

KAPITEL 15

FIGUR 115. Solpaneler på mark i Danmark.
Shutterstock.

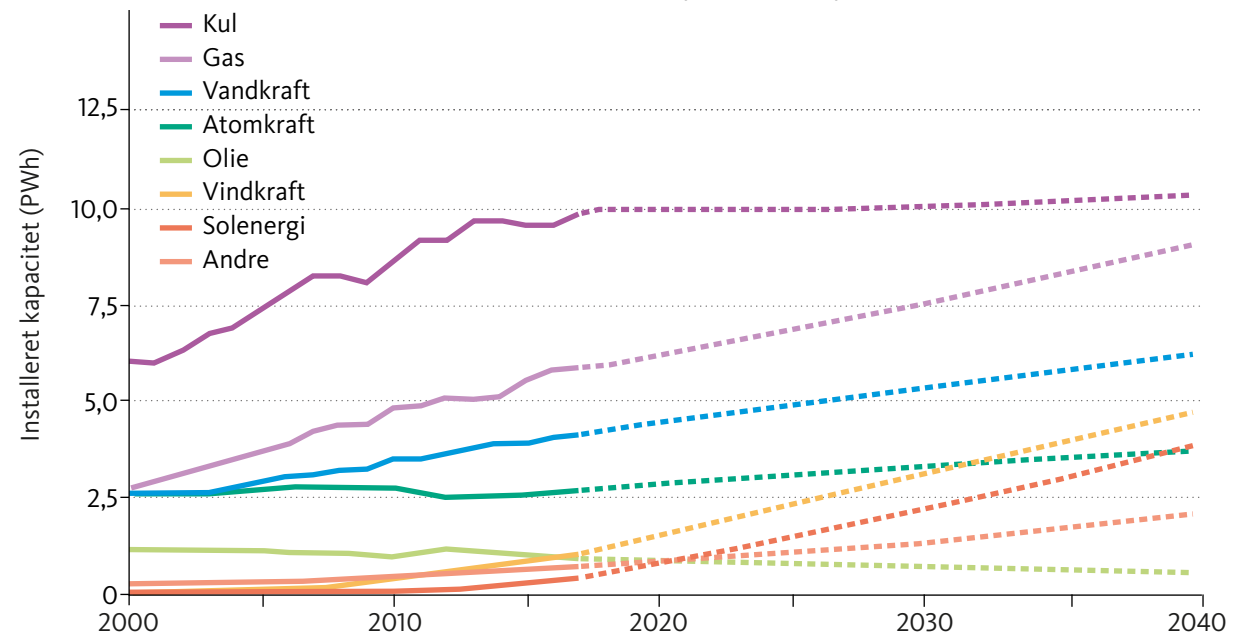
SOLCELLER – EN GRØN ENERGITEKNOLOGI

SOLCELLER – EN GRØN ENERGITEKNOLOGI

Solcelleteknologien udmærker sig ved, at den uden tilførsel af fossil energi og uden udledning af CO₂ omdanner solens stråler til elektricitet. Teorien om, at solens stråler kan omdannes til energi, beskrev Albert Einstein allerede i 1905, men der skulle gå mere end 50 år, inden amerikanske forskere fandt ud af at omsætte denne teori til praksis. Herefter gik der yderligere næsten 50 år, inden teknologien blev udviklet til det niveau, vi kender i dag, hvor det er blevet til en af de væsentlige grønne energiformer. Solcelleteknologien anses af nogle for at være en af de metoder, som i fremtiden kan producere mest elektricitet (figur 116).

Ikke alle områder i verden er lige velegnede til at udnytte solenergi (figur 117). Blandt andet har den nordlige del af Europa, herunder Danmark, og det østlige Kina relativt lidt indstråling, mens Sydeuropa, Nordafrika, Australien og det vestlige Nordamerika har relativt meget indstråling.

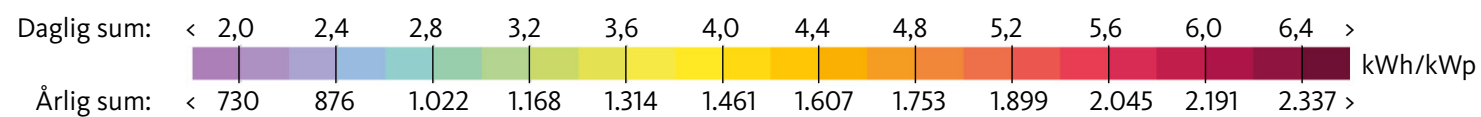
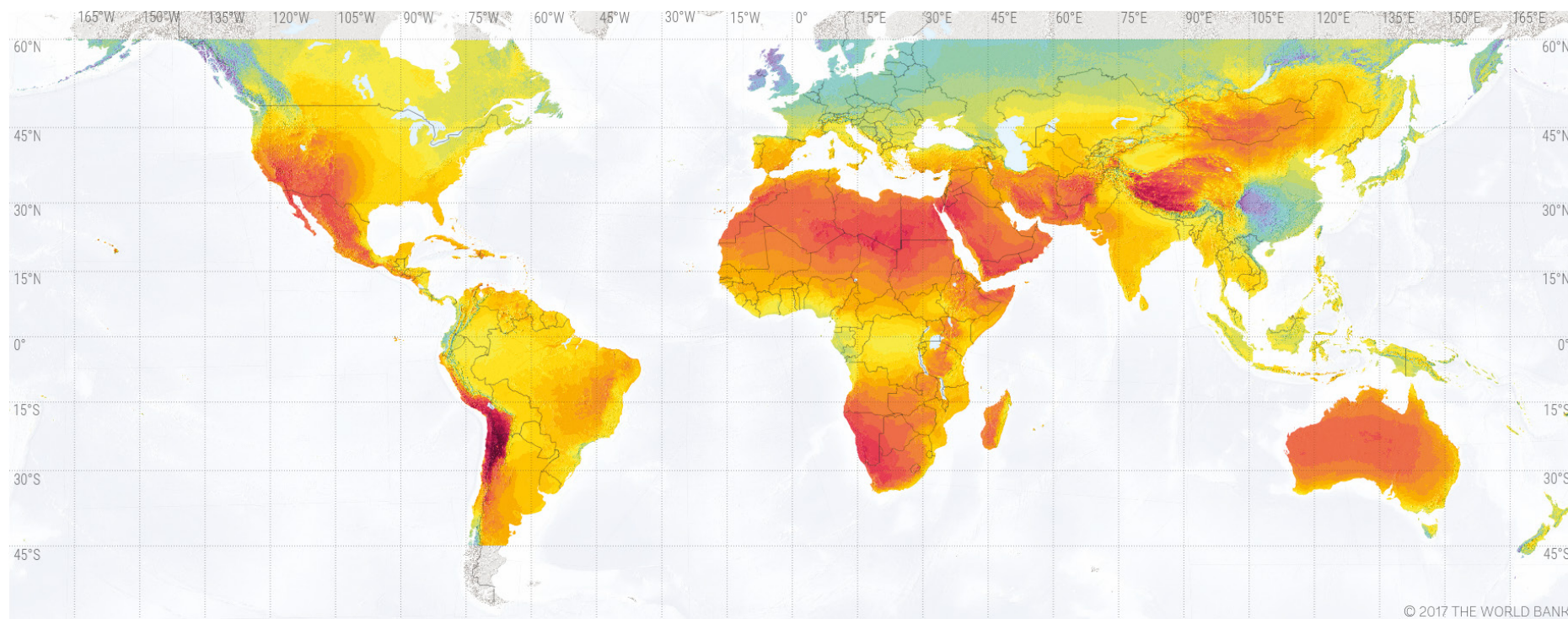
Trods disse forhold vinder solcelleenergiteknologien frem, også i Danmark. Der er et stigende antal landmænd, som vælger at installere solcelleanlæg på deres marker i ste-



det for at dyrke afgrøder i forventning om, at det på sigt vil give en bedre forrentning. Det er eksempelvis tilfældet på Lerchenborg Gods' marker ved Kalundborg, hvor 1.800 hektar landbrugsjord planlægges omlagt til solcelleanlæg.

Der er dog stadig tekniske og praktiske udfordringer, der skal løses, hvis solceller i fremtiden skal blive blandt de vigtigste energikilder i Danmark. For det første er

FIGUR 116. Det Internationale Energiagenturs forventninger til kapaciteten for otte forskellige energiteknologier frem mod 2040. Efter IEA (2018).



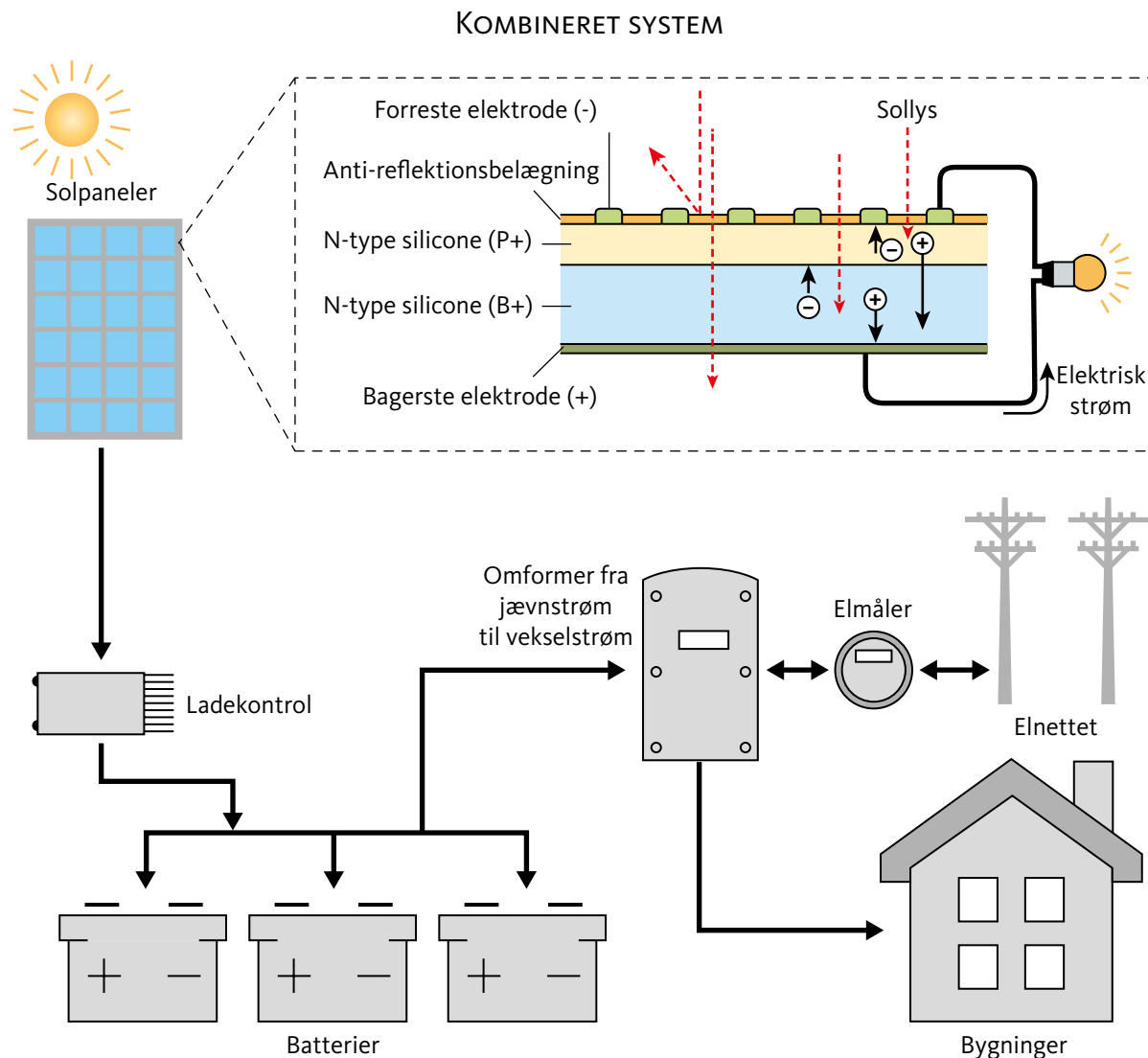
FIGUR 117. Kortlægning af de områder i verden der har de største potentialer for at producere energi fra solcelleanlæg. Kort af GSA (2017).

effektiviteten meget lav, og solcelleanlæg er derfor meget pladskrævende i forhold til at producere den samme mængde energi som fx vindmøller. Skulle hele Danmarks strømforbrug i 2017 på 32,4 mio. TWh dækkes af solceller, ville det kræve et areal svarende til næsten hele Lolland. Solcelleparkernes store pladsbehov er mange steder et praktisk problem og til tider årsag til folkelig modstand (figur 119. b). For det andet skal man være opmærksom på, at metoden kun fungerer i dagslys og bedst, når solen skinner. Der er derfor brug for at koble solceller med systemer, som kan opbevare energien, så den kan bruges, når solcellen ikke producerer energi. Dette kan fx være i form af batterier, opvarmning af store vandreservoirer eller til fremstilling af hydrogen som brændstof til biler.

DEN GLOBALE UDBYGNING AF SOLCELLEANLÆG

Den globale energikapacitet fra solcelleanlæg er hastigt stigende, og der er store muligheder for yderligere udbygning (figur 117). Selvom Kina ikke alle steder har optimale forhold for solcelleanlæg, udbygger Kina hurtigst og står for ca. 50 % af den globale

FIGUR 118. Kombineret system hvor solcellerne leverer energi til batterier, som kan bruges, når solcellen ikke leverer energi. Eventuel overskudsenergi sælges til elnettet. Princippet i solcellen ses i udsnittet. Af MiMa (2019).





FIGUR 119. Solceller i billeder.

A. Solceller på tage og på ydermure af bygninger bliver mere og mere almindelige.

B. Verdens største solcelleanlæg i Pavagada, Indien, med en forventet kapacitet på 2.000 MWh. Som en af løsningerne på arealproblemet arbejder man på, at lave solcelleparker på havet, husfacader, vejbelægninger m.m. Ud over arealproblemet kan der opstå problemer med at få tilstrækkelige forsyninger af nogle af de råstoffer, der skal bruges til at lave selve solcellerne. Foto af Bengali (2018).

C. Solcellekraftværk.

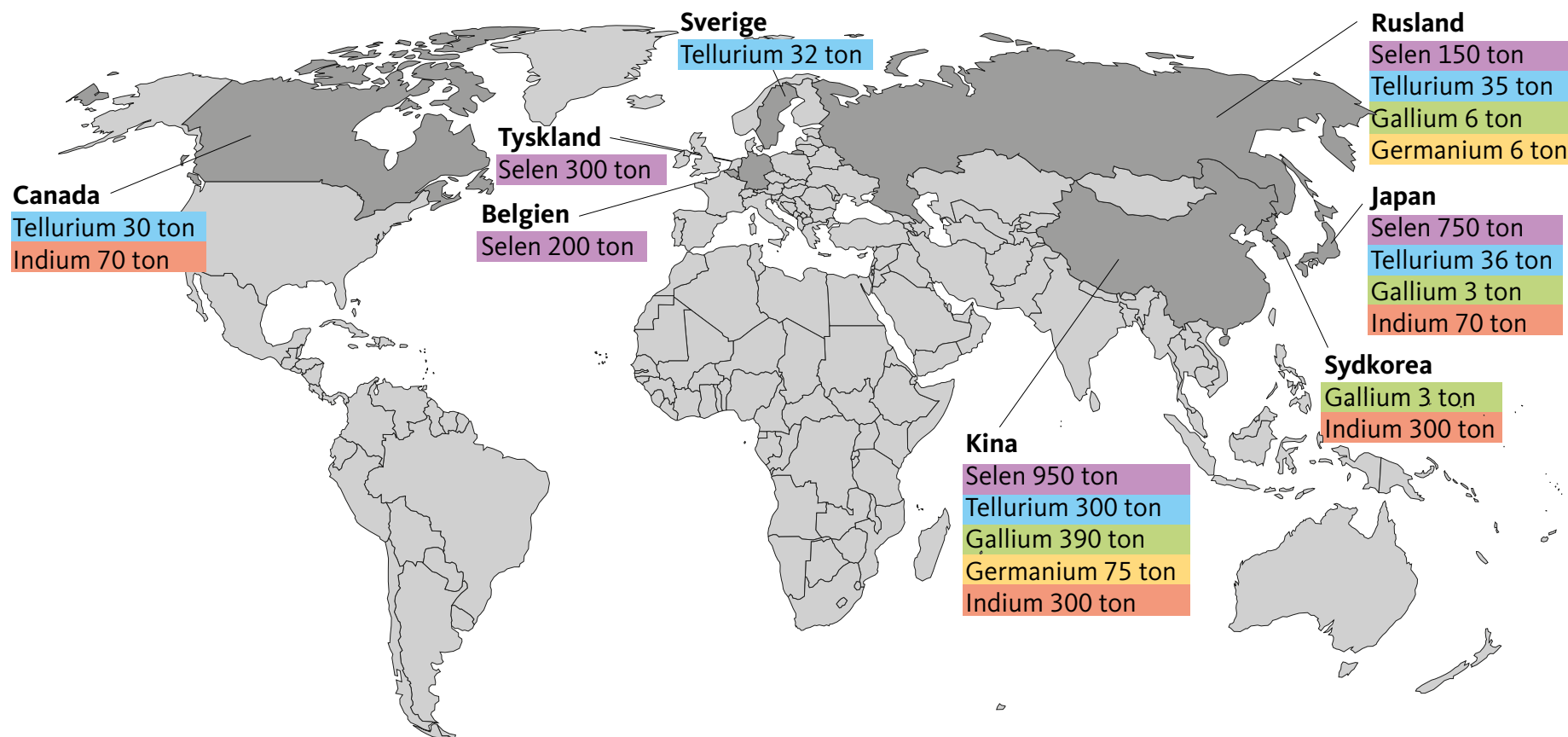
Foto A og C fra Shutterstock.



solcellekapacitet, som var under opbygning i 2018.

Solcellernes effektivitet afhænger både af celleteknologien, og hvor på kloden solcellen er placeret. I Sahara og Australien kan lysintensiteten være op til 2.000 kWh/m² pr. år, mens den i Nordeuropa er omkring 1.000 kWh/m² pr. år med meget lavere værdier i den mørke vintertid. Producenterne arbejder på at øge effektiviteten, som for de mest effektive anlæg er op til ca. 30 % af lysintensiteten, mens den for ældre systemer kun er få procent. Selv små teknologiske forbedringer kan derfor have stor energimæssig betydning.

Trods den hurtige udbygning af nye solcelleanlæg stod solceller i 2018 for under 2 % af verdens samlede elproduktion. I enkelte lande, som fx Honduras og Malta, produceres omkring 10 % af strømmen fra solcelleanlæg. Det Internationale Energiagentur anslår, at den samlede solcellekapacitet i 2050 vil være 4.670 GWh, hvilket er ni gange større end i dag. I takt med den stigende udbredelse er produktionsprisen for solcellematerialer faldet meget, og det, samt de store muligheder for at integrere teknologien i



FIGUR 120. Lande der producerer gallium, germanium, selen, tellurium og indium. Af USGS (2019).

bygninger og på transportområdet, bevirker, at teknologien vinder hurtigt frem.

HVORDAN VIRKER SOLCELLER?

Solcellerne omdanner sollyset til elektrisk energi ved hjælp af en fotoelektrisk proces, der sættes i gang, når solens stråler rammer overfladen af solcellen (figur 118). De enkelte solceller er opbygget som en sandwich, der består af to eller flere lag af halvledende materialer, hvor silicium er det hyppigst anvendte. Når sollysets fotoner rammer cellerne, dannes der en elektrisk ladning, fordi elektronerne får tilført energi og løsriver. Siliciumpartiklernes overflader er dækket med andre materialer, som giver hver skive af sandwichen en positiv eller negativ elektrisk ladning, som gør, at de løsrevne elektroner kun vil bevæge sig én vej, hvorved der skabes en jævnstrøm. Metalplader på siderne af cellen samler elektronerne og overfører dem til ledninger og gør det til brugbar energi. Hver enkelt celle producerer kun meget lidt energi, og derfor indeholder solpanelet millioner af celler, som er koblet sammen. Som råstoffer til solcellerne anvendes nogle af de metaller, som bliver elektrisk ledende, når de udsættes for lys eller varme.

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Vigtige grundstoffer til solceller										Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
			Tb	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

■ Vigtige grundstoffer til solceller

Disse grundstoffer omtales ofte som halvledere og omfatter bl.a. bor (B), silicium (Si), germanium (Ge), arsen (As), antimon (Sb), og tellurium (Te).

Der arbejdes i to retninger for at udvikle solcelleteknologien (inkrementel innovation):

- Forbedringer af effektiviteten af siliciumcellerne, og
- Udvikling af nye typer hvor cellerne er så tynde, at de kan monteres på overflader af

FIGUR 121. Vigtige grundstoffer der bruges i solcelleindustrien. Af MiMa (2109).

huse, biler, skibe, fly etc. Den slags celler kaldes tyndfilmssolceller eller Grätzel-celler.

Der er fordele og ulemper ved de to metoder. Siliciumcellen har betydeligt højere effektivitet end tyndfilmscellen, hvis tempe-

raturen ikke er alt for høj, mens tyndfilmscellen er lettere at indbygge, men har generelt en meget lav effektivitet.

RÅSTOFFER TIL SOLCELLER

Nogle af de vigtigste grundstoffer i solceller er vist i figur 121. De vigtigste produktionslande af disse grundstoffer er Canada, Sverige, Tyskland, Belgien, Kina, Rusland, Japan og Sydkorea (figur 120).

Siliciumcellerne udgør omkring 90 % af markedet. Ud over silicium, som er det råstof som bruges i størst mængde, bruges en række andre grundstoffer til produktionen, fx gallium, germanium og indium, som kun findes i meget små mængder i naturen. Derfor er det ikke økonomisk rentabelt at bryde disse råstoffer kun til brug i siliciumceller. Man bryder dem derfor som biprodukter til anden minedrift, fx aluminium, zink og kobber, hvilket medfører, at når produktionen af fx aluminium falder, vil produktionen af gallium også falde, selvom solcellefabrikantene faktisk mangler gallium.

En anden udfordring opstår, når den teknologiske udvikling af solceller og andre grønne energiteknologier går hurtigt og i løbet af

FIGUR 122. Forbrug, årlig produktion i 2015 og geologiske reserver for tellurium, gallium, selen, germanium og indium, der er de vigtigste materialer til produktionen af solceller. Bemærk at tallene for produktion og reserver er meget usikre, da selskaberne betragter produktion og forbrug som forretningshemmeligheder. Efter Grandell & Höök (2015) og USGS (2019).

Grundstoffer	Materialeforbrug (g/m ²)	Produktion (ton) (global) (2015)	Geologiske reserver (ton)
Tellurium	7,8	~500	24.000
Gallium	0,5	410	Ingen data
Selen	4,8	~2.000	120.000
Germanium	0,4	120	Ingen data
Indium	2,9	750	Ingen data

få år kræver stor tilførsel af bestemte mineraler og produktionen ikke kan følge med efterspørgslen. Mineindustrien og de industrier, som omdanner malm til produkter, har nemlig lang responstid i forhold til at fremskaffe råstoffer, når der opstår interesse/ efterspørgsel efter bestemte råstoffer. Dette misforhold mellem udbud og efterspørgsel kan også give forsyningsvanskeligheder for solcelleindustrien.

Forbruget af en række vigtige grundstoffer til solceller, samt den årlige mængde der brydes og hvor store reserverne er vist i figur 122.

SILICIUM (Si)

Silicium udgør sammen med oxygen mine-

ralet kvarts (SiO₂) og er et af de mest almindelige mineraler i jordskorpen. Før silicium kan bruges, skal oxygen og silicium adskilles. Dette gøres ofte i en lysbueovn, hvor SiO₂ reduceres til Si + O₂; efterfølgende gennemgår Si en række teknisk komplicerede oprensningsprocesser, inden det kan bruges som halvleder.

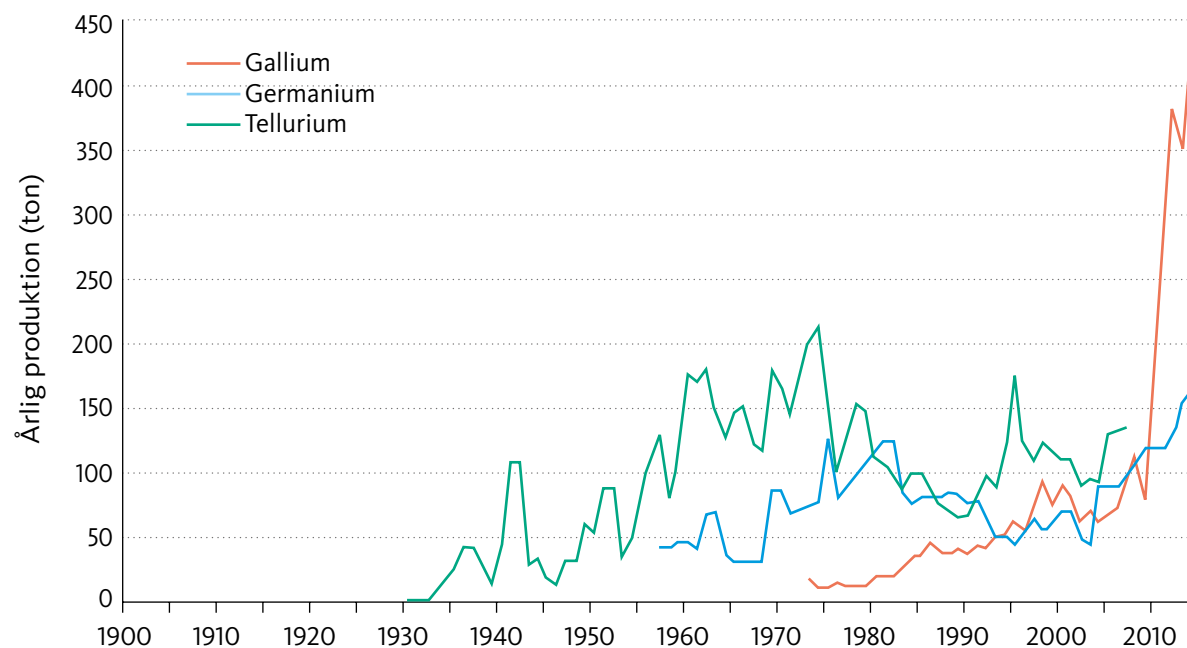
Kvarts kan komme fra både løse sandaflejringer og fra bjergarter, der indeholder meget kvarts, fx sandsten, og da kvarts er et almindeligt mineral, er der i princippet ikke vanskeligheder med at få fat i dette råstof. Men da det er energikrævende at omdanne kvarts til silicium, og der kun er få virksomheder, som kan gøre det, er silicium til solceller meget dyrt.

CADMIUM (Cd)

Cadmium er et miljøskadeligt og giftigt metal og af disse grunde bruges det i mindre omfang industrielt. Det meste cadmium udvindes fra zinkmalme, men næsten halvdelen kommer fra genanvendelse af nikkel-cadmium-batterier og fra andre produkter, der indeholder cadmium. Det er en miljøgevinst at fjerne cadmium fra vores affald og genanvende det. Kina og Sydkorea står for hovedparten af cadmiumproduktionen.

GALLIUM (Ga)

Gallium er en halvleder, som udgør omkring 17 ppm af Jordens skorpe, hvilket svarer nogenlunde til indholdet af kobber. Gallium indgår sjældent i selvstændige mineraler, men indgår som en lille del i aluminium- og zinkmineraler og kan derfor brydes som biprodukt til disse. Man har estimeret, at der er flere millioner ton gallium i verdens bauxitforekomster, så geologisk er der ikke mangel på gallium. Men hvis priserne på gallium ikke er høje nok, til at det kan betale sig for virksomhederne at få det ud af malmen, kan der opstå en mangelsituation, hvis efterspørgslen stiger. Hvis øget efterspørgsel får



priserne til at stige, så opstår problemet med mineralindustriens responstid i forhold til at omstille til stigende produktion. Hovedparten af den mængde gallium, som forarbejdes til gallium-arsenid bruges til fremstilling af halvledere. Men foreløbig er det kun få procent af gallium-arsenid-produktionen, der bruges til solceller; hovedparten bruges i laserteknologi og LED-belysninger. Mængder af indvunden gallium er vist i figur 123.

FIGUR 123. Udvikling i produktionen af gallium, germanium og tellurium. Bemærk det er alle under 1.000 ton/år. Efter Grandell & Höök (2015).

GERMANIUM (GE)

Germanium er en halvleder og udgør omkring 2 ppm af Jordens skorpe. I lighed med gallium findes der ikke forekomster af germanium, som er så rige at de kan brydes som hovedprodukt. Germanium og gallium udvindes i stedet som biprodukt fra zink- og kobberminerale. Herudover er germanium blevet udvundet fra flyveaske fra kulfyrede kraftværker; flyveasken kan indeholde op til flere procent germanium. Denne germaniumkilde vil dog forsvinde i takt med, at de kulfyrede kraftværker afvikles. Germaniumproduktionen er vist i **figur 123**.

INDIUM (IN)

Indium er en halvleder og et råstof, som ikke findes i store koncentrationer. Det gennemsnitlige indhold af indium i Jordens skorpe er 0,1 ppm, men det findes i højere koncentrationer sammen med zinkminerale. Derfor brydes det som biprodukt i nogle zinkminer. Der er generelt meget lidt tilgængelig viden om, hvor meget indium der produceres, og hvordan dette sker; men det vides med sikkerhed, at Kina står for mere end 50 % af verdensproduktionen.

SELEN (SE)

Selen er en halvleder og optræder i naturen i meget små mængder i fortrinsvis sulfidminerale. Selen bliver især brugt som pigment i glasfremstilling. Verdensproduktionen af selen var ca. 3.300 ton i 2017, hvoraf hovedparten blev produceret i Kina, Japan og Tyskland. En betydelig del udvindes som et biprodukt i kobberaffinering og fra skrottede fotokopimaskiner. De kendte geologiske reserver udgør i dag ca. 100.000 ton.

TELLURIUM (TE)

Koncentrationen af tellurium i Jordens skorpe er kun omkring 5 ppb, og tellurium er dermed et grundstof, der kun findes i meget små koncentrationer. Verdens reserver af tellurium, som især er knyttet til kobberforekomster, er i 2018 skønnet til at være omkring 120.000 ton. Af den årlige produktion på ca. 440 ton (**figur 123**) bruges ca. 40 % i solcelleindustrien, som dermed er det største enkeltmarked for tellurium.

NØGLEBEGREBER

- Solcelleråstofferne
- Halvleder

- Siliciummetal
- Siliciumceller
- Tyndfilmsceller

REFERENCER

Bengali, S. (2018). The biggest solar parks in the world are now being built in India. Hentet fra <https://www.latimes.com/world/asia/la-fg-india-solar-20180319-story.html>

Grandell, L., & Höök, M. (2015). Assessing Rare Metal Availability Challenges for Solar Energy Technologies. *Sustainability: Science Practice and Policy*, 7(9), 11818–11837.

GSA. (2017). Global Solar Atlas. Hentet fra <https://globalsolaratlas.info/>

IEA. (2018). *World Energy Outlook 2018*. Organisation for Economic Co-Operation and Development.

USGS. (2019). *Mineral Commodity Summaries 2019*. U.S. Geological Survey.

Viva Energi. (u.å.). Hvordan fungerer et hybrid solcelleanlæg med batteri? Hentet fra https://www.vivaenergi.dk/Hvordan_virker_det