



## Systemen voor gratis\* autonome energie voor huishoudens, collectieven, energie-coöperaties, centraal wonen, bejaardentehuizen, ecodorpen

*\*De enige kosten zijn afschrijvingen en een beetje onderhoud.*

### **1. Schets van het veld**

Er zijn twee belangrijke overwegingen voor het investeren in een eigen energiesysteem “off the grid”. Het eerste is zekerheid van beschikbaarheid (1), het tweede de wens niet afhankelijk te zijn van fossiele brandstoffen of atoomenergie.

Autonoom kan ook goedkoper zijn dan het net.

(1) Het door landen manipuleren van leveringen van olie en aardgas om geopolitieke redenen (tot en met oorlog) en de overvraag naar vloeibaar aardgas kan leiden tot rantsoenering.

Overbelasting van het elektriciteitsnet kan leiden tot grote en langdurige storingen. Transitie naar een grootschalige waterstofeconomie is niet realiseerbaar zonder aanvoer van vloeibaar groene waterstof uit woestijngebieden – notoir politiek instabiele regio's. In Nederland is niet genoeg ruimte voor alle benodigde windturbines en zonneparken, temeer daar meer dan de helft van de duurzame energie wordt opgesoupeerd door datacenters, industrie en straks voor de productie van groen aardgas voor die industrie.

#### Stelling:

*Gebruik van duurzame bronnen in plaats van fossiele brandstof en atoomenergie kan ook op kleine schaal in de privésfeer.*

Zoals zonnepanelen op het dak.

De stroom wordt nu bijna altijd geleverd aan het net, maar dat raakt in veel gebieden overbelast, waardoor geen nieuwe zonnedaken kunnen worden aangelegd.

Een oplossing hiervoor is eigen opslag. Dat maakt hybride systemen mogelijk.

In deze notitie worden technieken beschreven en besproken op hun toepasbaarheid voor een enkel huishouden dan wel een collectief.

## 2. Opslag van elektrische energie

Er zijn vele mogelijkheden: opslag in accu's, in waterstof, in warmte, in kinetische energie, in luchtdruk, in waterdruk, in chemische producten, in biomassa.

A. Accu's zijn thans het meest toegepast voor de opslag van elektrische energie omdat het er even makkelijk is uit te halen als in te stoppen. Met name toegepast in transportmiddelen: elektrische auto's, heftrucks, boten. Straks ook in vliegtuigen en binnenvaartschepen.

Opslag voor huishoudelijk gebruik neemt toe.

Soorten accu's:

- loodaccu's, met name modulaire, reviseerbare en 100% recyclebare tractie accu's zijn betaalbaar en duurzaam, makkelijk uit te breiden en zelf te onderhouden en aan te leggen. In combinatie met een omvormer voor de levering van 230V wisselstroom. Laagste prijs per Ampèreuur. Vandaag besteld, morgen geleverd.
- Lithium-ion accu's bestaan uit pakketten kleine oplaadbare batterijtjes en vinden overall hun toepassing. Elektrische auto's zijn ermee uitgerust. Ze hebben een hoge energiedichtheid, zijn duur, niet goed recyclebaar, soms gevaarlijk en de grondstofwinning is schadelijk.
- Zoutaccu's zijn in opkomst. Ze werken op zout water, zijn duurzaam en hebben een lage energiedichtheid. Nog heel duur. Vooral geschikt voor grote eenheden (containers).
- Er zijn meer accu technieken in ontwikkeling.

### B. Opslag in waterstof

Als gas, geadsorbeerd aan een vaste stof, vloeistof of olie, of tot methanol, ammoniak e.d. geconverteerd.

- Groen waterstofgas is uit water te winnen door elektrolyse met zonne- of windstroom, of biologisch met bijvoorbeeld purperbacteriën in combinatie met algen (tevens afvalwaterzuivering). Na gebruik blijft zuiver water over.
- Het is met CO<sub>2</sub> katalytisch onder hoge druk te combineren tot methaangas, methanol, ethanol, met stikstof tot ammoniak. Dit is een industrieel proces. Methaangas is per pijpleiding te vervoeren en direct te verbranden. De waterstof/vloeistof combinaties zijn drukloos en ongekoeld te vervoeren. Om de energie er weer uit te halen is voor de meeste toepassingen een fysisch-chemische tussenstap nodig. Alleen alcoholen zijn direct te verbranden.
- Opslag van waterstofgas kan bij atmosferische druk in zeppelins, in gashouders, in drukvaten 10 bar, in gascilinders 350-700 bar. Voor dat laatste zijn (energie kostende) industriële compressors nodig. Hoge druk is noodzakelijk voor gebruik in (vracht)auto's en bussen (die rijden er al op).
- Opslag bij lage druk via adsorptie aan een vaste stof of vloeistof is nog niet ver genoeg ontwikkeld, al zijn er in de 70er jaren geslaagde proeven mee gedaan.

Voor huishoudelijk gebruik is opslag van zelf geproduceerde groene waterstof in drukvaten met behulp van een kleine laboratorium compressor te doen. Voor het aanleggen van een wintervoorraad is echter meer nodig. Zie hybride systemen.

### C. Opslag in warmte

Het is mogelijk surplus stroom in de zomer als warmte voor de winter op te slaan.

Dat gebeurt nu al in een (collectief) systeem van basaltbrokjes in een zwaar geïsoleerde ruimte (1,5 meter dik steenwol) bij 400-600°C.

Een alternatief is een zwaar geïsoleerde tank met zonnebloemolie (150°C).

#### D. Opslag in kinetische energie

Bekend zijn de vroegere bussen in Zwitserland met vliegwielaandrijving. Dat is echter voor korte duur (uren).

Er zijn projecten met torens die zware gewichten ophijsen als er surplus energie is en als er stroom nodig is de gewichten weer laten zakken, waarbij een generator wordt aangedreven. Zoiets als de klok met gewichten.

#### E. Opslag in luchtdruk

Kleinschalig bekend van persluchtgereedschap. Grootschalig van perslucht opslag in zoutholten in de ondergrond.

#### F. Opslag in waterdruk.

Toegepast bij hydro-elektrische stuwmeren in combinatie met atoomcentrales, die in basislast continu kunnen blijven leveren. Bij weinig vraag wordt water omhoog gepompt en bij pieken in de vraag koopt het weer via turbines omlaag.

G. Opslag in chemische producten, bijvoorbeeld vloeibare brandstoffen die met duurzame energie zijn geproduceerd.

#### H. Opslag in biomassa

In de zomer geproduceerde landbouwproducten en hout kunnen in de winter verbrand worden, vergist worden tot alcohol, geconverteerd worden tot biodiesel (plantaardige olie), anaeroob vergist worden tot biogas (methaan) (bv na vergisting voor alcohol blijft een organische restbrij over).

Nadeel is dat de huidige grootschalige agrarische productie soms meer (diesel)brandstof vraagt dan er aan duurzame brandstof wordt geproduceerd.

Een tweede nadeel is dat er gewoon niet genoeg areaal voor is, zeker gezien de voedselproductie.

Het gebruik van resthout, snoeihout en uitdunhout, bv in de vorm van houtpellets, kan maar aan een paar procent van de energievraag in de winter voldoen.

Het grootschalig kappen van bossen is helemaal uit den boze.

Blijft over zon, wind, regen (stuwmeren) en getijden.

### 3. Gebruik van elektrische energie in huis

Een huishouden heeft stroom nodig voor licht, beeld & geluid, telecom en computer, koeling, koken, elektrisch gereedschap en af en toe puntverwarming.

Een huishouden heeft thermische energie nodig voor ruimteverwarming en warm water.

Dat is de grootste slokop en juist in de winter, als er praktisch geen zonnestroom is.

Behaaglijk wonen met een lage ecovoet begint bij isolatie. Dan spreken we minstens over het dubbele van wat thans is voorgeschreven. In combinatie met tochtbestrijding en uitgekiende ventilatie met warmteterugwinning.

De wijze van verwarming is een punt van aandacht. Verwarmen van de binnenlucht met cv moet minstens tot 20-21°C om het behaaglijk te hebben.

Verwarmen met vloerverwarming kan al met water van 28°C en de ruimte is al behaaglijk bij 18°C (luchttemperatuur). Belangrijk is dat de muren niet koud zijn; voor een comfortabel gevoel moeten de muren even warm zijn als de lucht. Dus isoleren met folie onder het behang, eventueel op bepaalde plekken aanbrengen van elektrische verwarmingsvliesen onder het behang, met een knopje om het aan te zetten.

Bij gebruik van verwarmingsmatjes (35W) op stoelen en onder voeten en een trui kan de binnenlucht temperatuur zakken tot 16°C.

Alleen de woonkamer verwarmen. De badkamer voorzien van vloerverwarming en een straalkachel (800W, 10 minuten aan per persoon). De keuken lage vloerverwarming.

Open keuken is dan ideaal. Slaapkamers, toilet, gang, zolder, garage niet verwarmen; een verwarmingsmatje in bed leggen zodat het beddengoed droog blijft.

Advies: bij niet te lage buitentemperatuur en/of veel zon: ramen en deuren opengooien en verwarming uitzetten. Bij extreme kou bijstoken met hout of houtpellets.

Warmtepompen gebruiken veel stroom (die wel in de warmte terechtkomt).

Op buitenlucht: veel lawaai, werkt niet bij temperaturen onder 5°C.

Op grondwater: duurzaam, hoge investering ( $\geq 40.000$  euro).

Op oppervlaktewater: niet zo duur, maar werkt niet bij strenge vorst.

## 4. Duurzame opwekking van elektrische energie

Met zon, wind, brandstofcel op waterstof en generator op biobrandstof.  
Al deze bronnen hebben opslag nodig.

Een voorbeeld van een betaalbaar hybride autonoom systeem met tractie accu's:

- Zonnepanelen waar mogelijk; alleen stroom bij voldoende zon.
- Kleine windmolentjes op plekken met veel wind (bv nok van daken), of:
- grotere windmolen op paal, vooral handig op winderige, sombere dagen.
- Kleine brandstofcel op waterstof (van eigen productie of gekocht) om in de winter de accu's (continu) te laden als er zon noch wind is. Grote stroomvraag wordt altijd door de accu's geleverd.
- Generator op waterstof of biobrandstof (ethanol, biodiesel) voor noodgevallen.
- Acculader op net (optie, je betaalt dan wel netkosten).

Alle elektrische gebruiksenergie komt uit de accu's en wordt door een omvormer tot 230V wisselstroom of zelfs driefasen stroom geconverteerd. 3 kW is voldoende bij slim stroomgebruik (niet alles tegelijk aanzetten, kijken op metertje).

Licht en warmtematjes kunnen direct met de gelijkstroom uit de accu's gevoed worden.

Koken met inductie vraagt kortstondig veel stroom, vaak uit 2 fasen, maar is zeer efficiënt.

Hetzelfde geldt voor de oven, broodrooster, waterketel, koffiezetten.

Vriezers zijn energetische ondingen, een koelkast zou in een onverwarmde ruimte moeten staan. Die kan je dan in het najaar al uitzetten; scheelt veel stroom. Een kleine kelder is aan te bevelen.

Voor een warmtepomp is een tweede set accu's met omvormer nodig of een aansluiting op het net. Deze vraagt langdurig veel stroom (3kW of meer).

Toekomstige innovaties:

- Zoutaccu's, ook voor langduriger opslag van surplus stroom.
- Eigen elektrolyse waterstof, opslaan bij lage druk (10 bar) om betaalbaar te blijven. Is al te realiseren, maar vereist ruimte voor de drukvaten en is een extra investering.
- Levering waterstof via aardgasnet (2030?).

## 5. Perspectieven voor collectieven in waterstoftechnologie

Een groep bij elkaar gelegen huishoudens kan een collectieve energievoorziening “off the grind” realiseren, waarbij technieken betaalbaar worden die te grootschalig zijn voor een enkel huishouden.

Een collectief systeem bestaat uit stroomopwekking in verschillende domeinen (zon, wind, biobrandstof e.d.), opslag van stroom, warmte en waterstofgas; distributie ervan, slimme verdeelregeling en afrekenen. Inclusief elektrische fietsen en auto's.

Er zijn al diverse energie collectieven met eigen zonnestroom, windturbine, grootschalige opslag van stroom en warmte en een eigen distributienet voor stroom en warmte. Door extra te investeren in bedrijfszekerheid kunnen alle huishoudens van het collectief afgekoppeld worden van het wereldwijde (fossiele) stroom- en gasnet. Autonom en ex-fossiel.

Waterstofgas is de eenvoudigste energiedrager. Het is alleen nogal ijl.

Vroeger bestond stadsgas, gemaakt uit kolen, voor ongeveer 50% uit waterstof, 40% uit koolmonoxide en 10% kooldioxide. Het gas werd opgeslagen in gashouders en verdeeld via gasleidingen.

Dat is een eenvoudige manier van opslag bij lage druk. Geen energie slurpende compressors meer nodig om het tot 350 of 700 bar samen te persen.

In een collectief systeem is het een optie om alle waterstof centraal te gebruiken; de huishoudens zijn dan “gasvrij”, en koken op inductie en krijgen warmte via een eigen warmtenet.

Een andere optie, als alle huishoudens toch al beschikken over een eigen cv en gasaansluiting, is het mengen van de eigen waterstof met aardgas, CO<sub>2</sub> of N<sub>2</sub> (pure waterstof is te heet).

Een derde optie is het verkopen van de waterstof en de eveneens geproduceerde zuurstof.

In een duurzame toepassing wordt in de zomer surplus stroom via elektrolyse omgezet in O<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>. De zuurstof kan verkocht worden. Het waterstofgas wordt in een gashouder opgeslagen.

In de zomer wordt de met wind en zon opgewekte gebruiksstroom – via tussenopslag voor afvlakking van pieken in aanbod en vraag – omgezet in 230 Volt wisselstroom en via het eigen net verdeeld.

*NB: hiervoor zijn slimme meters nodig, die echter met een kabel communiceren met de centrale computer, ipv via schadelijke DECT straling. De centrale regeling geeft in elk huishouden aan of grote stroomvragers als wasmachines ingeschakeld kunnen worden.*

In tijden van weinig wind en weinig zon, meestal gepaard gaande met een grote vraag, wordt centraal waterstof omgezet in stroom en warmte.

NB Het is in alle gevallen aan te bevelen zoveel mogelijk stroom “af te vangen” door accu's en elektrolyse in vol bedrijf te houden, zodat de laadstroom van de panelen en de turbine maximaal benut wordt. Veel installaties werken beneden hun capaciteit doordat er te weinig afname is. Grootschalige producenten worden steeds vaker afgekoppeld als het net overbelast raakt.

Elektrische auto's opladen gebeurt bij weinig primaire stroomopwekking (najaar, winter) bij voorkeur 's nachts. In de zomer juist weer overdag als er veel zon is (aftoppen van pieken in stroom opwekking zodat die niet stagneert doordat er te weinig afname is, bv

accu vol, elektrolyse op maximum, koelkasten uit omdat men op vakantie is e.d.)  
Laadpalen worden centraal aan en uit geschakeld.  
Door de centrale regeling en de accu worden pieken en dalen afgevlakt.

Een noodaggregaat op biobrandstof valt in als er ergens iets stagneert of als de waterstof op is.

Voor warmteopslag bestaan verschillende technieken.

Het kan bijvoorbeeld door in de zomer warm water in de bodem te injecteren en die er in de winter weer uit te halen. Ook bruikbaar voor koeling.

Een nieuw systeem is het elektrisch opwarmen van een geïsoleerd pakket basalt grind tot 400-600°C, waar in de winter heet water mee gemaakt wordt dat via een warmtenet over de aangesloten woningen verdeeld wordt.

Belangrijk is om overal (vloer- en of wand)verwarming toe te passen dat met een lage temperatuur water kan volstaan (28-30°C). Zie ook puntverwarming in hoofdstuk 3.

In elk huis kan vloer- en wandverwarming aangelegd worden.

De investeringen zijn hoog. Afgeschreven kan worden over 20+ jaar want het zijn zeer duurzame technieken.

Een voorbeeld: een collectief bestaat uit 50 huishoudens.

De investeringen bedragen bijvoorbeeld 2,5 miljoen, 50.000 per huishouden.

Afschrijven over 20 jaar: 2500 euro per jaar. Onderhoud 500 per jaar.

Samen 250 per maand en gratis energie voor huis en auto.

## 6. Doel en nut van een proefopstelling

Kleinschalige, autonome hybride systemen zijn niet op de markt verkrijgbaar. Zelfs sommige onderdelen niet.

Omdat er geen markt in is en ook niet gezien wordt, zijn ontwikkelingen al jaren gericht op grootschalige, industriële toepassingen als toevoeging aan het net.

Tussen een “speelgoed” Chinese electrolyser en in megawatts rekenende installaties zitten alleen enkele laboratorium machines die vanwege de noodzakelijke zuiverheid van het gas nogal prijzig zijn – en niet groot en efficiënt genoeg.

Hetzelfde geldt voor opslag: de kleinste Chinese H<sub>2</sub> 300 bar compressor kost 12.000 dollar en heeft een elektrisch vermogen nodig van 5,5 kW. We hebben genoeg aan een tiende ervan, maar die bestaan niet. Daarom is een proefopstelling bedacht.

### Doel

Daarin gaan we proberen een kleinschalige, complete, hybride installatie te laten werken. Een systeem dat uit betaalbare onderdelen en elementen zal worden opgebouwd, een installatie die veilig en doelmatig werkt en als het even kan ook nogal lang. Een installatie die naar meer smaakt en eventueel op de markt gebracht kan worden.

### Nut

Als alternatief voor het qua duurzaamheid voorziene feilen van het net en om, naar het zich laat aanzien, niet afhankelijk te zijn van een overbelast net dat steeds vaker met storingen te maken zal krijgen. Om geen fossiele- of kernenergie te hoeven gebruiken.

### Kunnen we dat?

Als ik voor mezelf spreek: ja. Ik knutsel al mijn hele leven installaties in elkaar met leidingen en apparaten die ik zelf heb ontworpen en laten maken, en ik bedenk er de elektrische besturingen voor.

### Hoe ziet dat eruit?

Het is in het begin trial and error. Van de onderdelen die benodigd zijn, zijn weinig technische gegevens bekend en zeker niet hoe goed/onvoldoende ze werken. Testen dus.

Een autonoom systeem bestaat uit de volgende elementen (rood: te onderzoeken):

#### A. Opwekking stroom

1. Zonnepanelen
2. Windmolen
3. Generator
4. **Brandstofcel**

#### B. Opslag stroom

5. Loodaccu's
6. **Zout accu**
7. Laad- en ontlad regeling

#### C. Waterstof productie

8. **Electrolyser**
9. **Compressor**
10. **Drukvat**
11. **Regeling**
12. Omvormer gelijkstroom naar wisselstroom (voor het gebruik van de stroom).

#### D. Kosten:

Voor een eerste ronde (onderzoek naar geschiktheid) aan de onderdelen 4,8,9,10,11 schat ik ca € 5000,- (onderzoek naar 6, de zout accu kan wachten).

Dat bedrag kan bij positief resultaat verdubbelen in een tweede ronde (uitwerking naar capaciteit en betrouwbaarheid).

Ik kan de proefinstallatie in mijn atelierwagen bouwen en die overal laten zien.