellen voor de P(U) regeling (e.g. aantal stappen, tijdsconstante)?
 - b. Hoe ziet omgekeerd de opregelcurve er weer uit (trapsgewijs, direct naar 100%)?
7. In hoeverre is het mogelijk de regelingen toe te passen met de volgende waarden als referentie voor het terugleververmogen:
 - a. Het geïnstalleerde PV vermogen
 - b. Het geïnstalleerde omvormervermogen

Hoofdstuk 4 begint met de beantwoording van deze concrete onderzoeksvragen. Vervolgens presenteren we aanvullende onderzoeksresultaten die bijdragen aan het doel van het onderzoek.

1.3 Onderzoeksaanpak

Het onderzoek is uitgevoerd met een combinatie van deskresearch, een marktuitleg en interviews met relevante partijen. Bij de deskresearch is gekeken naar beschikbare rapporten, datasheets en marktinformatie, zowel in Nederland als internationaal. Via een marktuitleg is informatie verzameld bij fabrikanten en importeurs. Om de inzichten verder te verdiepen en te verifiëren zijn daarnaast interviews gehouden met fabrikanten en enkele andere stakeholders. In [bijlage 3](#) is een overzicht opgenomen van de betrokken organisaties en geïnterviewde gesprekspartners.

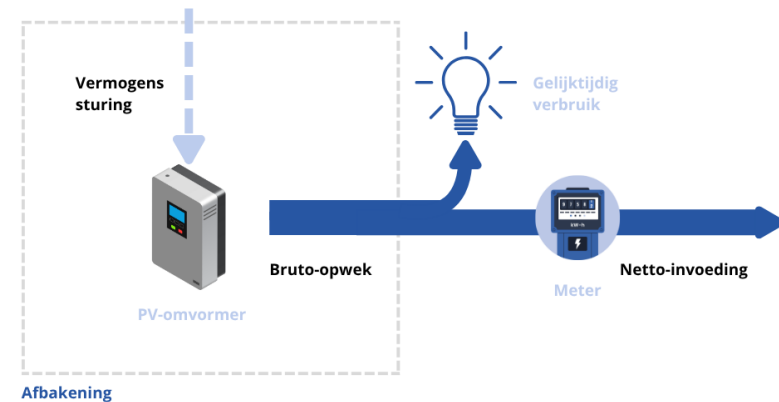
1.4 Afbakening

Het doel van dit onderzoek is een representatief beeld te schetsen van vermogensbegrenzende en spanningsregelende functionaliteiten van PV-omvormers bij kleinverbruiksansluitingen. Het onderzoek streeft nadrukkelijk geen volledigheid na, mede gezien de beperkte doorlooptijd (september – oktober 2025). De resultaten zijn bedoeld om een praktisch toepasbaar inzicht te bieden.

Het onderzoek kent de volgende afbakening:

- **Onderwerp:** PV-omvormers. Hybride omvormers (zon- en batterijomvormers in één systeem) zijn alleen meegenomen voor zover zij beschikken over vergelijkbare functionaliteiten voor vermogensbegrenzing en spanningsregeling. Overigens wordt voor thuisbatterijssystemen een afzonderlijk NTA-traject gestart.
- **Toepassingsgebied:** kleinverbruiksansluitingen: maximaal 3x80 Ampère, met primaire focus op huishoudens.
- **Merken en typen:** selectie beperkt tot de meest verkochte merken en modellen op de Nederlandse markt, gebaseerd op marktkennis en navraag bij groothandels. Minder courante merken en kleine spelers zijn buiten beschouwing gelaten. Met deze selectie dekken we naar schatting meer dan 90% van de geïnstalleerde systemen.
- **Installatieperiode:** focus op systemen geïnstalleerd vanaf 2018, omdat verreweg het grootste deel van de installaties bij huishoudens vanaf toen is geplaatst en de vermogens van eerdere installaties aanzienlijk kleiner waren.
- **Scope:** nadruk op een technische inventarisatie van functionaliteiten. Juridische, maatschappelijke of economische aspecten vallen buiten scope; waar relevant benoemen we deze alleen signaalmatig, bijvoorbeeld bij de bespreking van de routes.

Belangrijke opmerking: Dit rapport beschouwt alléén de besturing van de bruto-opwek van PV-omvormers. Voor netbeheerders is de netto-invoeding op een aansluiting van belang. Netto-invoeding is de resterende elektriciteit na gelijktijdig gebruik van de bruto-opwek, die wordt ingevoed op het laagspanningsnet via de aansluiting.



1.5 Leeswijzer

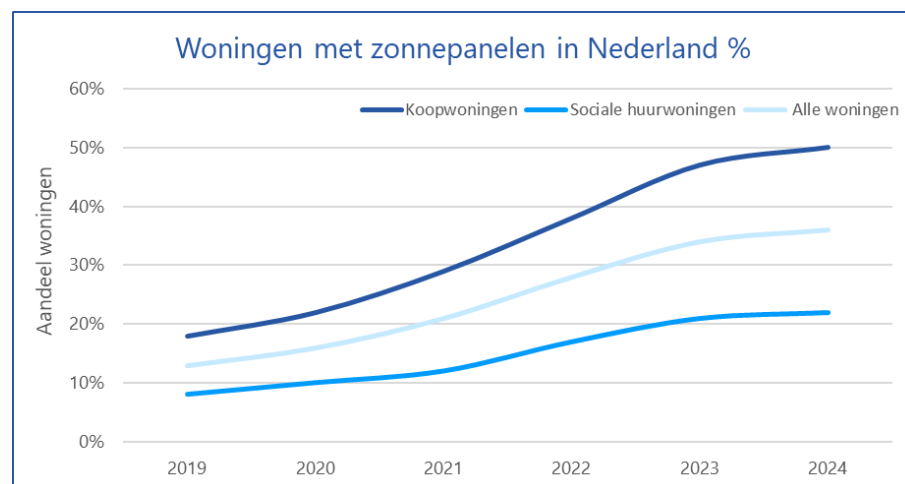
Na de inleiding over het onderzoek geeft [hoofdstuk 2](#) relevante context over de enorme groei van zonne-energie bij huishoudens én de registratie van omvormers. [Hoofdstuk 3](#) geeft een beschrijving van de werking van verschillende omvormers en spanningsregeling, de toegang tot de omvormerinstellingen voor sturing en relevante internationale ontwikkelingen. In [hoofdstuk 4](#) presenteren wij de belangrijkste bevindingen langs de onderzoeksvragen, aangevuld met relevante aanvullende resultaten. Tot slot bevat [hoofdstuk 5](#) de conclusies en concrete aanbevelingen voor het vervolg.

2 Kleinverbruik en zonne-energie

2.1 Groei zonne-energie bij huishoudens

Onder kleinverbruik (KV) verstaan we elektriciteitsaansluitingen tot en met 3x80 Ampère; een wettelijke grens. De meeste huishoudens maken gebruik van aansluitingen tot 3x25 Ampère en vormen met 90% de grote meerderheid van alle aansluitingen binnen het segment kleinverbruikers. De overige niet-huishoudelijke aansluitingen zijn veelal in gebruik door het midden- en kleinbedrijf (mkb), maar ook door overheidspartijen, onderwijs-, sport- en cultuurinstellingen¹.

De uitrol van zonne-energie onder huishoudens is de afgelopen jaren sterk toegenomen. Volgens Netbeheer Nederland² waren er eind 2024 bijna 3 miljoen huishoudens met zonnepanelen, wat overeenkomt met ruim 35% van alle Nederlandse huishoudens. Dit beeld wordt bevestigd door CBS-gegevens en sectorbronnen, zoals DNE Research³, SolarMagazine en Aedes⁴. Inmiddels beschikt meer dan de helft van de koopwoningen over zonnepanelen. Binnen de huursector zijn er inmiddels ruim een half miljoen woningen van corporaties voorzien van zonnepanelen, met duidelijke verschillen tussen woningtypen: ongeveer één op de drie eengezinswoningen versus één op de zeven appartementen.

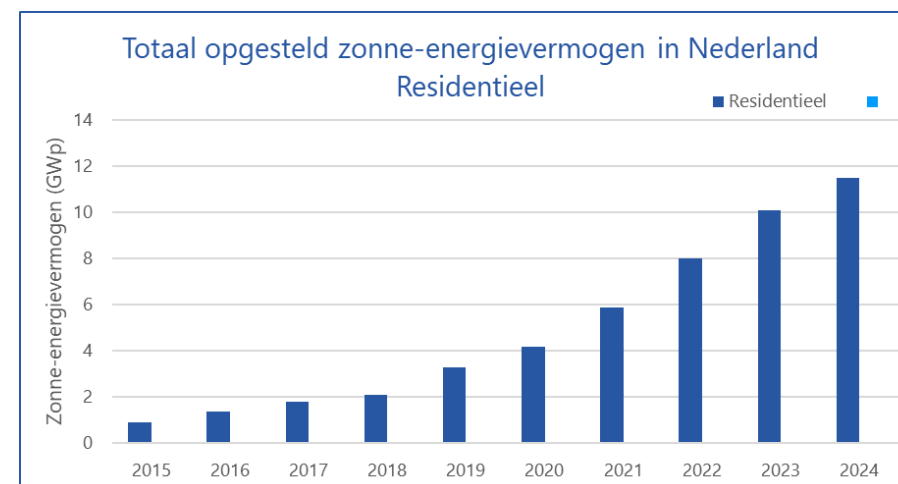


Figuur: Woningen met zonnepanelen in Nederland (%), 2019–2024. Bron: DNE Dashboard, Dutch New Energy.

Wanneer we deze bronnen combineren met data van het CBS ontstaat het volgende beeld over het aantal woningen met zonnepanelen (2024):

2024	Totale voorraad	Koopwoningen	Huurwoningen totaal	Woningcorporatie	Overige verhuurders
Woningen CBS	8.204.049	4.686.647	3.508.252	2.321.421	1.186.831
Woningen met Zonnepanelen	3.000.000	2.300.000	700.000	500.000	200.000
	Bron: NBNL	Rekensom: Bron:50% DNE Research	Rekensom: Totaal Woningen – Koopwoningen	Bron: Solar Magazine / Aedes	Rekensom: Totaal Huurwoningen - Woningcorporatie

Groei in vermogen - Volgens het rapport Solar Asset Management⁵ bedraagt het totale PV-vermogen bij huishoudens inmiddels circa 11,5 GWp. Het grootste deel daarvan is na 2018 geplaatst. Het geïnstalleerde omvormervermogen ligt naar schatting 5– % lager dan het PV-vermogen, doordat systemen vaak bewust iets 'ondergedimensioneerd' worden. In de praktijk zijn stringomvormers nog steeds dominant, maar ook micro-omvormers, optimizer-omvormersystemen en hybride omvormers worden toegepast.



Figuur: Totaal opgesteld vermogen zonnepanelen bij huishoudens. Bron: Solar Asset Management, De Zonnemeesters

2.2 Databronnen en registratie van omvormers

Uit het onderzoek blijkt dat **Energieleveren.nl** de meest complete en betrouwbare bron is voor gegevens over de verdeling en aantallen van geïnstalleerde omvormers in Nederland, uitgesplitst naar merk en type. Een alternatieve centrale registratie bestaat niet.

Andere databronnen, zoals groothandels en fabrikanten, leveren over het algemeen beperkte en vaak inconsistente informatie. Groothandels beschouwen hun cijfers doorgaans als concurrentiegevoelig en verwijzen naar fabrikanten. Fabrikanten zelf geven uiteenlopende schattingen van hun marktaandeel. Aanvullende bronnen, zoals Dutch New Energy, bieden nuttige context, maar geen beeld op het niveau van merken en typen omvormers.

Energieleveren.nl is het meldpunt en registratiesysteem van de netbeheerders. De registratie is ondergebracht in de door EDSN beheerde CERES-database. Volgens de netbeheerders is naar schatting circa 10% van de installaties ongeregistreerd. Om deze ontbrekende systemen te achterhalen, zijn detectieprojecten gestart waarbij ongeregistreerde installaties worden opgespoord en eigenaren worden aangeschreven om hun systemen alsnog te melden.

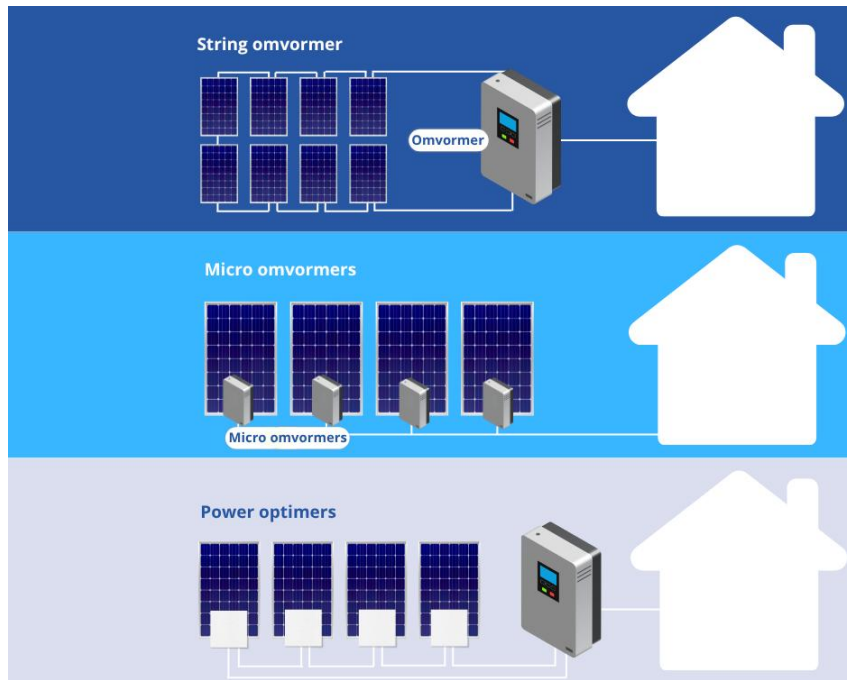
Ter verificatie van de onderzoeksresultaten en voor meer details, is bij Partners in Energie/EDSN een dataverzoek ingediend (opgenomen in [bijlage 2](#)). De open data op [Energieleveren.nl/inzicht](#) biedt hiervoor onvoldoende detail. De gevraagde data is helaas niet beschikbaar gekomen voor dit onderzoek. We hebben voldoende vertrouwen dat we met de overige bronnen een gedegen beeld geven.

Verder moet worden opgemerkt dat er lokaal en regionaal verschillen in concentraties van toegepaste merken bestaan door keuzes van aanbieders en bijvoorbeeld woningbouwcorporaties. Voor dit onderzoek zijn deze verschillen niet van belang, maar bij het oplossen van lokale of regionale spanningsproblemen zijn ze wel relevant. De data van Energieleveren.nl is cruciaal.

3 Omvormers: werking, instellingen en aansturing

3.1 Soorten omvormers

In het type PV-omvormers, dat de afgelopen jaren geplaatst is, valt de volgende driedeling te maken: stringomvormers, micro-omvormers en power optimizer systemen.



Bij een **stringomvormer** zijn er meerdere Zonnepanelen seriematig met elkaar doorverbonden om in één of een paar strings (serieschakelingen) op de stringomvormer aangesloten te worden. Deze omvormer wordt bij woningen doorgaans binnenshuis geplaatst en aangesloten op een aparte groep. Prijstechnisch is dit de meest aantrekkelijke oplossing voor een lage initiële investering. In sommige gevallen kan het in serie schakelen van Zonnepanelen echter voor energieverliezen zorgen als er sprake is van gedeeltelijke beschaduwing van de PV-array (het zonnepaneelvlak). Kort door de bocht kan er dan

sprake zijn van het “kerstverlichting” effect: één beschaduwde PV-paneel begrensd de rest van de (onbeschaduwde) Zonnepanelen in hun opwekpotentie. Hier moet bij gezegd worden dat dit zeker niet in alle gevallen daadwerkelijk het geval is. Zonnepanelen bevatten doorgaans meerdere bypassdiodes die dit effect kunnen mitigeren, zeker in combinatie met een stringomvormer met “slim schaduwbeheer”. Veel toegepaste merken in Nederland in de residentiële sector zijn SMA, Goodwe, Growatt, Solis en SolaX.

Bij **micro-omvormers** is de volledige optimalisatie en omzetting van gelijk- naar wisselspanning geconcentreerd in een (kleinere) omvormer per PV-paneel (soms meerdere). Deze worden normaliter direct achter de zonnepanelen geplaatst, op dezelfde montageprofielen als waarop de Zonnepanelen vastgezet worden. Achter de zonnepanelen is er vervolgens geen doorkoppeling van gelijkspanningsbedrading, maar van wisselspanningskabels. Hoewel dit een hoger investeringsbedrag oplevert brengt het ook voordelen met zich mee. Er is binnenshuis geen sprake van een omvormer waar plaats voor gemaakt moet worden. De opbrengst van elk afzonderlijk PV-paneel wordt gemaximaliseerd, zeker in het geval van beschaduwing, verschillende oriëntaties en/of verschillende typen Zonnepanelen kan dat gunstig zijn. Veel toegepaste merken in Nederland in de residentiële sector zijn Enphase en AP Systems.

Power optimizers lijken op micro-omvormers en brengen vergelijkbare voordelen met zich mee. Echter zijn deze wat minder uitgebreid in hun functionaliteit: er is tevens sprake van een omvormer (binnenshuis) die de omzetting van gelijk- naar wisselspanning verzorgt. De Zonnepanelen beschikken doorgaans over elk hun eigen power optimizer. De verbinding tussen power optimizers onderling is gelijkspanningbedrading. Het meest toegepaste merk in Nederland in de residentiële sector is SolarEdge. Er zijn echter ook kleinere hoeveelheden power optimizers van de merken Tigo en Huawei toegepast.

3.2 Omvormers en spanningsregeling

Voor dit rapport is het niet van wezenlijk belang of er gebruik wordt gemaakt van power optimizers. Of het nu een stringomvormer of power optimizer is, de omvormer staat meestal binnenshuis. De wisselspanningsbekabeling tussen omvormer en groepenkast is meestal van beperkte lengte waardoor hier in de meeste gevallen maar een beperkte spanningsopdrukking in plaatsvindt. Denk aan bijvoorbeeld 1% spanningsverlies over dit kabeltracé. In dat geval zit de omvormer bijvoorbeeld op 242,4 Volt op zijn aansluitklemmen bij een binnenkomende netspanning in de groepenkast van 240 Volt.

Dat is relevant omdat de spanningsafhankelijke regeling (uitschakeling) van omvormers conform Netcode Elektriciteit (hierna Netcode) door de omvormer gemeten wordt op zijn eigen aansluitklemmen. Om die reden is het wél relevant of er sprake is van micro-omvormers of niet: de wisselspanningsbedrading naar het dak tot aan de micro-omvormers telt hier wél mee in de spanningsopdrijving en dus mogelijke uitval van één of meerdere micro-omvormers. Tevens een interessant verschil is dat bij een stringomvormer of omvormer i.c.m. power optimizers de omvormer bij te hoge spanningsopdrijving ($>253\text{V}_{\text{ac}}$) in het geheel uitschakelt. Bij micro-omvormers zullen gewoonlijk de micro-omvormers aan het “einde” van de wisselspanningsbekabeling als eerste uitschakelen. Zij ervaren namelijk de grootste spanningopdrijving en bereiken dus als eerste de maximaal toegelaten spanning. Micro-omvormers meer “vooraan” de bedrading schakelen pas later uit, of zelfs helemaal niet. Met elke uitschakelende micro-omvormer wordt de spanningsopdrijving in de wisselspanningsbedrading namelijk meer en meer gedempt. Het kan dus zijn dat er meestal maar één of een paar micro-omvormers uitschakelen, terwijl de rest ongestoord blijft doorwerken.

In de **huidige situatie** schakelen PV-omvormers zichzelf uit als de netspanning (op hun aansluitklemmen) de 253 Volt overstijgt. Het getal 253V is gebaseerd op de nominale netspanning plus tien procent ($230\text{V} \times 110\%$). PV-omvormers in Nederland moeten hierop worden geconfigureerd. Soms al door de fabrikant zelf, vaak door de installateur bij inbedrijfstelling ter plaatse. In deze Nederlandse landinstellingen zijn verschillende vereisten uit de Netcode verwerkt. Bijvoorbeeld over het toegestane netfrequentiebereik waarbinnen een PV-omvormer mag produceren. En dus ook het netspanningsbereik: 80 tot 110% van de nominale 230 Volt. De huidige Netcode vereist een uitschakeling als de 253 Volt overschreden wordt binnen 2 seconden (vóór 2019 was dit nog 3 seconden).

Het gevolg van deze instellingen is dat PV-omvormers onbegrensd blijven produceren totdat de 253 Volt overschreden wordt om vervolgens hard uit te schakelen. Met “hard” wordt hier bedoeld, dat dit doorgaans schakelrelais in de PV-omvormer zijn die de netverbinding abrupt onderbreken. Dit is belastend voor deze componenten aangezien het onder belasting gebeurt. Het is bekend dat veelvuldig schakelen voor uitval van deze relais en dus vroegtijdig falen van PV-omvormers kan zorgen. Veelvuldig schakelen is bij netspanningsproblematiek (spanningsopdrijving) een bekend effect: ‘s ochtends start de omvormer nog probleemloos op, maar in de loop van de ochtend loopt de spanning steeds verder op als gevolg van toenemende productie. Op een bepaald moment wordt de 253 Volt bereikt en schakelt de PV-omvormer uit. Deze uitschakeling heeft echter een

spanningsdaling tot gevolg, waarop de PV-omvormer snel weer opnieuw opstart om vervolgens weer uit te schakelen. Dit pendelgedrag kan de hele middag doorgaan totdat de zon ver genoeg gedaald is om de dag af te sluiten zoals hij begonnen is.

Spanningsopdrivingsproblematiek brengt veel opbrengstverlies van PV-installaties met zich mee, verkorte levensduur van PV-omvormers en een hoop aanvragen bij netbeheerders voor verbetering van de spanningskwaliteit “in de straat”. Volgens Netbeheer Nederland zullen tot en met 2030 ruim 750.000 jarenlang te maken krijgen met door overspanning uitgeschakelde PV-omvormers⁶. En hoewel trapstanden van wijktransformatoren aangepast kunnen worden, brengt dit voor de netbeheerder ook weer het risico van een te lage netspanning op momenten van weinig opwek en een hoog verbruik met zich mee. Het zou wenselijker zijn als PV-omvormers slimmer aangestuurd zouden worden dan conform de huidige Netcode vereist is: van 100% naar 0% uitgangsvermogen bij overschrijding van de 253 Volt.

Onder PV-installateurs is algemeen bekend, dat een “oplossing” voor dit probleem is de PV-omvormer (illegaal) op buitenlandse landinstellingen te programmeren, bijvoorbeeld België of Duitsland, waar de grenswaarden en/of de vereiste aanspreektijd hoger liggen. Het is onbekend hoe vaak dit gebeurt. Het vermoeden is dat hier ook geen goed beeld van is aangezien er weinig tot geen handhaving lijkt te zijn op het correct configureren van de Nederlandse Netcode vereisten. Uiteraard is dit een onwenselijke methode aangezien het wettelijk niet toegestaan is alsook “vals spelen” is ten opzichte van een PV-installatie bij de burens/ straatgenoten waar de PV-omvormers wél op de Nederlandse Netcode vereisten geconfigureerd zijn.

3.3 Toegang tot omvormerinstellingen

Voor toegang tot de omvormer en zijn instellingen zijn drie kernaspecten van belang: rollen en toegangsrechten, de communicatie-infrastructuur en de administratieve koppeling tussen omvormers en hun fysieke locaties.

Rollen en toegangsrechten

De toegang tot de instellingen van omvormers wordt doorgaans bepaald door gebruikersrollen. De fabrikant bepaalt welke rollen en toegangsprofielen beschikbaar zijn en welke procedures daarbij horen. Deze inrichting kan aanzienlijk verschillen per omvormermerk.

- **Eindgebruiker:** meestal beperkt tot monitoring en eenvoudige instellingen, gericht op gebruik.
- **Installateur:** uitgebreidere toegang voor installatie, configuratie en onderhoud.
- **Fabrikant:** volledige toegang tot alle instellingen en monitoringsfuncties.
- **Netbeheerders:** toegang door netbeheerder tot specifieke omvormerinstellingen, gericht op netstabiliteit (bijvoorbeeld vermogensreductie). De invulling van deze rol verschilt van per land. Dit is in Nederland niet het geval.
- **Derden** (zoals Energy Management Systems of energiedienstverleners): gerichte monitoring, beperkte instellingen en mogelijk real-time aansturing, gericht op de specifieke rol.

Communicatie-infrastructuur

Om een omvormer te kunnen aansturen, is betrouwbare communicatie met de omvormer essentieel. Deze communicatie bestaat uit vier hoofdonderdelen:

- **De omvormer heeft een (of meerdere) communicatie-module(s), waarmee de omvormer bereikt kan worden:** De meeste omvormers na 2018 zijn door de installateurs uitgevoerd met een communicatiemodule. Zo kunnen klanten de opbrengst van het zonnestroomsysteem volgen.
Er zijn echter voorbeelden, veelal bij woningcorporaties, waar geen communicatiemodule geïnstalleerd is. Of waarbij er een opbrengstmeter - zonder besturingsverbinding met de omvormer - is geplaatst, meestal met een ingebouwde 3G/4G-communicatiemodule, waardoor de opwek van de PV-installatie gemonitord kan worden. Maar in een dergelijk geval is geen mogelijkheid tot direct contact met

de omvormer. De inschatting is dat deze twee varianten bij een groot deel van de corporatiewoningen met zonnepanelen voorkomen.

- **Er is een verbinding met de omvormer:** Het eerste deel van de verbinding vanaf de omvormer kan draadloos zijn (zoals wifi, RF, zigbee of mobiele data) of vast (ethernet). De meeste verbindingen met omvormers blijken stabiel, maar met name wifi is gevoelig voor verstoring of uitval (bijvoorbeeld bij verandering van internetprovider). Er zijn twee typen verbindingen:
 - **Lokaal:** Een directe verbinding met de omvormer, waarbij de instellingen direct in de omvormer zelf worden gedaan. Sommige EMS-en maken al gebruik van directe verbindingen met de omvormer.
 - **Via een merkafhankelijke server:** De omvormer heeft een verbinding met een server van het eigen merk. Deze server vormt de toegang tot instellingen van de omvormer. Alle onderzochte merken omvormers bieden deze mogelijkheid.
- **Er is een gemeenschappelijke taal:** De gemeenschappelijke taal beschrijft de opdrachten die over de verbinding uitgewisseld kunnen worden. Dit is de Application Programming Interface (API). De API verschilt meestal per merk en type, en soms een (inter)nationale standaard (zoals SunSpec).
- **Beveiligde toegang:** Omvormerfabrikanten beveiligen communicatie met hun omvormers door gebruikersnaam/ wachtwoord combinaties en het vrijgeven van API-toegang aan specifieke partijen (zie rollen). Beveiliging van communicatie met omvormers vereist aandacht, zoals Duitsland laat zien met de strenge eisen voor goedkeuring van Steuerboxen (§14a van de EnWG).

Koppeling van locatie en omvormer

Als een netbeheerder een specifieke omvormer wil bereiken, bijvoorbeeld in een netgebied met spanningsproblemen, dan is een vastgelegde relatie tussen locatie en omvormer nodig. Voor netbeheerders is dit een relatie tussen aansluitpunt (EAN), waarvan het adres bekend is, en het unieke productnummer van de omvormer.

Deze administratie bestaat nu formeel niet; veel omvormerfabrikanten kunnen adresgegevens van de omvormer opslaan, maar dit veld is bij de registratie van de omvormer niet verplicht en wordt niet gecontroleerd.

3.4 Sturing van maximum uitgangsvermogen

Het uitgangsvermogen kan actief of passief gestuurd worden. Bij actieve sturing is bij elke wijziging van maximaal uitgangsvermogen contact nodig met de omvormer. Bij passieve sturing zijn er vooraf ingestelde uitgangsvermogniveaus (y-as) in functie van het op de aansluitklemmen van de omvormer gemeten wisselspanningsniveau (x-as). Feitelijk is er momenteel al sprake van een eenvoudige passieve sturing zoals eerder benoemd: van 100% naar 0% uitgangsvermogen bij overschrijding van de 253 Volt.

Actief sturen van maximum uitgangsvermogen

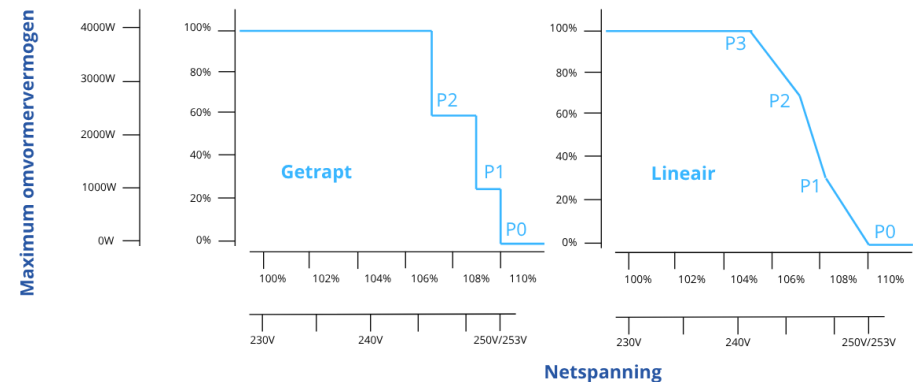
Actief (en blind) vermogen zijn bij alle omvormers van fabrikanten waarmee gesproken is aanpasbaar (Enphase, Goodwe, Growatt, SMA, SolarEdge, Solax); zie bijlage 3. De reactietijd is afhankelijk van omvormer (vaak tot enkele seconden) en server (vaak tot 5 minuten, om servers te ontlasten). Het actief vermogen kan ingesteld worden als percentage van het maximum vermogen, of als absolute waarde (bijvoorbeeld 2000 W). Doorgaans is het niet mogelijk een percentage van het aangesloten PV-vermogen (Wattpiek-vermogen) te kiezen, aangezien in veel gevallen het aangesloten PV-vermogen niet bekend en/of geverifieerd is. Verschillende omvormerfabrikanten geven aan dat alleen op een percentage van het uitgangsvermogen van de PV-omvormer zelf gestuurd kan worden.

Passief sturen van maximum uitgangsvermogen

Actief vermogen van de omvormer is vooraf in te stellen als functie van de spanning: P(U). De P(U)-functie bepaalt hoeveel actief vermogen een omvormer maximaal levert als functie van de netspanning. Het doel is om te voorkomen dat de spanning in het net te hoog oploopt wanneer er veel decentrale productie is, bijvoorbeeld op zonnige dagen in wijken met veel zonnepanelen.

Bij een spanning rond het nominale spanningsniveau levert de PV-omvormer het beschikbare maximale actieve vermogen. Wanneer de spanning boven een ingestelde drempel komt, reduceert de omvormer stapsgewijs of lineair zijn actieve vermogen. Boven een hogere grenswaarde wordt de vermogensafgifte zelfs volledig gestopt.

Er zijn verschillende functies mogelijk, zoals in het volgende voorbeeld wordt getoond:



In deze voorbeelden van een omvormer van 4000 W is een getrapte en een lineaire functie weergegeven (de spanningspercentages en de in te stellen vermogenspercentages zijn voorbeelden).

Getrapte functie	Bij een spanning van:		wordt het vermogen:	
	%	V	%	W
P2	107%	246 V	60%	2400 W
P1	109%	251 V	25%	1000 W
P0	110%	253 V	0%	0 W

Lineaire functie	Bij een spanning van:		wordt het vermogen:	
	%	V	%	W
P3	105%	242 V	100%	4000 W
P2	107%	246 V	70%	2800 W
P1	108%	248 V	30%	1200 W
P0	110%	253 V	0%	0 W

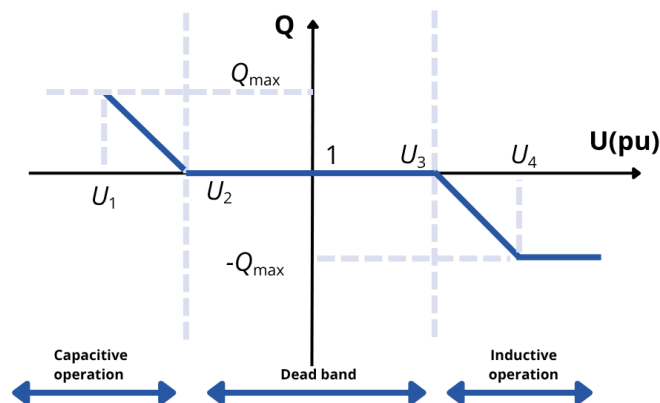
Hiermee dragen omvormers actief bij aan spanningsbeheersing in het laagspanningsnet door instellingen vooraf. Het verschilt per omvormerfabrikant hoe een dergelijke afregelcurve vormgegeven kan worden: het aantal te kiezen stappen verschilt van 3 tot een schijnbaar oneindig te vullen tabel. De stapsgewijze functie komt vaak voor, SolarEdge gebruikt de lineaire functie (zie ook [bijlage 1](#): onderzoektabel).

Bij een stijgende spanning wordt het uitgangsvermogen van de PV-omvormer lager ingesteld; en omgekeerd, bij dalende spanning wordt het vermogen groter. Om pendelen van de PV-omvormer te voorkomen zou het ideaal zijn als de afregelcurve (reactie op stijgende spanning) en opregelcurve (reactie op dalende spanning) niet gelijk zouden zijn; dit is bij de huidige PV-omvormers niet mogelijk, maar wel wenselijk.

Blindvermogen van de omvormer is vooraf in te stellen als functie van de spanning: $Q(U)$. De $Q(U)$ -functie beschrijft hoe een omvormer zelfstandig blindvermogen levert of opneemt afhankelijk van de netspanning. Dit mechanisme wordt gebruikt om spanningsvariaties in het elektriciteitsnet te beperken:

- Bij een te lage spanning levert de omvormer capacitief blindvermogen, waardoor de spanning stijgt.
- Bij een te hoge spanning neemt de omvormer inductief blindvermogen op, waardoor de spanning daalt.
- Rond de nominale spanning is een dode zone ("dead band"), waarin de omvormer geen blindvermogen levert of opneemt.

De figuur hieronder illustreert de werking van de $Q(U)$ functie:



Residentiële omvormers kennen vrijwel nooit een besturing van blindvermogen ($Q(U)$); gebruikelijker is dit slechts te doen op actief vermogen $P(U)$.

3.5 Internationale ontwikkelingen rondom sturing en communicatie

Verschillende landen en internationale standaardisatie-instituten besteden aandacht aan netcongestie (en daarmee aan spanningskwaliteit en spanningsopdriving). In Europa is er grote druk om maatregelen en besturing te standaardiseren. Daarbij worden niet alleen PV-omvormers beschouwd, maar ook batterij-omvormers, laadpalen, warmtepompen en energie management systemen.

De volgende ontwikkelingen zijn voor Nederland van belang:

- **IEEE 2030.5** is een communicatie-standaard voor berichtenuitwisseling tussen netbeheerders en Distributed Energy Resources (DERs zoals PV-omvormers, batterijsystemen, EV-laadsystemen en warmtepompen), en biedt mogelijkheden om $P(U)$ en $Q(U)$ functies vanuit netbeheerders te besturen.

IEEE 2030.5 wordt o.a. gebruikt in:

- Australië: omvormers moeten voldoen aan AS 4777:2020 en is van kracht sinds december 2021.
- Californië: CA Rule 21:2020 is van kracht sinds juni 2020

SunSpec voldoet aan IEEE 2030.5 en is een standaard-interface voor PV-omvormers. Het SunSpec Distributed Energy Resources information model bevat $Q(U)$ (SunSpec DER 2.0 705) en $P(U)$ (SunSpec DER 2.0 706) functies. De SunSpec-interface wordt alleen gebruikt in SunSpec-gekeurde omvormers; het aantal omvormermerken dat SunSpec volledig ondersteunt is nu nog beperkt.

- **PAS 1878 en 1879:** De Publicly Available Standards 1878 en 1879 beschrijven een model en het gedrag van Energy Smart Appliances (ESAs zoals PV-omvormers, batterijsystemen, EV-laadsystemen en warmtepompen) in het Verenigd Koninkrijk.
- **§14a van de EnWG:** Deze paragraaf van wetgeving in Duitsland is van kracht sinds 1 januari 2024, en voorziet in sturing van grote verbruikers (vanaf 4,2 kW) door netbeheerders in noodsituaties in het laagspanningsnet. Deze sturing verloopt via een Smart Meter Gateway (slimme meter met extra functies) en een Steuerbox (die de vertaling van algemene opdrachten naar de taal van een omvormer doet); het aantal slimme meters is in Duitsland echter nog zeer laag (en groeit in de komende

jaren). EEBus is een protocol dat netbeheerders kunnen gebruiken voor deze besturing.

- **S2 (EN 50491-12-2)** is een standaard voor het leveren van energie-flexibiliteit van gebouwen in het elektriciteitsnet. Deze flexibiliteit kan geleverd worden door PV-systemen, batterijen, warmtepompen en EV-laadsystemen, en deze flexibiliteit kan netcongestie verlichten. S2 voorziet in standaard-opdrachten aan deze systemen, die vervolgens reageren met standaard-gedrag. Voor de vertaling van deze standaard-opdrachten naar de taal van de systemen zelf (zoals PV-omvormers) is in S2 een vertaal-functie per merk/systeem gedefinieerd. S2 is mede opgesteld door twee in Nederland gevestigde partijen (TNO en FAN).

Een algemene (Europese) standaard heeft uiteraard de voorkeur.

4 Onderzoekresultaten

Hieronder worden alle onderzoeksvragen op hoofdlijnen beantwoord, soms groepsgewijs. Daarna komen aanvullende resultaten aan bod. Voor details per merk verwijzen wij naar de onderzoekstabel in [bijlage 1](#).

4.1 Beantwoording onderzoeksvragen

- 1 **Hoeveel omvormers zijn er in Nederland geïnstalleerd en wat is de verdeling qua type en merk?**
- 2 **Welk aandeel van de geïnstalleerde omvormers hebben de volgende functionaliteiten:**
 - a. **Het maximeren van het opgewekte vermogen tot een bepaald percentage van het geïnstalleerde PV-vermogen of omvormervermogen.**
 - b. **Een spanningsregeling waarbij het actieve vermogen terug geregeld wordt o.b.v. de spanning. Maak onderscheid tussen P(U) regeling en Q(U) regeling.**
 - c. **Hoe verschillen micro-omvormers van andere omvormers in bovenstaande functionaliteiten?**
- 3 **Welke type omvormers worden momenteel aangeboden op de markt en in hoeverre hebben deze bovenstaande functionaliteiten?**

Energieleveren.nl is de beste bron voor het aantal opgestelde PV-omvormers en hun merken (zie [paragraaf 2.2](#)). Alle omvormers (in dit onderzoek) die nu verkocht worden voor huishoudens kennen vermogensbegrenzingsfuncties: zowel actief als passief. Bij passieve vermogensbegrenzing wordt vooral de P(U) functie ondersteund, de Q(U) functie lijkt minder beschikbaar. Het begrenzen van vermogen tot een percentage van het maximum omvormervermogen is beschikbaar (en vaak ook begrenzing tot een absolute waarde, bijvoorbeeld 2000 W).

Micro-omvormers in één zonnestroomsysteem schakelen één voor één uit bij oplopende netspanning; meerdere micro-omvormers samen in één systeem hebben “van nature” een trapsgewijze P(U)-functie.

Van de reeds geïnstalleerde omvormers (installed base) beschikt een groot deel over een vermogensbegrenzingsfunctie, al dan niet later beschikbaar gemaakt via firmware-updates (Enphase, Growatt, SolarEdge, SolaX). Daarnaast mag worden verwacht dat omvormers die de komende jaren op de markt komen vergelijkbare of uitgebreidere vermogensbegrenzingsfunctionaliteiten zullen hebben, aangezien deze functies steeds vaker als standaard gelden in productontwerp en (internationale) regelgeving.

4 Hoeveel omvormers zijn al ingesteld om terug te schakelen in plaats van af te schakelen bij spanningsproblemen?

Het aantal omvormers dat terugschakelt bij oplopende netspanning (in plaats van afschakelt bij 253V) is onbekend (maar waarschijnlijk zeer laag); micro-omvormers doen dit “van nature”. Voor omvormerfabrikanten, maar ook voor installateurs is er doorgaans geen belang (geweest) voor een standaard-instelling van terugschakelen, om vervelende discussies met klanten over minder-opbrengst te voorkomen.

5 Op welke manier en door wie kunnen de instellingen worden aangepast bij omvormers en verschilt dat per type omvormer?

Geïnterviewden geven aan dat wijziging van de opgeslagen Netcode in omvormers met een firmware update kan gebeuren en in de meeste omvormers de vermogensreductiefunctie geactiveerd kan worden. Dit is in het verleden bij een experiment van een netbeheerder met Growatt-omvormers ook al (tijdelijk) gebeurd.

Uit de interviews met Nederlandse vertegenwoordigers van de belangrijkste omvormerfabrikanten, evenals met partijen die gebruikmaken van deze omvormerplatforms, blijkt dat zeer veel van de geïnstalleerde omvormers nu al toegankelijk zijn voor fabrikanten, distributeurs, installateurs en/of gebruikers om instellingen aan te passen, waaronder vermogensbegrenzing (zowel actief als passief).

In interviews wordt een hoge bereikbaarheid van de geïnstalleerde omvormers via het fabrikantplatform genoemd (Goodwe, Growatt, Solax). Cijfers specifiek voor de residentiële omvormers ontbreken echter. Volgens De Zonnemeesters is het aannemelijk dat een groot deel van de PV-omvormers in corporatiewoningen niet op afstand bereikbaar zijn voor vermogensbegrenzing, vanwege een ontbrekende verbinding. Voor de monitoring van opbrengsten worden namelijk ook andere, goedkopere oplossingen toegepast, zoals het gebruik van een aparte (4G-)kWh-meter of data-analyse van slimme meter P4/ODA-gegevens. En bij gebruik van een wifi-verbinding met de omvormer is er een afhankelijkheid van de bewoner voor het tot stand brengen en behouden van de verbinding. Op basis van veldervaring is onze inschatting dat 65-80% van de residentiële omvormers door fabrikanten op afstand bereikbaar zijn.

6 Hoe ziet de mogelijke spanningsregeling op omvormers er technisch uit:

- a. Welke parameters zijn er in te stellen voor de P(U) regeling (e.g. aantal stappen, tijdsconstante)?**
- b. Hoe ziet omgekeerd de opregelcurve er weer uit (trapsgewijs, direct naar 100%)?**

7 In hoeverre is het mogelijk de regelingen toe te passen met de volgende waarden als referentie voor het terugleververmogen:

- a. Het geïnstalleerde PV vermogen**
- b. Het geïnstalleerde omvormervermogen**

Het aantal mogelijke stappen en de reactietijd voor de P(U) regeling verschilt per fabrikant; ook de toepassing van de getrapte of lineaire P(U) functie verschilt per fabrikant.

De opregelcurve (reactie op dalende spanning) is gelijk aan de afregelcurve (reactie op stijgende spanning). Een zogenaamde hysteresis instellen, zoals gebruikelijk in de regeltechniek, lijkt veelal niet mogelijk. Een voorbeeld van een hysteresis-instelling zou zijn: vermogen afregelen van 100% naar 50% boven een netspanning van 250 Volt. Maar het vermogen pas weer opregelen van 50% naar 100% onder een netspanning van 245 Volt. Het ontbreken van een hysteresis zou tot pendelen van de PV-omvormers kunnen leiden, doordat de omvormer continu reageert op een wisselende spanning (door andere pendelende omvormers in hetzelfde laagspanningsnet); dit vereist nader onderzoek.

Alle vertegenwoordigers van fabrikanten geven aan dat vermogensreductie op basis van het omvormervermogen uitstekend mogelijk is, omdat omvormervermogens correct in de omvormer (en daarmee op de fabrikant-server) zijn ingesteld. Veel omvormermerken geven de mogelijkheid om het geïnstalleerde PV-vermogen in te voeren. Omdat dit niet verplicht, vrij te bepalen en niet te verifiëren is, vormt vermogensregeling op basis van dat opgegeven PV-vermogen geen serieuze optie.

4.2 Aanvullende resultaten

Vier hoofdroutes voor toegang en vermogensbegrenzing

Vanuit technisch perspectief komen wij op vier hoofdroutes om het uitgangsvermogen van huishoudelijke PV-omvormers te begrenzen op basis van twee vormen van toegang én twee sturingsprincipes.

Toegang tot de PV-omvormer (twee hoofdvormen):

- **Lokale toegang:** opdrachten en monitoring direct op de omvormer; (bijna) real time sturing mogelijk. Diverse aanbieders van EMS- en sturingsoplossingen met een 'lokaal sturingskastje' maken gebruik van deze lokale toegang tot de PV-omvormer.
- **Centrale toegang op afstand:** opdrachten en monitoring via de centrale server van de omvormer-fabrikant; beperktere sturingsmogelijkheden (variërend van elke 5 minuten tot maximaal 1x per 3 uur), vanwege verwerkingscapaciteit van de server. Veel gebruikersapps en marktproposities werken op deze manier.

Vermogensbegrenzing van PV-omvormers (twee manieren):

- **Actief sturen:** dynamische aansturing van het uitgangsvermogen.
- **Passief sturen:** vooraf ingesteld waarden om het uitgangsvermogen aan te passen aan de netspanning (P(U)-functie).

De vier routes sluiten elkaar niet uit. Elk route brengt wel eigen kansen, beperkingen en open vragen met zich mee die nader onderzocht moeten worden. Naast kenmerken noemen we diverse aandachtspunten en doen we eerste analyse op de volgende criteria:

- Impact: lost spanningsopdrijving op
- Haalbaarheid: is het technisch, juridisch en organisatorisch mogelijk
- Schaalbaarheid: eenvoudig uit te rollen (organisatorisch en technisch)

De scores op Impact, Haalbaarheid en Schaalbaarheid zijn tot stand gekomen na discussie tussen de opstellers van dit rapport; de verschillen per criterium tussen de routes zijn daarbij belangrijker dan de score zelf (het aantal sterren).

Toegang/ Vermogens- begrenzing

Actief sturen Dynamische aansturing van het uitgangs- vermogen

Lokale toegang Opdrachten direct op omvormer

- Bijna) real time sturing van omvormers in een netgebied
- Vereist installatie van extra apparatuur op locatie om omvormer te besturen
- Interactie met andere zelfstandig sturende apparatuur op locatie (EMS, batterij, EV/laadpaal, warmtepomp)

Impact ★★★★★
Haalbaarheid ★★★★★
Schaalbaarheid ★★★★★

Centrale toegang op afstand Opdrachten via de centrale server van de omvormer-fabrikant

- De werking is afhankelijk van de verwerkingscapaciteit van de servers van de fabrikant. Volgens geïnterviewden is deze capaciteit beperkt en wordt deze beïnvloed door de keuzes die de fabrikant maakt.

Impact ★★★★★
Haalbaarheid ★★★★★
Schaalbaarheid ★★★★★

Passief sturen Vast ingestelde waarden om het uitgangs- vermogen aan te passen aan de netspanning

- Vereist inzet van installateur ter plaatse om omvormer (eenmalig) te updaten

Impact ★★★★★
Haalbaarheid ★★★★★
Schaalbaarheid ★★★★★

- Technisch relatief eenvoudige, eenmalige, landelijk uniforme update van alle verbonden omvormers (firmware of Netcode)
- Netcode-wijziging (= land-instelling) is bindend
- Firmware update afhankelijk van medewerking fabrikanten

Impact ★★★★★
Haalbaarheid ★★★★★
Schaalbaarheid ★★★★★

Route 1 scoort het hoogst op Impact, omdat het spanningsopdrijving real time en in samenhang met andere apparatuur kan helpen oplossen; route 2 kent twijfels over de effectiviteit om via fabrikant-platformen real time te sturen, en scoort daarom laag op Impact. De routes voor Passief sturen (route 3 en 4) besturen alle omvormers generiek (ook als deze geen netto-invoeding hebben) en scoren daarom lager op Impact dan route 1. Omdat de Inspanning voor route 3 hoog zal de Impact lager zijn dan bij route 4.

De score op Haalbaarheid en Schaalbaarheid is bij de Centrale toegang (route 2 en 4) altijd hoger dan bij Lokale toegang: er is veel minder inspanning nodig bij Centrale toegang (ook omdat een zeer groot deel van de omvormers verbonden is met de server van de fabrikant). Route 2 scoort op Haalbaarheid en Schaalbaarheid lager dan route 4 vanwege mogelijke technische beperkingen bij real time sturen. Route 1 vereist extra lokale apparatuur (zoals een EMS of stuurbox (de Steuerbox in Duitsland)), die voordeel kan bieden door ook andere apparaten dan de PV-omvormer te betrekken in het oplossen van spanningsopdrijving; dit voordeel verhoogt de acceptatie en daarmee de Haalbaarheid ten opzichte van route 3. Bovendien blijkt dat de extra lokale apparatuur is ontwikkeld om snel en eenvoudig geïnstalleerd te worden (zonder al te veel aanpassingen aan bestaande apparaten); dit geeft een redelijke Schaalbaarheid. Route 3 scoort het laagst op Haalbaarheid en Schaalbaarheid, omdat hiervoor een installateur te plaatste noodzakelijk is om instellingen op de omvormer zelf te doen.

Routes 1 en 4 worden hieronder nader beschouwd. Beiden hebben de hoogste impact en scoren ook op de gecombineerde criteria (impact, haalbaarheid en schaalbaarheid) het best. Route 4 leent zich het best voor actie op korte termijn, terwijl route 1 de voorkeursrichting voor de langere termijn vormt.

Route 1: Actief sturen met lokale toegang tot de omvormer

Deze route kan spanningsopdrijving het meest accuraat oplossen, omdat continue sturing mogelijk is, waarbij ook rekening gehouden kan worden met andere, belangrijke net-intensieve apparaten (zoals laadpalen, warmtepompen en batterijen). Deze interactie is fundamenteel, omdat deze apparatuur de spanning “achter de meter” beïnvloedt. Door de plaatsing van lokale besturingsapparatuur, en de afhankelijkheid van andere bestuurbare apparatuur scoort de haalbaarheid en schaalbaarheid lager. Generieke plug&play besturingsapparatuur – zoals de huidige opkomende merkonafhankelijke EMS-systemen – kunnen de toepassing en uitrol van route 1 vergemakkelijken.

Deelname van consumenten aan deze route is vrijwillig. De keuze welke partij een eventuele stuurprikkel (financieel of anderszins) geeft en via welk kanaal, valt buiten dit onderzoek en vraagt om besluitvorming op politiek en beleidsniveau.

Routes 1 en 2 sluiten met hun actieve sturing aan bij de groeiende consumentenbehoefte om de opwek tijdelijk te beperken wanneer teruglevering financieel ongunstig is. Waar route 2 doorgaans alleen wordt toegepast voor sturing op bruto-opwek, sluiten de ontwikkelingen binnen route 1 beter aan bij de wens om eigen productie maximaal te benutten voor direct eigenverbruik en opslag.

Route 4: Centrale aanpassing van P(U)-instellingen door fabrikanten

Deze route, waarbij een eenmalige landelijke, uniforme update van alle verbonden omvormers wordt uitgevoerd, biedt een pragmatische oplossing die vanuit technisch perspectief relatief eenvoudig en snel uitvoerbaar lijkt. Tegelijkertijd kent de aanpak aandachtspunten die nader onderzoek en zorgvuldige afweging vragen.

Allereerst betreft het een ingreep op landelijke schaal, in plaats van alleen in gebieden waar daadwerkelijk spanningsproblemen optreden. Bovendien is de route alleen toepasbaar voor omvormers die door de fabrikant op afstand bereikbaar zijn. En omdat het geen vrijwillige keuze voor consumenten betreft, spelen ook consumentenacceptatie en het juridische kader een belangrijke rol.

Het is bovendien de vraag of fabrikanten van omvormers verplicht kunnen worden mee te werken aan het aanpassen van de Netcode of firmware. Daarbij is niet duidelijk of de uitrol van een hernieuwde Netcode in bestaande apparatuur is toegestaan. Een eventuele wijziging van de Netcode zal bovendien tijd vragen.

Tot slot vereist de onderlinge interactie van meerdere passief sturende PV-omvormers in een netgebied nadere analyse. De aanpak kan leiden tot pendelgedrag tussen omvormers, wat de stabiliteit van het net kan beïnvloeden: Wanneer de netspanning continu varieert door vermogenssturing van andere PV-omvormers en de reactie-tijd enkele seconden bedraagt, kan een voortdurende cyclus van vermogensaanpassingen ontstaan. Voor deze interactie is op dit moment geen voor de hand liggende technische oplossing beschikbaar, wat het belang van verder onderzoek benadrukt.

Toegankelijkheid van omvormers: variatie, standaarden en beperkingen

De bereikbaarheid van instellingen van omvormers is divers:

- Een afdoende administratieve koppeling tussen de locatie waarop gestuurd moet worden (EAN-code en netgebied) en de daar geïnstalleerde omvormer(s) (serienummer(s)) ontbreekt momenteel. Dit maakt het voor netbeheerders moeilijk om omvormers in specifieke gebieden, waar sprake is van spanningsopdrijving, gericht aan kunnen te sturen. Tenzij er een besturingsmogelijkheid van de netbeheerder “achter de meter” beschikbaar is. De Duitse “Steuerbox” is een voorbeeld van een oplossing die het verband tussen netaansluiting en PV-omvormer expliciet vastlegt.
- (Fysieke) interfaces in de omvormer lopen uiteen: bluetooth, wifi, zigbee, RF, ethernet, mobiele data (2G-5G).
- Het protocol voor toegang tot de omvormer is lokaal vrijwel altijd Modbus RTU en/of Modbus TCP/IP (zonder tussenkomst van de fabrikant van de omvormer), en op afstand via een API op het fabrikantplatform (waarbij de centrale server vervolgens instellingen wijzigt in de omvormer zelf). Ook zijn soms meerdere verbindingen gelijktijdig mogelijk, waarbij niet altijd helder is “wie de baas is”. Bij Solax bijvoorbeeld blijft de Solax-server “de baas” en controleert mogelijke strijdige instellingen van de omvormer; bij andere systemen is dit niet altijd duidelijk.
- De toegang (lokaal of op afstand) heeft per fabrikant een eigen definitie van gegevens en opdrachten; steeds meer fabrikanten lijken SunSpec als standaard te ondersteunen. De nieuwste versie (m.n. onderdeel DER 2.0) is nog niet door alle fabrikanten geïmplementeerd; juist deze versie kent P(U) en Q(U) functies.
- Door een dienstenaanbieder wordt genoemd dat servers van fabrikanten voor omvormers beperkt zijn in data volumes en reactietijden. Op de meeste platformen is inzicht en besturing per omvormer nu begrensd (vaak tot eenmaal per 5 minuten).
- Beveiliging van de toegang tot de instellingen van de omvormers is per fabrikant geregeld. Ook vragen sommige fabrikanten een vergoeding voor de API-toegang (Enphase, SMA, SolarEdge...)

Rollen van fabrikanten en marktpartijen bij vermogensreductie

Uit de interviews blijkt dat omvormerfabrikanten verschillend aankijken tegen hun rol bij vermogensreductie. Sommige fabrikanten, zoals Enphase en SolarEdge, geven de voorkeur aan een gesloten ecosysteem of platform, waarin omvormer, EMS en besturing geïntegreerd zijn onder regie van de fabrikant zelf. Andere partijen, zoals GoodWe, richten zich daarentegen primair op het optimaliseren van hun eigen product (de omvormer) en streven ernaar zich zo goed mogelijk te laten inpassen in de bredere systeemomgeving.

Er zijn in Nederland al diverse marktpartijen – zoals Zonnedimmer en Chargee – die energiediensten aanbieden, die gebruik maken van vermogenssturing van de PV-omvormer. Zo biedt Zonnedimmer de mogelijkheid om terugleverkosten te voorkomen, door het vermogen van de omvormer te reduceren. Sommige van deze partijen geven aan bereid te zijn om vermogensbesturing namens netbeheerders uit te voeren (als commerciële dienst).

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

1. De huidige installed base van PV-omvormers kan bijdragen aan het verminderen van spanningsopdrijving. Uit interviews, aangeleverde informatie en productgegevens blijkt dat de meeste PV-omvormers die na 2018 in Nederland zijn geïnstalleerd, zonder fysieke aanpassingen geschikt zijn voor vermogenssturing. Omvormers verschillen echter sterk in toegankelijkheid, communicatieprotocollen en beveiliging.
2. Energieleveren.nl is op dit moment de meest betrouwbare bron voor een landelijk, regionaal en lokaal overzicht van in Nederland geïnstalleerde PV-omvormermerken en het opgestelde omvormervermogen.
3. Omvormerfabrikanten bleken bereidwillig om mee te werken aan dit onderzoek. Een deel van de fabrikanten heeft detailgegevens aangeleverd, waar openbaar beschikbare installatiehandleidingen veelal onduidelijke of onvoldoende informatie geven over de mogelijkheden tot vermogensreductie. Interviews met (vertegenwoordigers van) fabrikanten waren open en coöperatief; hieruit ontstond voldoende duidelijkheid voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen.
4. De meest beschikbare functies voor vermogenssturing regelen vermogen als percentage of als vaste waarde, en spanningsafhankelijke actief-vermogenssturing, ook wel P(U) genoemd. Sturing van blindvermogen op basis van spanning, aangeduid als Q(U), komt bij omvormers voor kleinverbruikers minder voor.
5. Vermogenssturing van PV-omvormers wordt – vrijwillig en met toestemming van de eigenaar - al toegepast in Nederland: op basis van een lokale verbinding met de PV-omvormer of verbinding met een centrale server van de fabrikant bieden diverse commerciële partijen al vermogenssturing voor verschillende doelen aan.
6. Op dit moment is spanning gerelateerde vermogenssturing amper ingeregeld. Van de vier mogelijke routes scoren route 1 (actieve sturing met lokale toegang) en route 4 (centrale aanpassing van P(U)-instellingen door fabrikanten) het best op impact, haalbaarheid en schaalbaarheid. Beide kennen eigen kansen, beperkingen en open vragen die nader onderzoek vergen (zie [hoofdstuk 4](#)).

5.2 Aanbevelingen

1. Onderzoek hoe data uit Energieleveren.nl beschikbaar kan worden gesteld aan ketenpartijen. Maak vooral regionale/lokale informatie over merken en typen omvormers gekoppeld aan netvlakken toegankelijk, zodat partijen afwegingen kunnen maken in de ontwikkeling van concepten voor vermindering van netcongestie.
2. Zorg dat toekomstige technische, beleidsmatige en juridische maatregelen, die rond de besturing van de “big four” (PV-omvormer, batterij, EV-lader en warmtepomp) en van (H)EMS worden genomen, op elkaar aansluiten. Alleen met een integrale aanpak ontstaat eenduidige netcongestiebestrijding achter de meter (waaronder spanningsopdrijving); dit pleit voor route 1 (actieve sturing met lokale toegang).
3. Onderzoek in het licht van route 4 (centrale aanpassing van P(U)-instellingen door fabrikanten):
 - of het juridisch mogelijk is om een bestaande PV-omvormer aan te passen met een hernieuwde Netcode.
 - mogelijk pendelgedrag van meerdere PV-omvormers in een laagspanningsnet bij de activering van de P(U)-functie in alle omvormers.
4. Nederland staat niet op zichzelf: benut de bestaande aanpakken van omvormerbesturing in vooral Duitsland en Australië, en stem de standaardisatie van vermogenssturing af in EU-verband.
5. Specifiek voor het NTA-traject voor nieuwe zonne-omvormers: besteed naast technische functionaliteiten en communicatie-protocollen ook nadrukkelijk aandacht aan rollen en toegangsrechten, (reactie)snelheid, cybersecurity en firmwarebeheer, en registratie/adreskoppeling.
6. Zorg voor samenwerking en kennisdeling tussen fabrikanten en aanbieders van sturingsdiensten, ook onderling, om zichtbaar te maken wat in de praktijk werkt en welke drempels en oplossingen er zijn.
7. Voer praktijkgerichte pilots en onderzoeken uit hoe bestaande en nieuwe omvormers slim kunnen terugregelen in plaats van volledig uitschakelen bij spanningsproblemen. Betrek initiatieven en marktpartijen die al actief zijn met vermogenssturing, en onderzoek wat technisch, organisatorisch, juridisch/regulatorisch en communicatief richting PV-eigenaren nodig is, om te komen tot een aanpak die grootschalig praktisch en maatschappelijk uitvoerbaar is.

6 Bijlagen

Bijlage 1: Onderzoekstabel

Merk	Type-aanduiding	Introductiejaar NL	Geschat aantal in NL residentieel	Omvormer categorie	Vermogenssturing						P(U) vermogensregeling		
					Actief (direct)	Passief P(U)	Passief Q(U)	Functie	Aantal instelpunten	Reactie-tijd			
Enphase	M-series	niet meer leverbaar	ca. 350k (ca. 32k installaties)	micro	nee, er is geen directe instelling beschikbaar voor sturing op basis van spanning	ja en nee. Er is geen directe instelling beschikbaar voor sturing op basis van spanning. Echter met gemiddeld 11 micro-omvormers per PV-systeem wordt er alsnog wel stapsgewijs (11 stappen) uitgeschakeld bij het bereiken van 253Vac. Enphase kan wél een nieuw netprofiel uploaden (als er een gewijzigde Netcode Elektriciteit gepubliceerd zou worden met verplichting bestaande PV-installaties met terugwerkende kracht hieraan te laten voldoen)	nee	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.			
Enphase	IQ7-series	uitlopend product	ca. 2.8M (ca. 255k installaties)	micro	ja, onder voorwaarden. Naast het netprofiel kan een installateur en Enphase bij IQ7 en IQ8 systemen een maximaal systeemvermogen instellen via het Enlighten Manager platform. Bij een systeem met meespoelen kan ook een export limiet worden ingesteld of gebruikgemaakt worden van digitale ingangen voor een trapsgewijze vermogens instelling. Via de API is het mogelijk uitgangsvermogen te begrenzen, als er sprake is van een Enphase Metered Gateway (momenteel klein deel, maar in de toekomst met energieopslag zal dit standaard toegepast worden)		nee						
Enphase	IQ8-series	huidige serie	ca. 2.5M (ca. 227k installaties)	micro			nee						

Merk	Type-aanduiding	Introductiejaar NL	Geschat aantal in NL residentieel	Omvormer categorie	Vermogenssturing			P(U) vermogensregeling		
					Actief (direct)	Passief P(U)	Passief Q(U)	Functie	Aantal instelpunten	Reactie-tijd
SMA	grotendeels 1-fase Sunny Boy en Sunny Boy Smart Energy (hybride) (1.5–5.0 kW)	sinds oktober 2014 zijn alle omvormers voorzien van een webconnect-module en kunnen ze aangestuurd worden via ons eigen EMS of extern EMS d.m.v. Modbus/API.	ca. 168k	string	ja, omvormers voorzien van een webconnect-module kunnen aangestuurd worden via SMA's eigen EMS of extern EMS d.m.v. Modbus/API. Bovenstaande types hebben standaard deze netondersteunende functies: - Vermogensbegrenzing: vast % van nominaal vermogen of aantal kW, lokaal instelbaar of via Modbus. - Zero-feed-in: via SMA Energy Meter, Home Manager 2.0, Datamanager M, dynamisch geregeld. - Q(U) / Volt-Var: blindvermogen als functie van klemspanning. - P(U) / Volt-Watt: actief-vermogensreductie bij overspanning (spanningsafhankelijke curtailment). - Workpoint-beperkingen en snelheidslimieten/deadbands per profiel. Toegang: lokaal via WebUI (met Grid Guard voor netparameters), of extern via Modbus/ennexOS. Deze functies worden steeds uitgevoerd d.m.v. een home manager of Energiemeter. Ook in het C&I gamma kan dat met de Datamanager M en de Energymeter.	in Nederland zijn Q(U) en P(U) meestal gedeactiveerd in de standaardprofielen omdat netbeheerders daar geen gebruik van maken. Wanneer deze eisen in de Netcode omvat zouden worden, dan zouden dit voor SMA net-kritieke parameters zijn en kunnen deze enkel aangepast worden met een Grid Guard code. Dit wil zeggen dat een installateur deze enkel na vrijgave van zo'n code kan aanpassen en dat die wijziging gelogd wordt in de omvormer en altijd achterhaald kan worden wie de aanpassing gedaan heeft.	P(U) en Q(U) functies zijn wel aanwezig, maar moeten handmatig geactiveerd worden (d.m.v. Grid Guard Code). De instellingen worden toegepast afhankelijk van de eisen van de grid provider. Aanpassingen kunnen lokaal (WebUI) of extern (Modbus/API/ennexOS) uitgevoerd worden. Voor grid-kritieke wijzigingen is Grid Guard Code vereist en deze kunnen enkel lokaal aangepast worden.			

Merk	Type-aanduiding	Introductiejaar NL	Geschat aantal in NL residentieel	Omvormer categorie	Vermogenssturing	P(U) vermogensregeling			
						Actief (direct)	Passief P(U)	Passief Q(U)	Functie Aantal instelpunten Reactie-tijd
SolarEdge	SetApp omvormers (vanaf cpu 4.xx), maar ook oudere omvormers hebben al technische mogelijkheden (vanaf cpu 2.337)	Vanaf 2018	niet opgegeven door fabrikant	optimizer	Via de SolarEdge Grid Services is het mogelijk op afstand in real time uitgangsvermogen te sturen.	ja, dit kan zowel lokaal als van op afstand ingesteld (vanaf cpu 4.xx = setapp) worden door de installateur, indien de omvormer rechtstreeks communiceert met de server. SolarEdge zou zelfs zo ver kunnen gaan als instellingen toe te schrijven aan de geselecteerde Netcode. Dit wil zeggen dat de omvormer automatisch een bepaalde instelling krijgt wanneer hij op deze Netcode ingesteld staat.	ja, tussen een cos phi van 0,8 capaciteit en 0,8 inductief	mogelijkheid om een curve in te stellen voor dynamische vermogensregeling volgens netspanning. Je definieert een lineaire grafiek die is ingesteld met zes punten (beschikbaar vanaf omvormer-CPU-versie 3.1808). De omvormer vermindert het vermogen volgens de gedefinieerde grafiek, totdat de spanning de uitschakelwaarde bereikt en de omvormer wordt losgekoppeld.	De Ramp Rate functionaliteit maakt geleidelijke vermogensopbouw mogelijk tijdens normale werking (beschikbaar vanaf omvormer-CPU-versie 3.22xx). Kan worden ingesteld op elke waarde tussen 0-100% per minuut, met een resolutie van 0,1%. Een ramp rate van 0 betekent dat de vermogensstijging direct plaatsvindt.

Merk	Type-aanduiding	Introductiejaar NL	Geschat aantal in NL residentieel	Omvormer categorie	Vermogenssturing			P(U) vermogensregeling		
					Actief (direct)	Passief P(U)	Passief Q(U)	Functie	Aantal instelpunten	Reactie-tijd
Growatt	S-serie ca. 10-12 jaar geleden geïntroduceerd: modbus RTU en API mogelijkheden		ca. 237k	string	Als er een internetverbinding is (LAN, Wifi, 4G, RF) dan is er ook een API mogelijkheid en mogelijkheid tot aanpassing landinstellingen (via firmware update). Vermogenssturing active power is onderdeel van API sturingsmogelijkheid. Er worden geen kosten berekend aan API toegang. Wel een limiet aan het aantal API verzoeken (max. 1x per 5min). Sturing zou als het goed is wel real time moeten kunnen, maar daarover nog geen 100% duidelijkheid vanuit Growatt. Aangezien Growatt omvormers via Zonnedimmer te sturen zijn kunnen we ervan uit gaan dat real-time sturing via de API mogelijk is. Landcode aanpassing via firmware update kan op afstand gedaan worden (bijv. bij wettelijke verplichting nieuwe Netcode), ook zonder dat gebruiker per installatie toestemming geeft. Landcode blijft aanpasbaar via display omvormer.	onduidelijk of Q(U) regeling ook mogelijk is	Er kan percentueel teruggeregeld worden, actief en passief. Alleen op omvormervermogen, PV-vermogen is doorgaans niet bekend of getal is onbetrouwbaar			
AP-systems (APS)			onbekend	micro	Het is niet gelukt inhoudelijke informatie te verkrijgen van fabrikant. Ook online documentatie geeft weinig informatie. In de installatiehandleiding is niet terug te vinden of er een passieve regeling van uitgangsvermogen op basis van netspanning P(U) in te stellen is. Actieve regeling zal een ECU monitoring gateway vereisen. Het is bekend dat deze bij een groot deel van de PV-systemen met APS-micro-omvormers niet toegepast is. Deze micro-omvormers zijn namelijk veelvuldig toegepast bij (corporatie-)huurwoningen en combinatie met een aparte kWh-meter voor monitoring van de opbrengst. De APS ECU gateway zal ook nodig zijn om een eventuele passieve P(U) regeling in te programmeren, mocht dat überhaupt mogelijk zijn. Er zou dus aangenomen kunnen worden dat het behoorlijk bewerkelijk, danwel praktisch onmogelijk, is actieve danwel passieve P(U) regelingen toe/aan te passen bij deze PV-systemen					

Merk	Type-aanduiding	Introductiejaar NL	Geschat aantal in NL residentieel	Omvormer categorie	Vermogenssturing		P(U) vermogensregeling		
					Actief (direct)	Passief P(U)	Passief Q(U)	Functie	Aantal instelpunten
Goodwe			ca. 232k	string	Het is niet gelukt inhoudelijke informatie te verkrijgen van fabrikant. Ook online documentatie geeft beperkte informatie. In de installatiehandleiding van de SolarGo App waarmee Goodwe omvormers lokaal inbedrijfgesteld kunnen worden is terug te vinden dat er een passieve regeling van uitgangsvermogen op basis van netspanning P(U) alsook Q(U) in te stellen is. Onduidelijk is of dit ook op afstand mogelijk is. Actieve regeling via de API, als er een internetverbinding is, lijkt wel mogelijk aangezien de functionaliteiten van Zonnedimmer ook aangeboden worden voor Goodwe omvormers. Vanaf welk type/serie is helaas niet duidelijk.			4 instelpunten	
SolaX			onbekend	string	Het is niet gelukt inhoudelijke informatie te verkrijgen van fabrikant. Ook online documentatie geeft weinig informatie. In de installatiehandleiding zijn wel verschillende parameters voor passieve regeling van uitgangsvermogen op basis van netspanning P(U) terug te vinden. Onduidelijk is of deze ook aangepast kunnen worden, of dat deze gekoppeld zijn aan het gekozen netprofiel (Netcode Elektriciteit NL). Er wordt bij dit onderwerp in de handleiding veel verwezen naar Australië en Nieuw-Zeeland, waar in de daar gelden Netcodes al uitgebreidere P(U) vereisten bestaan. Het is dus onduidelijk of deze functionaliteit in Nederland beschikbaar is. Of actieve regeling via de API, als er een internetverbinding is, mogelijk is is helaas onduidelijk. Zonnedimmer is (vooralsnog) niet compatible met SolaX omvormers.				
Solis			onbekend	string	Het is niet gelukt inhoudelijke informatie te verkrijgen van fabrikant. Ook online documentatie geeft beperkte informatie. In de installatiehandleiding van is terug te vinden dat er actief en reactief vermogen aan te passen zijn, maar hier wordt geen P(U) of Q(U) regeling benoemd, het lijkt meer op de mogelijkheid een vaste waarde in te stellen. Onduidelijk is of dit ook op afstand mogelijk is. Actieve regeling via de API, als er een internetverbinding is, lijkt wel mogelijk aangezien de functionaliteiten van Zonnedimmer ook aangeboden worden voor Solis omvormers. Vanaf welk type/serie is helaas niet duidelijk.				
Huawei			onbekend	string	Het is niet gelukt inhoudelijke informatie te verkrijgen van fabrikant. Ook online documentatie geeft weinig informatie. Er wordt bij het onderwerp vermogen en netspanning in de installatiehandleiding verwezen naar landspecifieke situaties zoals in China, Italië en Australië, waar in de daar gelden Netcodes al uitgebreidere P(U) vereisten bestaan. Het is dus onduidelijk of deze functionaliteit in Nederland beschikbaar is. Aangezien Huawei omvormers via Zonnedimmer te sturen zijn kunnen we ervan uit gaan dat real-time sturing via de API mogelijk is.				

Bijlage 2: Uitvraag Energieleveren.nl

Uitvraag gedaan door De Zonnemeesters bij EDSN d.d. 17 september 2025.

Achtergrond bij deze specifieke uitvraag

Waarom vragen we merk, vermogensklasse en installatiejaar?

- Elk merk omvormer heeft eigen mogelijkheden voor vermogenssturing (ons onderzoeksonderwerp)
- Vermogenssturing kan verschillen per vermogensklasse (andere hardware/software)
- Het installatiejaar geeft een indicatie voor het wel of niet beschikbaar zijn van vermogenssturing in een type omvormer.

Bij deze uitvraag zijn de gebruikte veldnamen uit energieleveren.nl **vet gedrukt**. Bij de uitvraag is een Excel-sheet bijgevoegd met een tabel.

Uitvraag

Geef voor:

- alle aansluitingen van (op basis van **EAN opwekinstallatie**):
 - ten hoogste 3x80A
- met **Primaire energiebron**
 - Zon
- per Merk omvormer uit deze lijst*:
 - APSystems
 - Enphase
 - Goodwe
 - Huawei
 - SMA
 - Solaredge
 - Solarwatt
 - Solax
 - Solis
 - Sungrow
 - Overige merken (alle andere merken die niet hierboven vermeld zijn)

- per vermogensklasse van de omvormer (bron: Vermogen omvormer) in deze vermogensindeling:
 - Ten hoogste 5kW
 - Meer dan 5 kW en ten hoogste 10 kW
 - Meer dan 10 kW en ten hoogste 15 kW
- per installatiejaar (bron: Datum inbedrijfname):
 - 2018
 - 2019
 - 2020
 - 2021
 - 2022
 - 2023
 - 2024
 - 2025 (tot 1 juli)

het aantal geïnstalleerde systemen.

* Zoek ook op vergelijkbare spelling, zoals AP Systems en APS voor APSystems. Solis is bijzonder; de naam van het moederbedrijf Ginlong kan gebruikt in plaats van Solis

Voorbeeld

Voor 2018 ziet dit er als volgt uit in een tabel:

Merk omvormer	Datum in bedrijfname	2018		
		≤ 5kW	>5,≤10kW	>10,≤15kW
APSystems				
Enphase				
Goodwe				
Huawei				
SMA				
Solaredge				
Solarwatt				
Solax				
Solis				
Sungrow				
overige merken				

Bijlage 3: Overzicht geïnterviewde partijen en bronnen

Omvormerfabrikanten

Merk/ Fabrikant	Contact	Interview gehad	Uitvraag onderzoekstabel	Geraadpleegde documenten
APsystems	Nee	Nee	-	APsystems ECU-3 Installation / User Manual, versie 4, rev 1.5 & APsystems DS3-3 Instalaltiehandleiding. Rev1.4
Enphase	Ja	Ja	Ontvangen	N.v.t.; Ingevulde onderzoekstabel ontvangen
Goodwe	Ja	Ja	Toegezegd	SolarGo User Manual SolarGo Mobile App V2.1-2025-02-25
Growatt	Ja	Ja	Toegezegd	N.v.t. Gegevens via uitgebreid interview verzameld
Huawei	Ja	Niet gelukt	-	SUN2000-(2KTL-6KTL)-L1 Gebruikershandleiding
SMA	Ja	Ja	Uitgebreide mail met antwoorden ontvangen	N.v.t.; Uitgebreide mail met antwoorden ontvangen
SolarEdge	Ja	Nee, wel uitgebreid mailcontact	-	SolarEdge Inverters, Power Control Options — Application Note, Version 10, April 2024
Solax	Ja	Ja	Toegezegd	Gebruiksaanwijzing X1-serie, versie 3 (12 Apr, 2023)
Solis	Ja	Niet gelukt	-	Solis S6 eenfasige omvormer S6-GR1P(0.7-3.6)K-M Gebruikershandleiding voor installatie en operatie Ver 1.0

Overige geïnterviewde partijen

- Holland Solar Branchevereniging voor alle bedrijven die actief zijn in de Nederlandse zonne-energiesector
- Netbeheer Nederland Vereniging van alle netbeheerders van Nederland
- Partners in Energie/ EDSN Contact voor data van energieleveren.nl
- 365zon Installatiebedrijf voor particulieren en woningbouwcorporaties
- Prof. dr. Gerrit Jan Schaeffer O.a. over internationale ontwikkelingen (o.a. Australië)
- Zonnedimmer Dienstverlener met ervaring in sturing van omvormers
- Chargee Dienstverlener met ervaring in sturing van omvormers

Algemene bronnen

- Reactive Power Management with Distributed Energy Resources, Report IEA-PVPS T14-16:2024
- Active Power Management of Photovoltaic Systems – State of the Art and Technical Solutions, Report IEA-PVPS T14-15:2024
- Solar Energy needs Smart inverters, Flexible Alliance Network, March 2021
- Verkenning alternatief nettariestelsel kleinverbruik, Berenschot 21-2-2025
- De rol van slimme apparaten bij netcongestie op het laagspanningsnet, TNO November 2024
- Lijst van omvormers RfG type A waarvan voor Nederland is aangetoond dat wordt voldaan aan de vereisten uit de RfG, Netbeheer Nederland 17-7-2025
- Studie over de capaciteit van het laagspanningsdistributienet in Vlaanderen, VREG 2-9-2025
- Probleemanalyse Congestie in het laagspanningsnet, Netbeheer Nederland, januari 2024

Eindnoten

¹ Berenschot, *Verkenning alternatief nettariestelsel kleinverbruik – Eindrapport* (21 oktober 2024), p. 33 en bijlage 4, geraadpleegd via netbeheernederland.nl

² Netbeheer Nederland, *Groei aantal huishoudens met zonnepanelen flink afgenomen* (17 februari 2025), geraadpleegd via netbeheernederland.nl

³ Dutch New Energy, *DNE Dashboard - Woningen met zonnepanelen in Nederland*, geraadpleegd via dutchnewenergy.com/

⁴ Solar Magazine, *Toch recordhoeveelheid zonnepanelen voor huurwoningen* (14 december 2024) geraadpleegd via solarmagazine.nl

⁵ De Zonnemeesters & Twist, *Solar Asset Management* (juni 2025), geraadpleegd via topsectorenergie.nl

⁶ Actieagenda Netcongestie Laagspanningsnetten, *Probleemanalyse Congestie in het laagspanningsnet (januari 2024)*, geraadpleegd via rijksoverheid.nl