

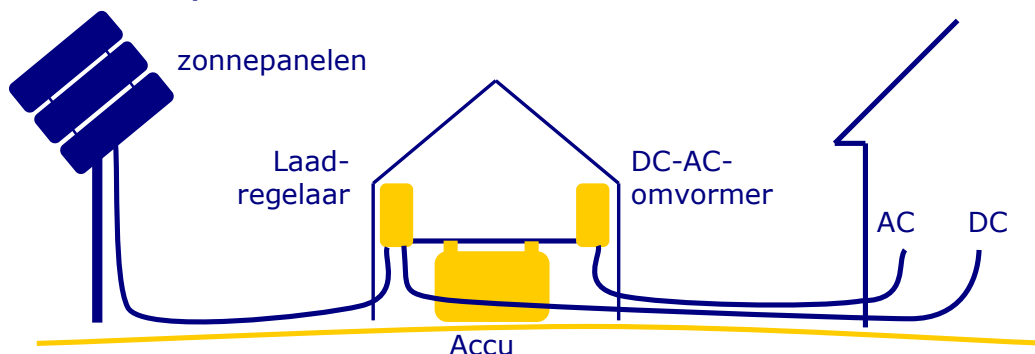
Introductie

Op afgelegen plaatsen waar geen elektriciteit voor handen is, kan een zonnestroom systeem een prachtige oplossing bieden. Pico Sol heeft in verschillende projecten ervaring opgedaan met deze techniek, en wil deze kennis graag delen.



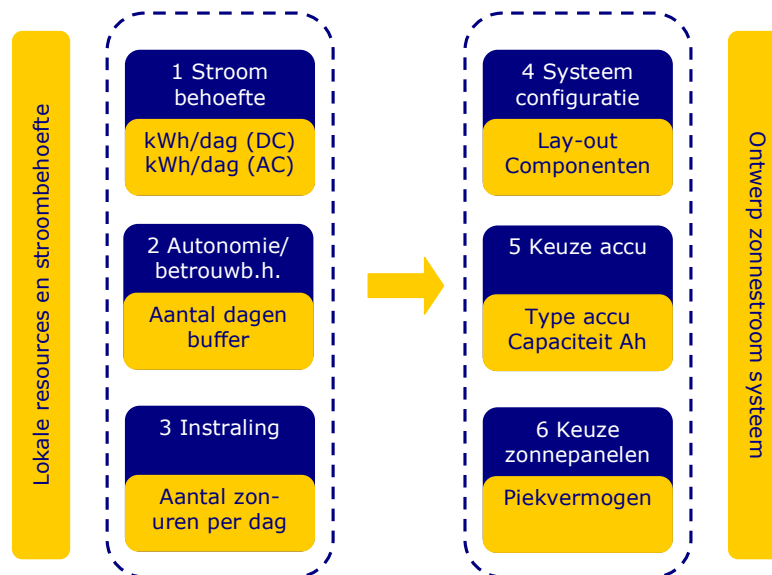
▲ Zonnestroom systeem voor weeshuis in Cambodja. Circa 70 kinderen krijgen voldoende stroom voor verlichting door dit systeem. Ook is er een televisie op aangesloten, voor een wekelijk uurtje vertier. Inzet: De binnenzijde van de technische ruimte biedt ruimte voor accu's, regelaar en omvormer.

Systeem lay-out



▲ Algemene opbouw van het zonnestroom systeem. Spin in het web is de laadregelaar, die ervoor zorgt dat de accu niet te vol wordt geladen (dan worden zonnepanelen afgeschakeld) en niet te diep wordt ontladen (dan worden de apparaten afgeschakeld). Vanuit de accu is gelijkstroom beschikbaar (DC). Door middel van een omvormer is het ook mogelijk om wisselstroom aan te bieden (AC).

Ontwerpschema



▲ Ontwerp van zonnestroom systeem begint met inventariseren van behoeften en locatiegegevens (stap 1-3). Met het resultaat wordt de meest geschikte capaciteit van accu's en zonnepanelen gezocht, om hiermee de juiste systeem configuratie te ontwerpen (stap 4-6).

Stap 1 Stroombehoefte

De eerste, de meest logische maar ook de lastigste vraag is hoeveel stroom nodig is. Hiermee samen hangt waarvoor u de stroom nodig heeft. Voor verlichting, voor huishoudelijke apparaten, voor onderwijs, voor medische apparatuur? Een degelijke inventarisatie dient te worden uitgevoerd.

Tekstvak 1: Wat is uw referentie?

De inventarisatie van de elektriciteitsbehoefte kan nogal uit de hand lopen indien de uitgangssituatie uitgaat van stroom van een generator. Net als dat het brandstofgebruik van een auto weinig afhangt van of er 1, 2 of 3 personen meerijden, maakt het de generator niet werkelijk uit hoeveel apparaten er op dat moment worden gevoed. Uit onze ervaring blijkt dat verlichting bijvoorbeeld geen schakelaars hebben. Het opstarten van de generator is simpelweg de schakelaar. Tussen 6 en 10 uur 's avonds is er stroom, dus verlichting. En dan staat alles in volle licht. Daarna is het aarde-donker. Met andere woorden: Er is nooit een dringende behoefte geweest om elektriciteit te besparen.

Bij zonnestroom is dit anders. Een kWh uit het systeem kost al snel meer dan \$ 1,00 (zie tekstvak 3). Energiebesparing is dus van belang. Het vervangen van alle TL-buizen van 36W met spaarlampen van 13W verlaagt zowel de investeringskosten als de exploitatiekosten van het zonnestroomsysteem met 64% *). Het halveren van het aantal brand-uren met nog eens 50%.



▲ Het uitwringen van het energiegebruik behoort tot de standaardprocedure om het zonnestroom systeem rendabel te maken

*) $(36-13)/36 = 64\%$

De volgende tabel helpt u bij de inventarisatie. Merk op dat het kiezen van de meest energie-zuinige apparatuur een goede insteek is.

▼ Inventarisatie stroombehoefte. De laatste kolom is de vermenigvuldiging van de middelste drie kolommen, gecorrigeerd met de deelfactor van de een-na-laatste kolom (de koelkast is 1/3-deel van de tijd aan)

Apparaten	Vermogen en aantal apparaten		Uren	Minuten	Energie
	<i>W</i>	<i>#</i>	per dag	per uur	gebruik
			<i>hr/dag</i>	<i>min/hr</i>	<i>kWh/dag</i>
Voorbeeld gebouw					
1. Voorbeeld lichtpunten	13	12	2.5	60	0.39
2. Voorbeeld koelkast	125	1	24.0	20	1.00
3. Voorbeeld laptop	45	1	4.0	60	0.18
4. Voorbeeld Radio	20	1	10.0	60	0.20
5. Voorbeeld TV	50	1	3.0	60	0.15
6. Voorbeeld Antenne	25	1	3.0	60	0.08
totaal					2.00
Uw gebouw	<i>W</i>	<i>#</i>	<i>hr/dag</i>	<i>min/hr</i>	<i>kWh/dag</i>
1					0.00
2					0.00
3					0.00
4					0.00
5					0.00
totaal					0.00

Tekstvak 2 Wisselstroom of gelijkstroom?

Elektriciteit hoeft niet per definitie 230V wisselstroom (AC) te zijn. Er is veel reden om juist zoveel mogelijk uit te gaan van gelijkstroom (DC). Dat voorkomt een dure en inefficiënte conversiestap via de DC-AC-omvormer. Het accu-systeem zal meestal zijn gebaseerd op 12V of 24V gelijkstroom (soms 48V). Voor 12V is van alles gemakkelijk te verkrijgen. Voor 24V is het wat moeilijker zoeken en voor 48V is er bijna niets. Het grote nadeel van een lage spanning (12 of 24V) is dat er dikke dure kabels voor langere afstanden nodig zijn. Het grote nadeel van een omvormer is dat deze mogelijk na verloop van tijd de energieverspilling in

de hand zal werken. Indien de uitgangssituatie 'geen elektriciteit' is, zal de gebruiker van het systeem na verloop van tijd de voordelen van elektriciteit gaan ontdekken. Hij zal beseffen dat veel luxe uit de stad binnen handbereik is gekomen in zijn situatie op het platteland. De verleiding van het aanschaffen van energieverspillende plafond-ventilatoren, televisies en koelkasten ligt op de loer. De moeizaam geïnventariseerde energiebehoefte zal na verloop van tijd niet meer kloppen met de werkelijkheid. Voor een verdere uitdieping van de AC-DC discussie, zie www.sundaya.com (klik op animations general 7 reasons for DC)

Na een goede afweging van welke apparaten op DC en op AC worden gevoed, is de inventarisatie van de stroombehoefte voltooid.

Stap 2 Autonomie / Betrouwbaarheid

Zonnestroom kan een betrouwbare levering van elektriciteit zijn. Een ieder weet dat de zon zelf niet elke dag even betrouwbaar is. Hij laat zich in de natte tijd bijvoorbeeld soms meerdere dagen nauwelijks zien.

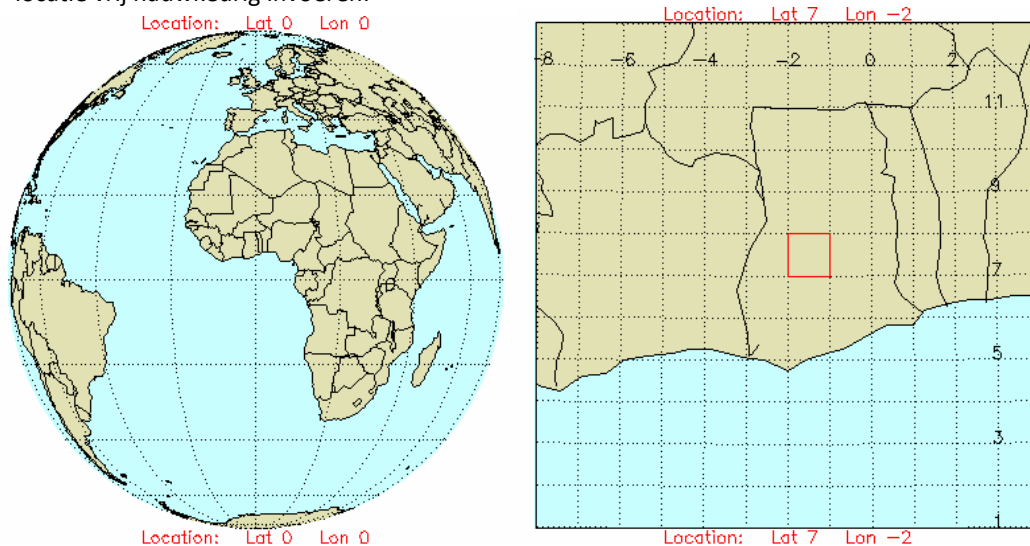
Het begrip Autonomie definiëren we als het aantal dagen dat het systeem elektriciteit blijft leveren bij het uitblijven van zonneschijn. In de meeste landen volstaat een autonomieperiode van 3 dagen voor de meeste huis- tuin en keuken toepassingen. Statistisch bestaat er dan wel een redelijke kans dat de stroom soms uitvalt, maar daar valt mee te leven. Een groter aantal dagen autonomie zal deze kans verkleinen. Voor professionele toepassingen, bijvoorbeeld het koelen van medicijnen in een afgelegen veld-kliniek, is een hogere betrouwbaarheid nodig. Denk hierbij aan 5-10 dagen.

Er is een directe vertaalslag van Autonomie in de capaciteit van accu's. In bovenstaande tabel (dagelijks stroombehoefte 2.00 kWh) zal de volle accu bij autonomie-eis van drie dagen minimaal het drievoudige, dus 6.00 kWh, moeten leveren.

Stap 3 Instraling

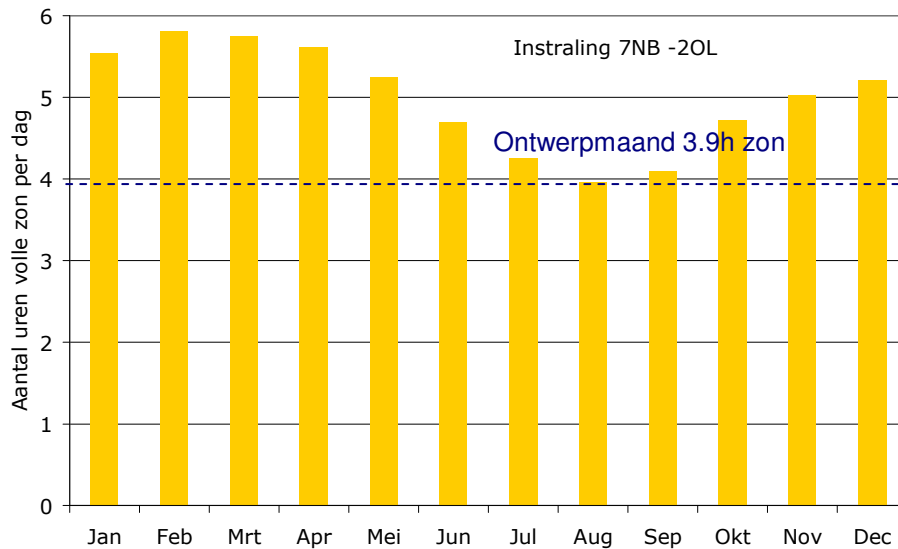
De instraling is via internet op te vragen. De Nasa heeft een database ontwikkeld waar men op basis van informatie van satelieten (wolken-formaties gedurende lange tijd) een goede inschatting kan geven van de zon-instraling op de grond. Om deze gegevens te vinden, loopt u de volgende stappen door. Het resultaat is een tabel met maandelijks gemiddelden van het aantal uren volle zon op uw locatie.

- Website: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
- Klik op Renewable Software Application Inputs
- Klik op Retscreen International data access
- Registreer uzelf als gebruiker
- Nu komt u in een scherm waar u de lengtegraad (Longitude) en breedtegraad (Latitude) moet invullen. U kun hiervoor ook het tool 'Pick a location graphically' gebruiken. Op zoom-niveau 16 kunt u uw locatie vrij nauwkeurig invoeren.



▲ Tool voor het opzoeken van de juiste lengte- en breedtegraad van Nasa instralings database

- Nu klikt u op 'Submit for data'
- U krijgt nu een tabel op het scherm met de maandelijks gemiddelden van diverse meteorologische parameters. Het meest relevante is de derde kolom: 'Daily solar radiation - horizontal kWh/m²/day'

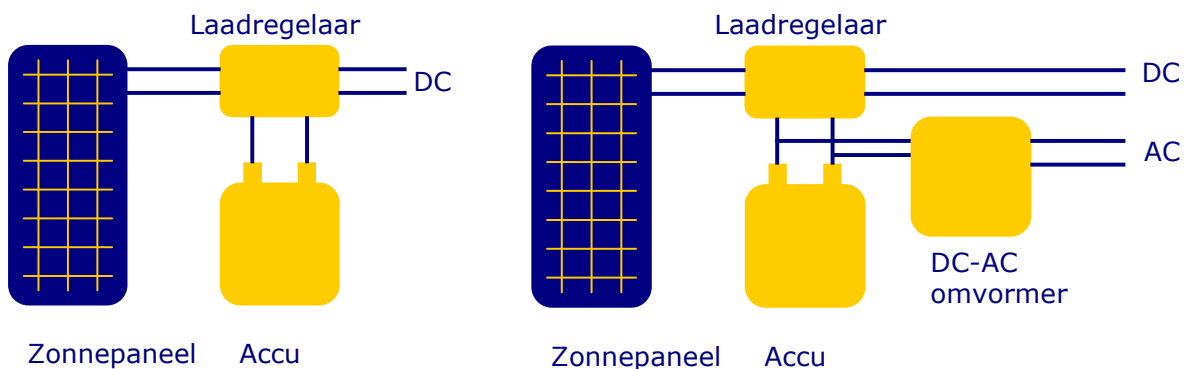


▲ Instraling op project locatie Ghana (7°NB -2°OL) in 'kWh/m²/dag'. Deze eenheid laat zich vrij vertalen met 'uren volle zon per dag', waarbij 'volle zon' wordt gedefinieerd als instraling van 1kW licht-energie. De donkerste maand (hier: Augustus) is de ontwerp-maand.

Stap 4 Systeem configuratie en componenten

De algemene systeem-opbouw van blz 1 hoeft niet altijd de meest logische voor uw situatie te zijn. Gaat het om meerdere gebouwtjes die verder van elkaar afstaan, kan het opsplitsen in meerdere systemen een optie zijn. Is er een vrieskist die niet mag ontdooien, dan is een overweging om hem een apart systeem te geven met grotere autonomie.

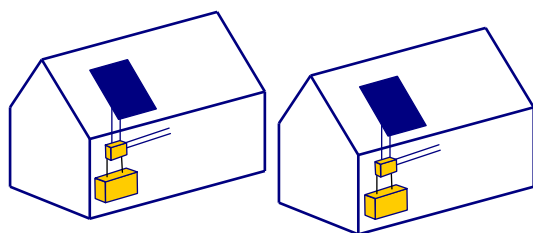
Basis configuraties



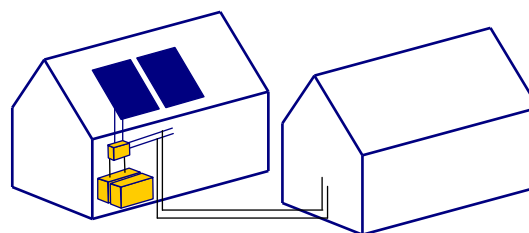
▲ Eenvoudigste configuratie. Wordt veel toegepast voor Solar Home Systems

▲ Configuratie met omvormer. Wordt veel toegepast voor grotere Solar Home Systems en verder voor (semi-) professionele toepassingen (weeshuis, school, ziekenhuis)

Centraal of decentraal

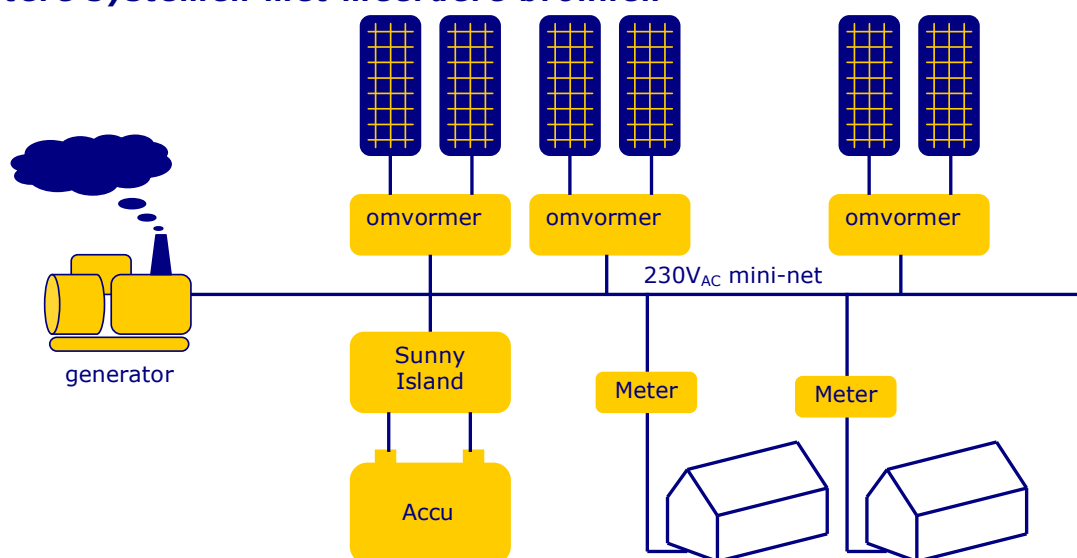


▲ Meerdere autonome systemen decentraal opgesteld.



▲ Centraal systeem

Grotere systemen met meerdere bronnen



▲ Systeem configuratie gebaseerd op het Sunny Island concept van SMA (www.SMA.de) Vanuit de zonnepanelen wordt de stroom direct omgezet in wisselstroom, welke een mini-netje voeden. Diverse andere energiebronnen, zoals een diesgenerator en een windgenerator, kunnen ook worden aangesloten. Bij meer aanbod dan vraag naar elektriciteit, werkt de accu als buffer. Dit systeem kan voordelen hebben voor kleine gemeenschappen met meerdere woningen / gebouwen. Het systeem is eenvoudig uit te breiden indien er veranderingen optreden waardoor de energiebehoefte verandert (zoals de aansluiting van nieuwe gebouwen).

De laadregelaar

De laadregelaar zit bij de standaard configuraties als een spin in het web. Hij reguleert de stroom van de zonnepanelen richting de accu en richting de apparaten. Hij reguleert ook de stroom naar en uit de accu. Aandachtspunten voor een goede laadregelaar staan in onderstaande tabel.

▼ Karakteristieken laadregelaar

Karakteristiek	Omschrijving
Overlaad-beveiliging	Basisfunctie regelaar: Niet voller dan vol. Zonnepanelen afschakelen.
Onderlaad-beveiliging	Optioneel: Niet leger dan bijv. half leeg. Apparaten afschakelen.
Aanduiding ladingstoestand	Meestal: groen-oranje-rood aanduiding. Duurdere: LCD-display met een percentage-aanduiding omtrent ladingstoestand accu.
Amperage	Maximale stroom van zonnepaneel (bijv. 20A). Een 600Wp systeem met systeemspanning 24V heeft minimaal $600/24=25A$ nodig.

Temp-compensatie	Noodzakelijk, zeker voor tropische landen.
Nat/droog instelling	Instelling natte/ droge accu's. Natte mogen boven 14V, droge max 13.8V.

Stap 5 Keuze accu

De keuze van de accu is cruciaal. De accu bepaalt voor 20-30% de investeringskosten in het zonnestroom systeem. De accu bepaalt voor 40-50% de prijs van de elektriciteit uit systeem (Zie tekstvak 3). Bij slechte keuze van de accu kan dit nog hoger zijn.

Bepaling benodigde capaciteit

De accu-capaciteit wordt gegeven in Ah (Ampere-uur). Een 12V-accu van 50Ah kan 50 uur lang 1 Ampere geven bij een spanning van 12V. In kWh uitgedrukt is de capaciteit daarom $50A \times 12V = 0.6kWh$. Echter: Het is voor de levensduur van de accu niet goed om hem helemaal leeg te trekken. Uitgangspunt in de berekening is daarom dat de theoretische accucapaciteit voor de helft benut mag worden.

In stap 2 is de noodzakelijke autonomie bepaald. Bij het voorbeeld van 3 dagen autonomie en een dagelijkse stroombehoefte van 2.0kWh, dient de accu-capaciteit $6.0 \times 2 = 12.0$ kWh te zijn. In geval van een 12V-systeem is dat dus 1000Ah, bij een 24V systeem is het 500Ah.

Keuze van het type accu

Lood-zwavelzuur accu's zijn nog steeds de beste optie voor zonnestroomsystemen. Binnen dit gegeven is er nog veel te kiezen in soort, kwaliteit en prijs. Onderstaande tabel geeft een overzicht.

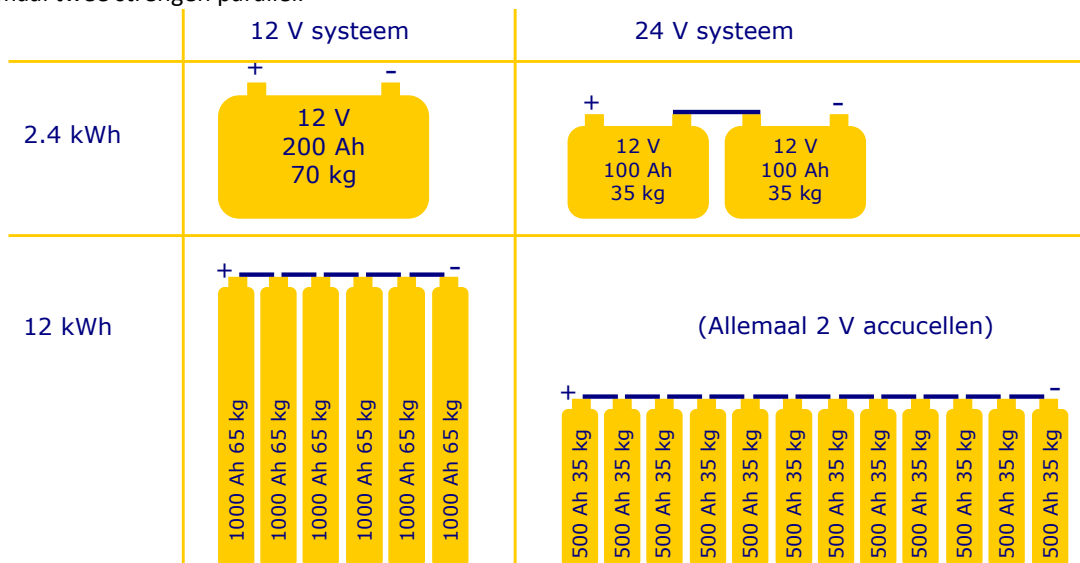
▼ Eenvoudige onderverdeling van accu's en de geschiktheid voor het zonnestroomstelsel

Type Accu	Omschrijving		
Natte accu's (accu's met dopjes, om bij te vullen met gedestilleerd water)	Start-accu's	Ontworpen voor kortstondige hoge stromen, zoals het starten van de motor. Niet geschikt voor zonnestroomsystemen	\$
	Semi-tractie accu's	Goed geschikt voor dag-nacht cyclus zoals bij meeste zonnestroom toepassingen	
	Tractie accu's	Geschikt om elke dag helemaal op te laden en helemaal te ontladen, zoals bij heftrucks. Niet voor zonnestroomsystemen.	
Droge (onderhoudsvrije) accu's. Ook bekend als VRLA = Valve Regulated Lead Acid	AGM accu's (Absorbed Glass Mat)	Worden veel gebruikt in UPS-systemen (noodstroom). Geschikt voor leveren van veel stroom in kleine tijd. Wel mogelijk, maar niet ideaal voor zonnestroom.	\$\$\$\$
	Gel accu's	Duurste maar ook meest duurzame keuze voor zonnestroom systeem. Zeer geschikt voor cyclisch bedrijf (dag-nacht), kan diep worden ontladen, lange levensduur.	

Een voor amateurs redelijk leesbare technische verhandeling over accu's staat in hoofdstuk 2 van het boekje van Reinout Vader 'Altijd Stroom', welke als download te vinden is op de website van Victron Energy www.victronenergy.nl.

Accu configuratie

Het is mogelijk, maar niet wenselijk om meerdere accu-strengen met elkaar in serie te zetten. Het probleem dat zich kan voordoen, is dat de accu's aan einde van levensduur zich in elkaar ontladen. Richtlijn is daarom maximaal twee strengen parallel.

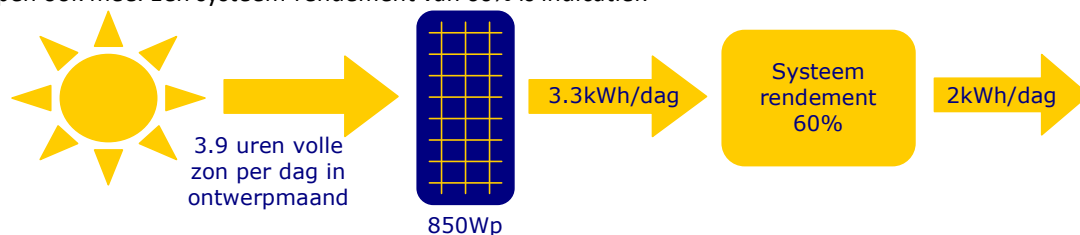


▲ Accu's worden bij voorkeur allemaal in serie geschakeld.

Stap 6 Keuze zonnepanelen

Capaciteit zonnepanelen

Uit stap 3 volgt de instraling van de project locatie. Van belang is de maand met de laagste instraling: Dit is de ontwerp-maand. In het voorbeeld van Ghana is dit Augustus (4 uren volle zon). Verder is van belang te beseffen dat het totale systeem een rendement heeft. Niet alle elektriciteit van het zonnepaneel zal uiteindelijk gebruikt kunnen worden. Het opladen en ontladen van de accu kost al 20% van de stroom, en diverse andere factoren snoepen ook mee. Een systeem-rendement van 60% is indicatief.



▲ Als gevolg van systeemverliezen, wordt niet alle stroom nuttig gebruikt. Voor het genereren van 2kWh per dag in de donkerste maand is een capaciteit van 850Wp nodig voor de zonnepanelen

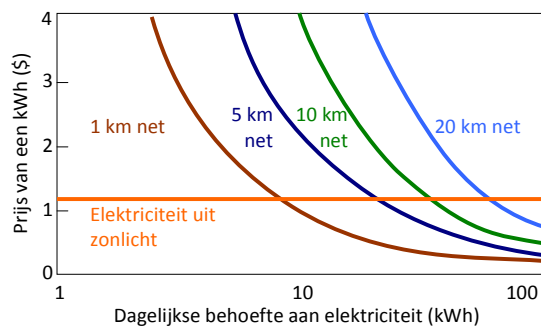
Soorten zonnepanelen

Karakteristiek	Omschrijving
Materiaal zonnecel	99% van de zonnecellen is van silicium. Er is onderscheid tussen kristallijn silicium (blauwe of zwarte plakjes) en amorf silicium (donkerbruine banen). Meest gebruikt zijn de kristallijne zonnecellen. Polykristallijn: Blauw gevlekt; monokristallijn: donker egaal.
Aantal zonnecellen	Bij kristallijn (zowel mono-kristallijn als poly-kristallijn) silicium is 36 een heilig getal. Er zijn 36 cellen nodig om een 12V-accu te laden. Meestal 4x9, soms 6x6.

	Voor 24V systemen zijn er grotere panelen met 72 cellen.
Kwaliteitsnorm	Kristallijne zonnepanelen: Dan staat er "IEC 61215" op specificatieblad Amorf silicium zonnepanelen: Idem, maar dan "IEC61646"

Tekstvak 3 De prijs van een kWh

Iedereen is het er wel over eens dat stroom uit zonnepanelen nog niet concurreert met stroom "uit het stopcontact". Met de stijgende brandstofprijzen en de dalende kosten van zonnepanelen zullen deze prijzen zich in de toekomst wel steeds verder tegemoet komen. In een situatie waar nog helemaal geen elektriciteit beschikbaar is, is het verhaal anders. Zowel de investering in zonnestroom als het leggen van een net naar een afgelegen locatie zijn hoog. Dikwijls blijkt dan dat zonnestroom rendabel is voor een afgelegen plaatsen, vanwege het relatief lage verbruik.



Dit blijkt uit de figuur. Bij een laag elektriciteitsverbruik zijn zonnestroomsystemen dus goedkoper dan een netuitbreiding, zelfs over relatief korte afstanden. Per locatie ziet deze grafiek er anders uit. Hoe de curves liggen, hangt af van veel lokale factoren, zoals het landschap, lonen, lokale materiaalkosten.

Een andere vergelijking is de prijs van zonnestroom met stroom uit een generator. In dit geval hoeft de zonnestroom niet te concurreren met goedkope stroom uit het stopcontact maar met dure stroom uit een dieselgenerator. En met de huidige brandstof prijzen, gaat dat steeds beter. Een kWh uit een dieselgenerator nadert de \$1.00 van onderen. Een kWh uit een zonnestroom systeem nadert de \$1,00 van boven. In sommige situaties is zonnestroom al goedkoper dan een dieselgenerator.

Onderstaand een uitgewerkt voorbeeld voor de Cambodjaanse situatie.

1 kWh uit 100 Wp systeem in Cambodja

Onderdeel	Prijs	Levensduur	Annuïteit
Zonnepaneel	\$ 600	20	\$ 52.31
Accu 100Ah	\$ 150	4	\$ 43.29
Regelaar	\$ 100	10	\$ 13.59
Overig	\$ 150	20	\$ 13.08
Totaal	\$ 1.000		\$ 122.26

Rente	6%
Zonuren per jaar in Cambodja	1900
Systeem rendement	60%
Aantal kWh per 100Wp	114
Prijs per kWh	\$ 1.07

Bij een rente van 6%, 1900 zonuren per jaar, systeemrendement van 60% geeft een 100Wp-systeem 114 kWh per jaar (zie berekening stap 6). De gemiddelde kWh-prijs komt dan op $\$122,26 / 114 = \$1,07$.

Het berekenen van de kWh-prijs uit een generator gaat vergelijkbaar. Laten we een 25kVA-machine bekijken. Die kan 20-25kW maximaal leveren, maar dat doet hij bijna nooit, omdat dit op niet altijd nodig is. Hij werkt meestal in deellast. Vergelijk dat met een bus die 50 mensen kan vervoeren, maar die niet helemaal vol zit. Er zitten maar 10 mensen in. Het rendement van die bus is dus lager dan dat hij helemaal vol zou zitten.

1 kWh uit dieselgenerator in Cambodja

Generator 20kVA Vermogen kW:	20.0
Rendement bij deellast	15%
Gebruik liters diesel per uur	2.0
Nuttig kWh opgewekt in 1 uur	3.0
Prijs liter diesel	\$ 1.25
Onderhoud en afschrijving per uur	\$ 0.25
Prijs kWh	\$ 0.92



▲ Installatie van zonnepanelen op weeshuis in Cambodja