



# Optimaliseren van eigen verbruik in de gestapelde bouw met de stroomverdelers.

Openbare eindrapportage behorend bij project: Herman's Smart  
Grids: fysieke stroomsturing van vraag & aanbod (TESG114003)

**Publicatiedatum: 1 oktober 2019**

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van  
Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies,  
Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Onder-  
nemend Nederland.

<b>Herman's Smart Grids</b>	<b>1</b>
<b>Achtergronden</b>	<b>2</b>
Energie uit de zon is niet regelbaar	3
Herman wordt flexibel	3
Zelfconsumptie en zelfvoorziening	4
Voorspellen	4
Algoritme	6
Verbruik beïnvloeden	6
Simulatie en theoretisch onderzoek	7
Simulatie door SEAC	7
Simulaties door LENS	8
Techniek	<b>10</b>
Aansturing van slim witgoed	10
Aansturing van warmtepompen	11
Accusystemen	11
<b>Toepassing in pilots</b>	<b>12</b>
Pilot locaties	12
Eerste fase: verbruik meten	13
Platform	15
Tweede fase: Herman reactief laten schakelen	16
Herman software	16
Schakelen en de omvormer	16
Schakelalgoritme	17
Derde fase: actief schakelen	18
Resultaten en conclusies	<b>19</b>
Afstemmen van vraag en aanbod op lokaal niveau	19
Bijdrage aan zelfconsumptie per type apparaat	19
Witgoed	19
Warmtepompen	19
Opslag	19
Elektrisch vervoer	20
Smart grid technologie	20
<b>Kennisdisseminatie</b>	<b>21</b>

# Herman's Smart Grids

We streven in de energietransitie naar zoveel mogelijk energie uit duurzame bronnen. Een probleem met duurzame energie, en daarmee een van de grote uitdagingen voor de energietransitie, is het feit dat de productie van duurzame bronnen afhankelijk is van variabelen waar de mens weinig of geen invloed op heeft: windsnelheid, zoninstraling, hoeveelheid stromend water etc. Dat heeft tot gevolg dat energieaanbod en energievraag niet altijd gelijk zijn, wat wel nodig is in het elektriciteitsnet. Ook op kleinere schaal is die balans vaak handig, zowel technisch als financieel. Onbalans betekent technisch dat er op sommige momenten zoveel stroom wordt teruggeleverd dat de spanning te hoog wordt en omvormers uitvallen. In het ergste geval raakt de aansluiting of het net overbelast en valt uit. Onbalans heeft op dit moment financieel geen gevolgen, want je mag salderen (tot bepaalde grenzen). Als salderen niet meer mogelijk is, is het financieel minder aantrekkelijk om de energiebalans in je woning met het net te regelen. LENS nam in 2014 initiatief om te onderzoeken hoe deze balans op andere, mogelijk ook financieel aantrekkelijker wijze, gerealiseerd kan worden in woningen die zijn aangesloten op onze Herman de zonnestroomverdelers.

## Consortium

Het project is gezamenlijk uitgevoerd door de volgende partijen:

### **LENS & DGM**

LENS en DGM hebben samen Herman de zonnestroomverdelers ontwikkeld om betere exploitatie van zonprojecten in de gestapelde bouw mogelijk te maken.

### **SEAC**

Het Solar Energy Application Centre is een onderzoekscentrum gericht op systemen en toepassingen van zonne-energie. ECN en TNO werken samen in het SEAC.

### **BeNext**

BeNext ontwikkelt, verkoopt en installeert eigen home automation producten op basis van Z-wave gateway technologie.

### **Generic Media**

Generic Media ontwikkelt en beheert IT-oplossingen voor grootschalige dataverwerking en webbased applicaties o.a. voor Herman de zonnestroomverdelers.

# Achtergronden

## Energie uit de zon is niet regelbaar

De hoeveelheid energie die uit zonlicht kan worden opgewekt, varieert. Met het tijdstip op de dag, het seizoen, de geografische locatie, maar ook met de hoeveelheid bewolking en is verder ook afhankelijk van de gebruikte apparatuur. Daardoor is de productie van zonne-energie zonder aanvullende maatregelen lastig af te stemmen op het verbruik. Dit is echter een natuurkundig vereiste in een elektrisch systeem. De hoeveelheid benodigde energie moet altijd gelijk zijn aan de hoeveelheid geproduceerde energie, anders daalt de spanning en/of de frequentie en valt uiteindelijk het gehele systeem uit. Een tekort aan energie uit de zon is aan te vullen met energie uit het elektriciteitsnet. Als er minder verbruik is dan er opgewekt wordt kan dit teruggeleverd worden aan het net.

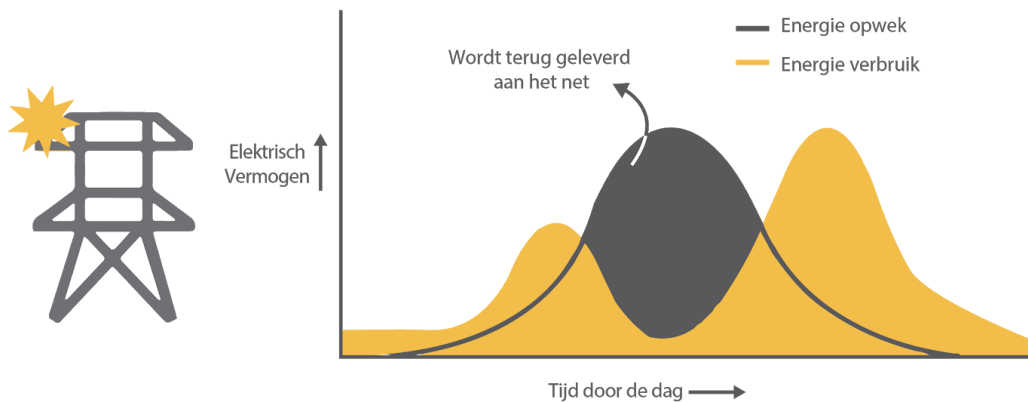
Het verschil tussen opwek en verbruik vangen we op dit moment op met behulp van de aansluiting op het elektriciteitsnet. Dat heeft echter nadelen: energie uit het net is nog niet altijd volledig duurzaam. Daarnaast kan het net overbelast raken wanneer teveel energie aan het net teruggeleverd wordt. In het ergste geval kan hierdoor (een deel van) het net uitvallen. De kans dat je eigen aansluiting overbelast wordt, is aanzienlijk groter en het risico dat je PV systeem uitvalt door een te hoge spanning is reëel. Daarnaast is het kabinet voornemens om de bestaande salderingsregeling vanaf 2023 geleidelijk af te bouwen<sup>1</sup>. Dit zou betekenen dat er voor geleverde energie meer betaald zal gaan worden dan er voor teruggeleverde energie vergoed wordt. Terugleveren is daarmee ook financieel minder aantrekkelijk. Dat lijkt ook logisch aangezien je het net eigenlijk als flexibilitiedienst gebruikt waarvoor je dan een vergoeding gaat betalen. Dat roept de vraag op: kunnen we met Herman de zonnestroomverdelers een dergelijke flexibilitiedienst goedkoper realiseren en wat is daar dan voor nodig?

## Herman wordt flexibel

Herman de stroomverdelers verdeelt nu de opgewekte zonne-energie over de aangesloten woningen op basis van de streefwaarde per woning. De Herman kijkt daarbij niet naar opwek en verbruik en houdt geen rekening met eventuele overbelastingen of te hoge spanning van het net. In 2014 ontstond het idee om de werking slimmer te maken. Streven is om opwek (grijs in de grafiek) zo goed mogelijk samen te laten vallen met verbruik (geel in de grafiek). Dit wordt de "zelfconsumptie" genoemd, die daarmee op 100% zou uitkomen. Dit betekent dat de volledige opwek op locatie verbruikt wordt en dus niet terug wordt geleverd aan het net.

---

<sup>1</sup>Wiebes, E.D. (25 april 2019). Stimulering Duurzame Energieproductie (Kamerbrief).



Om opwek en verbruik op elkaar te kunnen laten aansluiten is informatie over opwek en verbruik nodig. In ieder geval actuele metingen, maar liever nog een voorspelling. Met actuele metingen zou je immers real-time moeten reageren om beide gelijk te krijgen. Met voorspellingen kan er ingespeeld worden op toekomstige veranderingen en kan de snelheid van reageren verlaagd worden. Dit kan wenselijk zijn omdat niet alle apparatuur even gemakkelijk real-time te besturen is. Verlagen van de reactiesnelheid betekent echter wel dat opwek en verbruik niet altijd exact gelijk zijn. Het systeem moet een oplossing hebben om deze verschillen op te vangen. Gebeurt dit niet, dan resulteert dat in onbalans en valt het systeem uit.

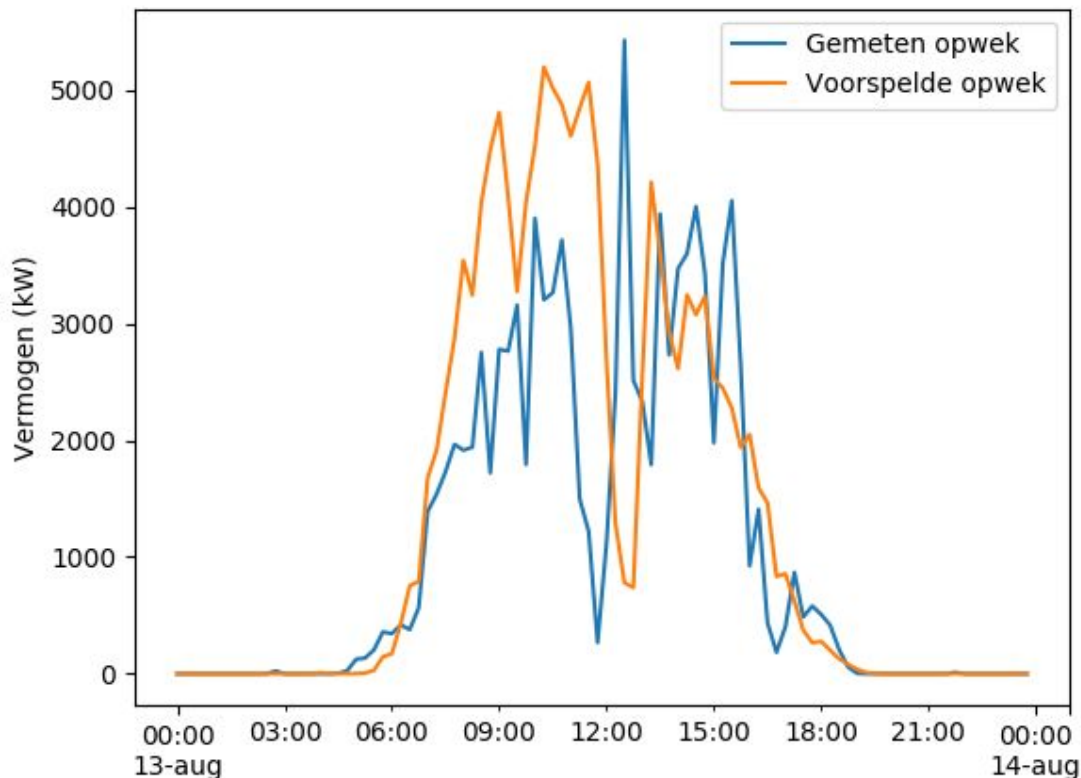
## Zelfconsumptie en zelfvoorziening

Zelfconsumptie is het percentage van de opgewekte energie die direct in de woning zelf verbruikt wordt en heeft dus vooral te maken met teruglevering.

Zelfvoorziening is het percentage van de verbruikte energie die zelf opgewekt wordt en heeft dus vooral te maken met levering.

## Voorspellen

Voor het voorspellen van opwek zijn steeds betere methodes beschikbaar. Wij hebben er voor gekozen om in het project ervaring op te doen met [Icarus](#), een dienst van Alliander. Icarus combineert locatie, weersvoorspellingen en metingen uit de omgeving. De opwek voorspellingen door Icarus zijn niet perfect, maar zijn voldoende bruikbaar. In onderstaande grafiek is te zien dat voorspelde opwek en daadwerkelijk gemeten opwek in grote lijnen overeenkomen. Doordat opwek sterk afhankelijk is van locatie, kan het voorkomen dat weersomstandigheden een afwijking veroorzaken die niet of op een ander moment was voorspeld.



Voor het voorspellen van verbruik is het mogelijk om het verbruik van woningen te meten en bij te houden. Bewoners hebben vaak bepaalde patronen in hun energieverbruik. Met deze metingen kunnen patronen worden herkend, waarmee het tot op zekere hoogte mogelijk is om verbruik van een woning te voorspellen.

Er zijn diverse opties om verbruik van woningen te meten:

1. Het uitlezen van de slimme meter. Dit kan onderverdeeld worden in twee opties:
  - a. P4 poort: maximaal elke 15 minuten een waarde, die je een dag later krijgt;
  - b. P1 poort: bijna real-time metingen.
2. Het verbruik van apparaten binnen woningen meten.

We hebben gekozen voor een combinatie van optie 1b en 2; het uitlezen van de P1 poort van de slimme meter en het meten van het verbruik van enkele apparaten. Meer informatie over deze combinatie is te vinden in het hoofdstuk [Verbruik meten en apparaten aansturen](#).

In de praktijk komen voorspellingen op basis van patronen niet altijd uit wat voorspellen lastig maakt. Uit onze analyses is gebleken dat het verbruik in sommige woningen meestal een patroon volgt, terwijl in andere woningen amper een patroon is te vinden in verbruik. Dit heeft er mee te maken dat het leefgedrag van bewoners in het ene geval vrij regelmatig is, en in het andere geval minder regelmatig. Verbruikspatronen in het gedrag van individuele bewoners vinden en herkennen is daarom een uitdaging.

Om toch verbruik te voorspellen hebben we ervoor gekozen om voor alle woningen een verbruiksprofiel op te stellen. Zo'n profiel kan worden gezien als het verbruik in een 'gemiddelde week' van een woning. Uit ons onderzoek kwam naar voren dat de meeste bewoners een redelijk vast weekpatroon hebben. Met het verbruiksprofiel kan op ieder moment van de dag een voorspelling worden gemaakt van het verwachte verbruik.

## Algoritme

Het juist voorspellen van het verbruik en de opwek en beslissen of het zinvol is om actie te ondernemen wordt beïnvloed door diverse aspecten:

1. Hoe nauwkeurig is de voorspelling, zowel van verbruik als van opwek?
  - a. Komt de voorspelde wolk toch net niet over de panelen, dan klopt de prognose niet;
  - b. En doordat de zon blijft schijnen, is er minder verwarming nodig, waardoor het verbruik in de woning afneemt;
  - c. Waardoor je alsnog gaat terugleveren aan het net.
2. Weegt het verlies aan energie door het omschakelen (de omvormer valt enige tijd uit, moet weer opstarten) op tegen de winst (de toegenomen zelfconsumptie) van het schakelen?
3. Hoe vaak kun je schakelen zonder dat de componenten in het systeem daar schade van oplopen?

Zoals gezegd: de opwek wil je liever niet beperken. Het verbruik kun je echter wel beïnvloeden, en dat gaat met sommige apparaten beter dan met andere.

Doordat schakelen energieverlies oplevert, wordt de beslissing om te schakelen ingewikkelder. Immers: er wordt verlies geleden door te schakelen. Dat verlies moet opwegen tegen het positieve effect van schakelen. Dat is vooral een financiële afweging die gemaakt moet worden.

Afgezien daarvan moet er ook rekening gehouden worden met de levensduur van de apparatuur die betrokken is. Door vaker te schakelen, verkort je de levensduur van apparatuur meer. De fabrikant van de omvormer geeft weliswaar geen harde cijfers, maar vaker dan een paar keer per dag schakelen lijkt niet verstandig.

Een ander aspect is dat alle woningen over het jaar heen gezien wel de beloofde energie moeten krijgen. Het zou kunnen voorkomen dat de Herman besluit om een andere woning te leveren dan de woning die op dat moment vanwege het verbruik een betere keuze zou zijn.

## Verbruik beïnvloeden

Het verbruik gekoppeld aan het PV systeem kan op diverse manieren beïnvloed worden:

- Verhogen of verlagen
- Verplaatsen in de tijd

Verhogen of verlagen is maar met weinig apparaten mogelijk. Een (vaat-)wasmachine of droger bijvoorbeeld heeft een vast patroon van verbruik zodra je deze aan hebt gezet met een bepaald programma. Bij een koelkast is het iets makkelijker: je zou, als het apparaat dat kan, meer of minder kunnen koelen. En ook bij een warmtepomp is dit soms mogelijk: je kunt de temperatuur van het water in het buffervat sneller of minder snel verhogen. Maar daarbij loopt je al snel tegen grenzen aan. En dan moet de bewoner daar natuurlijk ook nog mee akkoord gaan.

Verplaatsen in de tijd is met witgoed in principe makkelijker, maar hier gaat het gedrag van de bewoner een belangrijke rol spelen. Een was draaien als de zon schijnt is lang niet voor iedereen wenselijk. Voor wassen is er bovendien menselijke interactie nodig: de was in de machine stoppen, er weer uit halen en ophangen (of in de droger stoppen). Bovendien: als er schone kleren nodig zijn, moet er gewassen worden.

Een andere mogelijkheid tot beïnvloeden van het verbruik, is het tijdelijk opslaan van de opgewekte energie. In bijvoorbeeld een accu die daarvoor speciaal geplaatst is, of een accu die al voor de deur staat: de elektrische auto. Daarbij kun je spelen met zowel het moment (eerder of later opladen) als met de hoeveelheid en stromingsrichting van de energie (snelheid van (ont-)laden).

## Simulatie en theoretisch onderzoek

### Simulatie door SEAC

Om uit te vinden wat de mogelijkheden zijn voor flexibilisering met de Herman, is SEAC gevraagd een model te maken van de Herman en de apparatuur waarmee we de Herman flexibel willen maken. Dat model is vervolgens gevoed met de op dat moment beschikbare meetdata (data van 1 van de 2 pilot locaties over het eerste halfjaar van 2017). Uit dat onderzoek zijn deze conclusies naar voren gekomen:

1. De huidige zelfconsumptie is rond de 22% en de zelfvoorziening rond 10%.
2. De zelfconsumptie is te verhogen tot ongeveer 40% door slim te schakelen. De zelfvoorziening is te verhogen tot bijna 20%.
3. Flexibilisering met “slim” witgoed is weinig zinvol. De hoeveelheid te verschuiven energie is klein.
4. De manier waarop de Herman tot nu toe werkt, beperkt de mogelijkheden flink.
5. Het plaatsen van opslagsystemen verhoogt de zelfconsumptie, wat het terugleveren weliswaar beperkt, maar kan teruglevering niet volledig voorkomen.

De laatste conclusie van SEAC is eenvoudig te verklaren: gedurende de periodes dat er veel opwek is (periodes met veel zon), is er vaak ook een verlaagd verbruik: er is minder verlichting nodig, minder verwarming, langer daglicht en de was drogen kan ook buiten. Daardoor zit een opslagsysteem snel vol en kan het gedurende de nacht weinig ontladen. Wanneer er de volgende dag dan weer sprake van veel opwek is, kan het systeem dat niet meer opslaan aangezien het systeem niet volledig leeg is. Hieronder is te zien dat het



opslagsysteem in maart en april steeds verder vol loopt (de “state of charge” loopt, gemiddeld over die periode heen, op) en uiteindelijk zit het opslagsysteem op een aantal dagen voor 100% vol. Na een aantal dagen met minder zon eind april, raakt het opslagsysteem weer meer ontladen. De SoC staat ingesteld op minimaal 30%, die ondergrens wordt in die periode met minder zon al vrij snel gehaald.



Op basis van deze conclusies is besloten om niet verder te gaan met slim witgoed. Inmiddels waren wij ook al tot de conclusie gekomen dat slim witgoed meer problemen kent:

- “Slimme” versies van witgoed zijn vaak aanmerkelijk duurder dan de standaard versies. Huurders zullen niet snel geneigd zijn deze aan te schaffen.
- Aansturen van slim witgoed moet vaak via eigen protocollen en hardware van de fabrikanten. Fabrikanten bleken niet erg bereid hun protocollen open te stellen, open protocollen toe te passen of directe aansturing van de hardware toe te staan.
- Uit andere onderzoeken is bekend dat het beïnvloeden van het gebruik van witgoed door bewoners (wat een gedragsverandering vraagt), lastig is.

Leerpunt: een hoge zelfconsumptie is met de huidige Herman niet haalbaar. Toevoegen van een opslagsysteem verhoogt de zelfconsumptie, maar ook dan is een hoge zelfconsumptie niet haalbaar.

## Simulaties door LENS

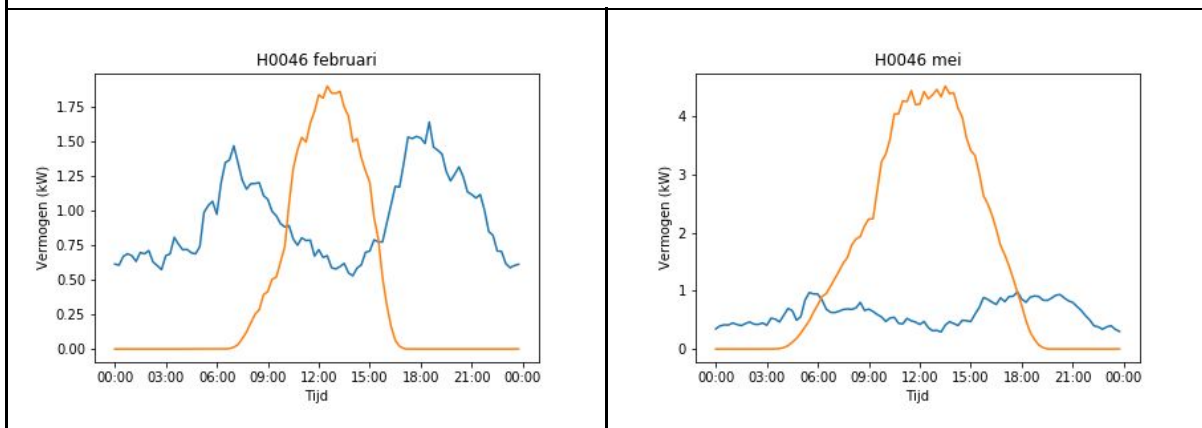
LENS heeft zelf ook simulaties gedaan, nadat er een betere dataset opgebouwd is. Uit deze data en de simulaties van twee scenario's, komen deze conclusies:

1. Op de locatie waar warmtepompen worden gebruikt voor verwarming (OD) is de gemiddelde zelfconsumptie 15% en zelfvoorziening 5%.
2. De apparaten met het hoogste energiegebruik zijn in deze nieuwe woningen de kokendwaterkraan en televisie. De wasmachine staat pas op de 6e plaats, achter vrieskast, afwasmachine, koelkast en wasdroger. De warmtepomp is hier buiten beschouwing gelaten, maar zal een nog veel groter energiegebruik hebben. Ook kwam bij enkele woningen de computer als grote gebruiker naar voren. Dat komt zeer waarschijnlijk omdat in deze woningen nog een zogenaamde "desktop" computer gebruikt wordt en geen laptop of tablet.
3. Door vaker te schakelen, wetende wat het verbruik gaat zijn, kun je de zelfconsumptie ongeveer verdubbelen.
4. Door een opslagsysteem met een opslagcapaciteit van enkele tientallen kilowatturen toe te voegen, is een zelfconsumptie tot ongeveer 90% haalbaar. Ook een kleiner opslagsysteem kan de zelfconsumptie flink verbeteren, zonder dat er geschakeld hoeft te worden.

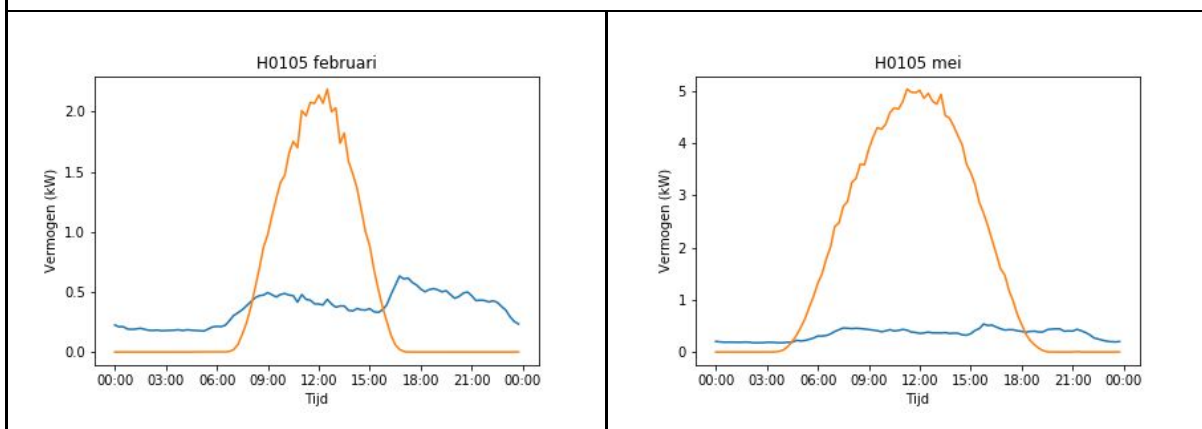
Verbruik per apparaat	Aantal	kWh per dag	kWh per jaar	% van totaalverbruik
computer	3	2,86	1044	17,9
warmtepomp (warm water)	37	1,31	478	15,0
waterkoker	9	0,86	315	9,3
televisie	6	0,79	289	7,0
vriezer	8	0,44	160	6,0
afwasmachine	43	0,32	117	3,2
koelkast	9	0,3	111	3,2
droger	43	0,23	84	2,7
wasmachine	46	0,23	83	2,6
sauna	3	0,12	42	1,0
koffiezetapparaat	2	0,09	32	1,0

Onderstaande grafieken tonen de gemiddeld waargenomen opwek en het gebruik (en daarmee de zelfconsumptie) in februari en mei op de twee pilot locaties. Er is een duidelijk verschil in het verbruikspatroon te zien door ander gedrag van de bewoners. Op de pilotlocatie OD met warmtepomp voor verwarming is in februari zeker en in mei mogelijk de opwek nog over de dag te verdelen door plaatsing van een (relatief kleine) accu. Op de pilotlocatie AQ zonder warmtepomp voor verwarming is de opwek overdag zelfs in februari al zo hoog dat de teveel opgewekte energie in de avond nauwelijks verbruikt zal worden. Hierdoor kan de accu zelfs in de winter vollopen. In de zomer is een opslagsysteem al helemaal geen oplossing meer. De zelfconsumptie zal op beide locaties over het jaar heen gemeten vrijwel zeker geen 100% kunnen zijn. Dit blijkt ook uit de gedraaide simulaties.

Opwek (oranje) en verbruik (blauw) op pilot-locatie OD, met warmtepomp voor verwarming



Opwek (oranje) en verbruik (blauw) op pilot-locatie AQ, zonder warmtepomp voor verwarming



## Techniek

Tegelijk met het meten van opwek en verbruik en het simuleren van de beoogde situatie, werd er onderzoek gedaan naar de apparatuur waarmee fase drie zou worden uitgevoerd. Het idee was dat we slim witgoed zouden plaatsen en vanuit ons platform zouden aansturen, de aanwezige warmtepompen zouden gaan aansturen, vooral door de temperatuur van het boiler vat te beïnvloeden.

## Aansturing van slim witgoed

Er is contact gelegd met BSH en LG over de toepassing van door hen geleverd slim witgoed in dit project. Daaruit bleek dat fabrikanten niet snel warmlopen voor deelname in pilots van andere partijen. Contact krijgen met de benodigde technici is al een probleem. Deelname en plaatsing van witgoed bleek een te grote hobbel. Tegenover de conclusie uit de simulaties van SEAC dat er met witgoed weinig te sturen valt, heeft geleid tot het besluit om slim witgoed uit het project te halen.

## Aansturing van warmtepompen

Er werd ook contact gezocht met de leveranciers van warmtepompen aanwezig op de pilot locaties. Daar was de problematiek iets anders: leveranciers bleken niet graag bereid de door hen onderhouden warmtepompen beschikbaar te stellen. Op 1 pilot locatie moesten de onderhoudscontracten nog afgesloten worden. Op de andere locatie waren die contracten er al wel, maar bleek de betreffende afdeling dermate druk bezet dat er voor ons project geen capaciteit was. We hebben uiteindelijk onze pogingen om toegang te krijgen tot het stuursysteem van deze warmtepompen opgegeven.

Leerpunt: warmtepompen worden bij voorkeur met een open, standaard protocol gekoppeld. Smart Grid ready lijkt daar geschikt voor, maar komt voor dit project te laat.

## Accusystemen

Leverancier [Top Systems](#) is als partner aangehaakt bij het project om accusystemen te leveren en aan te sturen. Al snel bleek ook daar de (ontwikkel-)capaciteit beperkt en bleek ook Victron (leverancier van apparatuur waarvan Top Systems gebruik maakt) te weinig capaciteit te hebben om aan dit project deel te nemen. Omdat wij in de eerste fase niet met accusystemen aan de slag zouden gaan, is daar niet direct actie op ondernomen. Er is wel met OxEnergy onderzocht of samenwerking interessant kon zijn. Samen met BeNext is een interface gemaakt naar hun Taurus opslagsysteem. Er bleek toen echter geen tijd meer te zijn om dit opslagsysteem nog zinvol in te zetten binnen het project.

Opslagsystemen zijn wel meegenomen in de simulaties, omdat uit de simulaties duidelijk werd dat vooral daarmee de gelijktijdigheid te verhogen is.

# Toepassing in pilots

## Pilot locaties

Bij de start van het TKI project was een woningcorporatie aangehaakt die zou zorgen voor pilot locaties. Direct na toekenning van de subsidie koos deze organisatie echter een nieuw duurzaamheidsbeleid waarin deelname aan onderzoeksprojecten geen plek meer had. Zij stapten uit het TKI project, waarna LENS is gaan zoeken naar andere pilot locaties. Criteria hierbij waren:

1. gestapelde bouw
2. aanwezigheid van slimme meters
3. gasloos
4. aanwezigheid van of mogelijkheid tot het plaatsen van PV
5. aanwezigheid van of mogelijkheid tot het plaatsen van een Herman
6. afstand tot Amsterdam niet te groot (vanwege de verwachting dat er frequente bezoeken nodig zouden zijn)

Een woningcorporatie die wilde deelnemen is niet gevonden, wel twee zogenaamde CPO (Collectief Particulier Opdrachtgeverschap) VvE's die al klant waren van LENS: De bewoners daarvan bleken in grote meerderheid (>80%) bereid om deel te nemen aan de pilot. Een wezenlijk verschil is dat het hier geen huurders maar huiseigenaren betreft. LENS werkt vooral voor huurders bij woningcorporaties en deze hebben andere belangen ten aanzien van hun woning, apparatuur en energieverbruik. Voordeel van de twee locaties is dat ze zeer verschillend zijn:

- Locatie AQ is nieuwbouw, buiten de stad, primair bedoeld voor 50+-ers. Hier zijn 38 van de 57 huishoudens bereid gevonden deel te nemen en is 72,5 kWp PV-vermogen beschikbaar (1,3 kWp, vergelijkbaar met ruim 4 panelen, per appartement). Hier zijn warmtepompen aanwezig voor het warmwatergebruik in de woning, zogenaamde booster warmtepompen.
- Locatie OD is een gerenoveerd schoolgebouw in Amsterdam met vooral jonge gezinnen. Hier waren 9 van de 10 huishoudens bereid om deel te nemen en is 17,1 kWp PV-vermogen beschikbaar (1,7 kWp, vergelijkbaar met bijna 6 panelen, per appartement). Hier zijn warmtepompen aanwezig voor warmwater en verwarming in de woning.

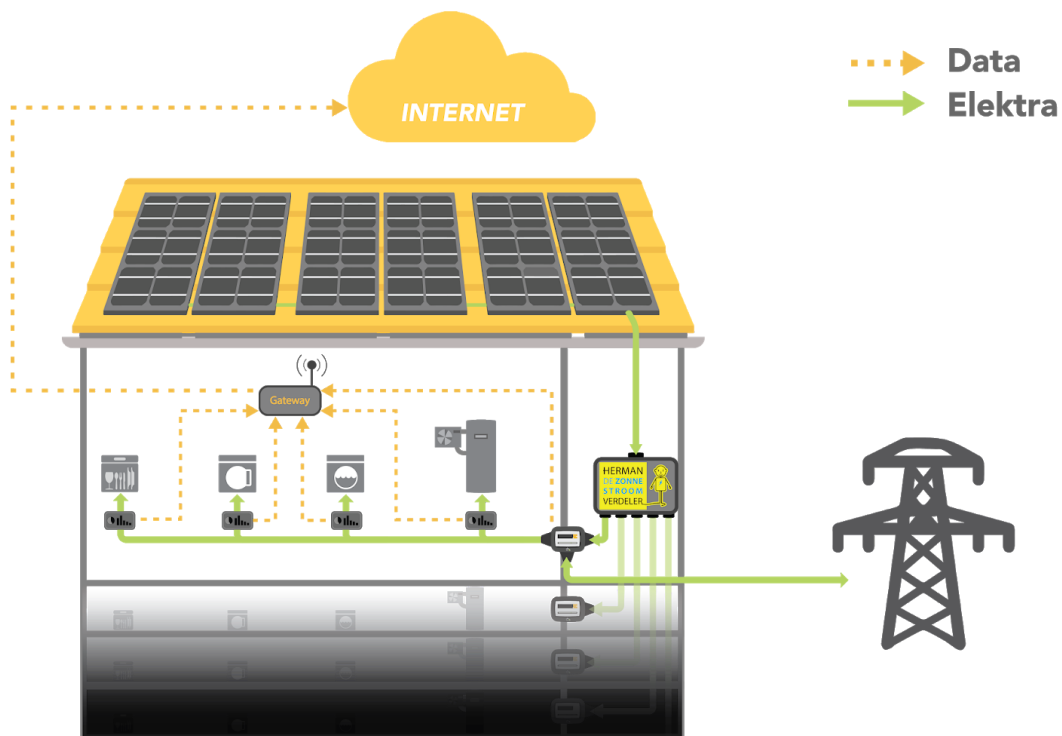
Op beide locaties betreft het *all-electric*-appartementen, zonder gasaansluiting. Op locatie AQ is een centrale warmtepomp aanwezig voor verwarming, deze kon echter niet meegenomen worden in de pilot.

Het project kende drie fasen:

1. meten
2. reactief verdelen
3. actief verdelen

De eerste fase was bedoeld om de as-is situatie vast te leggen. De nulmeting als het ware. Daarna zou het schakelgedrag van de Herman gewijzigd worden op basis van opwek en verbruik per woning. Tot slot was het plan om het verbruik te gaan sturen. De laatste fase is helaas niet gerealiseerd. Zie hiervoor het betreffende hoofdstuk [Derde fase: actief schakelen](#).

## Eerste fase: verbruik meten



Bij de aanvraag van het project hebben we twee partijen gevraagd hun domotica-apparatuur in te zetten: [Net2Grid](#) (Zigbee technologie) en [BeNext](#) (Z-Wave technologie). Idee was om met beide technologieën ervaring op te doen. Al vrij snel liet Net2Grid ons weten geen tijd/capaciteit te hebben voor dit project, waarna zij het project verlaten hebben.

We zijn verder gegaan met BeNext en hebben hun Smart Home oplossing geïmplementeerd. Elke woning kreeg een gateway, die werd aangesloten op de slimme meter via de P1 dongle en op internet via de vaste internetverbinding van de bewoner. In elke woning werd een Energy Switch geplaatst tussen stopcontact en wasmachine, afwasmachine en warmtepomp. Een Energy Switch meet het stroomverbruik en kan het apparaat uit- en weer inschakelen. Dit schakelen gebeurt door de stroom uit het stopcontact te onderbreken en niet door het apparaat zelf opdracht te geven om in of uit te schakelen. Daarnaast kregen de bewoners drie extra Energy Switches die ze naar eigen inzicht mochten inzetten voor het meten van het verbruik.

Om de data snel beschikbaar te krijgen op de plek waar de beslissingen over schakelen genomen worden, heeft BeNext een nieuwe API ontwikkeld en haar infrastructuur sneller gemaakt.

Oorspronkelijk was het bedrijf MPare aangesloten bij dit project. Zij zouden functionaliteit ontwikkelen waarmee de gebruikers meer invloed zouden krijgen op het beheer van hun data en hun privacy. Eind 2016 kregen wij echter bericht van Alliander dat MPare opgeheven zou worden. Er bleek onvoldoende vraag naar deze functionaliteit.

In de praktijk hebben we gemerkt:

1. Een Energy Switch verliest regelmatig de verbinding met de gateway (ruim 5000 meldingen over 270 apparaten per jaar: 18 meldingen per apparaat per jaar). Vaak is de verbinding na enkele minuten of uren weer hersteld maar niet altijd. Het monitoren van alle switches wordt daardoor bijna een dagtaak. Hier was niet de tijd voor, waardoor er na verloop van tijd gaten in de data zijn ontstaan, wat het nut van de data heeft geschaad.

Een verbeterpunt voor BeNext is dan ook het kunnen monitoren van grote hoeveelheden aansluitingen, om langdurige uitval van Switches te kunnen detecteren.

2. De gateway heeft een vaste internetverbinding nodig, doorgaans geleverd door de bewoner. Deze internetverbinding wil nog wel eens verbroken worden. Lang niet altijd denken de bewoners er dan aan om de gateway ook weer goed aan te sluiten.

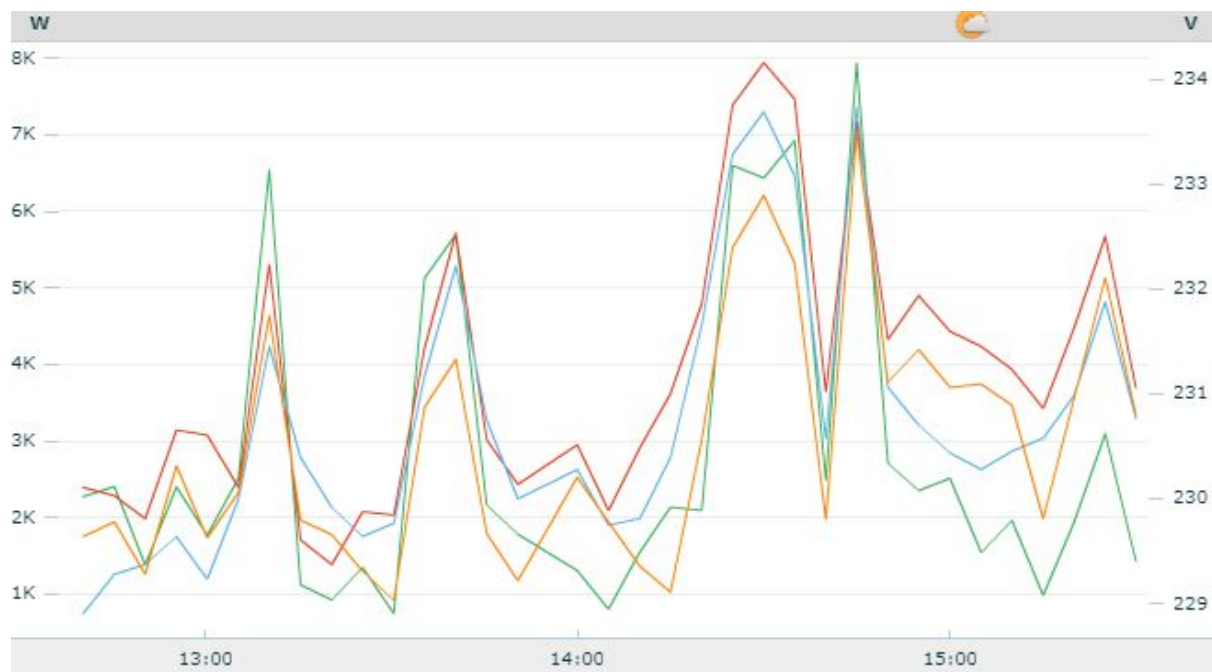
3. BeNext levert geen meetapparatuur voor CEE aansluitingen (zie afbeelding). Hierdoor konden we via hun infrastructuur geen meting doen van verbruik van warmtepompen. Uiteindelijk hebben we daar zelf meetapparatuur voor ontwikkeld. Omdat deze niet via de BeNext-infrastructuur wordt uitgelezen, hebben we daar een interface voor moeten maken.



Leerpunt: het verzamelen van betrouwbare meetdata met voldoende resolutie is essentieel, maar niet eenvoudig en vraagt betrouwbare meetapparatuur met betrouwbare verbindingen.

Bij pilotlocatie OD bleek de Z-wave verbinding met de P1-dongles dusdanig onbetrouwbaar dat de P1-data zo goed als onbruikbaar was. Om alsnog betrouwbare hoge-resolutie P1-data te verkrijgen bij deze pilot, heeft LENS besloten om hier zelf hardware te installeren die P1-data verzamelt. Hier moest ook software voor ontwikkeld worden. Ook is hier een zelf ontwikkeld meetapparaat geplaatst om het verbruik van één van de warmtepompen te meten. De verzamelde P1-data is gebruikt voor simulaties en analyses.

Overigens bleek het voor Liander niet mogelijk om met ons samen te werken vanwege asbest in het onderstation waar gemeten zou worden. Dit deel van het project is daardoor niet uitgevoerd. Wel kunnen we uit de metingen van de omvormer constateren dat de spanning oploopt als het vermogen toeneemt. Op deze locatie veroorzaakt dat vooralsnog geen problemen. Het net is daar sterk genoeg om de opgewekte stroom te kunnen afvoeren.



Op deze zonnige dag loopt de spanning van de drie fasen (groene, oranje en blauwe lijn) loopt vrijwel gelijk met het opgewekte vermogen (rode lijn), maar komt niet in de buurt van de grenzen (230 Volt +/- 10%: minimaal 207 Volt en maximaal 253 Volt AC per fase).

## Platform

LENS heeft sinds 2012 een platform waarop bewoners de aan hun woning geleverde energie kunnen bekijken en waar de Hermannen bediend en gemonitord worden. Binnen het TKI project was het plan om dit platform uit te breiden met functies voor de bewoners en een algoritme voor het optimaliseren van de energiehuishouding per Herman. Er is door partner Generic Media voortvarend gewerkt aan een nieuwe versie die dit kan ondersteunen. Nieuwe klanten van LENS vroegen echter ook andere functionaliteit die Generic Media moest ontwikkelen. Uiteindelijk is er besloten om de bouw van de Smart Grid functionaliteit (het prototype) buiten het platform te doen. Dat koppelde het ontwikkelen en beschikbaar stellen van andere nieuwe functionaliteit los van het project. Uiteindelijk, wanneer de smart grid functionaliteit verder ontwikkeld en getest is, zal deze in het platform geïntegreerd worden.

Voor de bewoners is er besloten om de standaard interface van BeNext beschikbaar te stellen. De bewoners is gevraagd in de eerste fase niet te schakelen met de BeNext stekkers, aangezien dit de uitgangssituatie (nulmeting) ongewenst beïnvloedt.

Door diverse omstandigheden is de laatste fase van het project waarin directe invloed door de bewoners nodig was, niet bereikt. De daarvoor benodigde schermen zijn om die reden nog niet ontwikkeld.



## Tweede fase: Herman reactief laten schakelen

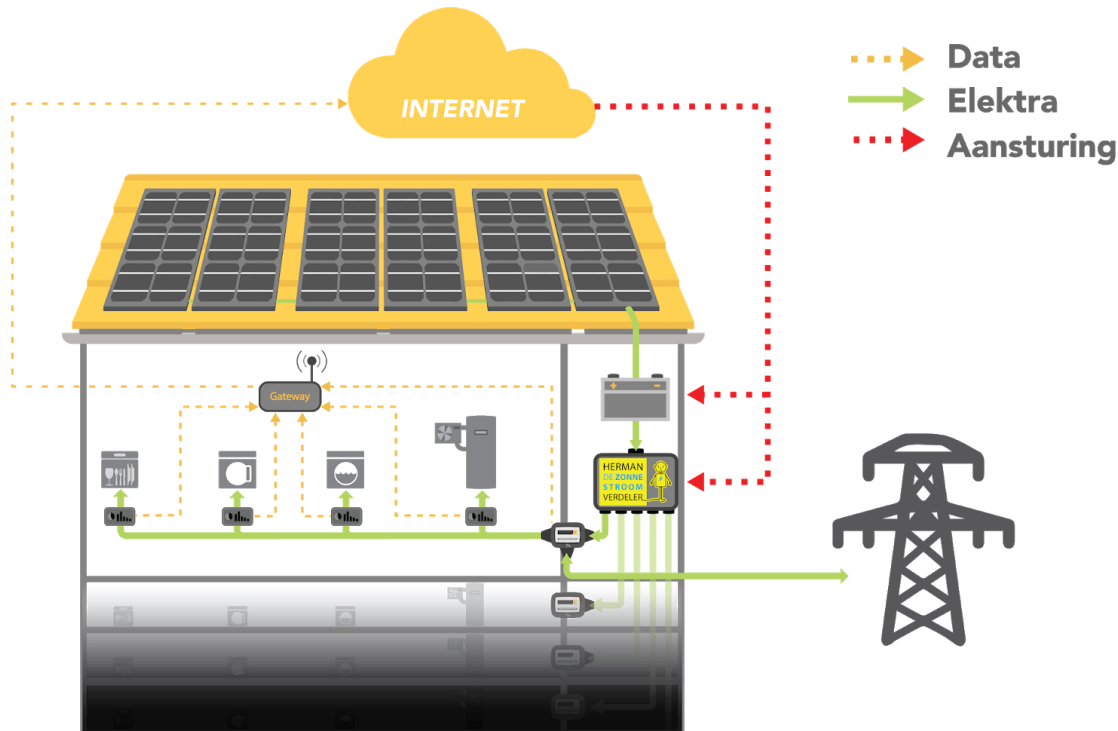
In deze fase was het doel om het schakelgedrag van de Herman dusdanig te beïnvloeden dat het eigenverbruik van de woningen aangesloten op 1 Herman zou toenemen. Daartoe is gebruik gemaakt van de voorspelde PV-opwek en het gemeten verbruik.

## Herman software

Om real-time te kunnen schakelen en informatie te kunnen uitwisselen, is er nieuwe software ontwikkeld voor de Herman. Het gaat onder meer om een nieuwe driver en nieuwe firmware zodat we extra relais kunnen aansturen, een beveiligde real-time communicatieverbinding waarmee de Herman aangestuurd kan worden en functionaliteit om omvormers te kunnen koppelen via modbus. Voor het project is de software op de Hermannen op pilotlocatie OD geïnstalleerd en getest.

Deze software wordt op dit moment doorontwikkeld om de software op alle Hermannen te gaan vervangen.

## Schakelen en de omvormer



Overdag schakelen betekent dat de productie onderbroken moet worden. Dat kan betekenen dat grote stromen onderbroken moeten worden, iets waar de Herman niet voor ontwikkeld is en iets wat ook de omvormer niet prettig vindt. Er is daarom onderzocht hoe de omvormer het beste afgeschakeld kan worden. Op beide pilotlocaties zijn SolarEdge

omvormers aanwezig. Deze kunnen in principe softwarematig afgeregeld worden. Op de pilotlocatie OD lukte softwarematige aansturing echter niet. We hebben daarom besloten het vermogen hardwarematig te regelen, vanuit de Herman, middels een relais. Voordat de Herman schakelt, krijgt de omvormer eerst de opdracht om het vermogen terug te regelen tot 0 Watt. Pas daarna schakelt de Herman, wat de impact van schakelen voor zowel Herman als omvormer beperkt. Op de pilotlocatie AQ bleek ook de hardwarematige aansturing lastig vanwege de afstand van Herman (in de kelder) tot omvormer (op het dak). Daarom is besloten op deze locatie vooralsnog niet te gaan schakelen.

Leerpunt: een standaard, open protocol voor aansturing van omvormers op afstand is wenselijk.

## Schakelalgoritme

Om de zelfconsumptie te maximaliseren zou het wenselijk zijn om de Herman altijd te laten schakelen naar de woning waar op dat moment het meest verbruikt wordt. Helaas is dat om enkele redenen in de praktijk niet haalbaar.

Zoals hierboven beschreven dient de omvormer te worden afgeschakeld, voordat kan worden geschakeld naar een andere woning en de omvormer weer kan worden ingeschakeld. Gedurende dit proces, dat gemiddeld iets minder dan 2 minuten duurt, kan geen zonnestroom worden geleverd. Deze zonnestroom gaat dus verloren. Ook zijn omvormers niet ontworpen om heel vaak in- en uitgeschakeld te worden.

De Herman heeft als primaire doel om zonnestroom eerlijk te verdelen over woningen. Als de stroom altijd naar de woning met het hoogste verbruik zou gaan, zou het kunnen voorkomen dat de stroom niet eerlijk wordt verdeeld.

Een schakelalgoritme is ontwikkeld dat rekening houdt met de beperkingen van omvormers en met de gewenste verdeling van energie over de woningen. Om te voorkomen dat de omvormer te vaak wordt in- en uitgeschakeld, is het aantal schakelmomenten beperkt tot zes per dag. Er wordt gemiddeld twaalf uur per dag stroom opgewekt. Er kan daardoor elke twee uur geschakeld worden.

Het algoritme neemt een beslissing naar welke woning de Herman moet schakelen op basis van de volgende regels:

- Als de Herman in de afgelopen twee uur heeft geschakeld, zal de Herman niet opnieuw schakelen;
- Op basis van voorspelde opwek en verbruik worden scores berekend voor alle woningen. Hierbij betekent laag verbruik een lage score, en hoog verbruik een hoge score. Verlies van energie tijdens het schakelen wordt hierbij meegenomen.

- Op basis van de stand van stroomverdeling worden scores berekend voor alle woningen. Hierbij krijgen woningen die voorlopen in de verdeling een lage score, en woningen die achterlopen in de verdeling krijgen een hoge score.
- Deze beide scores worden opgeteld, waarna de woning met de hoogste score ingeschakeld zal worden.

Het algoritme wordt elke tien minuten opnieuw uitgevoerd.

Dit alles, gecombineerd met de nog toe te voegen apparaten en metingen, maakt dat het algoritme veel inputs moet krijgen, veel parameters heeft en met veel data getest moet worden. Dit is in het laatste half jaar (voorjaar van 2019) van het project gedaan. Daarbij werden we helaas veel geplaagd door uitval van meetapparatuur.

## Derde fase: actief schakelen

In deze fase is het de bedoeling dat het verbruik in de woningen afgestemd wordt op de opwek van zonne-energie. Voor de vorige fase was meer tijd nodig dan verwacht. Hierdoor was er, ondanks verlenging van het project, onvoldoende tijd voor het uitvoeren van deze fase. Er waren een aantal zaken die deze fase moeilijk maken. Niet alleen voor dit project, maar ook in het algemeen:

- Slim witgoed is lastig aanstuurbaar te maken en de hoeveelheid energie die hiermee beïnvloedt wordt, is beperkt.
- Warmtepompen zijn technisch lastig aanstuurbaar te maken. Bij de nieuwste “smart grid ready” apparaten is dit over het algemeen wel verbeterd.
- Er zijn diverse soorten warmtepompen. Op onze pilot locaties betrof het warmtepompen voor warm water, zonder boiler vat en kleinere warmtepompen met boiler vat. Deze hebben een driefasen aansluiting die met de gebruikte BeNext apparatuur niet meetbaar en schakelbaar was. Vooral warmtepompen met een boiler vat zijn goed bruikbaar. Nadeel is dat warmtepompen vooral in de winter gebruikt worden (het zijn immers verwarmingsapparaten) en zonne-energie overschotten heb je vooral in de zomer.
- Elektrisch vervoer kon in dit project niet meer meegenomen worden:
  1. Op de pilotlocatie OD is plaatsing van laadpalen gekoppeld aan de elektrische installatie in het pand fysiek niet mogelijk.
  2. Op de locatie AQ was gedurende het project geen interesse voor elektrisch rijden. Er zijn wel elektrische fietsen en scootmobielen, maar van deze middelen is de accucapaciteit te klein om zinvol in te zetten.
- Ook de toepassing van opslagsystemen bleek lastig. LENS heeft ervaring opgedaan met het plaatsen, configureren en activeren van accusystemen. Het zinvol inzetten vereist echter ontwikkeling van software en interfaces die binnen de tijd die er nog was en door het afhaken van veel partners, onhaalbaar bleek. In de simulaties hebben we opslagsystemen wel meegenomen en gezien dat daar goede resultaten mee behaald kunnen worden.

# Resultaten en conclusies

## Afstemmen van vraag en aanbod op lokaal niveau

Simulaties tonen aan dat dit mogelijk is. Een zelfconsumptie tot 90-95% is theoretisch haalbaar. De praktijk laat zien dat de techniek hier nog lang niet klaar voor is. Haalbaar lijkt een verdubbeling van de zelfconsumptie tot 40-50%, afhankelijk van de aanwezige apparaten.

## Bijdrage aan zelfconsumptie per type apparaat

### Witgoed

- Simulaties laten zien dat witgoed geen rol van betekenis zal spelen bij het verhogen van de zelfconsumptie.
- Witgoed is lastig aanstuurbaar omdat fabrikanten geen open interface aanbieden.
- Witgoed met dergelijke aansturing is relatief duur.

### Warmtepompen

Warmtepompen zijn er in verschillende soorten. Vooral apparaten met een flink opslagvat, en primair bedoeld voor ruimteverwarming zijn interessant. Ook hier spelen aspecten die zinnige inzet ter verhoging van de zelfconsumptie lastig maken.

- Verwarming is voornamelijk in koude maanden nodig. Dat zijn ook de maanden waarin er minder opwek uit zonne-energie is en teruglevering minder vaak zal voorkomen.
- Legionellabescherming vereist regelmatige opwarming van het water in een boiler tot een bepaalde temperatuur (55-65°C).
- De mens is erg gevoelig voor temperatuurschommelingen in de woning. Er kan met de ruimtetemperatuur dan ook weinig gevarieerd worden zonder het comfortgevoel van de bewoners te beïnvloeden.
- Fabrikanten van warmtepompen zijn terughoudend met het verlenen van toegang tot de stuurprogrammatuur van warmtepompen. Vooral de beloofde efficiency (COP), maar ook de garantie speelt hierbij een rol. Aangevoerd zal dus moeten worden dat sturen met warmtepompen de COP en garantie niet nadelig beïnvloedt.

### Opslag

- Opslagsystemen zijn uitstekend te dimensioneren op de opwek en flexibel in te zetten en zijn daarmee uitstekend geschikt om de zelfconsumptie te verhogen. Dit

blijkt ook uit de simulaties: vooral door de inzet van opslag is een zelfconsumptie tot 90-95% theoretisch haalbaar.

- Om hoge percentages zelfconsumptie te halen is een opslagsysteem met een grote capaciteit nodig (vele tientallen kilowatturen). Deze zijn voor dit soort toepassingen (in wooncomplexen) nog niet beschikbaar. Kleinere (enkele kilowatturen), die nu wel beschikbaar zijn, zullen in de zomer snel vol raken, waardoor er alsnog teruggeleverd zal moeten worden.
- Opslagsystemen van voldoende capaciteit nemen flink wat ruimte in beslag, ruimte die lang niet altijd beschikbaar is.
- Opslagsystemen zijn nog relatief duur. De terugverdientijd is hierdoor, in combinatie met de salderingsregeling, lang.

## Elektrisch vervoer

Elektrische fietsen, scootmobielen en klein vervoer heeft een te kleine opslagcapaciteit om zinvol in te zetten. De elektrische auto lijkt met een opslagcapaciteit tussen 50 en 100 kWh een betere oplossing. Echter deze oplossing heeft ook de nodige nadelen.

- De auto staat door de weeks en overdag niet voor de deur als de zon schijnt.
- De auto komt thuis op het moment dat de opwek afneemt en het verbruik in huis toeneemt. Op dat moment is zelfconsumptie geen probleem meer. Sterker nog: op dat moment wil je die elektrische auto juist niet opladen maar wil je er liever energie uit halen. Dit aspect wijzigt trouwens als er meer gebruik gemaakt wordt van deelauto's.
- Autofabrikanten zijn terughoudend met het mogelijk maken van ontladen van "hun" accu's. Zij zijn bang dat de levensduur van de door hen gemaakte apparatuur korter wordt en er vaker aanspraak gemaakt zal worden op garantie. Dat zou hogere kosten voor de fabrikanten betekenen.

## Smart grid technologie

In dit project hebben we ervaren dat er nog geen sprake is van "smart grid technologie". De "smart grid ready" kreet die af en toe op apparaten geplakt wordt, zegt nog niet veel. Er zijn vooral veel fabrikanten die totaaloplossingen bieden voor specifieke toepassingen: omvormers die auto's kunnen laden en geïntegreerde opslag hebben, elektrische auto's die je kunt opladen met zonnepanelen, warmtepompen die je kunt koppelen aan PVT panelen en boilerkasten. Maar probeer een omvormer van merk X aan een opslagsysteem van merk Y te koppelen en je hebt een uitdaging.

Ook de verwachte inzet van domotica voor meer dan alleen comfortverhoging en inbraakbeveiliging, blijkt niet gerealiseerd. Je kunt je verwarming aan laten gaan als je in de buurt van je woning bent. Wil je echter je vaatwasser aanzetten als de zon schijnt, dan zul je er toch echt fysiek heen moeten lopen. Als we niet oppassen hangen de huizen straks vol met sensoren van alle apparaten, die allemaal hetzelfde meten maar het allemaal naar de eigen cloud versturen. Om daarna vanuit die specifieke cloud jouw apparaat te gaan

besturen. Wil je dat beïnvloeden? Dan mag je een account aanmaken, de app downloaden en kun je “hoger” en “lager” instellen. Een geïntegreerde oplossing voor alle apparatuur in je woning is er voorlopig niet. Zelfs het meten van energiestromen in je woning (elektriciteit, gas, warmte en liefst ook water) in je woning is een uitdaging. Er zijn diverse energiemanagers te koop, die zonder uitzondering de informatie opslaan in hun eigen cloud en een eigen app hebben. En geen van alle meten ze zowel elektriciteit, gas, warmte als watergebruik.

De beoogde smart grid dienst is nog niet van de grond gekomen, mede door de hierboven geschetste problematiek. Het verlengen van de salderingsregeling heeft de noodzaak voor zo'n dienst minder hoog gemaakt. Wel is het nu zo dat steeds vaker de netbelasting een probleem lijkt te gaan worden. Het ontstaan van problemen in het net en transportbeperkingen wordt regelmatig toegeschreven aan de energietransitie. In werkelijkheid spelen er vaak nog andere aspecten een rol, bijvoorbeeld de sterke toename van de benodigde cloudopslag en de hiervoor benodigde datacenters.

LENS is opnieuw penvoerder van een innovatieproject dat verder gaat met het onderzoek dat in dit TKI project gestart is. In het TSE project FlexRent “Flexibele Energiediensten voor Huurappartementen” gaan we samen met nieuwe partners op zoek naar de mogelijkheden om huurders voordelen te bieden, die tevens bijdragen aan de energietransitie. Naast de energiehuishouding kijken we daarbij ook naar systeemdiensten, waarbij vermogen een belangrijkere rol speelt dan energie. Hierbij zetten we de ervaringen uit de TKI en de verzamelde data zinnig in.

## Kennisdisseminatie

Over dit project is gecommuniceerd:

- Op de website van LENS: <https://lens-energie.nl/kennis/smart-grid/>
- Op de website van SEAC <https://www.seac.cc/en/projects/#herman>
- Smarter Energy Sharing, afstudeerscriptie Boen GrootHoff, TU Delft: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:00b6b378-9cbb-49e6-9379-efffa1664eeb>
- Tijdens het PVSEC congres in 2016 (deelresultaten).
- Tijdens een bijeenkomst van TKI in Utrecht in 2017
- Tijdens een bijeenkomst met studenten en onderwijzend personeel van de UvA, waarin we de toepassing van machine learning hebben onderzocht.
- Op een postersessie bij de ICEEB (International Conference on Environment, Energy and Biotechnology) beurs in 2018 bij de Housing sustainability in urban areas.
- Via deze rapportage, die gratis beschikbaar is op de website van LENS.

Websites waarnaar verwezen is:

- LENS <https://www.lens-energie.nl>
- BeNext <https://www.benext.eu/>
- SEAC <https://www.seac.cc/>
- Icarus <https://icarus.energy>

Voor meer informatie over dit project kunt u contact opnemen met LENS. Contactgegevens vindt u op onze website.