



Udredning

---

# Solcellparker over drikkevandsområder

-Risikovurdering

---

**Titel:** Solcelleparker over drikkevandsområder - Risikovurdering

**Udarbejdet for:**  
Better Energy Solutions A/S

**Udarbejdet af:**  
Teknologisk Institut

Forfattere: Troels Bach Nielsen, Ketil Sørensen & Ivan Katic

December 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Ivan Katic".

## Baggrund

I forbindelse med opførelse af solcelleparker over vandindvindingsområder har visse myndigheder stillet spørgsmål om, hvorvidt der kan ske en mulig påvirkning af grundvandet med uønskede stoffer. Selv om solcelleanlæg ikke direkte udleder affaldsprodukter under drift, kan der over levetiden ske en nedbrydning af de materialer, anlægget er bygget af. Ligeledes kan der ske uheld såsom stormskade, påkørsel, lynnedslag eller brand, som potentielt kan blotlægge dele af konstruktionen i kortere eller længere tid.

Alt efter solcelletype og byggemetode vil der være behov for at analysere potentielle risici. I det specifikke tilfælde har Better Energy Solutions A/S dokumenteret materialeforbrug pr. MW anlægsstørrelse, hvilket er basis for denne udredning. Desuden er der indhentet data fra litteraturen.

Det gøres opmærksom på, at denne udredning udelukkende vedrører risikoen for nedsivning af stoffer fra solcelleparker til grundvandet i vandindvindingsområder. Andre potentielle risikofaktorer og miljøpåvirkninger er ikke analyseret, og udredningen har dermed ikke til formål at erstatte en eventuel påkrævet VVM-screening eller miljøkonsekvensvurdering i forbindelse med etablering af solcelleparker.

## Opbygning af solcellepark

Better Energy solcelleparker består af faste stativer på række, som er rammet direkte fast i jorden med stålpæle. Der er således ingen fundamenter, bortset fra der hvor transformeren er placeret.

Solcellemodulerne er af standard krystallinsk siliciumtype med rammer af aluminium, glasfor side og plastfolie bagside.

Inverterne er placeret decentralt på stativerne. AC kabler fra inverter og frem til transformer er gravet ned, mens DC kabler er fæstnet over jord. De bærende dele er af galvaniseret stålprofil. Magnelis er en særlig korrosions sikker alu/zink/magnesium overflade, som er selvhelende ved gennemboring. Alt er samlet med rustfrie bolte.

Nedenstående liste angiver vægt af materialer pr 1 MW moduleffekt [1]:

Material	Pieces/MWp	Weight/MWp	Unit	Materiale
Long pile	567	9561	Kg	Varmgalvaniseret stål
Short Pile	567	7229	Kg	Varmgalvaniseret stål
Querträger	432	18742	Kg	Stål med Magnelis
Moduleträger	1512	13793	Kg	Stål med Magnelis
Assembly piece	378	242	Kg	Stål med Magnelis
Inverterträger	28	157	Kg	Varmgalvaniseret stål
AC cable	327	812	Kg	Alukabel
DC cable	6750	250	Kg	Kobberkabel
hardware (bolte)	39935	1200	Kg	Rustfri A2

Modules	2500	56250	Kg	Std poly/mono moduler
Inverter	14	868	Kg	Elektronik( Huawei)
Transformer	1,5	6035	Kg	Standard distributionstransformer.
Total	=	115139	Kg	
	~	115,14	Tons	

Der er følgende materialer med direkte kontakt med jord:

- Galvaniserede stål-pæle, typisk rammet ned til 1,3 - 1,5 m dybde
- Hovedkabel med PVC kappe

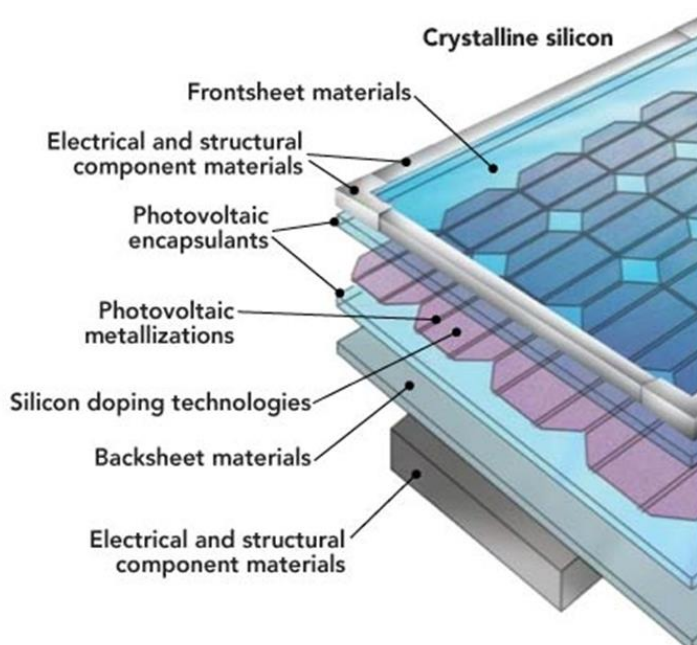
Hvert ben vejer ca. 5,72kg/m så med 567+567 ben pr. MW giver det følgende masse under jord:

$M = 1,4 \text{ m} \times 1134 \times 5,72 \text{ kg/m} = 9081 \text{ kg}$ . Med 1 MW/ha er det lig med 0,9 kg/m<sup>2</sup> jordoverflade

## Generelle miljødata for krystallinske solcellemoduler

De fleste solcellemoduler på markedet er bygget op på samme måde som angivet i Figur 1 herunder, det vil sige som en hærdet glasplade med et polymerlaminat på bagsiden, hvori de enkelte solceller ligger beskyttet mod vind og vejr. Pladen er indrammet med et aluminiumsprofil. Solcellerne består hovedsageligt af rent silicium, disse er forbundet med metalliske lederbaner.

<p>Komponenter:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Hærdet jernfrit glas</li> <li>2) Aluminiumsramme</li> <li>3) Celleindkapsling (polymer)</li> <li>4) Cellemetallisering (sølv, kobber, bly, tin)</li> <li>5) Siliciumceller med lille indhold af bor og fosfor</li> <li>6) Bagside polymer</li> <li>7) Elektrisk tilslutningsboks typisk PP</li> </ol>
---



Figur 1 Opbygning af solcellemodul

I forbindelse med et forslag fra EU-kommissionen om muligvis at indføre Ecodesign krav på solcelleområdet, er der gennemført en række analyser af solcellesystemers potentielle miljømæssige udfordringer. Blandt andet er mængderne af indgående stoffer undersøgt [5]. Det fremgår, at langt den overvejende del af vægten udgøres af glasset og dernæst kommer aluminiumrammen. Bly i loddetin udgør 0,73 g pr m<sup>2</sup>. Hvis man regner med en effekt på 180 W/m<sup>2</sup> modul, vil der til et anlæg på 1000 kW skulle bruges 1000/0,18 = ca. 5600 m<sup>2</sup> og dermed i alt 4 kg bly.

Version 3.06 VHK for European Commission 2011, modified by IZM for european commission 2014		Document subject to a legal notice (see below)	
ECO-DESIGN OF ENERGY RELATED/USING PRODUCTS		EcoReport 2014: <u>INPUTS</u>	Assessment of Environmental Impact
Nr	multi Si panel 1 m2 Products	Date	Author vito
Pos nr	MATERIALS Extraction & Production Description of component	Weight in g	Category Click & select Material or Process select Category first ! Recyclable?
1	<b>materials</b>		
2	<b>photovoltaic cell</b>		
3	photovoltaic cell, multi- Si, at plant/m2/CN U	5.33E+02	8- Extra 102- photovoltaic cell, multi- Si, at plant/m2/CN
4			
5	<b>interconnection</b>		
6	Tin, at regional storage/RER U	1.29E+01	8- Extra 103- Tin, at regional storage/RER U
7	Lead, at regional storage/RER U	7.25E-01	8- Extra 104- Lead, at regional storage/RER U
8	Copper, at regional storage/RER U and Wire drawing, copp	1.03E+02	4- Non-ferro 30 - Cu wire
9			
10	<b>encapsulation</b>		
11	Ethylvinylacetate, foil, at plant/RER U	8.75E+02	8- Extra 105- Ethylvinylacetate, foil, at plant/RER U
12			
13	<b>backsheet</b>		
14	Polyvinylfluoride film, at plant/US U	1.12E+02	8- Extra 106- Polyvinylfluoride film, at plant/US U
15	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plan	3.46E+02	1-BlkPlastics 10 - PET
16			
17	<b>pottant &amp; sealing</b>		
18	Silicone product, at plant/RER U	1.22E+02	8- Extra 107- Silicone product, at plant/RER U
19			
20	<b>frame</b>		
21	Aluminium alloy, AlMg3, at plant/RER U	2.13E+03	4- Non-ferro 27 - Al sheet/extrusion
22			
23	<b>glass</b>		
24	Solar glass, low-iron, at regional storage/RER U & Temperin	8.81E+03	8- Extra 108- solar glass and tempering
25			
26	<b>junction box</b>		
27	Diode, unspecified, at plant/GLO U	2.81E+00	6- Electronics 49 - SMD/ LED's avg.
28	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	2.38E+01	1-BlkPlastics 2 - HDPE
29	Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection mouldin	2.95E+02	2- TecPlastics 19 - E-glass fibre
30			
31			

Figur 2 Bill-Of-Material for typisk krystallinsk solcellemodul (vægt i g pr m2)

## Risiko for påvirkning af grundvand – stålkonstruktion

De nedrammede stålpæle består af varmgalvaniseret stål. Det vil sige stål, der er overfladebehandlet med zink ved høj temperatur. Varmgalvaniseret stål er meget slidstærkt og modstandsdygtigt overfor miljøpåvirkninger, og anvendes i vid udstrækning til diverse udendørs konstruktioner, for eksempel lygtepæle og autoværn. Galvaniseret stål anses som relativt miljøvenligt og anvendes blandt andet også til drikkevandsledninger.

Efter konstruktion af anlægget vil der med tiden ske en langsom forvitring af ståloverfladen, og zinken på overfladen kan dermed frigøres til den omgivende jord. Zinklaget på stålpælene er dog meget tyndt, og typisk vil der være mindre en 1 g zink per m<sup>2</sup> ståloverflade. Til sammenligning ligger det naturlige baggrunds niveau af zink i jorden i Danmark typisk mellem 10 og 300 g per m<sup>3</sup>[6].

Bidraget fra det nedrammede galvaniserede stål til jordens indhold af zink anses derfor som uvæsentlig, ligesom det potentielle bidrag til zinkindholdet i grundvandet.

Hvis zinkgalvaniseringen bortvaskes helt og den underliggende jernkonstruktion blotlægges, kan der dannes forskellige jernoxider (rust). Ved iltrige forhold (over jorden og i øverste jordlag) dannes ferrijern (Fe<sup>3+</sup>) som i praksis er uopløseligt. I de dybere jordlag kan der dannes ferrojern (Fe<sup>2+</sup>), som er vandopløseligt [4]. I praksis skønnes det, at kun en meget lille del af jernkonstruktionen potentielt kan omdannes til ferrojern.

## Risiko for påvirkning af grundvand – udvaskning af stoffer fra panelerne

I lang de fleste glasmatricer tilstræbes det at have en kontinuert fase. Typisk består denne fase af siliciumoxid samt en række sekundære komponenter, som tilsættes for at justere glassets fysiske egenskaber og forarbejdningstemperatur. I disse tilfælde hvor glasset har en kontinuert fase som primært består af siliciumoxid, betragtes udvaskning af enkelt komponenter med vand som ikke eksisterende [3].

I nogle tilfælde har glasmatricen dog mere end en fase. Dette kan være som følge af fejl i fabrikationen, eller det kan være tilstræbt for at opnå nogle bestemte egenskaber. I disse tilfælde vil der typisk være en fase, som er rig på siliciumoxid og en fase, som indeholder intet eller næsten intet siliciumoxid. Her vil den fase, der har et lavt silicium indhold, i nogle tilfælde kunne udvaskes med vand [2].

Som et eksempel kan nævnes at borosilikatglas med en lille smule alkalijordmetaller (typisk natrium eller kalium) ved nogle blandingsforhold danner et to faseglas hvor natriumoxid/borat-fasen kan vaskes ud med vand [2].

Solcelleglas er ofte coatede med titanium oxid for at begrænse refleksion. Over tid vil denne coating kunne vaskes/slides af. Risikoen for nedsivning til grundvandet betragtes dog som meget lille, idet titanium oxid i praksis ikke er opløselig i vand.

Glasset kan også være belagt med grafen for at formindske tilsmudsning. Grafen er et nanomateriale, der består af kulstofatomer, og selv om det anses for at være kemisk uproblematisk, er der, i lighed med andre nanomaterialer, aspekter af den potentielle miljøpåvirkning, der endnu ikke er velbelyste. Grafen er i lighed med titaniumoxid uopløseligt i vand, og risikoen for nedsivning til grundvandet betragtes derfor som meget lille.

## Risiko for påvirkning af grundvandet – dannelse og nedsivning af kemiske materialer i forbindelse med brand

Der kan i uheldige tilfælde opstå brand i solcelleanlæg af forskellige årsager:

- Elektriske lysbuer på DC-siden, for eksempel opstået på grund af en dårlig forbindelse. Disse er meget lokale og vil hurtigt brænde ud af sig selv.
- Direkte lynnedslag i anlægget. Forekomsten af lyn i Danmark er beskeden, og der er ikke større risiko for nedslag end i andre konstruktioner.
- Markbrand, som breder sig ind under anlægget og nedsmelter/brænder bagsidelaminatet. Dette kan medføre langt den største skade.

Nedenfor er listet de materialer i anlægget, som kan brænde (reagere med ilt). Hvorvidt der sker en reaktion, er meget afhængig af forbrændingstemperaturen. For eksempel kan både aluminium og kobber reagere med ilt og danne faste oxider. Dette sker dog ekstremt langsomt ved almindelige forbrændingstemperaturer og dannelsen af et fast oxidlag på overfladen af metallerne begrænser reaktionen yderligere. Skulle der blive dannet metal oxider, vil disse i praksis ikke være vandopløselige.

- Aluminium
- EVA
- PP
- PVC
- Sølv, kobber, bly, tin

De organiske polymerer som indgår i anlægget (EVA, PP og PVC) kan alle brænde. Ved en fuldstændig forbrænding dannes CO<sub>2</sub>, vand og saltsyre, alle på gasform og er derfor ikke relevante i forhold til nedsivning til grundvandet.

Ved en ufuldstændig forbrænding af PVC, EVA og PP vil der kunne dannes små vandopløselige organiske molekyler for eksempel eddikesyre. Disse vil være biologisk nedbrydelige og derfor ikke relevant i forhold til nedsivning til grundvandet.

For PVC kan der ved ufuldstændig forbrænding også dannes dioxin. Dioxin er ikke vandopløseligt og vil være enten på gasform eller absorberet til partikulært materiale, for eksempel sodpartikler. Der er en teoretisk mulighed for, at partikler med dioxin absorberet til overfladen over lang tid kan migrere gennem jordsøjlen til de vandførende lag. Det anbefales på den baggrund, at der ryddes grundigt op på jordoverfladen efter en eventuel brand.

## Risiko for påvirkning af grundvandet - blotlagt kabelmateriale, invertere og transformere

Kablerne på anlægget indeholder kobber, og for eksempel i forbindelse med brand vil en del af dette kobber kunne blive blotlagt. En udvaskning af relevante mængde af kobber forudsætter dog, at skaden ikke udbedres.

Inverterne hænger på bagsiden af stativerne og er fuldt metalindkapslede. De udgør derfor ingen risiko, selv hvis elektronikken skulle brænde.

Transformeren består for en stor del af kobber og jern og er normalt fuldt beskyttet. Efter det oplyste sker køling af transformere med en bionedbrydelig olie, som ved uheld eventuelt kan løbe ud på fundamentet. Der er derfor en teoretisk mulighed for, at olien løber videre ud på jorden og derfra vil begynde at sive nedad. Olien oplyses at være bionedbrydelig, og må derfor formodes at være nedbrudt, inden den når grundvandet. Risikoen for kontaminering af grundvandet betragtes derfor som meget lille.

## Sammenfatning

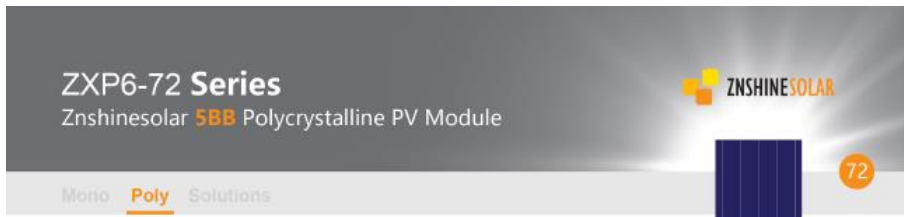
Undersøgelsen har vist, at der ved normal ældning af solcelleanlæg på bar mark er en teoretisk mulighed for frigivelse af små mængder uønskede stoffer over tid, dog uden at dette truer grundvandet. Ved større beskadigelser af anlægget, herunder brand, kan yderligere nedbrydningsprodukter blive frigivet. De vil dog kun kunne blive et problem hvis anlægget får lov at stå og forfalde. Vegetation under solcelleanlægget bør holdes nede for eksempel ved græsning for at imødegå risikoen for brandspredning.

## Referencer

1. Kommunikation med Better Energy Solutions
2. Glass Chemistry, Werner Vogel, 2012
3. <https://glassforeurope.com/insignificance-of-metals-migration-in-flat-glass/>
4. [http://denstoredanske.dk/Naturen i Danmark/Skovene/Naturen, mennesket og skovene/Skovenes naturgivne rammer/Jordbunden](http://denstoredanske.dk/Naturen_i_Danmark/Skovene/Naturen,_mennesket_og_skovene/Skovenes_naturgivne_rammer/Jordbunden)
5. Preparatory study for solar photovoltaic modules, inverters and systems. Draft Report Task 5: Environmental and economic assessment of base cases. Dodd, Nicholas; Espinosa, Nieves – JRC B5
6. <https://mst.dk/media/92467/Zink%20dec2002.pdf>



# Datablad for typisk solcellemodul

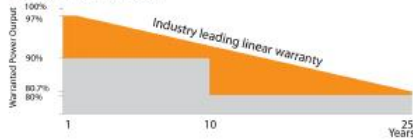


325W | 330W | 335W | 340W | 345W | 350W

Made with selected materials and components to grant quality, duration, efficiency and through outputs, the ZXP6-72 polycrystalline modules by ZNSHINE SOLAR represent a highly flexible solution for diverse installation types, from industrial rooftop plants to small home PV systems or large ground surfaces. This allows you to produce clean energy whilst reducing your energy bill.

ZNSHINE SOLAR'S ZXP6-72 polycrystalline solar modules are tested and approved by international acknowledged laboratories, so that we can offer our customers a reliable and price-quality optimized product. The linear warranty on product outputs further ensures increased security and return on investments over time.

**10 years workmanship warranty**  
**25 years output warranty(polycrystalline):2.5% in the first year, thereafter 0.7% per year ending with 80.7% in the 25th year from the Warranty Start Date**



**5 Busbar Solar Cell**

No power loss thanks to improved temperature co-efficient caused by 5 busbar solar cell



**High Efficiency**

High module efficiency up to 18.00%  
 Graphene coating can increase about 2W of the module efficiency by rising around 0.5% of the light transmission



**Anti PID**

Limited power degradation of ZXP6-72 module caused by PID effect is guaranteed under strict testing condition for mass production



**Linear Warranty**

25-year linear warranty on outputs



**Certified to withstand the most challenging environmental conditions**

5400 Pa snow load  
 2400 Pa wind load



**Customerization**

We can customize the graphene glass modules with self-cleaning function according to customer requirements.  
 Graphene glass modules can increase light transmittance and increase component efficiency



ZNSHINE PV-Tech Co., LTD, founded in 1988, is a world-leading high-performance PV module manufacturer, PV power station developer, EPC and power station operator. With its state-of-the-art production lines, the company boasts module output of 5GW. Bloomberg has listed ZNSHINE as a global Tier 1 PV manufacturer and Top 4 reliable PV supplier. [www.znshinesolar.com](http://www.znshinesolar.com)