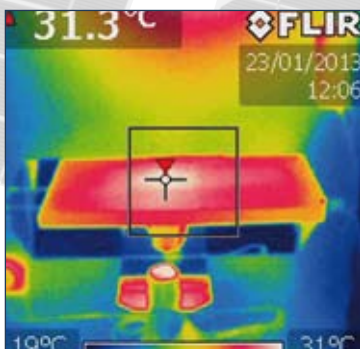


Sonnenenergie Photovoltaik

Strom aus Sonnenlicht



Grundlagen der Photovoltaik

Einflussfaktoren auf Modul-
leistung

Solartechnik Schaltungs-
beispiele

Vergleich und Messungen an
verschiedenen Modulen

Anschauungsmaterial

Modelle einer PV-Anlage

Arbeitsanweisungen für
Messversuche

Gefahrenabwehr

Solarenergie – Klimawandel
und Klimaschutz

Messreihen und Experimente

Infos zum Versuchsfeld
PV-Freilandanlage Werlte



Photovoltaik Praxismappe

Sonnenenergie Photovoltaik	1
1. Versuchsaufbau einer Inselanlage	2
2. Versuchsaufbau einer Parallelschaltung von Solarzellen	3
3. Versuchsaufbau einer Reihenschaltung von Solarzellen	3
Arbeitsblatt Strom aus (Sonnen-) Licht Parallelschaltung von PV-Modulen mit Messwiderstand 600Ohm	4
4. Versuchsaufbau Lichteinstrahlungswinkel	6
5. Versuchsaufbau Modulvarianten schräger Lichtstärken	6
6. Versuchsaufbau Temperatureinfluss	6
Arbeitsblatt Strom aus (Sonnen-) Licht Temperatureinfluss auf ein PV-Dünnschichtmodul	8
7. Photovoltaik Forschungs- und Versuchsfeld	10
8. Aufbau einer modernen Haus-PV-Anlage mit Stromspeicher	11
9. Fehlersuche mit Wärmebildkamera	12
10. Gefahrenpotentiale	12
11. Gefahrenabwehr/Schadensbegrenzung	13
12. Wartung von PV-Anlagen	13
13. Zielgruppen	13
14. Informationen für Einsatzkräfte von Feuerwehren und Technischen Hilfsdiensten	14
Arbeitsblatt Strom aus (Sonnen-) Licht Leistungsmodul eines PV-Dünnschichtmoduls bei variabler Lichtstärke	16
Arbeitsblätter Strom aus (Sonnen-) Licht <ul style="list-style-type: none">• Vergleich des Temperatureinflusses auf verschiedene PV-Module• Vergleich: Einfluss des Lichteinstrahlungswinkels auf verschiedene PV-Module• Vergleich der Leistung bei variabler Lichtstärke auf verschiedene PV-Module	17
Solralexikon	20
CO₂ und Energie gespart	28

Das Klimacenter ist eine Initiative des Landkreises Emsland und der Gemeinde Wertte und wird von der 3N Dienstleistungen GmbH betreut.

Informationsangebot des Klimacenter

Buchen Sie unsere Spezialangebote für Schulen (aller Schulformen)

- Mobile Umweltschule
- 3N Energiekoffer

Energiekoffer



Sonnenenergie Photovoltaik

Umweltbildung und Klimaschutz gehören zu unserem gesellschaftlichen Auftrag.

Der Einsatz erneuerbarer Energien spielt beim Klimaschutz eine zunehmende Bedeutung. Das 3N-Sonnenenergie-Photovoltaik-Projekt soll die Akzeptanz für erneuerbare Energien verbessern, den Teilnehmern nachhaltiges, anwendungsbezogenes Wissen zur Photovoltaik vermitteln. Die Bedeutung für die effektive Energieverwendung im Alltag soll ebenso erkannt werden, wie die Verantwortung jedes einzelnen Menschen dafür.



Viel Energie und Spaß beim Ausprobieren!



Schulungs- und Ausstellungsraum zur Photovoltaik im Klimacenter

1. Versuchsaufbau einer Inselanlage

Hier wird eine sogenannte Solar-Inselanlage dargestellt.

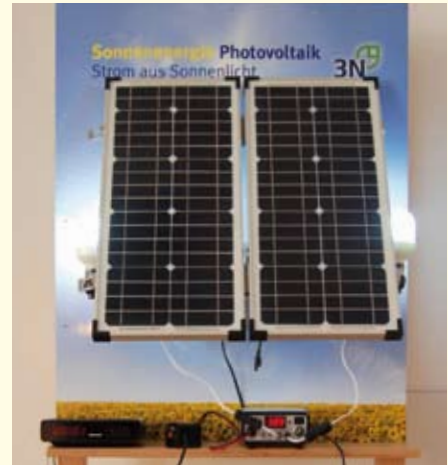
Bei dieser Anlage wird die erzeugte elektrische Energie direkt vor Ort verbraucht. In der Zeit wo eine starke Sonnenenergie zu Verfügung steht und wenig Energie gebraucht wird, können Stromspeicher (Accus) geladen werden. Wenn Energie zu einem späteren Zeitpunkt (Nachtstunden) benötigt wird, kann die Energie aus dem Stromspeicher bezogen werden.

Beispiele der Anwendung sind Campingurlaub, Wassersport, Energieversorgung von abgelegenen Gebäuden, Garagen, besonders in abgelegenen Orten auf unserer Erde, usw....

Vorteil:

Viele Menschen in abgelegenen Orten auf der Welt können einfach mit elektrischer Energie und so mit Licht versorgt werden. Es entstehen keine laufenden Kosten. Lebensqualität, Bildung, Kommunikation werden deutlich verbessert.

Notiz: Keine Messungen nur Darstellung mit Leuchten, Radio, Handy,....



Die Sonne übertrifft 700fach die Masse aller Planeten unseres Sonnensystems zusammen

und 330.000fach unseren Heimatplaneten, der im Durchmesser 109 mal hineinpasst. Mit einer Energieabstrahlung, die pro Sekunde das 20.000fache des Primärenergieverbrauchs seit Beginn der Industrialisierung ausmacht, fällt sie in die Leuchtkraftklasse V. Sie leuchtet mit einer Farbtemperatur von etwa 6000 K weiß und erscheint durch die Erdatmosphäre gelblich (Spektralklasse G2).

0,000 000 045% der Energie, die die Sonne abstrahlt, erreichen die Erde!

Die die Erde erreichende Sonnenstrahlung ist, seitdem sie gemessen wird, annähernd konstant; es gibt auch keine Hinweise auf deutliche Schwankungen in historischer Zeit. Die durchschnittliche Intensität der Sonneneinstrahlung beträgt an der Grenze der Erdatmosphäre etwa 1367 kW/m²; dieser Wert wird auch als Solarkonstante bezeichnet. Ein Teil der eingestrahnten Energie wird von der Atmosphäre von festen (z. B. Eiskristallen, Staub) oder flüssigen Schwebeteilchen sowie von den gasförmigen Bestandteilen gestreut und reflektiert. Ein weiterer Teil wird von der Atmosphäre absorbiert und bereits dort in Wärme umgewandelt. Der Rest geht durch die Atmosphäre hindurch und erreicht die Erdoberfläche. Dort wird er wiederum zum Teil reflektiert, zum Teil wird er absorbiert und in Wärme umgewandelt. Unter anderem in der Photosynthese, Photothermik und der Photovoltaik wird diese nutzbar gemacht. Die prozentuale Verteilung der Einstrahlung auf Reflexion, Absorption und Transmission hängt vom jeweiligen Zustand der Atmosphäre ab. Dabei spielen die Luftfeuchtigkeit, die Bewölkung und die Länge des Weges, den die Strahlen durch die Atmosphäre nehmen müssen, eine Rolle.

Die auf die Erdoberfläche auftreffende Strahlung beträgt weltweit im Tagesdurchschnitt (bezogen auf 24 Stunden) noch ungefähr 165 W/m² (mit erheblichen Schwankungen je nach Breitengrad, Höhenlage und Witterung). Die gesamte auf die Erdoberfläche auftreffende Energiemenge ist mehr als fünftausend Mal größer als der Energiebedarf der Menschheit.

2. Versuchsaufbau einer **Parallelschaltung** von Solarzellen

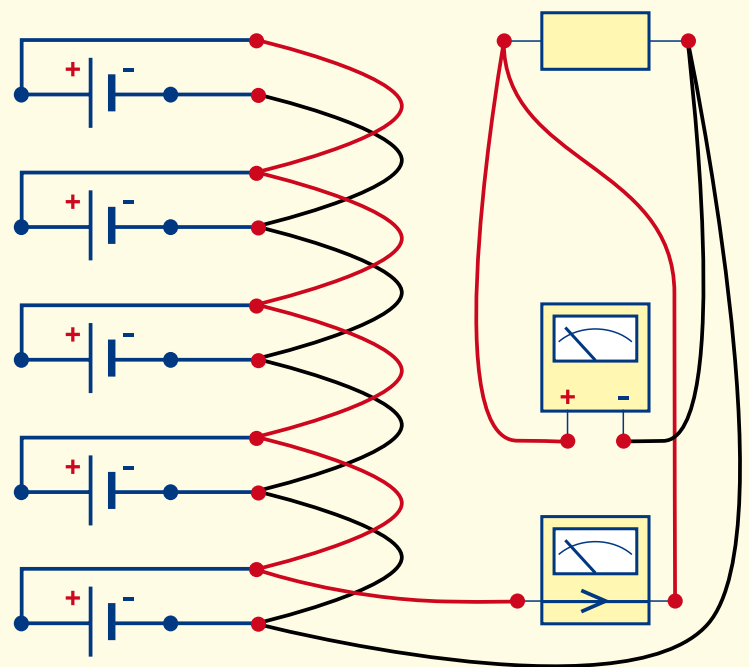
Bei diesem Versuch werden Solarmodule parallel geschaltet.

Es können mit den Messgeräten die Spannungen und die Stromstärken gemessen werden.

An den verschiedenen Messpunkten können die verschiedenen Einzelergebnisse ermittelt werden. Somit kann man die elektrische **Leistung** dieser Anordnung durch multiplizieren der Spannung mit der Stromstärke errechnen. ($P=U \cdot I$)

Durch die Helligkeitsregelung der Lichtquelle kann die Spannungsleistung der Solarmodule bei verschiedenen Lichtstärken gemessen werden.

Durch Verdecken einzelner Bereiche kann eine Verschmutzung/Verschattung simuliert und deren Auswirkung ermittelt werden.



3. Versuchsaufbau einer **Reihenschaltung** von Solarzellen

Bei diesem Versuch werden Solarmodule in Reihe geschaltet.

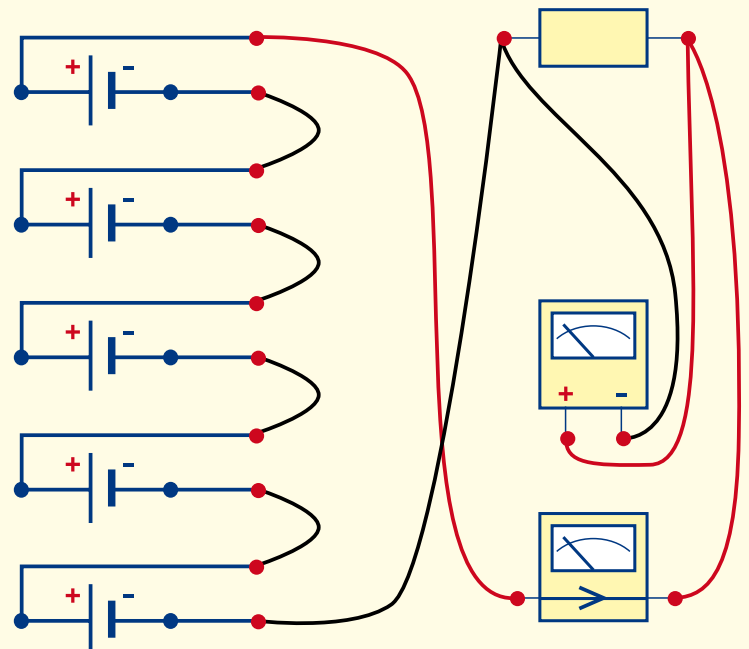
Es können mit den Messgeräten die Spannungen und Stromstärken gemessen werden.

An den verschiedenen Messpunkten können die verschiedenen Einzelergebnisse ermittelt werden.

Somit kann man die elektrische **Leistung** dieser Anordnung durch Multiplizieren der Spannung mit der Stromstärke errechnen. ($P=U \cdot I$)

Durch die Helligkeitsregelung der Lichtquelle kann die Spannungsleistung der Solarmodule bei verschiedenen Lichtstärken gemessen werden.

Durch Verdecken einzelner Bereiche kann eine Verschmutzung/Verschattung nachgestellt und die Auswirkung ermittelt werden.





Wie funktioniert eine Solarzelle?

Solarzellen bestehen aus verschiedenen Halbleitermaterialien. Halbleiter sind Stoffe, die unter Zufuhr von Licht oder Wärme elektrisch leitfähig werden, während sie bei tiefen Temperaturen isolierend wirken.

Über 95 % aller auf der Welt produzierten Solarzellen bestehen aus dem Halbleitermaterial Silizium (Si). Silizium bietet den Vorteil, daß es als zweithäufigstes Element der Erdrinde in ausreichenden Mengen vorhanden und die Verarbeitung des Materials umweltverträglich ist.

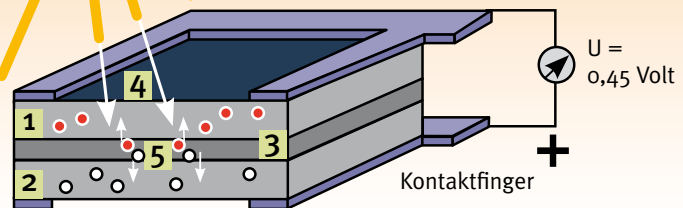
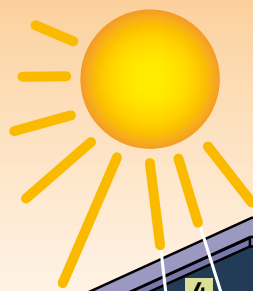
Zur Herstellung einer Solarzelle wird das Halbleitermaterial »dotiert«. Damit ist das definierte Einbringen von chemischen Elementen gemeint, mit denen man entweder einen positiven Ladungsträgerüberschuß (p-leitende Halbleiterschicht) oder einen negativen Ladungsträgerüberschuß (n-leitende Halbleiterschicht) im Halbleitermaterial erzielen kann.

Werden zwei unterschiedlich dotierte Halbleiterschichten gebildet, entsteht an der Grenzschicht ein sogenannter p-n-Übergang.

An diesem Übergang baut sich ein inneres elektrisches Feld auf, das zu einer Ladungstrennung der bei Lichteinfall freigesetzten Ladungsträger führt. Über Metallkontakte kann eine elektrische Spannung abgegriffen werden. Wird der äußere Kreis geschlossen, das heißt ein elektrischer Verbraucher angeschlossen, fließt ein Gleichstrom.

Siliziumzellen sind etwa 10 cm x 10 cm groß (seit kurzem auch 15 cm x 15 cm). Eine durchsichtige Antireflexschicht dient zum Schutz der Zelle und zur Verminderung von Reflexionsverlusten an der Zelloberfläche.

Prinzipieller Aufbau einer kristallinen Solarzelle



Funktionsweise einer Solarzelle

1. Die obere Siliciumschicht ist mit Phosphoratomen durchsetzt. Hier gibt es zu viele Elektronen.
2. Die untere Siliciumschicht ist mit Boratomen durchsetzt. Hier gibt es zu wenige Elektronen.
3. In der Übergangsschicht entsteht ein starkes elektrisches Feld.
4. Licht gelangt in die Übergangsschicht.
5. Die Lichtenergie erzeugt neue Ladungsträger und eine Spannung von 0,5 Volt entsteht.



Klimahaus Bremerhaven

4. Versuchsaufbau **Lichteinstrahlungswinkel**

Bei diesem Versuch werden verschiedene Solarmodule in verschiedenen Winkeln zur Lichtquelle gestellt.

Es soll damit erkannt werden, dass verschiedene Module einen speziellen Wirkungsgrad im Verhältnis zum Einstrahlungswinkel haben.

- monokristallines Modul
- polykristallines Modul
- Dünnschichtmodul



5. Versuchsaufbau **Modulvarianten** **schräger Lichtstärken**

Bei diesem Versuch werden verschiedene Solarmodule unterschiedlichen Lichtstärken ausgesetzt.

Durch die Helligkeitsregelung der Lichtquelle kann die Spannungsleistung der Solarmodule im Verhältnis zur Lichtstärke ermittelt werden.

Durch Verdecken einzelner Bereiche kann eine Verschmutzung nachgestellt und deren Auswirkung ermittelt werden.

- monokristallines Modul
- polykristallines Modul
- Dünnschichtmodul



6. Versuchsaufbau **Temperatureinfluss**

Bei diesem Versuch werden verschiedene Solarmodule erwärmt. Es wird die Erwärmung durch die Sonne imitiert. Es soll damit erkannt werden, dass verschiedene Module einer speziellen Temperatureinflussung unterliegen.

- monokristallines Modul
- polykristallines Modul
- Dünnschichtmodul

Achtung! maximale Temperatur von 90° C nicht überschreiten, Solarmodule können dann geschädigt werden.





Von der Zelle zum Modul

Um für die unterschiedlichen Anwendungsbereiche geeignete Spannungen bzw. Leistungen bereitstellen zu können, werden einzelne Solarzellen zu größeren Einheiten miteinander verschaltet. Eine Serienschaltung der Zellen hat eine höhere Spannung zur Folge, eine Parallelschaltung einen höheren Strom. Die miteinander verschalteten Solarzellen werden meist in transparentem Ethylen-Vinyl-Acetat eingebettet, mit einem Rahmen aus Aluminium oder Edelstahl versehen und frontseitig transparent mit Glas abgedeckt.

Die typischen Nennleistungen solcher Solarmodule liegen zwischen 10 Wpeak und 100 Wpeak. Die Kenndaten der Solarmodule beziehen sich auf die Standardtestbedingungen von 1000 W/m² Sonneneinstrahlung bei 25 °C Zelltemperatur. Die von den Herstellern angegebenen Garanzzeiten sind mit in der Regel 10 Jahren recht hoch und bezeugen den hohen Qualitätsstandard und die hohe Lebenserwartung heutiger Produkte.

Natürliche Grenzen beim Wirkungsgrad

Außer an der Optimierung von Produktionsprozessen arbeitet man auch an einer Erhöhung der Wirkungsgrade, um zu einer Verbilligung der Solarzellen zu kommen. Unterschiedliche Verlustmechanismen setzen diesem Vorhaben aber Grenzen. Grundsätzlich sind die einzelnen Halbleitermaterialien oder -kombinationen nur für bestimmte Spektralbereiche des einfallenden Lichtes geeignet. Ein bestimmter Anteil der Strahlungsenergie kann also nicht genutzt werden, weil die Lichtquanten (Photonen) nicht über ausreichend Energie verfügen, um Ladungsträger »aktivieren« zu können. Auf der anderen Seite wird ein gewisser Anteil an Photonen-Überschussenergie nicht in elektrische Energie, sondern in Wärme umgewandelt. Hinzu kommen optische Verluste, wie die Abschattung der Zelloberfläche durch die Kontaktierung oder die Reflexion einfallender Strahlung an der Zelloberfläche. Auch elektrische Widerstandsverluste im Halbleiter und in den Anschlußleitungen sind als Verlustmechanismen zu nennen. Der störende Einfluß von Materialverunreinigungen, Oberflächeneffekten und Kristalldefekten ist ebenfalls nicht unerheblich.

Einzelne Verlustmechanismen (Photonen mit zu geringer Energie werden nicht absorbiert, Photonen-Überschussenergie wird in Wärme umgewandelt) können nicht weiter optimiert werden, weil sie aus physikalischen Gründen durch das verwendete Material vorgegeben sind. Dies führt zu einem theoretisch maximalen Wirkungsgrad von beispielsweise etwa 28 % bei kristallinem Silizium.



Arbeitsblatt **Strom aus (Sonnen-) Licht**

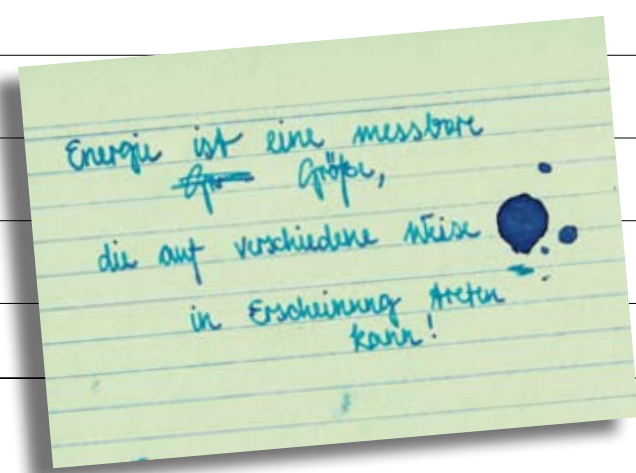
Temperatureinfluss auf ein PV-Dünnschichtmodul

Name/Gruppe: _____

Erforderliches Material für den Versuch:	Aufgabenstellung (Gruppenarbeit)
<ul style="list-style-type: none"> • Versuchsaufbau mit einem PV Dünnschichtmodul • Infrarotthermometer • Voltmeter • Wärmequelle • Lichtquelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Das Spannungsverhalten bei Temperaturunterschieden feststellen • Lichtstärken einstellen • Temperatur messen • Spannungsmessungen durchführen

Lichtquelle Stufe 4	Lichtstärke in Lux	Spannung(U) in Volt	Ergebnis $P=U \cdot I$
Raumtemperatur			
30°C Celsius			
40°C Celsius			
50°C Celsius			
60°C Celsius			
70°C Celsius			
80°C Celsius			
90°C Celsius			

Bemerkungen:





Potenzial

Als die größte Energiequelle liefert die Sonne pro Jahr eine Energiemenge von etwa $1,5 \cdot 10^{18}$ kWh auf die Erdoberfläche. Diese Energiemenge entspricht mehr als dem 10.000-fachen des Weltenergiebedarfs der Menschheit im Jahre 2010 ($1,4 \times 10^{14}$ kWh/Jahr).



Das Wort Photovoltaik ist eine Zusammensetzung aus dem griechischen Wort für Licht und dem Namen des Physikers Alessandro Volta. Es bezeichnet die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie mittels Solarzellen. Der Umwandlungsvorgang beruht auf dem bereits 1839 von Alexander Bequerel entdeckten Photoeffekt. Unter dem Photoeffekt versteht man die Freisetzung von positiven und negativen Ladungsträgern in einem Festkörper durch Lichteinstrahlung.

Mit Hilfe der Solartechnik...

...lässt sich die Sonnenenergie auf verschiedene Arten nutzen:

- Sonnenkollektoren gewinnen Wärme (Solarthermie bzw. Photothermik)
- Solarzellen erzeugen elektrischen Gleichstrom (Photovoltaik)
- Sonnenwärmekraftwerke erzeugen mit Hilfe von Wärme und Wasserdampf elektrischen Strom
- Solarkocher oder Solaröfen erhitzen Speisen oder sterilisieren medizinisches Material

Da die Sonne in alle Richtungen strahlt, kommt am äußeren Rand der Erdatmosphäre nur ein Bruchteil ihrer gesamten Strahlung an. Diesen Wert bezeichnet man als Solarkonstante. Konstante deshalb, weil Variationen in der Einstrahlung lange Zeit nicht messbar waren. Der Wert liegt bei 1367 k Watt pro Quadratmeter, dieser Wert gilt nur für eine gedachte Fläche, die senkrecht zur ankommenden Sonnenstrahlung liegt. Die gesamte auf die Erde ankommende Strahlung entspricht dann der, die auf einer Scheibe mit dem Durchmesser der Erde fallen würde. Das ist etwa so viel wie die Leistung von über 100 Millionen großen Kernkraftwerken.

Die tatsächliche Einstrahlung pro Quadratmeter wird zu den Polen immer kleiner. Den Boden erreicht außerdem nur das, was die Atmosphäre durchlässt. Hinzu kommt auch noch dass die Sonne morgens und abends viel niedriger am Himmel steht als mittags. In Werlte kommen deswegen im Jahresdurchschnitt gerade einmal 155 k Watt pro Quadratmeter an.

Ein Vierpersonenhaushalt braucht durchschnittlich 4000 k Watt; das bedeutet, dass ein Haushalt rechnerisch 25 Quadratmeter benötigt, um seinen kompletten Stromverbrauch selbst zu erzeugen.

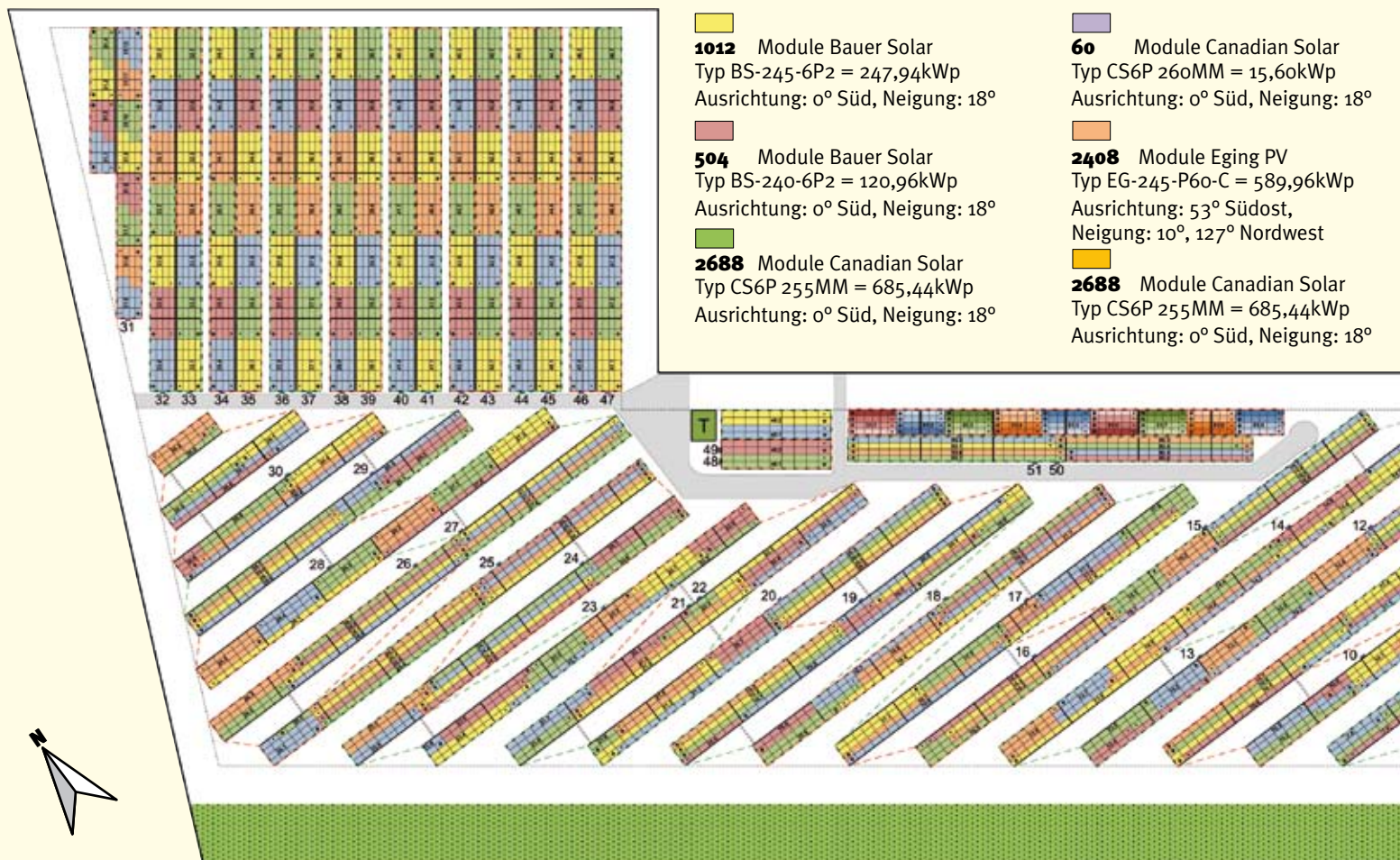


7. Photovoltaik **Forschungs- und Versuchsfeld**

Das Institut für erneuerbare Energien GmbH (IEE) hat in Zusammenarbeit mit der Gemeinde Werlte und dem Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe (3N) im Werlter Industriegebiet ein Photovoltaik Forschungs- und Versuchsfeld aufgebaut.

Hier wurden verschieden Modultypen und Wechselrichter verbaut. Besonders die Ausrichtung zur Sonne wird hier in vielen Richtungen und verschiedenen Neigungen erprobt. Die Auswertungen sind im Klimacenter aktuell elektronisch abrufbar.

Verstringungsplan des Forschungs- und Versuchsfeldes



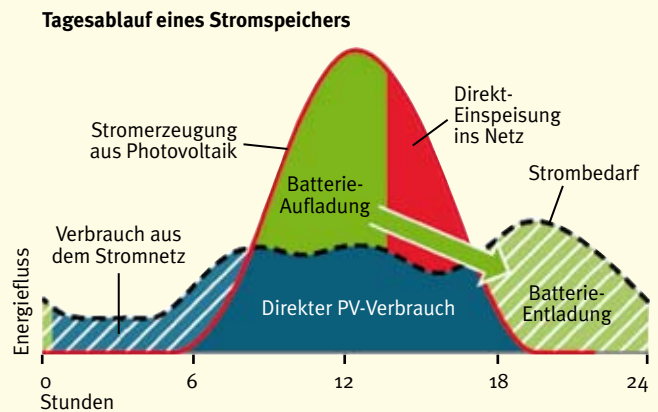
8. Aufbau einer modernen Haus-PV-Anlage mit Stromspeicher

Darstellung einer modernen PV-Anlage, mit Steigerung des Eigenverbrauchs.

In der Zeit wo starke Sonnenenergie zu Verfügung steht und wenig Energie gebraucht wird, werden Stromspeicher (Accus) geladen. Wenn Energie zu einem späteren Zeitpunkt (Nachtstunden) benötigt wird, kann die Energie aus dem Speicher bezogen werden.

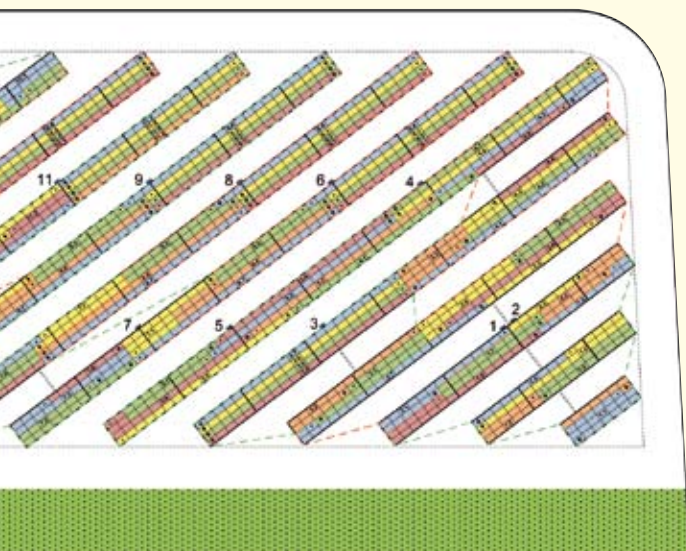
Wenn beides nicht ausreichend zur Verfügung steht, wird Energie aus dem öffentlichen Netz bezogen.

Wenn die Stromspeicher ausreichend geladen sind, wird die erzeugte Energie in das öffentliche Netz eingespeist.



Grafik: Nordwest Solar

- **36** Module Bauer Solar
Typ BS-245-6H15 = 8,82kWp
Ausrichtung: 37° Südwest, Neigung: 18°
- **156** Module Bauer Solar
Typ BS-240-6P2 = 37,44kWp
Ausrichtung: 37° Südwest, Neigung: 10°
- **216** Module Solar Frontier
Typ SF150 - L = 32,4kWp
Ausrichtung: 0° Süd, Neigung: 18°

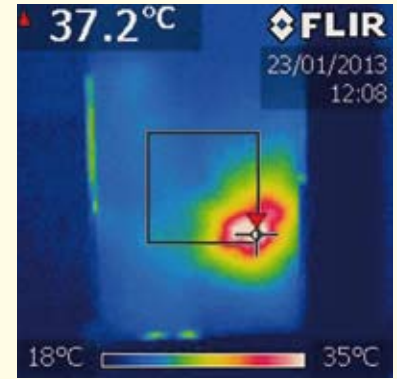
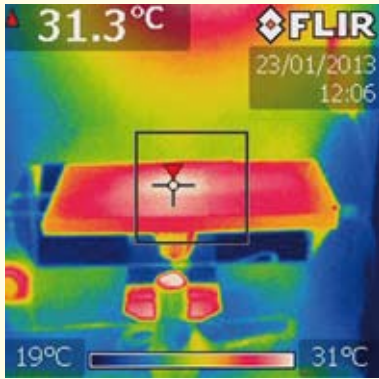


Wechselrichter mit Speicher

9. Fehlersuche mit Wärmebildkamera

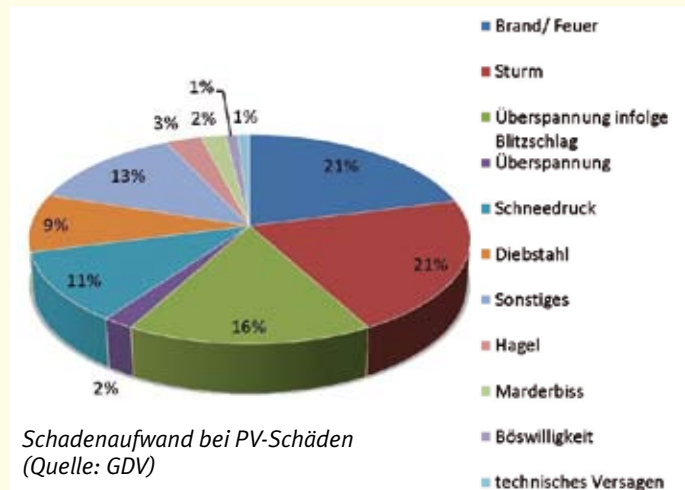
Durch Verschattung, Verschmutzung, fehlerhafte Solarmodule oder Beschädigungen am Solarmodul können schnell Hitzeschäden auftreten. Auch Wechselrichter und die Verkabelung weisen bei Fehlern häufig starken Temperaturanstieg auf.

Mit Hilfe einer Wärmebildkamera können Fehlerstellen in einer PV-Anlage insbesondere bei Modulen, Verkabelung, Wechselrichtern und anderen Komponenten lokalisiert werden.



10. Gefahrenpotentiale

- Mechanische Abdeckung bei Gebäuden bei Löscharbeiten beachten.
- Sturm / Hagel
- Gewitterschäden / Überspannung
- Elektrische Verbindungen (Alterung, Feuchtigkeit)
- Tiere (Insekten, Vögel, Marder, usw....)
- Bei Gleichstrom kann bei einer fehlerhaften Verkabelung schnell ein elektrischer Lichtbogen entstehen.



Montagefehler/Sturmschaden



Montagefehler/Schneelastschaden



Sturmschaden



Hotspot



Montagefehler



Montagefehler

11. Gefahrenabwehr/Schadensbegrenzung

- Ein Feuerwehrscharter bietet die Möglichkeit, den Solarstrom zwischen den Modulen und dem Wechselrichter abzuschalten, so dass ein Großteil der Verkabelung spannungsfrei wird.
- Zur Schadensbegrenzung sollten Versicherungen (Schneelast/ Diebstahl/Feuer u.a.) abgeschlossen werden. Informationen gibt der GDV:
<http://www.gdv.de/2012/06/mit-sicherheit-sonne-solarstromanlagen-richtig-versichern/>
- Sachgemäße Verarbeitung aller Bauteile (elektrisch, mechanisch)
Arbeitsanweisung bei Störungen
(siehe Informationen für Einsatzkräfte von Feuerwehren und Technischen Hilfsdiensten)
Photovoltaikanlagen Technischer Leitfaden GDV Vds
http://vds.de/fileadmin/vds_publicationen/vds_3145_web.pdf
http://www.3-n.info/index.php?con_kat=222&con_lang=1

12. Wartung von PV-Anlagen

PV-Anlagen sollten regelmäßig gereinigt und überprüft werden, um technisch einwandfrei und störungsfrei zu arbeiten. Auch wirtschaftlich kann es sehr sinnvoll sein, PV-Anlagen regelmäßig zu warten und oder reinigen. Die Wartungsintervalle sind abhängig vom Standort und Aufbau der Anlage. Orientierung gibt es in der Regel vom Hersteller und dem Vertragspartner.



13. Zielgruppen

- Technisch interessierte Mitbürger
- Schüler, Arbeitsgruppen, Vereine, Organisationen
- Freiwillige Feuerwehren (Gefahrenquellen, Gefahrenabwehr)
- Besitzer von PV-Anlagen (Gefahrenabwehr, Optimierungsmöglichkeiten)
- Versicherer (Schadensverhütung, Aufklärungsmöglichkeiten)

14. Informationen für Einsatzkräfte von Feuerwehren und Technischen Hilfsdiensten



Technische Hinweise

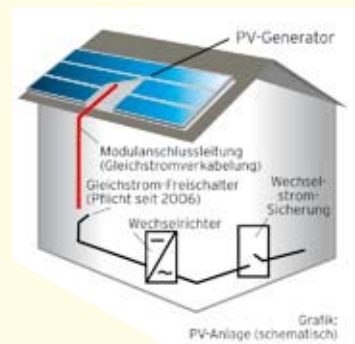
1. Erkundung der Einsatzstelle – Photovoltaik (PV)-Anlage vorhanden?

Überblick verschaffen:

- Lage der Komponenten?
- Anlagenbauteile unversehrt?
- Einsatzkräfte auf erkannte Gefahren hinweisen, ggf. Bereiche absperren.

Grundsätzliche Annahme: Anlage führt bis zu 1.000 Volt Gleichspannung!

Vorgehensweise analog wie bei 230/400 Volt Wechselspannungsanlagen.



2. Einsatz – nach VDE 0132 vorgehen

- Abstand zu spannungsführenden Teilen: 1m.
- Schalthandlungen nur am Gleichstrom-Freischalter und an Wechselstrom-Sicherungen durchführen, sonst besteht Lichtbogengefahr im Gleichstrom-Bereich (Bereich von Modulen bis Gleichstromfreischalter, siehe Grafik »PV-Anlage«).
- Mindestabstände beim Löschangriff: 1 bzw. 5m (siehe Tabelle).
- Elektrofachkraft hinzuziehen.
- Überflutete Bereiche: Abstand einhalten und Elektrofachkraft hinzuziehen.

Mindestabstände beim Mehrzweckstrahlrohr (Wasser)

Strahlrohr DIN 14365-CM	Niederspannung (N) Wechselspannung bis 1kV oder Gleichspannung bis 1,5kV (≤ AC 1kV oder ≤ DC 1,5 kV)	Hochspannung (H) Wechselspannung über 1kV oder Gleichspannung über 1,5 kV (...⚡ AC 1kV oder ...⚡ DC 1,5 kV)
Sprühstrahl	1m	5m
Vollstrahl	5m	10m

- Die farblich hinterlegten Strahlrohrabstände für den Niederspannungsbereich gelten für PV-Anlagen. Hinweis: Für andere Löschmittel als Wasser gelten andere Abstände (siehe DIN VDE 0132); Schauminsatz nur in spannungsfreien Anlagen!

3. Beendigung des Einsatzes

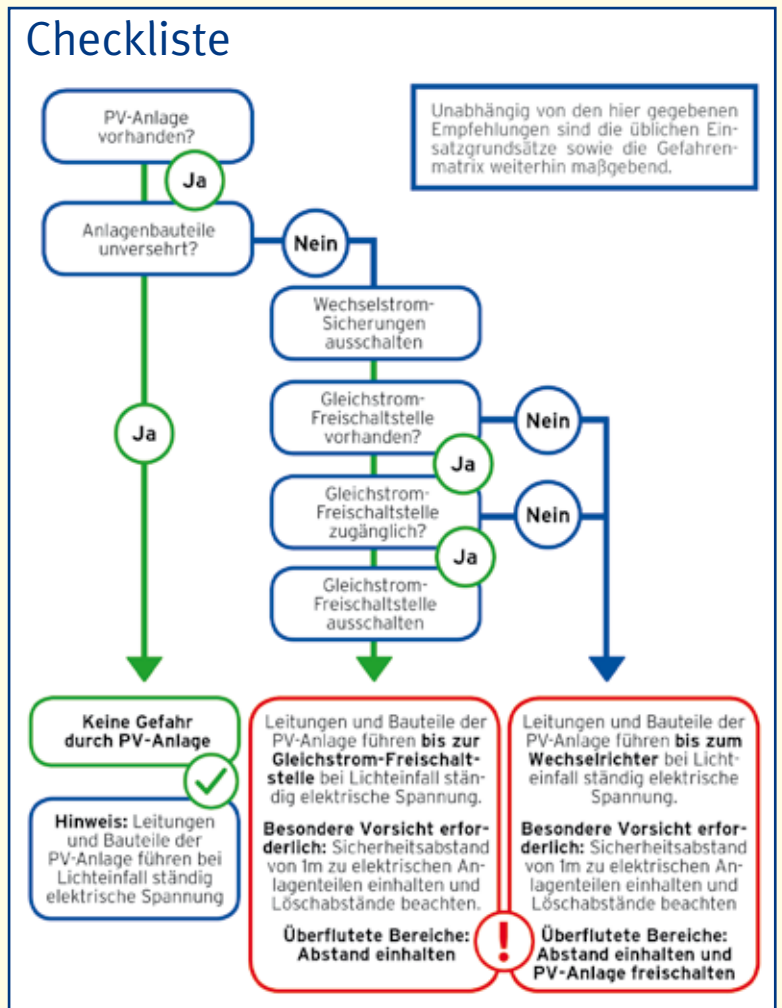
- Mögliche Gefahrenbereiche absperren.
- PV-Anlage durch PV-Fachfirma in sicheren Zustand setzen und gegen Wiedereinschalten sichern, bzw. Beauftragten des Betreibers darauf hinweisen, dies zu tun.
- Einsatzstelle an Betreiber übergeben.

4. Sonstige Gefahren

- Toxische Gase: Gefährdung wie bei anderen Hausbränden, Atemschutz einsetzen, Lüftungsanlagen ggf. abschalten, betroffene Bereiche räumen.
- Herabfallende Teile: Trümmerschatten berücksichtigen, Gefahrenbereich absperren, erhöhte Dachlast beachten.
- Ausbreitung: Brandgefahr durch Lichtbogen im Gleichstromkreis
 ↳ Bereich um Lichtbogen sichern; Kamineffekt bei Aufdachanlagen
 ↳ mögliche Ausbreitung beobachten.

5. Wichtige Hinweise

- Sichere Spannungsfreiheit ist nur durch Freischalten des Gleichspannungskreises möglich.
- Spannungsfreiheit muss messtechnisch festgestellt werden.
- Abdecken oder Beschäumen der Module als Maßnahme zur Spannungsfreischaltung ist ungeeignet.
- Module dürfen grundsätzlich nicht betreten werden.
- Module und Leitungen nicht zerstören.
- zerstörte Module als Brandschutt behandeln.



Wer darf welche Schalthandlungen durchführen?	Schaltvorgänge an hausinstallations-typischen Geräten	sonstige Schaltvorgänge	Öffnen von Steckverbindungen	Spannungsfreiheit feststellen	PV-Anlage in sicheren Zustand setzen
Elektrofachkraft	✓	✓	✓	✓	✓
Elektrisch unterwiesene Person nach DIN VDE 0105-100	✓			✓	
Feuerwehreinsatzkraft	✓				

Diese Hinweise wurden 2010 von der Expertenkommission »Brandbekämpfung und technische Hilfeleistung« im Rahmen des Projektes »PV Brandvorbeugung und -bekämpfung« mit größter Sorgfalt erstellt. Eine Haftung für die inhaltliche Richtigkeit und Eignung der Hinweise im Einzelfall besteht gleichwohl nicht. Eine eigene sorgfältige Prüfung der im Falle eines konkreten Einsatzes zu beachtenden Umstände und Regelungen bleibt daher unverzichtbar.

Arbeitsblatt **Strom aus (Sonnen-) Licht**

Leistung eines PV-Dünnschichtmodul bei variabler Lichtstärke

Name/Gruppe: _____

Erforderliches Material für den Versuch:	Aufgabenstellung (Gruppenarbeit)
<ul style="list-style-type: none"> • Versuchsaufbau mit einem PV-Dünnschichtmodul • Voltmeter • Luxmeter • variable Lichtquelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Lichtstärken messen • Lichtstärken einstellen • Spannungsmessungen durchführen

	Lichtstärke in Lux	Spannung(U) in Volt	Ergebnis $P=U \cdot I$
Tageslicht			
Lichtstufe 1			
Lichtstufe 2			
Lichtstufe 3			
Lichtstufe 4			
Lichtstufe 5			
Modul 1/2 abgedeckt			
Modul 1/2 abgedeckt			
Bemerkungen:			

Arbeitsblatt **Strom aus (Sonnen-) Licht**

Vergleich des Temperatureinflusses auf verschiedene PV-Module

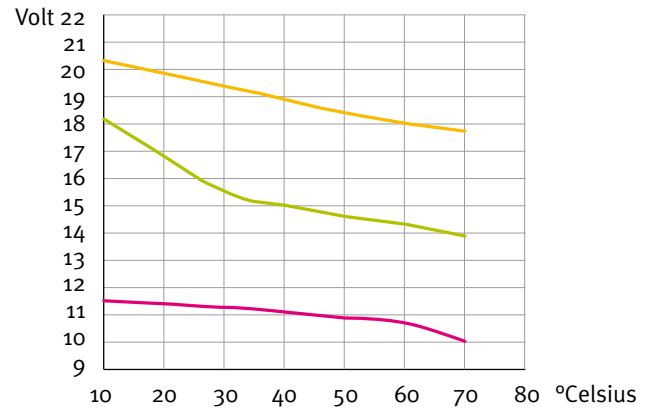
Name/Gruppe: _____

Erforderliches Material für den Versuch:

- Dünnschichtmodul
- Polykristallinmodul
- Monokristallinmodul

Aufgabenstellung (Gruppenarbeit)

- Die Ergebnisse aus den Arbeitsblättern eintragen
- Farblich verschiedene Kurven erstellen



Arbeitsblatt

Vergleich: Einfluss des Lichteinstrahlungswinkels auf verschiedene PV-Module

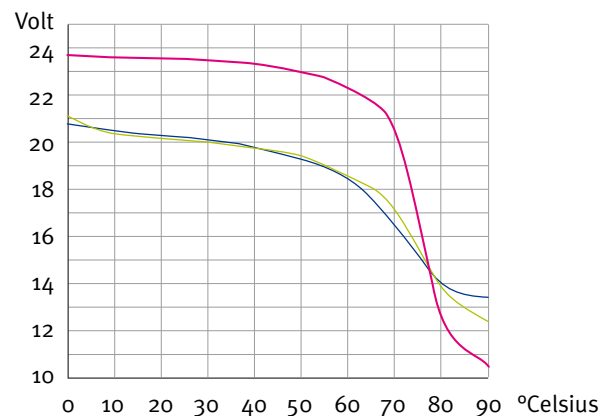
Name/Gruppe: _____

Erforderliches Material für den Versuch:

- Dünnschichtmodul
- Polykristallinmodul
- Monokristallinmodul

Aufgabenstellung (Gruppenarbeit)

- Die Ergebnisse aus den Arbeitsblättern eintragen
- Farblich verschiedene Kurven erstellen



Arbeitsblatt

Vergleich der Leistung bei variabler Lichtstärke auf verschiedene PV-Module

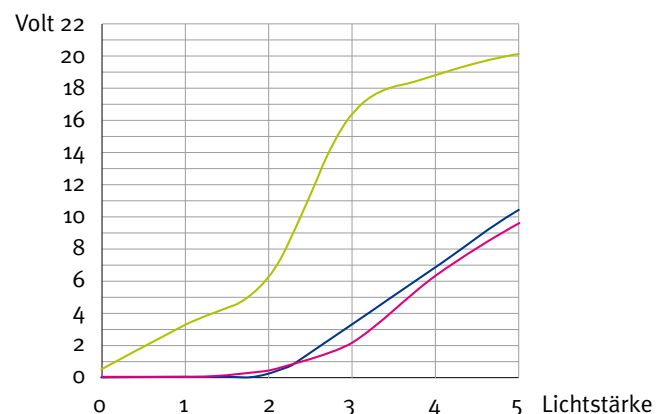
Name/Gruppe: _____

Erforderliches Material für den Versuch:

- Dünnschichtmodul
- Polykristallinmodul
- Monokristallinmodul

Aufgabenstellung (Gruppenarbeit)

- Die Ergebnisse aus den Arbeitsblättern eintragen
- Farblich verschiedene Kurven erstellen





Unterschiedliche Zelltypen

Je nach Kristallart unterscheidet man drei Zelltypen: monokristallin, polykristallin und amorph.

Zur Herstellung von monokristallinen Siliziumzellen benötigt man hochreines Halbleitermaterial. Aus einer Siliziumschmelze werden einkristalline Stäbe gezogen und anschließend in dünne Scheiben gesägt. Dieses Herstellungsverfahren garantiert relativ hohe Wirkungsgrade.

Kostengünstiger ist die Herstellung von polykristallinen Zellen. Dabei wird flüssiges Silizium in Blöcke gegossen, die anschließend in Scheiben gesägt werden. Bei der Erstarrung des Materials bilden sich unterschiedlich große Kristallstrukturen aus, an deren Grenzen Defekte auftreten. Diese Kristalldefekte haben einen geringeren Wirkungsgrad der Solarzelle zur Folge.

Wird auf Glas oder anderes Substratmaterial eine Siliziumschicht aufgebracht, spricht man von amorphen- oder Dünnschichtzellen. Die Schichtdicken betragen weniger als 1 µm (Dicke eines menschlichen Haares: 50-100 µm), so daß die Produktionskosten allein wegen der geringeren Materialkosten niedriger sind. Die Wirkungsgrade amorpher Zellen liegen allerdings noch weit unter denen der anderen beiden Zelltypen. Anwendung finden sie vor allem im Kleinleistungsbereich (Uhren, Taschenrechner) oder als Fassadenelemente.

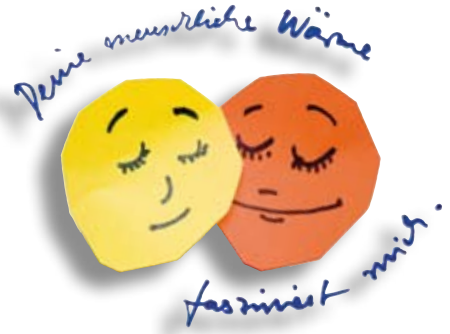
Material	Wirkungsgrad in % Labor	Wirkungsgrad in % Produktion
Monokristallines Silizium	etwa 24	14 bis 17
Polykristallines Silizium	etwa 18	13 bis 15
Amorphes Silizium	etwa 13	5 bis 7



Eigenschaften einer Solarzelle

Die an Solarzellen abgreifbare Spannung ist abhängig vom Halbleitermaterial. Bei Silizium beträgt sie etwa 0,5 V. Die Klemmenspannung ist nur schwach von der Lichteinstrahlung abhängig, während die Stromstärke bei höherer Beleuchtungsstärke ansteigt. Bei einer 100 cm² großen Siliziumzelle erreicht die maximale Stromstärke unter Bestrahlung von 1.000 W/m² etwa einen Wert von 2 A.

Die Leistung (Produkt aus Strom und Spannung) einer Solarzelle ist temperaturabhängig. Höhere Zelltemperaturen führen zu niedrigeren Leistungen und damit zu einem schlechteren Wirkungsgrad. Der Wirkungsgrad gibt an, wieviel der eingestrahlten Lichtmenge in nutzbare elektrische Energie umgewandelt wird.



Neue Wege

Oberflächenstrukturierung zur Verminderung von Reflexionsverlusten: Zum Beispiel Aufbau der Zelloberfläche in Pyramidenstruktur, damit einfallendes Licht mehrfach auf die Oberfläche trifft. **Neue Materialien:** Zum Beispiel Galliumarsenid (GaAs), Cadmiumtellurid (CdTe) oder Kupfer-Indium-Diselenid (CuInSe₂).

Tandem- oder Stapelzellen: Um ein breiteres Strahlungsspektrum nutzen zu können, werden unterschiedliche Halbleitermaterialien, die für verschiedene Spektralbereiche geeignet sind, übereinander angeordnet.

Konzentratorzellen: Durch die Verwendung von Spiegel- und Linsensystemen wird eine höhere Lichtintensität auf die Solarzellen fokussiert. Diese Systeme werden der Sonne nachgeführt, um stets die direkte Strahlung auszunutzen.

MIS-Inversionsschicht-Zellen: Das innere elektrische Feld wird nicht durch einen p-n-Übergang erzeugt, sondern durch den Übergang einer dünnen Oxidschicht zu einem Halbleiter.

Grätzel-Zelle: Elektrochemische Flüssigkeitszelle mit Titandioxid als Elektrolyten und einem Farbstoff zur Verbesserung der Lichtabsorption.



Quelle:
www.solarserver.de/wissen/lexikon.html

Kurze und verständliche Erklärungen der Grundbegriffe aus Solarthermie und Photovoltaik finden Sie im Solar-Lexikon.



Solarlexikon* – Mehr über Sonnenenergie wissen

Im Solar-Lexikon finden Sie – einfach erklärt – die wichtigsten Fachbegriffe aus den Wissensgebieten Solarenergie und Photovoltaik

A

AM, englische Abk. für air mass

Air mass, auch »Luftmasse«, ist ein Maß für die Länge des Weges, den das Licht eines Himmelskörpers durch die Atmosphäre zurücklegt, relativ zum kürzesten Weg vom Zenit zum Boden. Die Luftmasse wirkt sich auf die spektrale Zusammensetzung des Sonnenlichts aus, welche die Erdoberfläche (Erdatmosphäre) erreicht. In Mitteleuropa zählt die ‚air mass‘ im Schnitt 1,5.

Abschattung

Eine Abschattung durch etwa Wolken oder Gegenstände (Kamine, Antennen oder Bäume) führt zu Ertragseinbußen der Photovoltaikanlage und teilweise zu Schäden durch hot spots.

Amorphe Solarzelle

Solarzelle aus amorphem Silizium. Herstellung erfolgt mit Hilfe der Dünnschichttechnik.

Amortisationszeit

Als Amortisationszeit wird die Zeit bezeichnet, in der die installierte Solarstromanlage durch Stromerzeugung die Investitionskosten wieder einspielt. Die Amortisationszeit ist dabei abhängig von der Einspeisevergütung (siehe EEG) und deren Laufzeit, den Investitionskosten sowie dem Energieertrag der Anlage pro Jahr.

B

Becquerel

Alexandre-Edmond Becquerel, ein französischer Physiker, entdeckte zusammen mit seinem Vater im Jahre 1839 den photovoltaischen Effekt. Er stellte fest, dass eine Batterie unter Einfluss von Sonnenlicht eine verlängerte Lebensdauer verzeichnet. Und dass bei der Bestrahlung einer Silberlektrode in einem Elektrolyt eine elektrische Spannung entsteht.

Bifacial-Zelle

Als Bifacial-Zelle wird eine Solarzelle bezeichnet, die Licht von oben und unten, d.h. also von zwei Seiten ausnutzen kann. So kann eine Bifacial-Zelle von der Rückseite zusätzlich Licht absorbieren, das etwa von einer weißen Hauswand reflektiert wird.

Bypass-Diode

Eine Bypass-Diode ist eine parallel zu einem Zellenstrang geschaltete Diode, die bei Abschattung von einzelnen Solarzellen (in einer Reihenschaltung) den Strom der übrigen Stränge an dieser vorbeileitet.

D

Datenlogger

Ein Datenlogger (Datenaufzeichnungsgerät) zeichnet über längere Zeit die Daten eines Wechselrichters und die Ertragswerte einer Photovoltaikanlage auf.

Degradation

Degradation bezeichnet eine Leistungsminderung bei amorphen Silizium-Solarzellen. Nach ungefähr 1 000 Sonnenstunden erreicht die Leistung die vom Hersteller angegebene Nennleistung.

Diffuse Strahlung (auch Diffusstrahlung)

Als diffuse Strahlung wird die Strahlung bezeichnet, die ohne definierte Richtung von der Sonne auf einen Beobachtungspunkt der Erdoberfläche trifft. Sie entsteht, wenn die Strahlung bei ihrer Ausbreitung auf ein Hindernis stößt, etwa Wolken oder Atmosphärenpartikel. Das Gegenteil der Diffusstrahlung ist die Direktstrahlung.

Direkte Strahlung (auch Direktstrahlung)

Als direkte Sonneneinstrahlung wird die Strahlung bezeichnet, die auf direktem Weg, also ohne Hindernis und daher mit dem kürzest möglichen Weg, die Erdoberfläche erreicht. Zur direkten Sonneneinstrahlung addiert sich die diffuse Strahlung. Das Gegenteil der Direktstrahlung ist die Diffusstrahlung.

Dünnschichtsolarzelle

Eine Dünnschichtsolarzelle ist eine dünne Solarzelle, die ohne Wafer (kristallines Silizium) hergestellt wird. Der Herstellungsprozess kann daher mit erheblich geringerem Energieaufwand erfolgen.

Dünnschichttechnik

Als Dünnschichttechnik wird die Herstellungstechnik dünner Solarzellen bezeichnet, die direkt auf ein kostengünstiges Trägermaterial wie etwa Glas, Plastik- oder Metallfolie abgeschieden werden. Vorteile der Dünnschichttechnik sind Material- und Energieeinsparungen beim industriellen Herstellungsprozess, die Möglichkeit, großflächige Solarzellen zu produzieren und die einfache Dotierbarkeit.

E

Energierücklaufzeit

Als Energierücklaufzeit wird die Zeit bezeichnet, die eine Photovoltaikanlage benötigt, um die bei der Herstellung benötigte Energie zu erzeugen.



Ertrag

Der Ertrag einer Photovoltaikanlage mit ein kWp installierter Leistung liegt in Süddeutschland nach dem aktuellen Stand der Technik bei etwa 930 bis 1.100 kWh im Jahr, je nach Zellentyp, Dachneigung, Ausrichtung, Sonneneinstrahlung und Temperatur. Da das Wetter nicht jedes Jahr die gleichen Einstrahlungswerte liefert, geht man in Simulationsrechnungen von den gemittelten Werten der letzten zehn Jahre für den jeweiligen Standort aus.

F

Fotovoltaik

Die Erzeugung von elektrischem Strom aus Sonnenenergie wird als Fotovoltaik/Photovoltaik bezeichnet. In Solarzellen, die meist aus Silizium bestehen, werden unter Zufuhr von Licht oder Wärme positive und negative Ladungsträger freigesetzt (sogenannter Photoeffekt) und so Gleichstrom erzeugt, der dann direkt Motoren antreiben oder Akkus aufladen kann. In Deutschland wird der durch Fotovoltaik/Photovoltaik erzeugte Strom vorwiegend in das öffentliche Stromnetz eingespeist (= netzgekoppelte Fotovoltaik-Anlagen/Photovoltaikanlagen). In Ländern ohne öffentliches Stromnetz werden häufig Inselanlagen betrieben, die nicht an das öffentliche Stromnetz gekoppelt sind und meist nur Energie für die eigene Energieversorgung produzieren. Nach der neuen Rechtschreibung kann statt Fotovoltaik auch (altmodisch) Photovoltaik geschrieben werden. Oftmals gibt es Verwechslungen zwischen Solarstrom und Solarthermie da vorwiegend nur von Solaranlagen gesprochen wird. Eine Solarstromanlage produziert Strom und eine Solarthermieanlage erhitzt Brauchwasser mittels Sonnenkollektoren z.B. für die Heizung.

G

Gleichrichter

Gleichrichter werden in der Elektrotechnik zur Umwandlung von (meist sinusförmiger) Wechselspannung in Gleichspannung benutzt.

Gleichstrom

Gleichstrom ist ein elektrischer Strom, bei dem sich der Betrag und die Richtung nicht ändern. In der theoretischen Elektrotechnik wird nur zeitlich gleichbleibender Stromfluss als Gleichstrom bezeichnet. In der Praxis werden aber auch Mischströme mit größtenteils Gleichanteil als Gleichstrom bezeichnet, insbesondere, wenn die Schwankungen des Stroms für den Verbraucher nicht merkbar sind. Direkte Gleichstromquellen sind etwa Batterien, Akkus und Photovoltaische Zellen (Solaranlagen).

Globalstrahlung

Unter Globalstrahlung versteht man die gesamte Strahlungsenergie der Sonne, die pro Zeiteinheit auf eine horizontale Fläche auf der Erdoberfläche fällt. Sie setzt sich zusammen aus der auf direktem Weg eintreffenden Solarstrahlung, der Direktstrahlung und der Strahlung, die über Reflexion an Wolken, Wasser- und Staubteilchen die Erdoberfläche erreicht, die Diffusstrahlung. Gemessen wird die Globalstrahlung in Watt pro Quadratmeter (W/m^2). Die Globalstrahlung beträgt bei wolkenlosem Himmel im Sommer in Mitteleuropa etwa $1.000 W/m^2$. Bei trübem, wolkeigem Wetter besteht sie nur aus dem Diffusstrahlungsanteil und ihr Wert sinkt auf Werte unter $100 W/m^2$. Ab einem Wert von $120 W/m^2$ spricht man von Sonnenschein.

H

Hinterlüftung

Die Hinterlüftung sorgt für eine Kühlung der Solarmodule und somit für einen maximalen Wirkungsgrad dieser.

Hot Spot

Ein Hot Spot entsteht bei der Abschattung eines Solarmoduls bzw. einer einzelnen Solarzelle.

I

Inselsystem

Ein Inselsystem ist ein Solarstromsystem, das zur Energieversorgung eines isoliert gelegenen Verbrauchers beiträgt, d.h. ohne an ein Netz gekoppelt zu sein. Der Strom wird folglich nicht ins Stromnetz eingespeist. Häufig findet man es in den Bergen oder in ländlichen Gegenden, die nicht an ein Stromnetz angeschlossen sind.

Investitionskosten

Für ein kWp installierte Leistung einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage muss man derzeit (Inbetriebnahme 2008) bei großen Freiflächenanlagen mit etwa 4.000 € rechnen, bei kleineren Dachanlagen je nach Montageaufwand mit ca. 4.800 €. Wenn man die Photovoltaikanlage selbst montiert, minimieren sich die Kosten. Die Kosten der Module, Wechselrichter, Installation und Versicherung sind in der Regel als Nettopreise (ohne Mehrwertsteuer) zu betrachten, da der Betreiber einer Photovoltaikanlage vom Finanzamt als Unternehmer betrachtet wird. Fragen Sie Ihren Steuerberater ob eine Gewerbeanmeldung sinnvoll oder erforderlich ist.

K

Kilowattstunde (Abk. kWh)

Kilowattstunde, 1 Kilowatt (kW) sind 1.000 Watt. Eine Kilowattstunde ist eine Maßeinheit der elektrischen Energie.



Kosten

Für ein kWp installierte Leistung einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage muss man derzeit (Inbetriebnahme 2008) bei großen Freiflächenanlagen mit etwa 4.000 € rechnen, bei kleineren Dachanlagen je nach Montageaufwand mit ca. 4.800 €. Wenn man die Photovoltaikanlage selbst montiert, reduzieren sich die Kosten. Die Kosten der Module, Wechselrichter, Installation und Versicherung sind in der Regel als Nettopreise (ohne Mehrwertsteuer) zu betrachten, da der Betreiber einer Photovoltaikanlage vom Finanzamt als Unternehmer betrachtet wird.

L

Laderegler

Ein Laderegler wird zwischen die Photovoltaikanlage und den Akku geschaltet. Er überwacht und regelt den Ladevorgang. Weitere Funktionen sind der Schutz vor Tiefenentladung des Akkus und das MPP-Tracking.

M

MPP, englische Abk. für Maximum Power Point

Als Maximum Power Point (Punkt maximaler Leistung) wird der Punkt des Strom-Spannungs-Diagramms einer Solarzelle bezeichnet, an dem die größte Leistung einer Solarzelle entnommen werden kann, d.h. der Punkt, bei dem die Solarzelle ihr Maximum hat. Der MPP variiert in einem Intervall. Er hängt von der Bestrahlungsstärke und dem Typ der Solarzellen ab. Damit eine Solarzelle oder ein Solargenerator immer am MPP betrieben werden kann, werden häufig sogenannte MPP-Tracker eingesetzt. Diese vermeiden elektrische Leistungsverluste und gehören zur Ausstattung eines Ladereglers und eines Wechselrichters.

Modul, siehe auch Solarmodul

Ein Solarmodul wandelt Strahlungsenergie in elektrische Energie um. Wesentliche Bauelemente eines Solarmoduls sind dabei die Solarzellen. Kennzeichnend für ein Solarmodul sind die elektrischen Anschlusswerte. Diese sind von den einzelnen Solarzellen und deren Verschaltung innerhalb des Moduls abhängig. Das Solarmodul kann einzeln verwendet werden oder zu Gruppen verschaltet in einer Photovoltaik-Anlage betrieben werden.

Modulstring

Als Modulstring werden in mehreren Reihen geschaltete Solarzellen eines Moduls bezeichnet.

Modulwirkungsgrad

Als Modulwirkungsgrad wird das Verhältnis der abgegebenen Energie zur eingestrahlten Energie, bezogen auf die Modulfläche, bezeichnet. Die Wirkungsgrade marktüblicher Photovoltaikmodule/Solarmodule liegen zwischen 6 und

9 % bei Dünnschichtmodulen und bei monokristallinen Modulen zwischen 14 und 18 %. Für die Gesamtbetrachtung müssen allerdings noch die Verluste des Wechselrichters mit einbezogen werden.

Monokristallines Silizium

Als monokristallines Silizium wird Silizium bezeichnet, das in Form von Einkristallen vorliegt.

Multikristallines oder polykristallines Silizium

Als polykristallines oder multikristallines Silizium wird Silizium bezeichnet, das aus kleinen zusammenhängenden Kristallen besteht, die einige Millimeter bis Zentimeter groß sind. Dadurch ist eine einfachere Herstellung wie bei monokristallinem Silizium möglich.

N

Nachführung

Eine Nachführung ist ein spezielles Halterungssystem, durch das Solarmodule stets nach dem aktuellen Sonnenstand ausgerichtet werden. Somit fällt die Sonnenstrahlung senkrecht auf die Solarzelle.

Neigungswinkel

Als Neigungswinkel wird der Winkel zwischen einer geneigten Empfangsebene (etwa dem Dach) und der Horizontalen bezeichnet. Je nach Breitengrad des Aufstellungsortes einer Photovoltaikanlage gibt es verschiedene optimale Neigungswinkel.

Nennleistung

Die Nennleistung ist die höchst mögliche Leistungsabgabe einer Solarzelle bzw. eines Solarmoduls. Gemessen wird sie bei Standard Test Conditions (STC). Angegeben wird sie in Watt peak (Abk. Wp).

Netzkopplung

Bei einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage wird diese über einen Wechselrichter an das Netz des Stromversorgers angeschlossen, um den fotovoltaisch/photovoltaisch erzeugten Strom in das öffentliche Stromnetz einzuspeisen. Die Vergütung wird dabei in Deutschland durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) geregelt. Netzkoppelte Photovoltaikanlagen benötigen keinen Energiespeicher.

O

Optischer Wirkungsgrad

Als Optischer Wirkungsgrad wird das Produkt aus dem Transmissionsgrad der Glasabdeckung und dem Absorptionsgrad der Absorberoberfläche bezeichnet. Er gibt an, welcher Anteil der auf den Kollektor fallenden Strahlung am Absorber in Wärme umgewandelt werden kann.

P

Payback Period/Time

Als Payback Period/Time (zu deutsch gleich Amortisationszeit) wird die Zeit bezeichnet, in der die installierte Solarstromanlage durch Stromerzeugung die Investitionskosten wieder einspielt. Die Amortisationszeit ist dabei abhängig von der Einspeisevergütung (siehe EEG) und deren Laufzeit, den Investitionskosten sowie dem Energieertrag der Anlage pro Jahr.

Performance Ratio

Die Performance Ratio ist ein Bewertungskriterium für Photovoltaikanlagen, das unabhängig von der Ausrichtung der Solarstromanlage und der Globalstrahlung ist. Mit ihr lassen sich Photovoltaikanlagen an verschiedenen Standorten vergleichen. Als Performance Ratio wird das Verhältnis vom tatsächlichen Energieertrag der Photovoltaikanlage zum theoretisch möglichen Energieertrag bezeichnet. Es gibt an, wie die in Generatorebene eingestrahlte Energie ausgenutzt wird und ist somit ein Maß für die Qualität der gesamten Photovoltaikanlage.

Photoeffekt

Als Photoeffekt wird die Freisetzung von positiven und negativen Ladungsträgern (Gleichstrom) durch Zufuhr von Licht oder Wärme bezeichnet. Dabei wird die Energie eines Photons auf ein Elektron übertragen. Der Photoeffekt (auch äußerer photoelektrischer Effekt genannt) ist Grundlage von Solarzellen.

Photon

Ein Photon ist ein Lichtteilchen, das sich in Form eines Energiepakets mit Lichtgeschwindigkeit bewegt. In einer Solarzelle kann ein Photon seine Energie zur Erzeugung von Elektronen-Loch-Paaren abgeben.

Photovoltaik

Die Erzeugung von elektrischem Strom aus Sonnenenergie wird als Fotovoltaik/Photovoltaik bezeichnet. In Solarzellen, die meist aus Silizium bestehen, werden unter Zufuhr von Licht oder Wärme positive und negative Ladungsträger freigesetzt (sogenannter Photoeffekt) und so Gleichstrom erzeugt, der dann direkt Motoren antreiben oder Akkus aufladen kann. In Deutschland wird der durch Fotovoltaik/Photovoltaik erzeugte Strom vorwiegend in das öffentliche Stromnetz eingespeist (= netzgekoppelte Photovoltaikanlagen). In Ländern ohne öffentliches Stromnetz werden häufig Inselanlagen betrieben, die nicht an das öffentliche Stromnetz gekoppelt sind und meist nur Energie für die eigene Energieversorgung produzieren. Nach der neuen Rechtschreibung kann statt Fotovoltaik auch (altmodisch) Photovoltaik geschrieben werden. Der Name setzt sich dabei aus den Bestandteilen Photos (das griechische Wort für Licht) und Volta (nach Alessandro Volta, einem Pionier der Elektrizität) zusammen.

Photovoltaik Anwendungsbereiche

Eine Inselanlage wird autonom betrieben und hat keine Verbindung zu öffentlichen Stromnetz. Meistens findet bei einer photovoltaischen Inselanlage eine Pufferung des gewonnenen Stromes in Solarbatterien statt. Bleiakumulatoren werden am häufigsten verwendet. Ob nur Gleichstrom- oder Wechselstromverbraucher oder beide Verbrauchertypen gleichzeitig betrieben werden können ist abhängig vom Aufbau der Anlage.

Oft werden auch Parkscheinautomaten mit Inselanlagen betrieben. Diese Form der Energieversorgung ist billiger als ein Anschluß an das öffentliche Stromnetz. Auch in Wohnmobilen stellen Solarmodule die Stromversorgung während des Stillstandes sicher. Taschenrechner mit Solarzellen stellen ebenfalls ein Inselnetz da (ohne Speicherung).

Ein Laderegler ist zum ordnungsgemäßen Betrieb der Akkus notwendig. Sollen Wechselstromverbraucher betrieben werden ist ein Wechselrichter nötig, der die Systemspannung, meist 12 oder 24 V Gleichspannung, in Wechselstrom umwandelt.

Die Entwicklung der Solartechnik ist hauptsächlich der Raumfahrt zu verdanken. Fast alle Satelliten nutzen Solarzellen als Quelle für die Stromversorgung. Auch Raumstationen werden durch Solarzellen mit Strom versorgt.

Eine netzgekoppelte Anlage ist am öffentlichen Stromnetz angeschlossen und speist die gewonnene elektrische Energie dort ein. Die Einspeisung der Solarenergie in ein Netz ist durch die Wandlung des Gleichstroms in Wechselstrom durch einen Wechselrichter möglich.

Photovoltaik Energiepotential

Die Energie der Sonne trifft auf die Erde als Licht und ist 10.000 mal höher als der primäre Energieverbrauch der Erdbevölkerung. Photovoltaisch kann diese Strahlungsenergie direkt in Elektrizität umgewandelt werden. Dabei entstehen keine Abgase.

Die eingestrahlte Sonnenenergie ist abhängig von Uhrzeit, Jahreszeit und Breitengrad, da die Zusammensetzung da die Sonnenscheindauer und der Winkel, unter dem die Sonnenstrahlen auf die Erdoberfläche fallen die Sonnenenergie bestimmen. Die eingestrahlte Energie beträgt beispielsweise ca. 1.000 kWh je Quadratmeter und Jahr in Europa und etwa 2.350 kWh pro Quadratmeter und Jahr in der Wüste Sahara. Es gibt verschiedene Szenarien, wie eine regenerative Energieversorgung der Europäischen Union realisiert werden könnte, z.B. auch mittels Energiewandlung in Nordafrika.

Photovoltaik Geschichte

Mit der Ölkrise von 1973 wurde das Interesse an anderen Energien deutlich stärker, doch noch waren große, zentrale Atomkraftwerke die Lösung für eine flächendeckende Energieversorgung. Seit Mitte der 1970er Jahre wurden dann



erstmals mehr Solarzellen für terrestrische Zwecke als für den Einsatz in der Raumfahrt hergestellt.

1976 entschied sich die australische Regierung, das Telekommunikationsnetz mit photovoltaisch gestützten Batteriestationen zu betreiben. Durch die erfolgreiche Einrichtung und den reibungslosen Betrieb stieg das Vertrauen in die Solartechnologie deutlich an.

1977 wurde in den USA ein Solarmodul mit dem Ziel entwickelt, eine potenziell kostengünstige Technologie für fotovoltaische Energiewandlung auf der Erde vorzuführen, die nicht mehr nur auf Sonderanfertigungen basierte.

Der katastrophale Störfall im Atomkraftwerk in den USA Ende März 1979 und die Ölkrise gaben den regenerativen Energien weiteren Aufwind.

Etwa ab 1980 waren Solarmodule mit wiederaufladbaren Batterien eine Standardanwendung zum Betrieb von Signalanlagen auf kleinen Ölbohrinseln. Sie ersetzten als kostengünstigere und wartungsärmere Variante die vorher verwendeten großen Batterien, die im Abstand weniger Monate getauscht werden mussten.

Später in den 1980ern wurden von der Küstenwache, alle Signalanlagen und Navigationslichter auf photovoltaische Energieversorgung umgestellt. Vorher hatten die Betriebskosten dieser Anlagen die Anschaffungskosten bei weitem überschritten. Durch die Photovoltaik wurden die Betriebskosten drastisch reduziert und die Anschaffungskosten für die teureren Photovoltaikanlagen amortisierten sich schnell.

Nun kam es auch zu ersten größeren kommerziellen Aktivitäten in den USA, wodurch die USA 1983 einen Anteil am Weltmarkt der Photovoltaik von ca. 21 Prozent erzielten. Bis zu diesem Zeitpunkt gab es im Photovoltaik-Markt vorwiegend Lösungen für Inselanlagen und Planungen für photovoltaische Großanlagen.

Ein Schweizer Ingenieur war der Überzeugung, dass es ökonomisch sinnvoller sei, jedes Haus mit einer eigenen Photovoltaik-Anlage zu bestücken, also eine dezentrale Energiewandlung zu bevorzugen. Er trat mit 333 auf einzelnen Gebäuden installierten 3-kW-Dachanlagen den Beweis an. Dies war der Anfang einer Bewegung, in deren Zuge auch das 1.000-Dächer-Programm der Bundesrepublik Deutschland aufgelegt wurde. Ab 1991 wurden mit dem EEG Energieversorger dazu verpflichtet, den Strom der kleinen »Photovoltaik-Kraftwerke« abzunehmen.

Mitte der 1990er Jahre gab Greenpeace, nachdem trotz der Fördermaßnahmen entscheidende Teile der Photovoltaikproduktion aus Deutschland abwanderten, mit einer neuen Studie über Deutschland als Photovoltaik-Standort in diesem Sektor Denkanstöße. Im Jahr 2000 folgte dem 1.000-Dächer-Programm folgte 100.000-Dächer-Programm. 2003 lief das 100.000 Dächer-Programm aus und wurde durch verbesserte Bedingungen des Energie-Einspeisegesetzes ersetzt.

Photovoltaik Photovoltaikanlagen

In einer Photovoltaikanlage (alternative Schreibweise Fotovoltaikanlage, teilweise auch Solarstromanlage genannt), findet die Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie statt.

Eine Photovoltaikanlage besteht aus mehreren Komponenten, dem Generator, der die Lichtenergie empfängt und die Lichtenergie in elektrische Energie in Form von Gleichstrom umwandelt. Die Solarzelle dient als Empfänger und wandelt die Strahlungsenergie durch Ausnutzung des photovoltaischen Effekts um. Aufgrund der sehr geringen Spannung einer einzelnen Solarzelle werden mehrere zu sog. Photovoltaikmodulen bzw. Solarmodulen zusammengefasst. Mehrere Module werden für einen Generator benötigt.

Über Kabel wird die elektrische Energie nun dem System zugeführt. Entweder wird sie gespeichert, dann spricht man von einer Inselanlage, oder in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden (sog. netzgekoppelte Anlage bzw. Hybridanlage).

Um einen hohen Energieertrag zu gewährleisten, werden die einzelnen Komponenten der Photovoltaik-Anlage entsprechend der anzuschließenden Verbraucher und der Energiespeicher bzw. den Netzgegebenheiten aufeinander abgestimmt.

Photovoltaik Versicherung

Um Ihre Photovoltaikanlage für Schäden zu schützen sollten Sie Ihre Anlage versichern lassen. Sie können Ihre Anlage somit vor Diebstahl, Vandalismus, Sabotage, Sturm, Hagel, Überspannung, Kurzschluss, höhere Gewalt, Wasser, Brand und Schneelast schützen. Auch Bedienungsfehler können bei einigen Versicherungsgesellschaften mit abgesichert werden.

Eine zusätzliche Versicherung die den Ertragsausfall abdeckt ist vor allem bei großen Anlagen empfehlenswert.

Wird die Erstellung und Inbetriebnahme der Anlage in Eigenleistung erbracht, ist des Weiteren eine Montageversicherung zu empfehlen. Durch unsachgemäße Montage können schnell Schäden entstehen, nicht nur an der Anlage, sondern auch am Gebäude oder bei Nachbargebäuden. Die Betreiberhaftpflicht schützt Sie vor Ansprüchen des Gebäudebesitzers, falls die Anlage z.B. durch einen Kurzschluss einen Schaden am Gebäude hervorruft.

Polykristallines oder multikristallines Silizium

Als polykristallines oder multikristallines Silizium wird Silizium bezeichnet, das aus kleinen zusammenhängenden Kristallen besteht, die einige Millimeter bis Zentimeter groß sind. Dadurch ist eine einfachere Herstellung wie bei monokristallinem Silizium möglich.

R

Reflexionsverluste

Reflexionsverluste werden durch dasjenige Licht erzeugt, das von der Oberfläche der Solarzelle reflektiert wird und somit nicht mehr zur Stromerzeugung beiträgt. Gegen Reflexionsverluste hilft eine Antireflexschicht.

S

STC, engl. Abk. für Standard Test Conditions

Als Standard Test Conditions (zu deutsch Standard Test Bedingungen) werden die genormten Bedingungen für die Messung der maximalen Nennleistung eines Solarmoduls bezeichnet. Die Bestrahlungsstärke beträgt dabei 1.000 W/m² bei senkrechtem Lichteinfall, das Strahlenspektrum entspricht AM (Air Mass) 1.5 und die Zelltemperatur zählt 25°C.

Silizium

Silizium (von lat. silex »Kiesel«) ist ein chemisches Element mit dem Symbol Si und der Ordnungszahl 14. Es steht in der 4. Hauptgruppe (Tetrel) und 3. Periode des Periodensystems der Elemente. Es kann vier Bindungen mit Nachbar-Atomen eingehen und dabei harte und spröde Kristalle mit stabiler Diamantstruktur bilden kann. Nach Sauerstoff ist Silizium das zweithäufigste Element in der Erdkruste, kommt dort aber nur als Siliziumdioxid SiO₂ (Quarz, Sand) vor. Elementares Silizium findet als Halbleiter in unterschiedlichen Reinheitsgraden Verwendung in der Photovoltaik (Solarzellen), der Metallurgie (Ferrosilizium) und in der Mikroelektronik (Halbleiter, Computerchips). Für photovoltaische Anwendungen muss das Rohsilizium aber weiter zum Solarsilizium (Sisg) gereinigt werden. Der Rohstoff Siliziumdioxid kann dabei zu polykristallinem Silizium, monokristallinem Silizium oder amorphem Silizium verarbeitet werden.

Solararchitektur

Die Solararchitektur beschreibt eine Form des Häuserbaus, bei der die Möglichkeiten zur passiven (Heizung, Warmwasser, Strom) und aktiven Nutzung von Sonnenenergie optimal ausgenutzt werden. Die wesentlichen Elemente dabei sind die Ausrichtung nach Süden, kleine Fenster nach Norden, große Fenster nach Süden und eine gute Wärmedämmung.

Solarenergie/Sonnenenergie

Die Sonnen- oder Solarenergie ist ein unbegrenzt zur Verfügung stehender Energieträger. Die Sonne schickt Strahlen mit einer Leistung von minimal etwa 20 W/m² an trüben und maximal 1.000 W/m² an wolkenlosen Tagen auf die Oberfläche der Erde. Diesen Energieträger ohne Schadstoffpotential gilt es zu nutzen. Dabei kann die Energie durch thermische Verfahren mit Sonnenkollektoren ge-

wonnen werden, durch photovoltaische Verfahren (Photovoltaik) mit Hilfe von Solarzellen oder durch entsprechend sinnvolle architektonische Bauweise und Standortwahl von Gebäuden.

Solarer Deckungsbeitrag

Der solare Deckungsbeitrag gibt an, wie hoch der Anteil der - durch eine Photovoltaikanlage produzierten - Solarenergie an der in dem Haus insgesamt benötigten Energie ist. Beträgt der solare Deckungsbeitrag etwa 70 %, so werden 70 % der im Haus benötigten Energie durch die auf dem Dach installierte Photovoltaikanlage erbracht.

Solarkollektor

Ein Solarkollektor, auch Sonnenkollektor genannt, ist ein Energiewandler. Mit Hilfe des Sonnenkollektors wird absorbiertes Sonnenlicht direkt in Wärme umgewandelt. Die Wärme wird durch eine Flüssigkeit mit hoher Wärmekapazität, etwa Öl oder Wasser, aufgenommen, transportiert, und letztlich in einem Wärmetauscher abgegeben.

Solarmodul

Ein Solarmodul wandelt Strahlungsenergie in elektrische Energie um. Wesentliche Bauelemente eines Solarmoduls sind dabei die Solarzellen. Kennzeichnend für ein Solarmodul sind die elektrischen Anschlusswerte. Diese sind von den einzelnen Solarzellen und deren Verschaltung innerhalb des Moduls abhängig. Das Solarmodul kann einzeln verwendet werden oder zu Gruppen verschaltet in einer Photovoltaikanlage betrieben werden.

Solarsilizium

Als Solarsilizium werden Siliziumkristalle mit einem für Photovoltaikanwendungen ausreichend hohen Reinheitsgrad bezeichnet.

Solarzelle

Eine Solarzelle besteht aus Halbleitermaterialien wie etwa Silizium, Galliumarsenid oder Germanium. Die meisten Solarzellen bestehen heutzutage allerdings aus Silizium. Solarzellen absorbieren das Sonnenlicht und wandeln es in Gleichstrom um. Dieser Prozess nennt sich photovoltaischer Effekt. Dabei setzt die Lichteinstrahlung im Halbleiter negative und positive Ladungsträger frei. Ein internes elektrisches Feld trennt dann die freigesetzten Ladungsträger. Dadurch kommt es zu einer elektrischen Spannung zwischen den Metallkontakten, die an der Oberfläche der Solarzellen angebracht sind. Sobald sich der äußere Kreis schließt, fließt ein elektrischer Gleichstrom.

Sonnenkollektor

Ein Sonnenkollektor, auch Solarkollektor genannt, ist ein Energiewandler. Mit Hilfe des Sonnenkollektors wird absorbiertes Sonnenlicht direkt in Wärme umgewandelt. Die Wärme wird durch eine Flüssigkeit mit hoher Wärmeka-



pazität, etwa Öl oder Wasser, aufgenommen, transportiert, und letztlich in einem Wärmetauscher abgegeben.

String

Als String (Modulstring) werden in mehreren Reihen geschaltete Solarzellen eines Moduls bezeichnet.

T

Tagesgang

Als Tagesgang wird die Leistungsabgabe einer Photovoltaikanlage, abhängig von der Tagesuhrzeit und damit dem Sonnenstand bezeichnet.

Tandemsolarzelle

Als Tandemsolarzelle wird eine Solarzelle bezeichnet, die aus zwei übereinanderliegenden Zellen besteht. Für die besonders einfache Herstellung von Tandemsolarzellen ist die Dünnschichttechnik gut geeignet.

Tedlar

Tedlar ist eine Kunststoffolie, die für die Laminierung von Solar-Modulen benutzt wird.

Temperaturkoeffizient

Der Temperaturkoeffizient zeigt an, um wieviel sich der Wirkungsgrad einer Solarzelle pro Grad Celsius verkleinert, wenn die Temperatur erhöht wird. Da kristalline Solarzellen einen im Vergleich recht hohen Temperaturkoeffizient haben, sollten Photovoltaikmodule/Solarmodule, die aus diesen Solarzellen bestehen, immer ausreichend belüftet werden.

Theoretischer Wirkungsgrad

Als Theoretischer Wirkungsgrad wird der Wirkungsgrad einer Solarzelle unter idealen Bedingungen bezeichnet.

Total area, engl. für Gesamtfläche

Die »total area« ist bei der Festlegung des Wirkungsgrades von Photovoltaikmodulen/Solarmodulen wichtig.

Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt wird überwiegend durch den Ausstoß von Treibhausgasen verursacht, die durch menschliches Handeln hervorgerufen werden. Durch die in der Atmosphäre angesammelten Treibhausgase wird die Wärmerückstrahlung von der Erdoberfläche ins All blockiert. Dies ist eigentlich ein natürlicher Prozess. Doch durch die industrialisierte Welt steigt der Anteil der Spurengase, so dass es zu einer überdurchschnittlichen Erwärmung kommt. Als relevante Treibhausgase wurden im Kyoto-Protokoll folgende Stoffe festgelegt: teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (F-KKW/HFC), Kohlenstoffdioxid

(CO₂), Distickstoffoxid (N₂O), Schwefelhexafluorid (SF₆) und Methan (CH₄).

Tripelsolarzelle

Als Tripelsolarzelle wird eine Solarzelle bezeichnet, die aus drei übereinanderliegenden Zellen besteht. Für die besonders einfache Herstellung von Tripelsolarzellen ist die Dünnschichttechnik gut geeignet.

U

U, Abk. für die elektrische Spannung

U ist die Abk. für die elektrische Spannung. Sie wird in Einheiten von Volt (Abk.V) gemessen.

V

Volt, Abk. V

Volt ist eine Maßeinheit für die elektrische Spannung.

Verstringung

Verdrahtung; Reihenschaltung von Modulen bis zur zulässigen Spannung des Wechselrichters.

W

Wafer

Als Wafer wird eine dünne Scheibe aus Halbleitermaterial bezeichnet. Ein Wafer wird als Trägermaterial zur Herstellung von Computerchips und Solarzellen benutzt. Die Scheiben werden normalerweise von Halbleiterblöcken gesägt und sind 0,2 bis 0,3 Millimeter dick.

Watt-Peak, (Abk. Wp),

Watt-Peak ist ein Maß für die Leistungsfähigkeit von Solarzellen und Photovoltaikmodulen/Solarmodulen. Dabei wird die maximal abgegebene elektrische Leistung bei senkrechter Einstrahlung eines AM 1.5 Sonnenspektrums gemessen.

Wechselrichter

Ein Wechselrichter wandelt den erzeugten Gleichstrom der Solarzellen in Wechselstrom um. Der Wechselrichter entnimmt der Photovoltaikanlage dabei die Leistung am Maximum Power Point.

Wechselstrom

Als Wechselstrom wird der Strom bezeichnet, dessen Polarität ständig wechselt. Im deutschen Stromnetz fließt etwa ein Wechselstrom mit einer Frequenz von 50 Hz (Hertz), d.h. er nimmt in einer Sekunde 50 Mal einen negativen bzw. einen positiven Wert an. Wechselstrom wird durch einen Generator oder Wechselrichter erzeugt.

Wirkungsgrad

Als Modulwirkungsgrad wird das Verhältnis der abgegebenen Energie zur eingestrahnten Energie, bezogen auf die Modulfläche, bezeichnet. Die Wirkungsgrade marktüblicher Photovoltaikmodule/Solarmodule liegen zwischen 6 und 9 % bei Dünnschichtmodulen und bei monokristallinen Modulen zwischen 14 und 19 %. Für die Gesamtbetrachtung müssen allerdings noch die Verluste des Wechselrichters mit einbezogen werden.

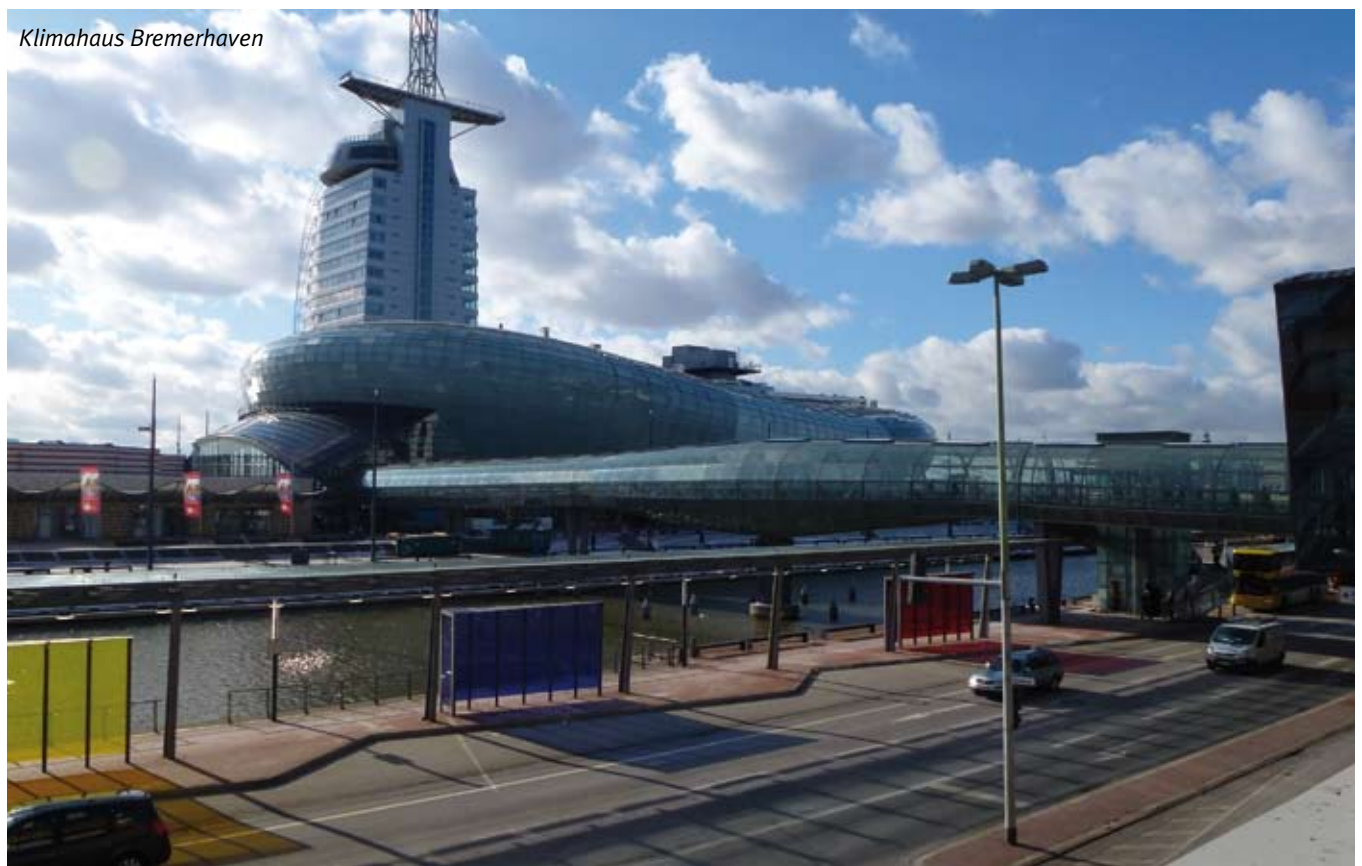
Z

Zellenwirkungsgrad

Als Zellenwirkungsgrad wird das Verhältnis der abgegebenen Energie zur eingestrahnten Energie bezogen auf die Fläche einer Zelle bezeichnet.

★

Quelle:
<http://www.antaris-solar.de/infos/solarlexikon.html>



Weitere Infos zur Photovoltaik, zum Energiesparen, Bauen und Sanieren erhalten Sie im Klimacenter Werlte.

CO₂ und Energie gespart

Das Klimacenter ist ein Modellhaus mit Vorbildcharakter und bietet die Möglichkeit, sich in verschiedenen Ausstellungsbereichen über ökologische Energietechniken sowie neue Materialien zu informieren. Präsentiert werden die Bereiche Bioenergietechnik und regenerative Energietechnik, umweltfreundliche Bau- und Dämmstoffe und Biopolymere sowie Maßnahmen zu Energieeinsparung und Steigerung der Energieeffizienz. Mehr als 30 Aussteller präsentieren Heizungsanlagen (Heizen mit Holz) für verschiedene Anwendungen. Es wird über die Möglichkeiten von Blockheizkraftwerken in verschiedenen Leistungsbereichen informiert.

Das Klimacenter ist ein Referenzgebäude, um die Verwendung ökologischer Bau- und Dämmstoffe zu vermitteln. Mehr als 50 Messfühler zeichnen Temperatur- und Feuchtigkeitsdaten der Fassadendämmsysteme auf. Forschung und Unternehmen arbeiten zusammen, um neue Werkstoffe sowie klimaschonende Baukonzepte weiter zu entwickeln.

Die Räumlichkeiten beinhalten einen Vortragssaal mit modernster Medientechnik, der für Firmenpräsentationen, Schulungen und Tagungen (bis zu 100 Personen) genutzt werden kann.

Geöffnet hat das Klimacenter montags bis donnerstags von 10 bis 16 Uhr. Beratung und Führung von Besuchergruppen nach Anmeldung. In regelmäßigen Abständen Sonderöffnungszeiten und Aktionstage. Weitere Informationen unter www.3-n.info. Wir bieten auf Anfrage für Schulen spezielle Führungen oder Projektstage.



Impressum

Herausgeber:



3N-Niedersachsen Netzwerk Nachhaltige Rohstoffe
Kompaniestraße 1, 49757 Werlte
www.3-n.info

Redaktion/Überarbeitung: Hermann Stevens, Harald Fricke,
Dr. Marie-Luise Rottmann-Meyer

Dank an: IEE - Institut für erneuerbare Energien



im Rahmen des Projekts



gefördert.

Unterstützt durch:



www.deutschland-nederland.eu

Layout: Margit Camille | mcamille@t-online.de

Fotos: 3N, Nordwest Solar, GDV



JETZT
GEHT
MIR
EIN
LICHT
AUF!

Die Verschwendung von Energie ist
nichts anderes
als Wegwerfen von Rohstoffen.

