

16 december 2020

PEAKSHAVING

PILOT ALTWEERTERHEIDE

Eindrapport

Inhoud

Over deze rapportage	4
Voorwoord	5
1 Inleiding	6
1.1 Aanleiding	6
1.2 Pilot	6
1.3 Doel	7
1.4 Projectlocatie	7
1.5 Aspecten verdienmodel pilot	8
1.5.1 FCR	8
1.5.2 Peakshaving	9
1.5.3 Uitgesloten toepassingen	11
1.6 Beperkingen van de pilot	11
1.7 Structuur van rapport	11
2 Opzet van project	12
2.1 Werkpakket 1: Voorstudie	12
2.2 Werkpakket 2: Peakshaving implementatie	12
2.3 Werkpakket 3: Pilot fase	13
2.4 Werkpakket 4: Eindstudie	13
3 Verdienmodel	14
3.1 Inleiding	14
3.2 Model ontwikkeld tijdens voorstudie	14
3.3 Beslismodel 1.0	15
4 Vooraf aan pilot gekozen optimale netaansluiting	16
4.1 Inleiding	16
4.2 Optimum 1.500 kW	17
4.3 Lokaal optimum ~900 kW	17
4.4 900 kW gekozen	17
5 Lessen uit de praktijk	18
5.1 Software	18
5.2 Beslisstrategie	20
5.2.1 Verbetering mei: FCR bandbreedte naar 150 kW	20
5.2.2 Verbetering juli: gelaagde FCR bieding	20
5.2.3 Verbeteringen na pilot	20
5.2.3.1 FCR bandbreedte naar 0 kW	20
5.2.3.2 Energieverliezen en afschakeling tijdens peakshaving	21
5.2.3.3 Afschrijving batterij	21
5.2.3.4 Parallel toepassingen combineren	21
5.2.4 Samenvatting optimale beslisstrategie	22
5.3 Hebben we de juiste keuzes gemaakt?	22
5.4 Batterij dimensionering en gebruik	23
5.5 Efficiënt gebruik netcapaciteit	24
5.6 Welke prikkels zijn er nodig?	25

6 Conclusies	26
6.1 Weinig gepeakshaved	26
6.3 Kosten van peakshaving	26
6.4 Optimale biedstrategie	26
6.2 Effectief netgebruik	26
6.5 Verder verkleinen van de aansluiting is mogelijk	26
7 Aanbevelingen	27
7.1 Hogere subsidie voor verantwoorde zonneparken	27
7.2 Zekerheid voor batterijen	27
7.3 Producenten tarief	27
7.4 Energy hubs	27
7.5 Gelijktijdige toepassing van FCR en peakshaving	27
8 Discussie	28
8.1 Bankability FCR batterij	28
8.2 Onaangeboorde potentie voor business model	28
8.3 Perspectief op 2025	28
8.3.1 Vraag(sturing) achter zelfde aansluiting	28
8.3.2 Vraag(sturing) in de directe omgeving	28
8.3.3 Regels voor effectief netbeheer	28
8.3.4 Netbeheerder mandaat	28
9 Bronnen	29



Dit is een project van:

In samenwerking met:



En:

SCHOLTenergy

SOLTRONERGY

TNO

ENEXIS
NETBEHEER

Over deze rapportage

Projectnaam:	Peakshaving pilot Altweeterheide
Rapport titel:	Lessen uit de praktijk
Datum van oplevering:	29 november 2020
Een project van	Enpuls B.V.

Opgesteld door:

Melvin van Melzen
melvin@etransitieconsult.nl
06-13 680 639

Gecontroleerd en geaccepteerd door:

Alexander Savelkoul
Alexander.savelkoul@enpuls.nl



Consultant
van de
Energietransitie

Copyright © Enpuls B.V. 2020. Alle rechten voorbehouden.

Luchtfoto's op voorblad en in sectie 1.4. copyright © Soltronergy



Voorwoord

De energietransitie is een belangrijk onderwerp, ook voor ons persoonlijk. Het lijkt er soms op alsof de transitie traag verloopt terwijl ondertussen de wereld in een rap tempo aan het veranderen is. Dit jaar zijn er, mede door de coronacrisis, allerlei records gesneuveld in de energiesector. Er staat een vloedgolf aan PV systemen klaar om aangesloten te worden. Het is verontrustend om te zien dat het aansluiten op het net van zonneparken steeds moeizamer gaat. We zitten pas op een paar GW capaciteit en hebben nog tientallen GW's te gaan om de doelstellingen uit het Klimaatakkoord te halen.

Gelukkig staat de techniek voor niets en wordt zonnestroom sneller goedkoper dan voorspeld. Er zijn meer dan genoeg kansen om vraag en aanbod slim te verbinden. Voor ons was dit een prachtig project om van begin tot einde te hebben mogen uitwerken. Enpuls heeft hier een stukje leiderschap kunnen vertonen. Dit begon bij het idee van Alexander om praktijkervaring op te doen met peakshaving, om te laten zien dat het kan maar ook om te ontdekken wat de uitdagingen zijn van peakshaving in de praktijk. Er waren bestaande contacten met WeertEnergie, bekend van het COOP-Store project, waar Enpuls bij de startbhaar steun schriftelijk voor heeft uitgesproken met een Letter of Support. WeertEnergie en het COOP-store consortium bleken zeer behulpzaam in het uitwerken van een pilot project. Zonder de welwillendheid van alle partners was dit project er niet gekomen.

Na een korte periode van conceptontwikkeling en haalbaarheidsstudies hebben we een projectplan opgesteld en de basis gelegd voor een samenwerkingsovereenkomst. Dit alles in het tijdsbestek van nog geen 4 maanden waarna we 20 januari het project hebben gestart met een kick-off meeting bij de projectlocatie. Op 1 april moest de praktijk-fase al van start gaan, dus we hebben flink gewerkt aan het verzamelen van historische data om de voorstudie op tijd af te ronden voor de live-gang. Tijdens het gehele project hebben we constructieve en leerzame discussies gevoerd en ons vooral niet tegen laten houden door het werken op afstand. We hebben ontzettend veel geleerd in korte tijd, zowel van wat er goed ging als van onze fouten.

We zijn ontzettend trots op het resultaat waarvan we zeker weten dat het inspirerend werkt voor de energiesector in Nederland en wie weet ook daarbuiten. We hopen dat veel mensen hun voordeel kunnen doen met de opgedane kennis en dat we zodoende bijdragen aan de ontwikkeling van zonneprojecten met opslag in Nederland. Als de respons op de webinars over dit project een indicatie zijn wordt er goed gekeken naar wat er in Altweerderheide voor moois gebeurd is. Het was erg indrukwekkend om voor ruim 200 energie-experts te mogen vertellen over óns project.

Graag bedanken wij de volgende mensen en bedrijven hartelijk voor de bijdrage die ze geleverd hebben aan het consortium in willekeurige volgorde: Bart Geerligts, Sam McDermott, Gerard te Boekhorst, Victor Gerritsen, Karl Langeveld, Peter Gloudi, Bert ten Haaf, Sander Drissen, Ruud van de Voort, Jan Scholts, Menno van den Donker, Simona Villa, DNV GL en Enervalis.

Melvin van Melzen,

Melvin van Melzen, projectleider en huisconsultant van het project
&

Alexander Savelkoul,

Alexander Savelkoul, initiator en opdrachtgever van het project

1 Inleiding

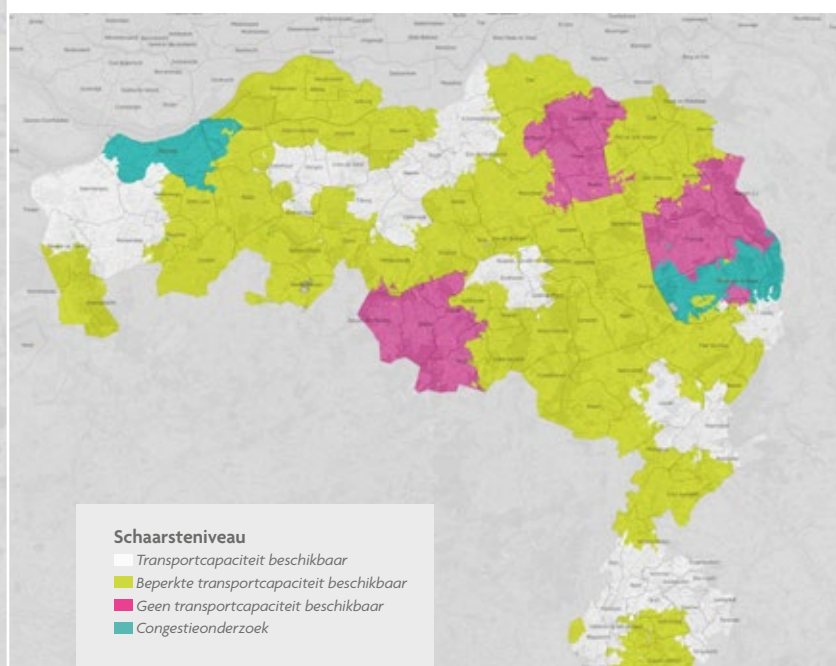
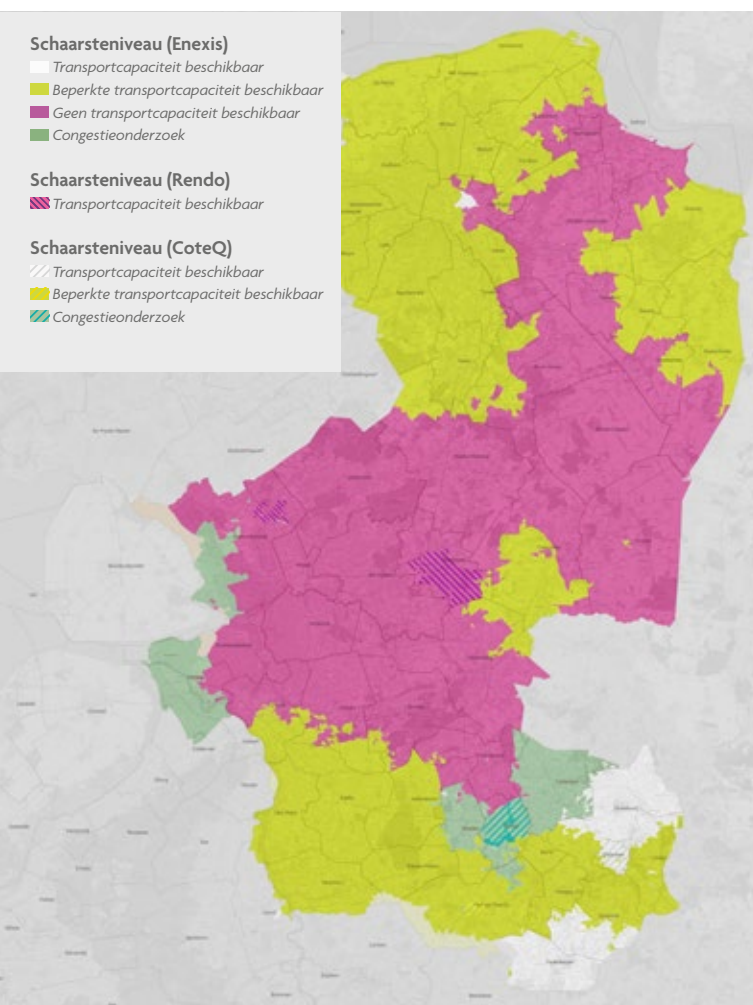
1.1 Aanleiding

De groei van zonnestroom gaat erg hard de laatste jaren, wat natuurlijk een fantastische ontwikkeling is. Echter, de toenemende hoeveelheid zon PV zorgt ook voor hoge pieken in de distributienetten. De opwek van elektriciteit uit zonne-energie kenmerkt zich namelijk door een relatief laag aantal vollasturen; de zon schijnt lang niet altijd. Daarom is er voor het produceren van een bepaalde hoeveelheid elektriciteit uit zonne-energie een relatief groot vermogen aan zonnepanelen nodig. Bovendien hebben zonnepanelen de eigenschap dat ze, in een bepaalde regio, allemaal gelijktijdig elektriciteit produceren; namelijk wanneer de zon schijnt in die regio. Daarom vragen zonneparken veel vermogen in de elektriciteitsnetten.

Als gevolg van deze ontwikkelingen zijn grote investeringen in distributie- en transportnetten noodzakelijk, deze kosten worden uiteindelijk door de maatschappij gedragen. Daarnaast vraagt de verzwaring van netten veel tijd door lange vergunningstrajecten en is de grote hoeveelheid netverzwaringenprojecten (bijna) teveel voor de netbeheerders en aannemers die de projecten realiseren. Hierdoor vertraagt de energietransitie en nemen de kosten van deze transitie toe.

1.2 Pilot

Enpuls wil de energietransitie versnellen en heeft daarom een praktijkonderzoek uitgevoerd naar een mogelijke oplossing voor de piekbelasting van zonnestroom. Middels deze pilot is in theorie en de praktijk onderzocht wat de mogelijkheden zijn van de inzet van een batterij in combinatie met een zonnepark om de elektriciteitsnetten beter te benutten en zo de maatschappelijke kosten van netbeheer en de energietransitie acceptabel te houden. Tevens wordt het groeitempo van zonne-energie in Nederland minder vertraagd wanneer er minder netverzwaringen nodig zijn. Door een peakshaving pilot uit te voeren is waardevolle praktijkervaring opgedaan, in de pilot is onderzocht wat er allemaal in de praktijk komt kijken bij peakshaving van zonne-energie met een batterijsysteem.



Figuur 1: Kaarten met transportschaarste in verzorgingsgebied van Enxsis

1.3 Doel

Het doel van het project is om te onderzoeken welke factoren belangrijk zijn om een haalbaar verdienmodel te vinden, zonder actieve sturing van de netbeheerder. In dit verdienmodel kiest de zonneparkbeheerder er vrijwillig voor om zijn piekbelasting te verlagen door zijn zonnepark af en toe (deels) af te schakelen en/of de batterij tijdelijk voor peakshaving, dus opslag van overtollige elektriciteit, in te zetten.

Het doel is om een model te vinden en valideren dat de zonneparkbeheerder in staat stelt om met peakshaving voordeliger uit te zijn dan wanneer er geen peakshaving zou worden toegepast. Waar anno vandaag nog geen acceptabele terugverdientijd gevonden wordt zou deze kunnen ontstaan als gevolg van dalende batterijprijzen, stijgende netbeheer-/transportkosten en/of subsidies en andere prikkels zoals toenemende volatiliteit van energiebeursprijzen. De door ons onderzochte prikkels voor peakshaving zijn een additionele SDE++ subsidie ("wortel") of een transporttarief ("stok").

1.4 Projectlocatie

WeertEnergie heeft een coöperatief zonnepark ontwikkeld in Altweerterheide. Het park bestaat uit een zonneweide en diverse zonnedaken. Dit park is niet volledig op zuid georiënteerd maar heeft al een piekverlagende (netvriendelijke) opstelling met panelen op noordwest, noordoost, zuidoost en zuidwest.



Figuur 2: Deel van zonnepark Altweerterheide met de containers waarin de batterijen, omvormers en vergader ruimte te vinden zijn.

Op het dak liggen 1692 zonnepanelen met een totaal vermogen van 456.840 Wp. Deze panelen hebben een

hellingshoek van 15° en liggen voor de helft op het noordoosten en voor de andere helft op het zuidwesten. In het vrije veld liggen 3920 zonnepanelen met een totaal vermogen van 1.078.000 Wp. Deze panelen hebben een hellingshoek van 15° en liggen voor iets meer dan de helft op het zuidoosten en net iets minder dan de helft op het noordwesten. Het aldus verkregen totale DC vermogen van 1.535 kWp is aangesloten op omvormers met een nominaal piekvermogen 1.296 kW of 1.425 kVA/kW bij een powerfactor van 1. Het zonnepark kan daarmee tot ca. 1.400 kW aan zonne-energie leveren.

Op de projectlocatie is achter een gedeelde aansluiting een buurtbatterij aanwezig met een capaciteit van 617 kWh en een laad/ontlaad vermogen van 500 kW. Deze batterij wordt normaliter ingezet om FCR (Frequency Containment Reserve, ofwel primaire reserve) te leveren aan TenneT via een FCR pool. Wat FCR is staat beschreven in sectie 1.5.1.



Figuur 3: De batterij met aan deze zijde de borden, aansluiting voor bluswater en ventilatierooster

Om in de pilot te kunnen experimenteren zijn afspraken gemaakt tussen Enpuls, WeertEnergie en Scholt over de dagelijkse praktijk van het project. Tijdens het project heeft Enpuls de controle over de batterij, Enpuls stuurt dagelijks Scholt instructies, op basis van deze instructies kan Scholt de batterij instellen op de juiste bedrijfsmodus. De signalen die Enpuls verstuurt zouden normaliter door de beheerder van het zonnepark worden verstuurd.

De in het zonnepark aanwezige aansluiting is een 1.750 kVA netaansluiting met een 2.000 kVA transformator. De aansluiting en installatie zijn van voldoende capaciteit om zowel het zonnepark als de batterij op maximaal vermogen te laten terugleveren. Daardoor is er geen kans op uitval als gevolg van overbelasting.

1.5 Aspecten verdienmodel pilot

In de pilot verkleinen we de netaansluiting, om de pieken van levering van zonnestroom te verlagen. Als het zonnepark met batterij op een kleinere aansluiting wordt aangesloten zijn er momenten waarop het zonnepark niet al zijn vermogen kwijt kan. Daar komt bij dat als de batterij voor FCR (zie sectie 1.5.1 voor een beschrijving) aan het *ontladen* is, dit probleem vergroot wordt. Het *opladen* van de batterij voor FCR zorgt juist dat het zonnepark op dat moment meer energie kan terugleveren, want er wordt dan per saldo minder elektriciteit via de aansluiting op het net gezet. De batterij kan dus worden ingezet voor FCR maar ook voor peakshaving. Als de batterij voor peakshaving wordt ingezet wordt er zonnestroom in opgeslagen die op dat moment niet aan het net kan worden geleverd, vanwege de verkleinde aansluiting. Peakshaving kan ook worden gerealiseerd door zonnestroom af te schakelen. In deze sectie lichten we toe hoe FCR en peakshaving werken en bespreken we enkele toepassingen die niet zijn onderzocht maar wel interessant zijn voor vervolprojecten.

1.5.1 FCR

FCR is een afkorting voor Frequency Containment Reserve en staat ook wel bekend als primaire reserve. Het is een systeemdienst die hoogspanningsnetbeheerders, zoals Tennet, inkopen bij marktpartijen. WeertEnergie is één van deze marktpartijen die FCR levert. Met de FCR systeemdienst worden onverwachte problemen met de balans van het Europese energiesysteem opgevangen. Balansproblemen uiten zich in de frequentie van het net, deze is in principe 50 Hertz in Europa. Als de frequentie hoger is geeft dit aan dat er meer energie geproduceerd wordt dan verbruikt en vice versa.

Met FCR worden “uitstapjes” van de frequentie opgevangen,

bijvoorbeeld door een uitgevallen energiecentrale. Bij een wegvallende energiecentrale is er ineens te weinig productie en daalt de frequentie; FCR systemen grijpen in door vermogen aan het net te leveren om de daling te stoppen. Vervolgens nemen andere systeemdiensten, zoals FRR, het stokje over om de frequentie terug te brengen naar 50 Hertz. FCR doen het omgekeerde bij een overschot, als de frequentie te hoog is wordt vermogen aan het net onttrokken.

In principe is de frequentie even vaak en lang te hoog als te laag. Batterijen zijn dan ook de perfecte energie-neutrale technologie om FCR mee te leveren. Het ene moment wordt de batterij geladen om een overschot op te vangen, een moment later wordt deze energie weer teruggeleverd om een tekort op te vangen. Een batterij wisselt zo balansproblemen tegen elkaar uit. Om maximaal te kunnen reageren wordt de batterij op ongeveer 50% geladen gehouden zodat in beide richtingen de meeste ruimte is om te reageren op frequentie uitstapjes. Als de batterij helemaal vol of leeg is kan er geen FCR meer worden geleverd, hier wordt rekening mee gehouden in de FCR dienst. Een batterij moet minimaal 1 kWh per kW vermogen hebben om FCR te mogen leveren, deze regel is er om te verzekeren dat batterijen in de meeste situaties voldoende lang FCR kunnen leveren.

De batterij van WeertEnergie leverde fulltime FCR diensten voordat deze pilot begon. De prijs van de FCR dienst schommelt sterk. Historisch gezien kan hiermee gemiddeld zo'n 400 €/dag/MW worden verdiend. In de praktijk zijn de prijzen hoger in de winter en lager in de zomer. Dit komt doordat er in de zomer meer FCR vermogen beschikbaar is en er meer concurrentie is. Op deze manier verwachten we dat FCR batterijen bij zonneparken in de zomer overdag



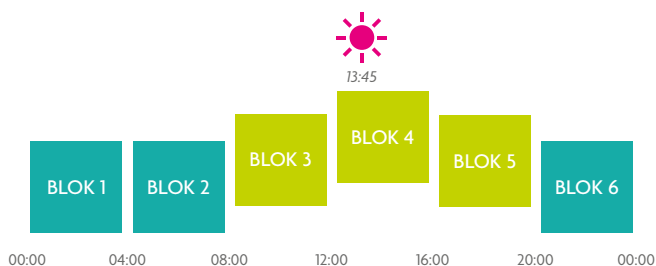
minder beschikbaar zijn en 's nachts wel waardoor er een vergelijkbaar prijsverschil ontstaat met lage prijzen in de nacht en hogere prijzen overdag.



Figuur 4: De batterij is tot stand gekomen met de hulp van vele partners en subsidie van de topsector energie

De vergoeding voor het leveren van FCR is aantrekkelijk maar is onzeker op langere termijn. De vergoeding wordt namelijk dagelijks bepaald op basis van een veiling en er is geen enkele garantie dat de prijs gelijk blijft, gaat dalen of zou stijgen. FCR wordt iedere dag geveild in 6 landen voor de volgende dag, ook op weekend- en feestdagen. Er is in deze landen tezamen ongeveer 1.400 MW aan FCR nodig waarvan tenminste 34 MW vanuit Nederland moet en maximaal 213 MW mag worden geleverd. FCR wordt verhandeld in 6 blokken per dag van 4 uur (zie figuur 6), dit betekent dat je redelijk gemakkelijk FCR kunt combineren met andere diensten. Peakshaving zal natuurlijk alleen overdag plaatsvinden, daarmee zijn blokken 1, 2 en 6 altijd beschikbaar voor FCR. Blokken 3, 4 en 5 zijn de kandidaten om op de meest zonnige dagen geen FCR te draaien maar juist te peakshaven. De zon staat in Nederland tijdens zomertijd om 13:45 uur op het hoogste punt, midden in blok 4 welke van 12 tot 16 uur duurt.

Zie de website <https://www.regelleistung.net/ext/static/prnl> voor meer informatie over FCR.



Figuur 5: FCR blokken in een dag. De donkere blokken zijn 's nachts en dus altijd voor FCR. De groene blokken zijn potentiële peakshaving blokken.

Naast de investering in een voor FCR geschikte batterij zijn er ook operationele kosten. Je moet per gehele MW FCR aanbieden, daarom neemt de batterij van WeertEnergie deel aan een FCR pool. De beheerder van de pool vraagt een

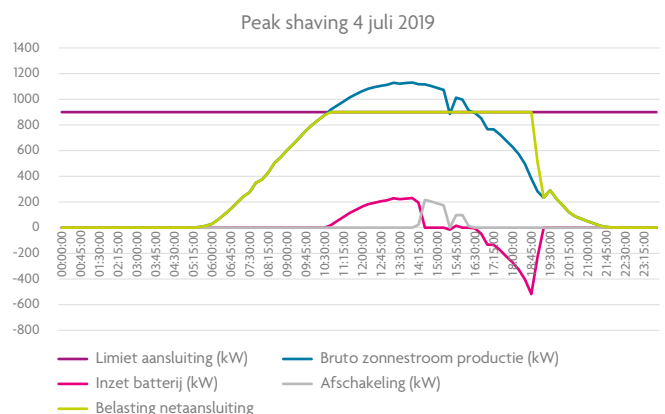
vergoeding voor de toegang tot de pool en de aansturing van de batterij. Er zijn nog meer operationele kosten die van toepassing zijn op FCR waar we hier niet verder op in zullen gaan waaronder energiebelastingen, netbeheerkosten en energieverliezen.

1.5.2 Peakshaving

Peakshaving is het verlagen van pieken, in dit geval op de netaansluiting van het zonnepark. Er zijn in dit park een aantal mogelijkheden om de belasting van de netaansluiting te verkleinen afhankelijk van de omstandigheden.

1. Het zonnepark kan tot ca 1.400 kW produceren en is daarmee de grootste bron van pieken. Als de piek te hoog is kan het zonnepark gedeeltelijk of zelfs geheel worden afgeschakeld. De energie gaat verloren.
2. Als het zonnepark afgeschakeld zou moeten worden zou de batterij ingezet kunnen worden om het verlies van energie te voorkomen. De batterij van 500 kW kan in theorie de netto piek op de netaansluiting verlagen naar 900 kW. Hierbij wordt energie niet weggegooid maar opgeslagen en kan op een later moment worden teruggeleverd.
3. De batterij is in principe continue bezig om FCR te leveren. Dit betekent dat de batterij op ieder moment kan gaan laden of ontladen. Laden ontlast de aansluiting maar het ontladen van de batterij vergroot juist de belasting op de aansluiting. Het kan dus al voldoende zijn om tijdelijk geen of minder FCR toe te passen als het zonnepark veel produceert.

We nemen aan dat we de aansluiting verkleinen tot ruim onder de capaciteit van het zonnepark. Op ieder moment dat de verkleinde aansluiting overbelast dreigt te raken wordt zonnestroom afgeschakeld (gecurtailed) en dus vernietigd. De batterij kan ingezet worden om dit te voorkomen. Maar waarom zou de beheerder van een zonnepark de keuze maken om te peakshaven?



Figuur 6: Een gemodelleerd voorbeeld van peakshaving

De voordelen van peakshaving (baten):

- Er is een potentiële besparing op de eenmalige kosten van de netaansluiting. Als je minder vermogen teruglevert aan het net kun je misschien een kleinere aansluiting realiseren of een groter zonnepark op dezelfde aansluiting realiseren. Doordat de prijzen van aansluitingen gestaffeld zijn is het niet vanzelfsprekend dat dit voordeel behaald kan worden. Op de pilotlocatie zou de aansluiting van 1.750 kVA moeten worden teruggebracht tot 630 kVA om te kunnen besparen op de eenmalige netbeheerkosten. Dit is een te grote stap om met peakshaving te realiseren maar voor een kleinere zonnepark was het mogelijk wel interessant geweest. De besparing zou, in Enexis gebied, eenmalig ongeveer 13.500 euro zijn. Deze besparing is klein en staat geenszins in verhouding tot de investering in de batterij maar kan een bestaande business case wel iets versterken.
- Aansluitingen met elektriciteitsverbruik betalen een transportvergoeding aan de netbeheerder voor het gebruik van de aansluiting. Deze transportkosten zijn afhankelijk van de hoogte van de piekbelasting per jaar en per maand. Het loont dus om pieken te verlagen. Er is echter geen transporttarief voor elektriciteitsproductie. Daarmee zijn er dus geen kosten waar een zonnepark op zou kunnen besparen door middel van peakshaving.

De nadelen van peakshaving (kosten):

- Op momenten dat er energie wordt weggegooid gaat de volledige waarde van de zonnestroom verloren. Dat wil zeggen dat in dit geval er geen energie en GVO verkocht kunnen worden en er geen SDE+ subsidie verkregen wordt. Er mag worden aangenomen dat de kwijtgeraakte inkomsten gelijk zijn aan de kostprijs (LCOE) van de door het zonnepark geproduceerde energie.
- Als de afschakeling heel groot is kan het zijn dat het stoppen van FCR en het inzetten van de batterij om het verlies van energie te voorkomen aantrekkelijk wordt. Op deze momenten raak je inkomsten uit FCR kwijt.
- Als de batterij voor peakshaving wordt ingezet wordt deze in theorie zwaarder belast dan tijdens de toepassing van FCR en slijt hij sneller.
- Net als bij FCR is er software nodig voor de aansturing van de batterij maar nu ook om te beslissen of de batterij FCR of peakshaving moet toepassen. Om te bepalen wanneer peakshaving aantrekkelijk is moet je de inzet van de batterij financieel afwegen op basis van de verwachte productie uit het zonnepark. De software om deze beslissingen te maken moet ontwikkeld en beheerd worden. De voorspelmodellen koop je in, meestal als een dienst.



1.5.3 Uitgesloten toepassingen

Om de complexiteit van de pilot overzichtelijk te houden is een aantal toepassingen en aspecten uitgesloten. Deze hebben allemaal de potentie om de business case te verbeteren. Daarmee kan worden gesteld dat er in de pilot een conservatieve business case is onderzocht. Als je daadwerkelijk met peakshaving aan de slag gaat kan je de business case nog (significant) verbeteren met deze uitgesloten toepassingen.

- De pilot onderzoekt een model waarbij de netbeheerder niet aan directe sturing doet en er geen bilaterale afspraken worden gemaakt tussen de netbeheerder en de beheerder van het zonnepark. De enige invloed die wel meegenomen is, is die van de jaarlijks vastgestelde gereguleerde netbeheertarieven en dan met name de transporttarieven.
- Het is mogelijk om de opbrengst van de zonnestroom te vergroten door een deel van de geproduceerde energie op te slaan als er veel aanbod is en de energiebeursprijzen laag. Vervolgens wordt de batterij ontladen als de productie lager of nul is en de energiebeursprijzen hoog zijn. Echter is de speculatiewaarde momenteel te klein om de moeite waard te zijn. De ontwikkeling van de speculatiewaarde is te onvoorspelbaar om iets zinnigs te kunnen zeggen in de business case analyse. Er is een grote kans dat als gevolg van de energietransitie prijzen op de energiemarkten volatieler zullen worden waarmee de potentie voor energieprijspeculatie toeneemt.
- Het is in theorie mogelijk om FCR op een vermogen anders dan vol vermogen in te zetten om overbelasting van de aansluiting te voorkomen. Dit wordt in de pilot niet toegepast of onderzocht omdat het te veel complexiteit aan het project toevoegt. We hebben hier na afloop van de praktijkfase wel over nagedacht en er een sectie aan besteed in hoofdstuk 5.

1.6 Beperkingen van de pilot

De pilot is uniek in zijn soort en dat betekent dat we te maken hebben met maatwerk. Om de resultaten van de pilot zuiver te houden is gekozen om de complexiteit van het project te beperken. Er waren ook een paar beperkingen waar we tijdens de pilot mee hebben moeten werken die je in een “echt project” wel zou toevoegen of oplossen.

1. We hebben de aansluiting niet echt verkleind, dit hebben we gesimuleerd. We hebben tijdens de pilot dus ook niet echt energie uit het zonnepark afgeschakeld. De

“afgeschakelde” energie is achteraf berekend op basis van de verzamelde data. Deze keuze is gemaakt om de complexiteit van de pilot te verlagen, omdat we de duurzame energie goed kunnen gebruiken in de transitie en om kosten te besparen.

2. We hebben alleen tijdens kantooruren op werkdagen peakshaving kunnen inplannen. Vanwege het tijdelijke karakter van de pilot werden de peakshaving planning handmatig verwerkt tijdens kantooruren.
 - a. Tot 1 juli werd de FCR veiling nog alleen op werkdagen gedaan en voor hele dagen. Daardoor konden we van maandag t/m vrijdag alleen voor woensdag t/m zondag peakshaving inplannen. Er is daarom nooit peakshaving uitgevoerd op maandag en dinsdag, tot 1 juli ook niet op zondag.
 - b. Vanaf 1 juli konden onze signalen niet op tijd voor de FCR gate closure time (D-1 08:00 CE(S)T) worden verwerkt. Dus stuurden we de signalen om 12 uur zodat ze voor het einde van de werkdag konden worden verwerkt.
3. Omdat de batterij deel uit maakt van een FCR pool kunnen we de hoogte van het FCR bod niet beïnvloeden.
4. Helaas is het niet gelukt om geautomatiseerd historische data te verkrijgen uit het zonnepark. Als gevolg hiervan was het niet mogelijk om het voorspelmodel doorlopend te optimaliseren/trainen.
5. Hoewel de aansluiting ruim voldoende capaciteit heeft om zowel het zonnepark als de batterij op vol vermogen te ontsluiten, bleek hetzelfde niet waar voor de technische installatie achter de meter. Als gevolg hiervan is het ontladvermogen van de batterij begrenst op 250 kW om overbelasting van de installatie achter de meter te voorkomen. Door beperkingen in de software op de batterij is de vermogensbeperking ook toegepast op het laden van de batterij. Hierdoor is de batterij effectief half zo snel als op papier staat.

1.7 Structuur van rapport

In hoofdstuk 2 is beschreven hoe het project is opgezet. In hoofdstuk 3 is het voor de pilot ontwikkelde verdienmodel beschreven en in hoofdstuk 4 hoe we de virtuele aansluitcapaciteit voor de pilot hebben gekozen.

In hoofdstuk 5 zijn de tijdens de pilot verzamelde inzichten verzameld en in hoofdstuk 6 zijn de conclusies samengevat. In hoofdstuk 7 zijn de aanbevelingen voor vervolprojecten en beleidsmakers opgenomen. De punten voor discussie zijn in hoofdstuk 8 opgenomen. Gebruikte bronnen zijn in hoofdstuk 9 te vinden.

2 Opzet van project

Het project is opgedeeld in werkpakketten en volgt een fasering.

2.1 Werkpakket 1: Voorstudie

Er is een voorstudie uitgevoerd. Hierin is het verdienmodel opgesteld op basis van historische data en een aantal aannames. In de voorstudie is bepaald welke capaciteit de aansluiting zou moeten krijgen voor het maximale resultaat in het verdienmodel.

Uitgevoerde taken:

1. De inzet van afschakeling simuleren op basis van historische data in combinatie met verschillende netcapaciteit limieten.
2. Een profiel opstellen van FCR inzet en vaststellen welke FCR inzet de netaansluiting mag overbelasten en voor hoe lang.
3. De kosten en baten van het verdienmodel op basis van historische data bepalen.
 - a. Simuleren wat de inzet van de batterij voor peakshaving zou zijn geweest.
 - b. Voorspellen wat de inzet zal zijn met verschillende FCR producten rekening houdend met omschakelperiode tussen de verschillende bedrijfsmodi.
 - c. De inzet en het aantal cycli van de batterij berekenen voor de peakshaving pilot om de levensduur en afschrijving vast te stellen.
4. Vaststellen wat de fictieve capaciteit van de netaansluiting moet zijn voor de pilot.

2.2 Werkpakket 2: Peakshaving implementatie

Er zijn aanpassingen gedaan aan de aansturingssystemen van de batterij om de pilot uit te voeren. Om het verdienmodel zo goed mogelijk uit te laten pakken was het doel om de implementatiekosten laag te houden.

Uitgevoerde taken:

1. De implementatie van peakshaving in combinatie met FCR op een buurtbatterij.
2. Het inrichten van dataverzameling.
3. Het inrichten van de beslis- en communicatiesoftware waarmee Enpuls namens WeertEnergie berichten stuurt naar de FCR pool beheerder.

2.3 Werkpakket 3: Pilot fase

In de pilotfase is praktijkervaring opgedaan en data verzameld waarmee aansluitend het verdienmodel kon worden gevalideerd. De kwaliteit van de verkregen data is een grote prioriteit. Als we fouten maken wordt de kans aangepakt om hiervan te leren. Zo kunnen de lessen gebruikt worden om het verdienmodel realistischer te maken en toekomstige projecten voor deze fouten te behoeden.

Uitgevoerde taken:

1. Doorlopend ervaring opdoen en toepassen om de pilot te verbeteren.
2. Ervaring opdoen met de verschillende FCR producten van dag naar 4 uur product. Tot 1 juli wordt het 4 uren FCR product gesimuleerd waarna het vanaf 1 juli daadwerkelijk is ingevoerd door TenneT.

2.4 Werkpakket 4: Eindstudie

Na afloop van de pilot fase is er een hoeveelheid data verzameld bedoeld om het verdienmodel uit de voorstudie te valideren. In de eindstudie rapportage worden ook aandacht besteed aan de praktische lering die is verkregen; wat kan er beter en wat zijn de belangrijkste succesfactoren?

Uitgevoerde taken:

1. Het verdienmodel uit de voorstudie valideren.
2. Hoeveelheid fictief afschakelde energie te bepalen.
3. De inzet en het aantal cycli van de batterij berekenen om de levensduur en afschrijving vast te stellen.
4. Gevoeligheidsanalyses uitgevoerd op toekomstig verdienmodel.
5. Analyse van de bijdrage van peakshaving aan het verkleinen van de netbelasting.



3 Verdienmodel

3.1 Inleiding

Tijdens de voorstudie is een verdienmodel ontwikkeld. Tijdens en na de pilot is het model verder verfijnd. Het grote probleem was echter, er zijn momenteel geen significante prikkels die peakshaving stimuleren. Daarom is de aanname gedaan dat er kosten zijn waarop bespaard kan worden, welke gelijk zijn aan de transportkosten van bedrijven met een grootverbruiksaansluiting voor afname. In de eindstudie is deze aanname losgelaten en onderzocht welke prikkels er nodig zijn om peakshaving te stimuleren en het stoplicht voor peakshaving op groen te krijgen.

Deze aanname hebben we gedaan op grond van de volgende beredenering. In 2020 zien we in Nederland een baseload vraag van 15 GW en een piekvraag van richting de 20 GW. Deze elektrische energie wordt grotendeels ingevuld met stuurbare bronnen zoals gascentrales. Voor elke GW aan vraag staat er evenveel productie opgesteld, daarom is er gekozen om alleen afnemers te belasten voor het gebruik van transportcapaciteit aangezien de afnemers de pieken veroorzaken en de producenten deze enkel volgen. Grootverbruik afnemers hebben op deze manier een prikkel om grote pieken te vermijden.

Er is echter verandering op komst waardoor de aanname, dat er evenveel netcapaciteit voor afname als voor productie nodig is, niet meer houdbaar is. Volgens de Klimaat- en Energieverkenning 2020 hebben we in 2030 een geïnstalleerd vermogen van 60 GW aan duurzame energieproductie waarvan 30 GW zon PV op land terwijl de piek energievraag niet proportioneel stijgt. Het kan goed zijn dat we een aanzienlijk deel van de geproduceerde energie op de zonnigste en windigste dagen zullen afschakelen omdat er simpelweg geen vraag naar is. De meeste duurzame energie wordt decentraal opgewekt in gebieden met relatief weinig vraag waardoor er per definitie vraag is naar transportcapaciteit. De aanname om producenten een vergelijkbaar tarief te laten betalen voor transportcapaciteit is dan ook naar ons inzicht een goede reflectie van de maatschappelijke kosten die gemaakt worden om de transportcapaciteit uit te breiden. Een producententarief draagt overigens ook bij aan het stimuleren van verantwoord netgebruik en voorkomt dat producenten onnodig veel transportcapaciteit claimen terwijl er op de uitzonderlijke dagen waarvoor deze capaciteit nodig is een groot deel van het vermogen wordt weggegooid bij overaanbod.

We hebben nog een belangrijke aanname moeten doen voor de simpliciteit van de business case. We zijn uitgegaan van een bestaande business case voor een FCR batterij. Dat betekent dat we hebben onderzocht wat er voor nodig is om een zonnepark waar al een FCR batterij bij gerealiseerd wordt uit te breiden met peakshaving. Het voordeel van deze aanname is dat we in alle verdienmodel analyses hebben kunnen kijken naar een differentiële business case. Bij een differentiële business case kijk je alleen naar wat er verandert en niet naar het gehele plaatje. De kosten van de investering, financiering, onderhoud, beheer en dergelijke veranderen niet door de toepassing van peakshaving. We hebben dus alleen hoeven kijken naar de kosten en baten die wel veranderen door peakshaving.

Onderaan de streep blijft er na analyse van de differentiële business case een stukje misgelopen inkomsten over als gevolg van peakshaving zonder prikkels. Deze misgelopen inkomsten zullen met een prikkel moeten worden gecompenseerd om in ieder geval kostenneutraal peakshaving te kunnen toepassen.

3.2 Model ontwikkeld tijdens voorstudie

In de differentiële business case analyse worden alleen veranderingen in de business case meegenomen. Hierdoor vallen onveranderde zaken zoals de aanschafkosten en financieringskosten weg maar ook het verdienmodel van het zonnepark wordt versimpeld tot enkel de verloren inkomsten.

- FCR is de primaire inkomstenbron van de batterij. We hebben in de voorstudie een prijs per blok aangenomen die voor het gehele jaar en ieder blok gelijk is, omdat de FCR prijzenontwikkeling te onzeker is rekenen we niet met historische prijzen. Hoe kleiner we de netaansluiting kiezen, hoe vaker we gaan peakshaven en geen FCR kunnen leveren.
- Als er meer elektriciteit geproduceerd wordt dan over de netaansluiting kan worden ingevoerd en de batterij vol of niet beschikbaar is, dan moet er elektriciteit worden afgeschakeld. Gezien het project SDE+ subsidie gebruikt en de komende jaren dit de standaard zal zijn kunnen we hier de kostprijs, de LCOE (Levelized Cost Of Electricity), van zonnestroom gebruiken als kostenpost. We nemen dus niet de business case van het zonnepark mee maar

alleen de schade die veroorzaakt wordt door een deel van de geproduceerde elektriciteit af te schakelen.

- Het zonnepark en de batterij delen een netaansluiting. Het hebben van deze aansluiting is een kostenpost vanuit de periodieke netbeheerkosten. Het gaat dan met name om de transportkosten die worden aangenomen voor teruglevering. Deze kosten worden vastgesteld op basis van de hoogste belasting van de aansluiting per jaar en per maand. Het structureel verlagen van de piek resulteert dus in een besparing in de netbeheerkosten. Voor de aangenomen transportkosten is gebruik gemaakt van de Enexis netbeheertarieven van 2020 voor een MS-D aansluiting.

Bij verschillende aansluitcapaciteiten is gekeken naar hoeveel energie er afgeschakeld moet worden en hoeveel tijd van het jaar er FCR geleverd kan worden. Dit is gedaan op basis van de historische productiedata van het zonnepark. Daarna is gekeken hoe vaak de capaciteit van de aansluiting overschreden zou worden en hoeveel energie er dan in theorie verloren gaat. Voor een groot aantal aansluitingscapaciteiten is een resultaat berekend dat als volgt is opgebouwd:

Kosten/baten	Referentie kosten/baten
+ Inkomsten FCR	30 €/4uur/0,5MW
- Verloren inkomsten afgeschakelde energie	0,10 €/kWh
+ Besparing op netbeheerkosten contractwaarde	12,24 €/kW/jaar
+ Besparing op netbeheerkosten kW_max	1,42 €/kW/maand

= Resultaat

Hoe hoger het resultaat, hoe beter. In dit model zitten de FCR kosten als inkomstenbron. Bij een lagere limiet zal je meer energie weggooien en op een gegeven moment FCR inkomsten kwijtraken omdat je de batterij soms zult gebruiken om overtollige zonnestroom in op te slaan en zo afschakeling te voorkomen.

In de voorstudie hebben we gerekend met een perfecte voorspelling van de zonnestroom productie. In de praktijk zal je echter wel eens verkeerd zitten met je voorspelling; als je bijvoorbeeld hebt voorspeld hebt dat je in de ochtend geen FCR kon leveren maar in de middag wel omdat de zonneproductie dan lager zou zijn. Als dan het weer toch net iets eerder betreft en vervolgens in de middag opklaart heb je in de ochtend geen inkomsten uit FCR terwijl je

peakshaving had ingepland, en in de middag als het opklaart ben je verplicht FCR te leveren en moet je afschakeling van energie toepassen indien de aansluiting toch overschreden wordt.

3.3 Beslismodel 1.0

Er is gekozen voor het hanteren van een bandbreedte om de wisselwerking tussen het zonnepark en de batterij op FCR te modelleren op de aansluiting. We hebben in de inleiding vastgesteld dat de inzet van FCR zowel voordelig als nadelig kan werken voor de hoeveelheid afgeschakelde zonnestroom. Op basis van een kansberekening bleek dat de batterij tijdens het leveren van FCR voor 99% van de tijd met minder dan 250 kW aan het ontladen is. Als veilige aanname hebben we daarom 250 kW bandbreedte gereserveerd op de aansluiting. We houden rekening met deze veilige bandbreedte voor FCR om te voorkomen dat we door FCR energie moeten weggooien en met grote zekerheid kunnen stellen dat we te allen tijde aan de verplichting om FCR te leveren kunnen voldoen.



Figuur 7: Het zonnepark op een wisselend bewolkte dag.

Het beslismodel neemt de capaciteit van de aansluiting en haalt hier de bandbreedte van 250 kW vanaf. Daarna is de historische zonproductie gebruikt om te bepalen of en hoeveel energie er boven de limiet wordt geproduceerd en dus afgeschakeld. Als de waarde van deze energie boven de limiet groter is dan de aangenomen inkomsten van FCR dan wordt de batterij ingezet om deze energie in op te slaan, dus om te peakshaven. Als de batterij FCR doet en de aansluiting overbelast wordt, of als de batterij vol zit tijdens peakshaving, dan wordt de overtollige energie afgeschakeld.

Tijdens de pilot werkt het beslismodel ongeveer hetzelfde maar dan op basis van een zonproductie voorspelmodel. Tijdens de pilot en achteraf hebben we de FCR bandbreedte verkleind en de FCR prijs dynamisch gemaakt op basis van nieuwe inzichten, daar lees je meer over in sectie 5.2.

4 Vooraf aan pilot gekozen optimale netaansluiting



4.1 Inleiding

Om de pilot uit te voeren is historische data geanalyseerd om te bepalen welke aansluitcapaciteit zinnig is om te kiezen. Een te hoge capaciteit resulteert in weinig efficiënter gebruik van het elektriciteitsnet en weinig inzet van de batterij voor peakshaving. Een te lage capaciteit resulteert in veel efficiënter gebruik van het net maar ook het hard laten werken van de batterij die regelmatig vol zal zitten. Als de batterij (regelmatig) vol zit is afschakeling vaak noodzakelijk om overbelasting van de netaansluiting te voorkomen.

De historische data van het zonnepark en de batterij zijn geanalyseerd om een keuze te kunnen maken voor de optimale grootte van de aansluiting voor in het ontwikkelde verdienmodel. Hierbij was voorafgaand aan de pilot slechts data beschikbaar van 1 juni 2019 tot en met de huidige datum (dit was 1 maart 2020 bij het verzamelen van de data voor de voorstudie). Dat betekent dat we geen volledig kalenderjaar

beschikbaar hadden voor de analyse en maart, april en mei niet konden meenemen.

De grootste gemeten productie van het zonnepark is 1.375 kW gemiddeld over een kwartier, de hoogste pieken ontbreken echter waarschijnlijk en worden meestal in april en mei behaald als de lucht helder en koel is. Stel, we stellen de aansluiting op 1.000 kW dan zou er op de beste dag 375 kW meer worden geproduceerd dan deze aansluiting aan zou kunnen. Zo'n 25% van de energieproductie vanaf 1 juni 2019 tot en met 1 maart 2020 valt boven deze limiet.

Op basis van hoeveel cycli de batterij moet leveren om de pieken af te vlakken en hoeveel energie er afgeschakeld zou moeten worden kan een capaciteit gekozen worden. Daarbij wordt ook in overweging genomen hoe vaak er FCR kan worden geleverd. Een te lage capaciteit voor de aansluiting heeft grote impact op hoe vaak FCR kan worden geleverd waardoor een groot deel van de inkomsten wegvalt.

4.2 Optimum 1.500 kW

Door de aanwezigheid van de FCR batterij heeft het park momenteel een capaciteit gecontracteerd van 1.750 kW. Uit de analyse blijkt dat 1.625 kW waarschijnlijk genoeg is maar hierin ontbreken de maanden april en mei. In de optimalisatie gaan we uit van een standaard contractwaarde van 1.625 kW om de besparing te bepalen en een FCR bandbreedte van 250 kW. Bij een capaciteit van 1.500 kW kan 99,4% van het jaar FCR geleverd worden. Slechts 40 uur in de periode (van 1.650 uur) van juni 2019 tot en met februari 2020 is de productie te hoog om binnen 1.500 kW onbeperkt te produceren en volledig FCR te leveren. De verloren 10 FCR blokken kosten slechts $10 \times 30 = 300$ euro. Nadat je ook de besparing in netbeheerkosten meeneemt kom je ruim 850 euro per jaar voordeliger uit. Het is dus de moeite om niet alle pieken kwijt te kunnen in het net.

Aansluiting (kW)	Afschakeling (kWh)	FCR (%/periode)	Peakshaving (%/periode)	Resultaat (€)	Verschil (€)
1.625	0	100%	0%	33.882	
1.500	0	99%	1%	34.738	857
1.250	0	93%	7%	34.073	191
1.000	0	84%	16%	33.357	-525
950	0	83%	17%	33.688	-193
900	556	82%	18%	33.909	28
850	3.189	81%	19%	33.909	27
800	8.840	80%	20%	33.459	-423
750	17.278	78%	22%	32.600	-1.282
700	28.850	76%	24%	31.588	-2.294

4.3 Lokaal optimum ~900 kW

Er zijn echter ook lokale optima te vinden in de tabel rond een waarde van 900 a 850 kW. Hier is het resultaat enkele euro's hoger dan de referentiecassus waarbij je een ruim bemeten aansluiting (1.625 kW) tot je beschikking hebt. Bij de stappen die gemaakt worden van 1.500 kW naar 700 kW zie je dat in de eerste instantie de hoeveelheid FCR die je kunt aanbieden snel afneemt en vanaf 1.000 kW de afname van FCR vertraagt. Te zien in het resultaat is dat je eerst onvoldoende voordeel behaalt uit de besparing op de netbeheerkosten en dat de verloren FCR inkomsten groter

zijn. Maar als het additionele verlies van FCR kleiner wordt blijven de besparingen op de netbeheerkosten oplopen totdat we in de buurt komen van de energiec capaciteit van de batterij.

Bij een aansluiting met capaciteit van 900 kW komt het voor het eerst voor dat de batterij onvoldoende capaciteit heeft om alle energie te peakshaven en treed voor het eerst afschakeling van energie op. Dit gaat echter om nog geen 600 kWh per jaar met een waarde van 60 euro. Zelfs als we nog een stapje dieper gaan wordt de verloren energie nog gecompenseerd door de lagere netbeheerkosten. De optimale maatschappelijke business case zal ligt bij de laagste limiet van 850 kW. Bij een aansluiting van 800 kW en kleiner beginnen de volumes afgeschakelde energie significant toe te nemen en wegen de besparingen in netbeheerkosten niet meer tegen elkaar op.

Op basis van een aansluiting van 900 kW en een FCR bandbreedte van 250 kW kan er op vol vermogen FCR geleverd op dagen dat de maximale PV productie niet groter is dan 650 kW. De historische dataset is doorgerekend en er blijkt dat FCR voor 82% van de tijd (juni t/m februari) kan worden geleverd. FCR kan altijd in de nacht geleverd worden van 00:00 tot 08:00 en van 20:00 tot 00:00. Overdag is de inzet van FCR afhankelijk van het seizoen en het weer. Het vierde FCR blok, van 12:00 tot 16:00 is het meest voor peakshaving gebruikte blok. Dit komt omdat de zon in zomertijd om 13:45 op zijn hoogste punt staat. Dit tijdstip valt vrijwel midden in het vierde FCR blok.

4.4 900 kW gekozen

Het optimum ligt in principe bij een capaciteit van 1.500 kW maar we hebben gekozen voor het lokale optimum met een lagere capaciteit a 900 kW vanwege de toekomstbestendigheid van deze keuze. De verwachting is dat FCR opbrengsten gaan dalen, netbeheerkosten stijgen en de afschakelkosten afnemen (omdat de kostprijs van zonnestroom verder zal dalen) waardoor peakshaving voor zonneparken steeds aantrekkelijk wordt.

Er blijkt dat je een zonnepark van 1.500 kWp en een FCR batterij van 500 kW kwijt kunt op een aansluiting van 900 kW. Deze capaciteit zorgt voor een 830 euro lager resultaat ten opzichte van het optimale scenario maar je hebt wel het voordeel dat je minder afhankelijk bent van de onzekere opbrengsten uit FCR, terwijl je met zekerheid gaat besparen op de netbeheerkosten. Op dezelfde aansluiting van 900 kW kun je dus naast het zonnepark een batterij van 500 kW kwijt die bijna het gehele jaar onbeperkt FCR kan leveren.

5 Lessen uit de praktijk



5.1 Software

Voor de peakshaving pilot was een stukje software nodig om alle data te verzamelen en uit te wisselen. Deze software, genaamd het peakshaving platform, verzamelde alle data om vervolgens beslissingen te nemen welke diensten uit te voeren met de batterij.

De software is geschreven d.m.v. een agile methode. We hebben gekozen voor een stack bestaande uit Python 3 en Mongo DB op Ubuntu server en NGINX. We hebben gebruik gemaakt van Pandas, Requests, Sendgrid, Matplotlib, MongoEngine en Pybars Python pakketen.

We zijn begonnen bij de keuze voor een voorspelmodel met een goede API. Dit is Solcast geworden, hiermee kan je, deels gratis, hoogwaardige zonvoorspellingen krijgen. Uiteraard was iedere andere dienst ook mogelijk geweest of hadden we kunnen kiezen om zelf een model te ontwikkelen. De keuze voor een commerciële dienst is zeker de moeite waard, de kwaliteit van de voorspellingen is namelijk van groot belang

voor de effectiviteit van de toepassing van peakshaving.

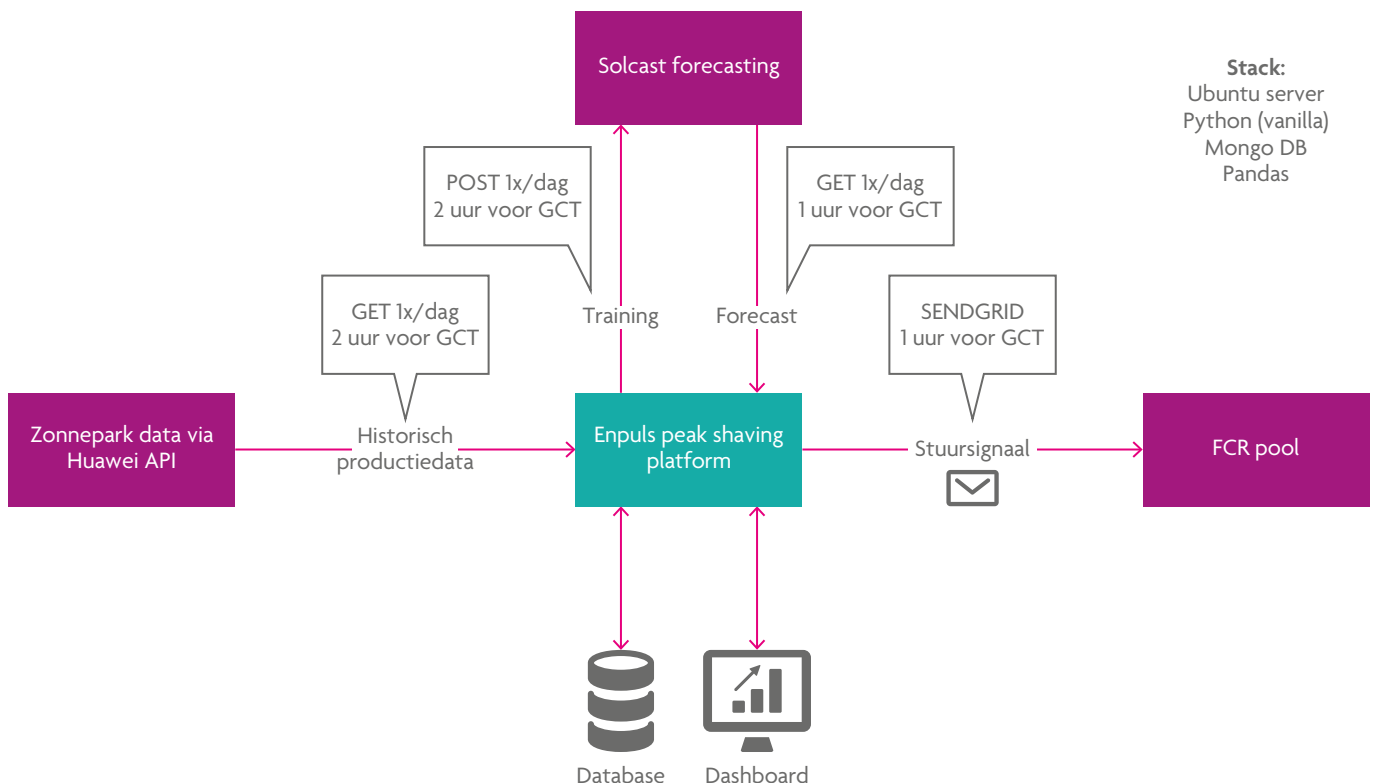
Vervolgens hebben we een algoritme uitgewerkt (beschreven in sectie 5.2) waarmee de beslissing kan worden gemaakt om voor FCR of peakshaving te kiezen per blok. Dit algoritme gebruikt Pandas om de verschillende datasets en timestamps goed te kunnen beheren en overzichtelijk te bewerken. We hebben voorspellingen voor 5 dagen vooruit en gebruiken deze om een redundante voorspelling te maken. Mocht het platform dan een keer haperen, dan kan de planning van de vorige dag worden gebruikt.

Als we een peakshaving planning hebben gemaakt maken we er een leesbaar voorbeeld van om door te sturen naar de beheerder van de FCR pool. Deze planning sturen we dagelijks per mail met toelichting hoe de planning te lezen. Voor ieder tijdvak in de komende 5 dagen wordt een toepassing gekozen, namelijk FCR of PS. Vanaf 1 juli hebben we bij ieder peakshaving blok ook een FCR prijs toegevoegd. Hierover kan je meer lezen in sectie 5.2.

FCR tijdvak			Woensdag 29 Juli	Donderdag 30 Juli	Vrijdag 31 Juli	Zaterdag 1 Augustus	Zondag 2 Augustus
Nr.	Van	Tot					
1	00:00	04:00	FCR	FCR	FCR	FCR	FCR
2	04:00	08:00	FCR	FCR	FCR	FCR	FCR
3	08:00	12:00	FCR	FCR	FCR	FCR	FCR
4	12:00	16:00	PS 120 €/MW/blok	PS 163 €/MW/blok	PS 142 €/MW/blok	PS 34 €/MW/blok	FCR
5	16:00	20:00	PS 25 €/MW/blok	PS 31 €/MW/blok	PS 23 €/MW/blok	FCR	FCR
6	20:00	00:00	FCR	FCR	FCR	FCR	FCR

Nu we alle voorspellingen hebben en op basis daarvan beslissingen kunnen maken moeten we de voorspelmodellen trainen. Het model gebruikt metadata van het zonnepark, eigenschappen zoals de oriëntatie en vermogen van panelen, naast weerdata om te voorspellen hoeveel energie er geproduceerd gaat worden. Met historische productiedata kunnen we het voorspellingsmodel trainen en de voorspellingen verbeteren. Deze data zouden we ophalen uit de omvormers maar helaas liepen we tegen ongedocumenteerde problemen aan en hebben we deze stap voor de pilot alleen handmatig uitgevoerd. Vervolgens zouden we deze data dagelijks ophalen en doorsturen ten behoeve van het trainen van het voorspelmodel.

Voor de kwaliteit van de zonvoorspelling is het beste resultaat te behalen door de voorspelling zo laat mogelijk op te halen. Omdat we handmatig werken moet er natuurlijk ook tijd zijn om de berichten te verwerken en rekening te houden met eventuele verstoringen, behandelingstijd en tijd benodigd om het model te trainen. Idealiter zou je maximaal 2 uur voor gate closure time (GCT) de historische data uit het zonnepark ophalen en daarna gelijk doorsturen om het voorspelmodel te trainen. Maximaal 1 uur voor GCT wordt de voorspelling opgehaald, de planning gemaakt en doorgestuurd naar de FCR pool beheerder.



Figuur 8: Ontwerp peakshaving platform

Bij het bedenken en bouwen van het peakshaving platform hebben we nog een aantal lessen geleerd:

- Mails kunnen in spamfilters terecht komen, gebruik bij voorkeur een API zodat je zeker weet en actief kunt controleren of berichten goed aankomen.
- Software kan duur zijn. Het inrichten van de software zodat de batterij kan peakshaven kost tijd en geld, probeer deze functionaliteit mee te nemen in de aanbesteding zodat je niet achteraf een duur meerwerk project nodig hebt om peakshaving werkend te krijgen.
- Peakshaving wordt al gauw duur als je handmatig data moet verwerken. Zorg voor een volledig geautomatiseerd proces dat zonder handmatige interventie werkt.
- Het algoritme dat gebruikt is probeert altijd de batterij zo snel mogelijk weer te ontladen maar dit is niet optimaal. Vanaf 20:00 wordt er altijd weer FCR geleverd en moet de batterij op 50% zitten. Een algoritme dat de batterij na peakshaving de batterij ontladt naar 50% is efficiënter en voorkomt onnodige slijtage van de batterij.

5.2 Beslisstrategie

5.2.1 Verbetering mei: FCR bandbreedte naar 150 kW

De beslisstrategie welke we tijdens de voorstudie hebben ontwikkeld liet al gauw zijn beperkingen zien. We bleken door de gekozen FCR bandbreedte van 250 kW op veel dagen de batterij van FCR af te halen maar vervolgens niet daadwerkelijk in te hoeven zetten voor peakshaving. Daardoor verloren we natuurlijk veel inkomsten. Na opnieuw naar de FCR bandbreedte te hebben gekeken kwamen we tot de conclusie dat we met 150 kW in plaats van 250 kW een betere keuze zouden maken en hebben we het algoritme in de loop van mei daarop aangepast.

FCR wordt meestal maar met kleine vermogens ingezet en een zwaardere inzet duurt in de regel kort. De netbeheerder rekent af op de gemiddelde piek als gemeten over een kwartier. Oftewel, we mogen voor FCR de inzet, die per seconde verschilt, uitmiddelen over een kwartier. Zo bekeken was de batterij tijdens het leveren van FCR ruim 95% van de tijd met minder dan 150 kW aan het ontladen en konden we de bandbreedte verder verkleinen. Het gaat dan

om de gecombineerde kans van 5% dat FCR boven de 150 kW zit EN de kans van 10% dat het zonnepark boven de 750 kW zit, deze gecombineerde kans is slechts 0,5%.

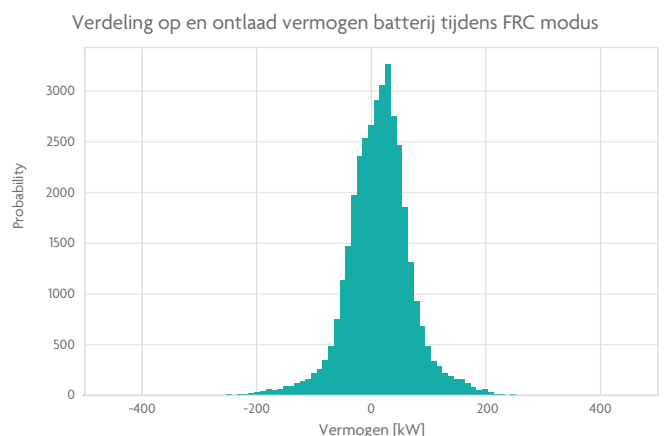
5.2.2 Verbetering juli: gelaagde FCR bieding

We liepen alsnog tegen een beperking aan. We misten soms FCR blokken met hoge FCR prijzen omdat we op basis van gemiddelde FCR prijzen bepaalden of we moesten peakshaven. Daarom hebben we vanaf 1 juli het algoritme aangepast. Op basis van de afgeschakelde energie bepaalden we hoeveel FCR moest opleveren om het break-even point tussen de toepassingen te vinden. Als we in een blok 1.000 kWh moesten afschakelen met FCR zou dit 100 euro kosten. Dus met een FCR prijs van 200 euro per MW (en dus 100 euro voor onze batterij van 0,5 MW) zouden we evenveel met FCR kunnen verdienen als we aan kosten door afschakeling hebben. Dit bod werd toegevoegd aan de planning en hiermee kon de FCR pool een gelaagde bieding doen met onze bieding apart van de andere deelnemers.

5.2.3 Verbeteringen na pilot

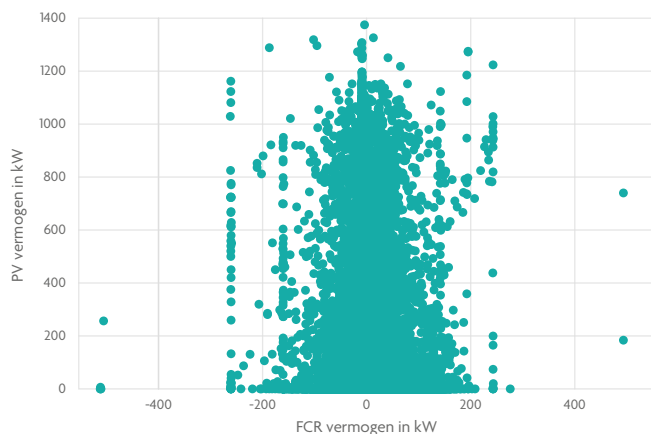
5.2.3.1 FCR bandbreedte naar 0 kW

We hebben in de voorstudie de bandbreedte voor 500 kW FCR teruggebracht naar 250 kW en tijdens de pilot verder verkleind naar 150 kW. In de eindstudie zijn we tot het inzicht gekomen dat er op een verkleinde aansluiting geen reden is om bandbreedte voor FCR te reserveren in de planning. Als de batterij voor FCR moet laden kan je meer energie kwijt op het net, als de batterij ontladt kan je minder kwijt. In principe zijn deze twee effecten gelijk aan elkaar vanwege het stochastische karakter van FCR. Dus netto zou de invloed van FCR op de benodigde grootte van de aansluiting nihil moeten zijn.



Figuur 9: Histogram FCR vermogen (positief is laden, negatief is ontladen)

Dan zou het nog zo kunnen zijn dat FCR vooral om ontladvermogen vraagt als de zon krachtig schijnt. Er is echter geen correlatie gevonden tussen het FCR vermogen en vermogen van het zonnepark.



Figuur 10: Geen correlatie gevonden tussen de stochastische inzet van FCR en de productie van het zonnepark

Let wel, op een ongelimiteerde aansluiting heb je alleen de nadelen van FCR, niet de voordelen. Stel het zonnepark van 1.400 kW en de batterij van 500 kW zitten samen op een aansluiting van 1.400 kW. Als de batterij 200 kW ontladend blijft er nog 1.200 kW over op de aansluiting, het zonnepark moet dan mogelijk gedeeltelijk afschakelen om overbelasting te voorkomen. Als de batterij het volgende kwartier omgekeerd 200 kW laadt blijft er 1.600 kW over op de aansluiting, het zonnepark houdt dus nog vermogen over op vol vermogen.

5.2.3.2 Energieverliezen en afschakeling tijdens peakshaving

Peakshaving is geen perfecte oplossing, er kan nog steeds een beetje energie verloren gaan. Een deel van de energie die je laadt gaat namelijk verloren door verliezen en de batterij kan vol zitten waardoor je alsnog wat energie moet afschakelen. Wij hebben in de beslisstrategie geen rekening met deze kosten gehouden waardoor we te optimistisch waren over de voordelen van peakshaving. De beslisstrategie moet eigenlijk simuleren hoeveel energie er verloren gaat door verliezen tijdens peakshaving en hoe veel energie er afgeschakeld wordt als gevolg van een te kleine batterij. De waarde van de energie die kan worden opgeslagen, welke anders was afgeschakeld tijdens FCR is dan bepalend voor de biedstrategie.

5.2.3.3 Afschrijving batterij

Peakshaving blokken zijn zwaarder voor de batterij dan FCR blokken, de batterij slijt dus sneller. In onze situatie is de batterij ontworpen om de minimale levensduur van het zonnepark ruimschoots te overleven, maar bij een systeem dat met minder marges is ontworpen kan peakshaving ten koste gaan van de effectieve levensduur van het systeem. Om de beslisstrategie verder te optimaliseren is het mogelijk om de toegenomen afschrijving per blok toe te voegen aan de afweging tussen peakshaving en FCR. Tijdens de pilot zou de batterij 2,2% meer levensduur verloren zijn als gevolg van peakshaving. Dit staat gelijk aan een half jaar

levensduurverkorting op een periode van 15 jaar.

Toepassing	Doorvoer	Aantal blokken
FCR	94 kWh/blok	2.110 per jaar
Peakshaving	152 kWh/blok	95 per jaar
Degradatie toename peakshaving	+62 %/blok	+2,2 %/jaar -0,5 jaar/15jaar

5.2.3.4 Parallel toepassingen combineren

In de pilot zijn twee toepassingen sequentieel gecombineerd. Dat wil zeggen dat we voor ieder moment een harde keuze maken tussen FCR en peakshaving. Het is in theorie ook mogelijk om FCR en peakshaving op hetzelfde moment uit te voeren, zij het met enkele beperkingen. Deze theorie is niet getoetst bij TenneT, dit is een aanbeveling voor vervolgonderzoek.

Voor een zogenaamde I C batterij met een capaciteit van 500 kW vermogen en 500 kWh energie heb je binnen de regels voor FCR minimaal 25% ruimte over tot de batterij vol en leeg is. Dit betekent dat je effectief tussen 35% en 65% zelf mag bepalen hoe vol je de batterij laadt onder de noemer "load management". Load management is het regelen van de laadtoestand van de batterij om te zorgen dat je altijd aan de FCR eisen kan voldoen. Dat is een speelruimte van 30% of 150 kWh, waarmee je peakshaving zou kunnen doen. Deze vrijheid heb je in de "normal state", oftewel als de frequentie minder dan 0,050 Hertz afwijkt van de doelfrequentie of relatief kort tussen de 0,050 Hertz en 0,020 Hertz afwijkt. De frequentie is 99,1% van de tijd binnen ff0,050 Hertz, dit biedt dus veel ruimte om door middel van load management het afschakelen van zonnestroom te voorkomen.

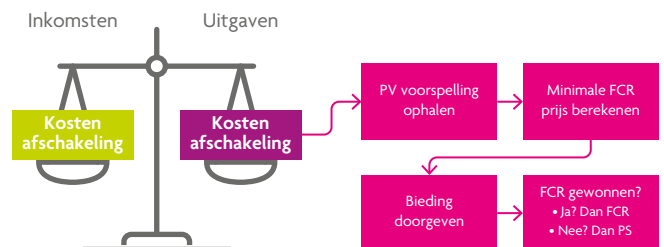


5.2.4 Samenvatting optimale beslisstrategie

De biedstrategie is als volgt:

1. Per FCR blok bepaal je, op basis van de voorspelde productie van het zonnepark, hoeveel kWh er verloren zou gaan als je de batterij niet gebruikt voor peakshaving.
2. Bereken met een model of op basis van een kengetal hoeveel energie je niet afschakelt als je de batterij gebruikt voor peakshaving. Houdt hierbij rekening met: (1) afschakeling doordat de batterij te langzaam is, (2) verliezen als de batterij vol zit, (3) verliezen doordat de batterij niet leeg was aan het begin van het blok en (4) verliezen tijdens het laden/ontladen.
3. Bereken de waarde van deze hoeveelheid energie die je niet verliest op basis van de kostprijs van die energie (LCOE). Dit zijn de “inkomsten” tijdens peakshaving.
4. Je zou nog kosten kunnen aftrekken van de inkomsten uit peakshaving om de extra afschrijving van de batterij mee te nemen. In stap 2 heb je een berekening gedaan voor hoeveel kWh er door de batterij gaat en daar kan je de degradatie uit berekenen. Je kunt een kostencomponent toevoegen op basis van de extra degradatie als gevolg van peakshaving in vergelijking met FCR.
5. Op basis van de verwachte inkomsten uit peakshaving kun je de FCR inkomsten bepalen waarmee je het break-even punt bereikt. Hierop baseer je de prijs in het FCR bod voor het betreffende blok. Bijvoorbeeld: Je hebt berekend dat de waarde van de energie die je bij peakshaving niet hoeft af te schakelen 30 euro bedraagt. De batterij heeft een vermogen van 0,5 MW, dus dan bied je voor dat blok FCR aan voor een prijs van 60 euro per MW. Als je bod geaccepteerd wordt en je FCR mag leveren zul je minstens 30 euro betaald krijgen in het betreffende blok. Dit is evenveel als de waarde van de energie die je moet afschakelen.

Bijvoorbeeld: Je hebt berekend dat de waarde van de energie die je bij peakshaving niet hoeft af te schakelen 30 euro bedraagt. De batterij heeft een vermogen van 0,5 MW, dus dan bied je voor dat blok FCR aan voor een prijs van 60 euro per MW. Als je bod geaccepteerd wordt en je FCR mag leveren zul je minstens 30 euro betaald krijgen in het betreffende blok. Dit is evenveel als de waarde van de energie die je moet afschakelen.



Figuur 11: Versimpelde weergave van biedstrategie

Deze biedstrategie is ook te gebruiken als je parallel FCR en peakshaving draait zoals eerder beschreven. In stap 1 bereken je de hoeveelheid af te schakelen energie op basis van deze parallele toepassing van FCR en peakshaving. Je zult dan tot een lager volume afgeschakelde energie komen. Neem ook de verliezen mee zoals in stap 2 bedoeld en de hogere afschrijving zoals in stap 4 bedoeld.

5.3 Hebben we de juiste keuzes gemaakt?

Volgens de planning in de pilot periode zijn er 736 FCR blokken (waarvan een groot deel 's nachts) en 182 peakshaving blokken. Aan de hand van deze planning is na de pilotfase het aantal verkeerde keuzes bepaald. Om het aantal verkeerde keuzes te bepalen zijn voor elk blok in de pilot periode de FCR en peakshaving opbrengsten berekend. In deze berekening is de echte zon PV productie, batterij inzet en FCR prijs meegenomen. De daadwerkelijke batterij inzet in de pilot wijkt af van de planning. Hier is rekening mee gehouden in de berekening en er is gecorrigeerd voor de FCR blokken die wij “valse FCR blokken” noemen, blokken waarin we wilden peakshaven maar FCR hebben moeten leveren vanwege de in sectie 1.6 genoemde beperkingen.

Wanneer zijn er verkeerde keuzes gemaakt?

- In een blok waar FCR stond gepland is er een verkeerde keuze gemaakt als: de FCR opbrengst lager is dan de peakshaving opbrengst zou zijn geweest.
- In een blok waar peakshaving stond gepland is er een verkeerde keuze gemaakt als: de peakshaving opbrengst lager is dan de FCR opbrengst zou zijn geweest.

Met opbrengst bedoelen we wat we verdienen aan FCR verminderd met de waarde van de afgeschakelde energie. Tijdens een FCR blok hebben we dus zowel inkomsten als uitgaven. In een peakshaving blok hebben we alleen te maken met uitgaven.

Er zijn twee periodes die we apart vergelijken, vanaf 1 juli hebben we in de biedstrategie namelijk een FCR prijs gekozen om de peakshaving inkomsten dynamisch af te wegen tegen de FCR inkomsten. Dit stelt ons in staat om te beoordelen of de meer verfijnde biedstrategie beter is dan de op gemiddelde FCR prijzen gebaseerde strategie.

In de gehele periode van april tot en met augustus stonden er 736 zuivere FCR blokken waarvan 459 's nachts (blok 1, 2 of 6) op de planning. In slechts 8 van deze blokken is de verkeerde keuze gemaakt en was peakshaving achteraf een betere keuze geweest. In de periode van april tot en met juni stond er 171 keer peakshaving op de planning. In 120 van deze blokken was de toepassing van FCR een betere keuze geweest. In de periode juli en augustus stond er 22 keer peakshaving op de planning. In 11 van deze blokken was de echte FCR prijs hoger dan de prijslimiet in de voorspelling en zou er FCR zijn toegepast in plaats van peakshaving. In de andere 11 blokken is er peakshaving ingepland en toegepast. Opvallend is dat in alle 11 van deze blokken de verkeerde keuze voor peakshaving gemaakt is.

Scenario	Aantal blokken gepland	Verkeerde keuze	Juiste keuze
FCR gepland 's nachts in periode apr t/m aug	459	0 (0%)	459 (100%)
FCR gepland overdag in periode apr t/m aug	277	8 (3%)	269 (97%)
Peakshaving gepland in periode apr t/m jun	171	120 (70%)	51 (30%)
Peakshaving gepland in periode jul t/m aug	11	11 (100%)	0 (0%)

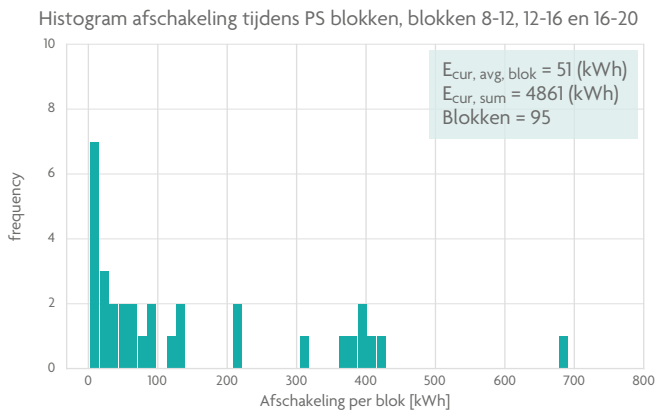
Wat ging er zoal verkeerd? In de blokken waar we beter FCR hadden kunnen toepassen dan peakshaving hebben we de verwachte afgeschakelde energie in deze blokken te hoog ingeschat. Het is maar 8 keer gebeurd dat we voor FCR hebben gekozen terwijl peakshaving de betere toepassing was geweest, dit bevestigt dat we afschakeling te zwaar hebben ingeschat en dat we het niet over stochastische voorspelfouten hebben. Er zijn twee aspecten van invloed op de verkeerde keuzes:

- De FCR bandbreedte van eerst 250 kW en later 150 kW die is aangenomen heeft sterk bijgedragen aan het te hoog inschatten van de hoeveelheid af te schakelen energie. Hierdoor is de afschakeling tot 1.000 kWh te hoog inschat en is er tot maximaal 100 euro per blok aan de minimale FCR prijs per halve MW toegevoegd.
- Mogelijk heeft een te optimistische productievoorspelling verder bijgedragen aan de verkeerde keuzes. Op basis van de gemiddelde FCR prijs van 30 euro per blok ligt het kantelpunt voor de inkomsten per toepassing in theorie rond de 300 kWh afschakeling. Dit betekent dat een foutmarge van 75 kW, of 5% van de capaciteit van het zonnepark, al tot verkeerde keuzes kan leiden.

Maar, hoe erg was het dat we verkeerde keuzes hebben gemaakt? Tijdens de gehele pilot waren er 60 blokken op het totaal van 918 blokken (7%) waar peakshaving een hogere opbrengst zou hebben gehad dan het leveren van FCR. Het verschil in opbrengsten tussen beide toepassingen was echter in een groot aantal blokken miniem. Met een biedstrategie waarin we altijd FCR leveren zouden we 600 euro aan inkomsten verloren hebben, wat laat zien dat er weinig waarde verloren gaat bij de gekozen aansluitingscapaciteit van 900 kW. Hier uit blijkt dat de beslisstrategie op zich niet slecht was waarbij met name de FCR bandbreedte verstorend lijkt te werken. Deze inzichten zijn in sectie 5.2.3 uitgewerkt.

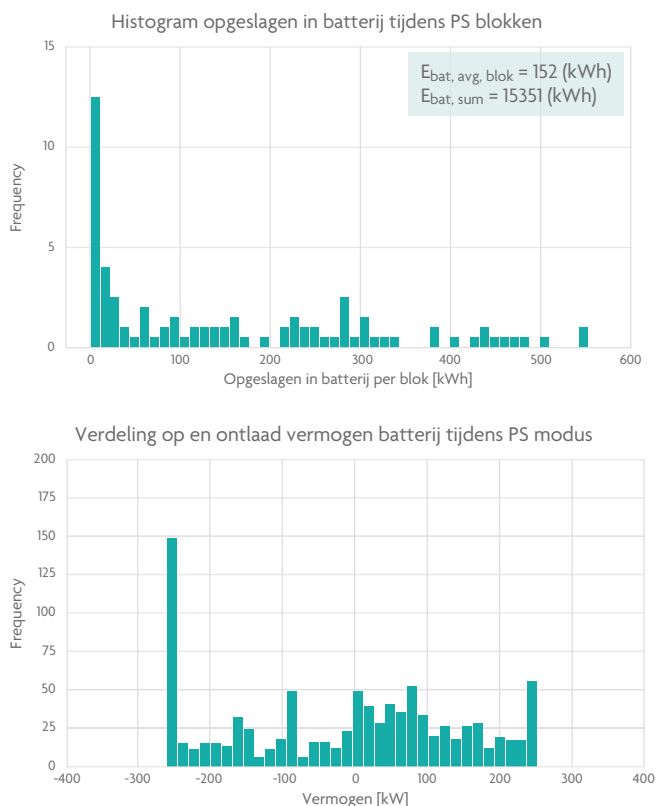
5.4 Batterij dimensionering en gebruik

Door een beperking tijdens de pilot, zoals beschreven in sectie 1.6, was de batterij gelimiteerd tot slechts 250 kW van de technische 500 kW capaciteit. Dit zorgt er voor dat er meer zon-PV productie wordt afgeschakeld tijdens peakshaving blokken dan wanneer het volledige vermogen van de batterij gebruikt zou zijn. Er is tijdens peakshaving in totaal 6.554 kWh afgeschakeld, dat is gemiddeld 36 kWh per peakshaving blok. Er werd in slechts 42 van de 178 peakshaving blokken energie afgeschakeld waarmee dat gemiddelde uitkomt op 156 kWh per peakshaving blok met afschakeling.



Figuur 12: Afschakeling tijdens peakshaving blokken

Mede door het beperkte vermogen van de batterij is gebleken dat de batterij maar één keer volledig geladen is geweest tijdens peakshaving. Op dat moment zou er slechts 10 kWh afgeschakeld zijn als gevolg van de volle batterij. Verder kwam de batterij vrijwel nooit in de buurt van volgeladen. Dit geeft aan dat de batterij op zich groot genoeg was, gemiddeld zat de batterij maar voor 152 kWh of ~25% geladen. Tenzij de vermogensbeperking ervoor gezorgd heeft dat de batterij nooit vol zat, maar we zien dat het vermogen van de batterij relatief weinig last heeft gehad van de vermogensbeperking.



Figuur 13: Gebruik van batterij tijdens peakshaving waaruit blijkt dat de batterij groot en snel genoeg is. Boven hoeveel energie er in de batterij is opgeslagen, onder hoeveel vermogen de batterij mee aan het laden en ontladen is.

We kunnen concluderen dat een batterij van 250 kW en ruim 600 kWh ruim groot genoeg is om in te zetten voor peakshaving bij een zonnepark van 1.400 kW op een aansluiting van 900 kW. Gezien de batterij voor FCR is gedimensioneerd en dus eigenlijk 500 kW zou kunnen laden/ontladen, is het dus niet nodig om de omvormercapaciteit voor peakshaving aan te passen. Ook de energiec capaciteit lijkt aardig te kloppen en is zelfs aan de hoge kant.

5.5 Efficiënt gebruik netcapaciteit

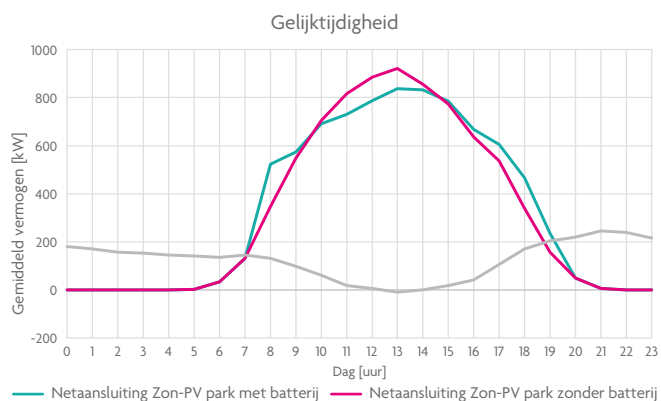
Het zonnepark en batterij zitten normaliter samen op een aansluiting aangesloten met een gecontracteerd vermogen van 1.750 kW. Uit onze analyses is gebleken dat een gecontracteerd vermogen van 1.625 kW voldoende zou zijn geweest maar vanzelfsprekend heeft WeertEnergie een waarde van 1.750 kW gekozen gezien de staffeling van aansluitwaarden die netbeheerder Enexis hanteert. Wij hebben in de pilot deze aansluiting weten te verkleinen naar 900 kW, dat is 40% kleiner dan de capaciteit van het zonnepark waarbij er ook nog ruimte is voor een batterij welke 500 kW FCR vermogen levert. Zo bekeken is de aansluiting zelfs 45%¹ kleiner geworden.

Als alle zonneparken ontworpen zouden worden volgens het voorbeeld van WeertEnergie en de batterij zouden gebruiken voor peakshaven dan zouden er twee derde meer zonnepanelen geplaatst kunnen worden op dezelfde netcapaciteit². Daarbij hebben we gezien dat het in de praktijk mogelijk moet zijn om zelfs met een nog kleinere aansluiting uit te kunnen, de hoeveelheid afschakeling tijdens peakshaving was zeer klein en de capaciteit van de batterij ruim voldoende aangezien deze veelal niet volledig werd gebruikt tijdens een peakshaving blok.

Om peakshaving uit te voeren heeft de batterij ontladen buiten de zonnige uren waardoor levering van energie uit het zonnepark een vlakker profiel heeft gekregen. De gelijktijdigheid met de nabijgelegen wijk is iets vergroot en peakshaving heeft daarmee bijgedragen aan het lokaal behouden van energie. Terwijl er niet is gestuurd op dit effect is er toch “per ongeluk” een positief effect op de gelijktijdigheid. De prikkel om piekproductie af te vlakken zorgt er automatisch voor dat je buiten de zonnepieken meer energie levert aan het net, je moet immers regelmatig de batterij omschakelen en voorbereiden op peakshaving.

¹ Dit is de uitkomst van de som $(1625-900)/1625$.

² 1500 kW aan zonnepanelen op een 900 kW aansluiting, dus 600 kW meer dan de capaciteit van de aansluiting, ofwel 2/3 meer dan 900 kW



Figuur 14: Gelijktijdigheid van zonnepark en woonwijk met en zonder invloed van peakshaving

5.6 Welke prikkels zijn er nodig?

We hebben tijdens de pilot de kosten van peakshaving door gemiste FCR inkomsten aan den lijve ondervonden. Dit heeft ons veel inzichten gegeven over de kosten en prikkels die nodig zijn om peakshaving kostenneutraal te krijgen op een FCR batterij. Daar zit ook direct de beperking van deze aanpak, de business case van een FCR batterij is niet risicovrij en wordt naar verwachting steeds minder gunstig doordat de FCR prijzen, in Nederland in een dalende trend zitten. Evengoed kunnen we veel leren van wat er nodig is om een FCR batterij te kunnen gebruiken in colocatie bij een zonnepark aangesloten op een kleine aansluiting.

In de pilotperiode was de gemiddelde FCR prijs in Nederland 67 €/MW/Blok. Met een 500 kW batterij levert FCR 73.365 €/jaar op. Er zou bij een optimale keuze tussen FCR en peakshaving 10.946 kWh afgeschakeld zijn, dat is ongeveer 0,7 % van de totale productie. Met een LCOE van 0,10 €/kWh resulteert dit in misgelopen inkomsten uit de verkoop van zonnestroom van 1.095 €/jaar. Ongeveer 5 % van de blokken in een jaar wordt er gepeakshaved, dit resulteert in misgelopen FCR inkomsten van 3.651 €/jaar. In totaal kost peakshaving dan 4.746 €/jaar, aan misgelopen inkomsten. Dit zijn de kosten die we met een prikkel moeten compenseren om peakshaving de moeite waard te maken.

We hebben twee methoden bekeken om een prikkel toe te voegen, de “wortel” en de “stok”. Let op: de gevonden bedragen zijn specifiek voor dit zonnepark, met deze batterij en deze aansluitingscapaciteit.

> We zijn dit project begonnen vanuit netbeheerkosten, dit is een “stok” die je laat betalen voor hoge pieken. Als je moet betalen voor de piek die je veroorzaakt op het elektriciteitsnet dan kun je hier ook op besparen door de piek te verlagen. Als je als zonnepark 5,14 €/kW/jaar en 0,60 €/kW/maand zou moeten betalen, oftewel 42% van de huidige transportkosten voor grootverbruikers, bespaar je precies aan netbeheerkosten wat je bent kwijtgeraakt door verloren FCR en zonnestroom inkomsten. Daarbij moeten we wel opmerken dat de business case van het zonnepark verslechtert door transportkosten te introduceren en stijgt de LCOE van het zonnepark iets. Mochten beleidsmakers deze route kiezen dan zullen bestaande zonneparken gecompenseerd willen worden voor de verslechterde business case.

> Je zou ook de SDE+ subsidie iets kunnen verhogen voor zonneparken die hun piek verlagen, dit is de “wortel”. Over de netto geproduceerde energie moet 0,0032 €/kWh meer subsidie uitbetaald worden om de verloren inkomsten exact te compenseren.

Er zijn uiteraard meer methoden te bedenken om de peakshaving kosten te compenseren. De grote aanvullende vraag is echter of de business case voor een FCR batterij sterk genoeg is. Als er geen FCR batterij komt is hier subsidie voor nodig en de door ons berekende kosten zullen daarnaast moeten worden gecompenseerd.

6 Conclusies

6.1 Weinig gepeakshaved

Hoewel dit project de peakshaving pilot heet is er eigenlijk weinig gepeakshaved. We hebben zelfs nog (veel) te vaak gepeakshaved, grotendeels kwam dit door de beperkingen van de pilot maar ook door de biedstrategie die niet optimaal was.

Er is ongeveer 20% van de tijd gepeakshaved, 40% als je alleen de blokken telt met daglicht. Na afloop van de pilot hebben we om de beperkingen beschreven in sectie 1.6 kunnen rekenen en hebben we bepaald wat het effect zou zijn van de inzichten die zijn verkregen tijdens de pilot zoals beschreven in sectie 5.2. Daarmee kwamen we tot de conclusie dat we maar 60 blokken of 7% van de FCR blokken met daglicht zouden peakshaven als we het project over zouden doen zonder beperkingen. Met de optimale biedstrategie zou je in een volledig kalenderjaar nog geen 3% van de tijd aan het peakshaven zijn. Dat maakt dat een voor FCR gedimensioneerde batterij in deze situatie optimaal is.

6.3 Kosten van peakshaving

Op basis van de verkregen inzichten hebben we vastgesteld wat de kosten van peakshaving zijn. De kosten zijn niet zo hoog, voor slechts 0,3 cent meer SDE+ subsidie per geproduceerde kWh kan dit zonnepark kostenneutraal 40% peakshaving toepassen. Dat de kosten redelijk laag zijn komt door dat een voor FCR gedimensioneerde batterij zeer geschikt is om ook voor peakshaving te gebruiken. De batterij is groot genoeg, er zou slechts 0,7% van de bruto jaarproductie zijn afgeschakeld als gevolg van de verkleinde aansluiting.

6.4 Optimale biedstrategie

Vooraf hebben we een aantal keuzes gemaakt. Een belangrijke keuze was hoe we de wisselwerking tussen FCR en het zonnepark zouden beheren. We hebben gekozen voor het reserveren van bandbreedte voor FCR om rekening te houden met het overbelasten van de aansluiting als gevolg van het leveren van 500 kW FCR. Initieel hebben we 250 kW gereserveerd in onze aannames en biedstrategie, later werd dit 150 kW. Achteraf blijkt dat het niet nodig is rekening te houden met FCR in de biedstrategie.

In de biedstrategie bereken je wat het break-even punt is waarbij FCR meer oplevert dan peakshaving. Hierbij houdt je rekening met de verliezen die je niet kunt vermijden tijdens peakshaving en eventueel een vermindering van de inkomsten om de extra degradatie van de batterij als gevolg van peakshaving te vertegenwoordigen. Deze (netto) inkomsten gebruik je om de minimale FCR prijs te berekenen, dit is het bod dat je plaats voor het leveren van FCR. Als je bod geaccepteerd wordt ga je FCR leveren, als je bod niet geaccepteerd wordt ga je peakshaven.

In de pilot zijn twee toepassingen sequentieel gecombineerd. Dat wil zeggen dat we voor ieder moment een harde keuzen maken tussen FCR en peakshaving. Het is in theorie ook mogelijk om zowel FCR als peakshaving op hetzelfde moment uit te voeren met enkele beperkingen. Deze theorie is niet getoetst bij TenneT.

6.2 Effectief netgebruik

Op de tot 900 kW verkleinde aansluiting kunnen een zonnepark van 1.400 kW en een 500 kW FCR batterij vrijwel volledig worden ontsloten. Ruim 95% van het jaar kan er FCR worden geleverd en er wordt minder dan 1% van de jaarproductie uit het zonnepark afgeschakeld. De veel kleinere aansluiting wordt vaker volledig benut en zo worden ook de distributienetwerken beter benut. De gelijktijdigheid van duurzame productie met vraag in de regio is verhoogd zonder dat hierop is gestuurd. Dit draagt bij aan het lokaal houden van energie en verlaagt de effectieve belasting van het distributienet.

6.5 Verder verkleinen van de aansluiting is mogelijk

Wat uit bovenstaande punten tevens af te leiden is, is dat de aansluiting van dit zonnepark, met de juiste prikkels, probleemloos verder verkleind kan worden. Op basis van de projectdata is te verwachten dat een aansluiting 700 kW, ofwel 50% van het geïnstalleerde vermogen van het zonnepark, zondermeer haalbaar is. Dit betekent dat je nog meer zonnepanelen op dezelfde aansluiting kunt plaatsen, wat leidt tot nog efficiënter netgebruik.

7 Aanbevelingen

7.1 Hogere subsidie voor verantwoorde zonneparken

Uit de analyses blijkt dat een subsidie voor verantwoorde zonneparken kan werken in combinatie met de toepassing van FCR. Dit is een potentieel kosten-efficiënte manier om zonneparken meer maatschappelijk verantwoord gebruik te laten maken van elektriciteitsnetten. Een generieke, technologie-onafhankelijke subsidie voor verantwoord gebruik van elektriciteitsnetten zorgt ervoor dat voor elke zonne-installatie de optimale oplossing (batterij, direct verbruik, conversie, afschakelen, et cetera) gekozen kan worden.

7.2 Zekerheid voor batterijen

SDE+ biedt nu veel zekerheid voor zonneparken. Het investeren in opslagtechnologie is daarentegen zeer riskant doordat er geen zekerheden zijn over de inkomsten voor de toepassing van FCR, de primaire inkomstenbron voor batterijen. Om peakshaving te stimuleren met behulp van batterijen zal er mogelijk iets nodig zijn, zoals SDE++ voor opslag bij zonneparken, waarmee de onzekerheid in een batterij business case wordt opgevangen.

7.3 Producenten tarief

Energieproducenten hebben momenteel geen significante prikkel voor het effectief gebruik van distributienetten. De snelle ontwikkelingen in zonnestroom productie lijken op korte termijn tegen beperkingen op te lopen als gevolg van een tekort aan transportcapaciteit. Peakshaving met en zonder opslag kunnen beide technisch zorgen voor het effectiever benutten van distributienetten maar het ontbreekt aan een prikkel. Een vorm van een transporttarief voor energieproducenten zou onderzocht moeten worden. De kosten die dit toevoegt aan duurzame energie productie kunnen wellicht via SDE subsidie gecompenseerd worden.

7.4 Energy hubs

Een batterij is maar één manier om pieken te verlagen. Maar batterijen zijn duur en hebben geen functie buiten het opslaan van energie. Stuurbare energievraag achter de meter van, of in de buurt van, een zonnepark kan er ook voor zorgen dat de effectieve piek van een zonnepark op het net verkleind wordt. Het sturen van een grootschalige boiler, koeler of andere energievragers is een veel goedkopere vorm van peakshaving. Dit betekent dat de prikkels van transportkosten en/of energiebelastingen moeten worden berekend over meerdere aansluiting, energy hubs met private netten of een andere oplossing om peakshaving tussen verschillende actoren in een regio te stimuleren.

7.5 Gelijktijdige toepassing van FCR en peakshaving

We hebben op papier potentie gevonden voor peakshaven terwijl er FCR geleverd wordt. Er zal onderzocht moeten worden of dit mag en wat de voor en nadelen zijn van de gelijktijdige toepassing van FCR en peakshaving op hetzelfde systeem. Daarbij zijn geavanceerde algoritmes nodig om het laden en ontladen van de batterij te optimaliseren.

8 Discussie

8.1 Bankability FCR batterij

Ons onderzoek is gebaseerd op de sterkstesterkst business case voor de toepassing van batterijen, namelijk die van de toepassing van FCR. De aanname is dat als zonneparken toch al van plan zijn om een FCR batterij te realiseren in colocatie, we deze kunnen inzetten voor peakshaving. De grote vraag is echter of de business case voor een FCR batterij sterk genoeg blijft en of zonneparken hier de komende jaren mee aan de slag gaan. Als er geen FCR batterij komt is er meer subsidie nodig dan wij berekend hebben.

8.2 Onaangeboorde potentie voor business model

Wij hebben geen onderzoek gedaan naar de potentie van onbalanshandel, andere systeemdiensten zoals FRR, en energieprijzarbitrage voor het business model van peakshaving. Met de toenemende volatiliteit in de balans van het energie-systeem zullen deze diensten allemaal mogelijk interessanter worden om een batterij voor in te zetten. Dit is goed nieuws voor de bankability van een batterij. Terwijl de business case van een FCR batterij momenteel verslechtert wordt de case voor peakshaving en de in deze sectie aangestipte diensten groter. De kans op een stranded asset is dus klein, een batterij is wat dat betreft als een Zwitsers zakmes dat voor vele andere diensten kan worden ingezet. Ten eerste om op korte termijn het business model te versterken, ten tweede om op termijn het business model te herzien.

8.3 Perspectief op 2025

We begonnen dit onderzoek in de wetenschap dat er geen significante prikkels zijn voor peakshaving. Zolang het plaatje financieel niet klopt zullen zonnepark eigenaren niet grootschalig aan de slag gaan met peakshaving. Er is echter zicht op een nabije toekomst met peakshaving. De subsidieregeling SDE++ wordt afgebouwd en vanaf 2025 nieuwgebouwde zonneparken zullen zonder subsidie worden gerealiseerd. Daar komt bij dat het zeer waarschijnlijk is dat de problematiek met netcapaciteit groter wordt. Waar zien wij het naartoe gaan?

8.3.1 Vraag(sturing) achter zelfde aansluiting

De SDE+ subsidie is zo ontwikkeld dat een eigen aansluiting realiseren gunstiger is dan gebruik maken van een bestaande verbruiksaanluiting. Zonder subsidie ontstaat er een prikkel om juist vraag en aanbod te bundelen om te profiteren van lagere energiebelastingen als gevolg van een lager netto verbruik. Bij aansluitingen met grote stuurbare verbruikers kunnen pieken van zowel vraag als aanbod worden afgevlakt om meer synergie te creëren. Dit bespaart energiebelasting maar ook netbeheerkosten.

8.3.2 Vraag(sturing) in de directe omgeving

Vraag(sturing) in de directe omgeving In het verlengde van ontwikkelingen achter de meter is er potentie voor het versoepelen van de regel om alle heffingen te baseren op het aansluitpunt. Voor de netbeheerder gaat het voornamelijk om een schaarste aan transportcapaciteit. In de decentrale netten gelijktijdig verbruikte energie

heeft geen transportcapaciteit nodig. Virtuele saldering, local energy communities en energy hubs zijn concepten die zorgen dat meerdere lokale actoren kunnen samenwerken om duurzame energie beter lokaal te benutten.

8.3.3 Regels voor effectief netbeheer

Regelgeving kan werken om ontwikkelaars een bepaalde AC/DC ratio te laten kiezen voor een zonnepark. We zien het in Duitsland al waar je niet zomaar voor iedere kWp een kW aansluitvermogen mag aanvragen. Met de toenemende druk op netcapaciteit komen er mogelijk meer dwingende regels voor het aansluiten van zonneparken. Tot die tijd zijn er meer vrijblijvende regels en initiatief vanuit de sector zoals het recent ondertekende convenant 'Stroom betaalbaar op het net'. Dergelijke initiatieven zijn een stimulans voor peakshaving. Hoe lager de maximale capaciteit van de aansluiting hoe groter de verloren energieproductie zal zijn en dus hoe groter de prikkel wordt om een batterij in te gaan zetten.

8.3.4 Netbeheerder mandaat

Nogmaals kijken we naar Duitsland waar netbeheerders al jaren een mandaat hebben om op kritieke momenten zonneparken tijdelijk af te schakelen tegen een gereguleerde vergoeding. Dit wordt Einspeißemanagement, of invoedingsmanagement, genoemd. De vergoeding die het zonnepark ontvangt is vooraf bekend zodat je weet of het de moeite is om op die momenten de energie op te slaan. Een mandaat voor de netbeheerder om af te schakelen is een zeer krachtig instrument dat overwogen zal worden als de voortgang van de transitie in het geding komt.

9 Bronnen

- https://eepublicdownloads.blob.core.windows.net/public-cdn-container/clean-documents/Network%20codes%20documents/NC%20EB/20200220_FCR_Announcement_Market_Implementations_2020.pdf
- <https://www.tennet.eu/electricity-market/ancillary-services/fcr-documents/>
- <https://www.regelleistung.net/ext/static/prlnl>
- <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2020>
- <https://www.enexis.nl/zakelijk/duurzaam/beperkte-capaciteit/gebieden-met-schaarste>
- <https://www.stedin.net/zakelijk/congestiemanagement-en-transportprognoses/beschikbare-netcapaciteit>
- <https://www.liander.nl/transportschaarste/beschikbaarheid-capaciteit>
- Eindstudie Peakshaving Pilot Altweerterheide, Eindrapport pilot (20-1531 rev.2). DNV GL Arnhem, 11 november 2020. (verkrijgbaar op aanvraag)





Bezoekadres

Enpuls werkt in LAB.073
Orthen 63
5231 XP 's-Hertogenbosch

Postadres

Postbus 856
5201 AW 's-Hertogenbosch

www.enpuls.nl



SCHOLTenergy



TNO

