

Strom und Wärme von der Sonne

*(komprimierte Fassung
bei Fragen bitte an den Autor wenden)*

**Grundlagen, aktuelle Bedingungen und
neue Möglichkeiten**



Prof. Dr. Dr. Bruno Ehrmaier

22. September 2011

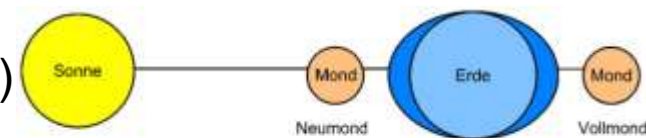
Niederhummel

4 nicht weiter rückführbare Energiequellen

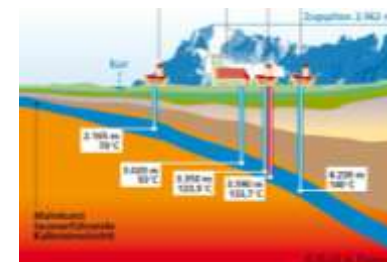
- 1. Sonnen-Energie** (*Kernfusion in der Sonne*)
 - Strahlungsenergie von der Sonnenoberfläche



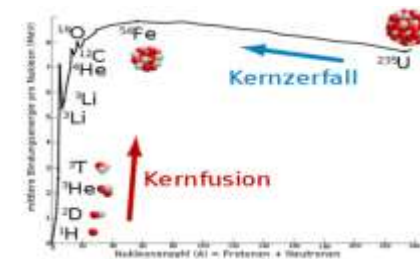
- 2. Gravitations-Energie**
 - Gezeitendynamik von Mond und Sonne (Tidenhub)



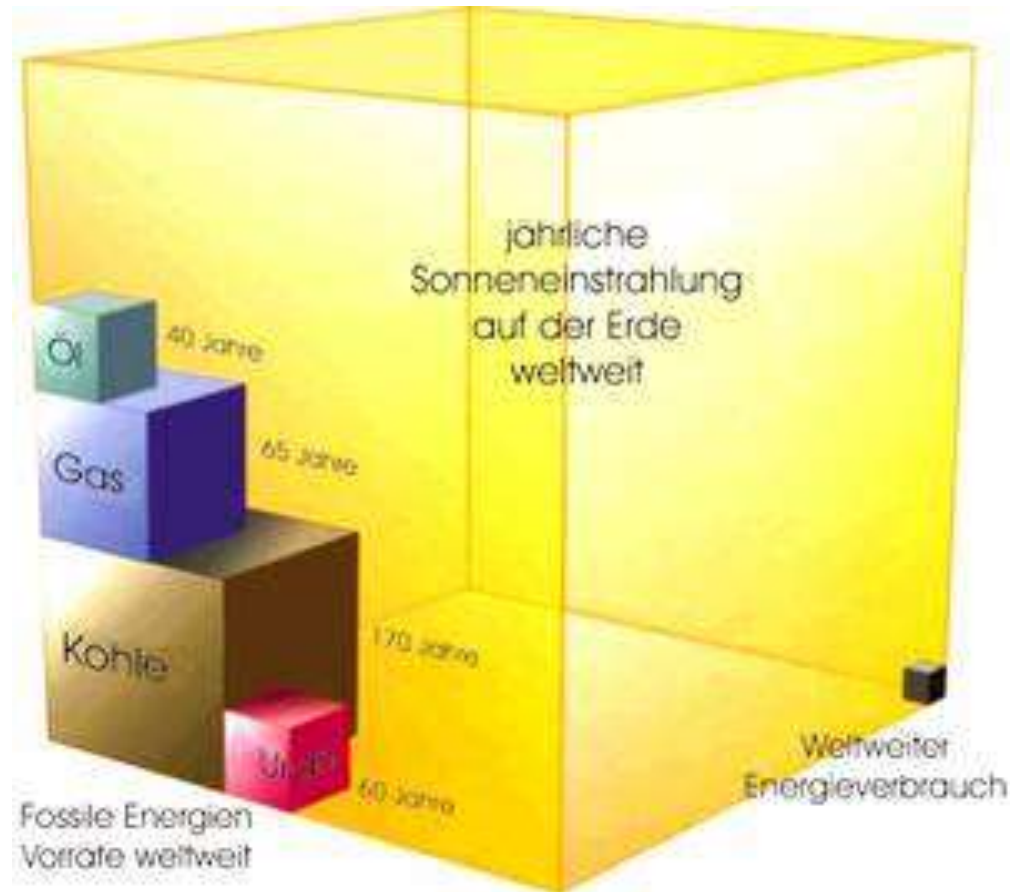
- 3. Tiefen-Geothermie-Energie**
 - Erdwärme aus dem heißen Erdinneren



- 4. Kernkraft-Energie**
 - kontrollierte Fissions- oder Fusionskraftwerke



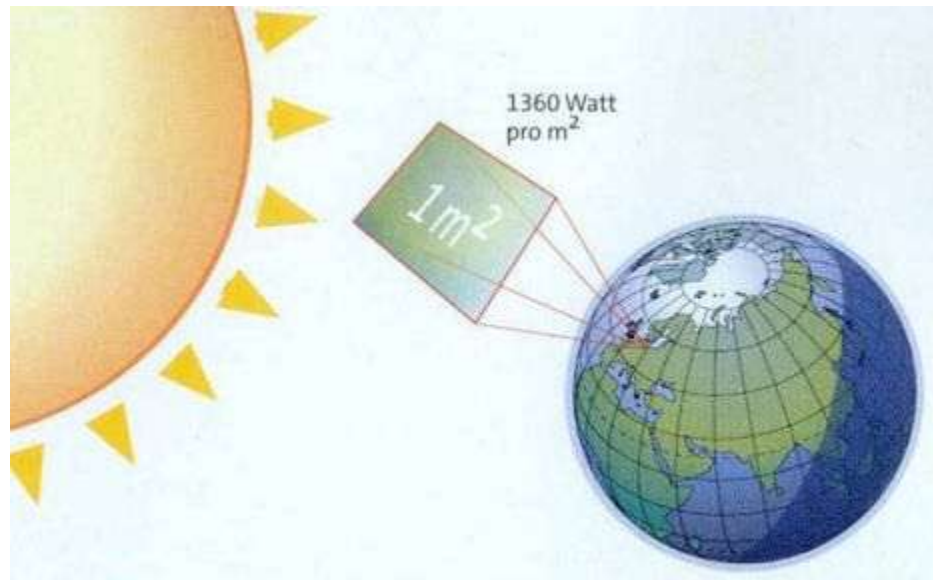
Sonne liefert 2200 mal den Weltenergiebedarf



jährliche Sonneneinstrahlung auf die Landfläche der Erde: $253,6 \cdot 10^{15}$ kWh
 Weltenergieverbrauch im Jahre 2005: $116,6 \cdot 10^{12}$ kWh

pro Jahr 2200 mal mehr Sonnenstrahlung auf die Erde als Weltenergieverbrauch

Solarkonstante



vor der Erdatmosphäre: 1367 W/m^2

auf der Erde (optimaler Sonnentag): 1000 W/m^2

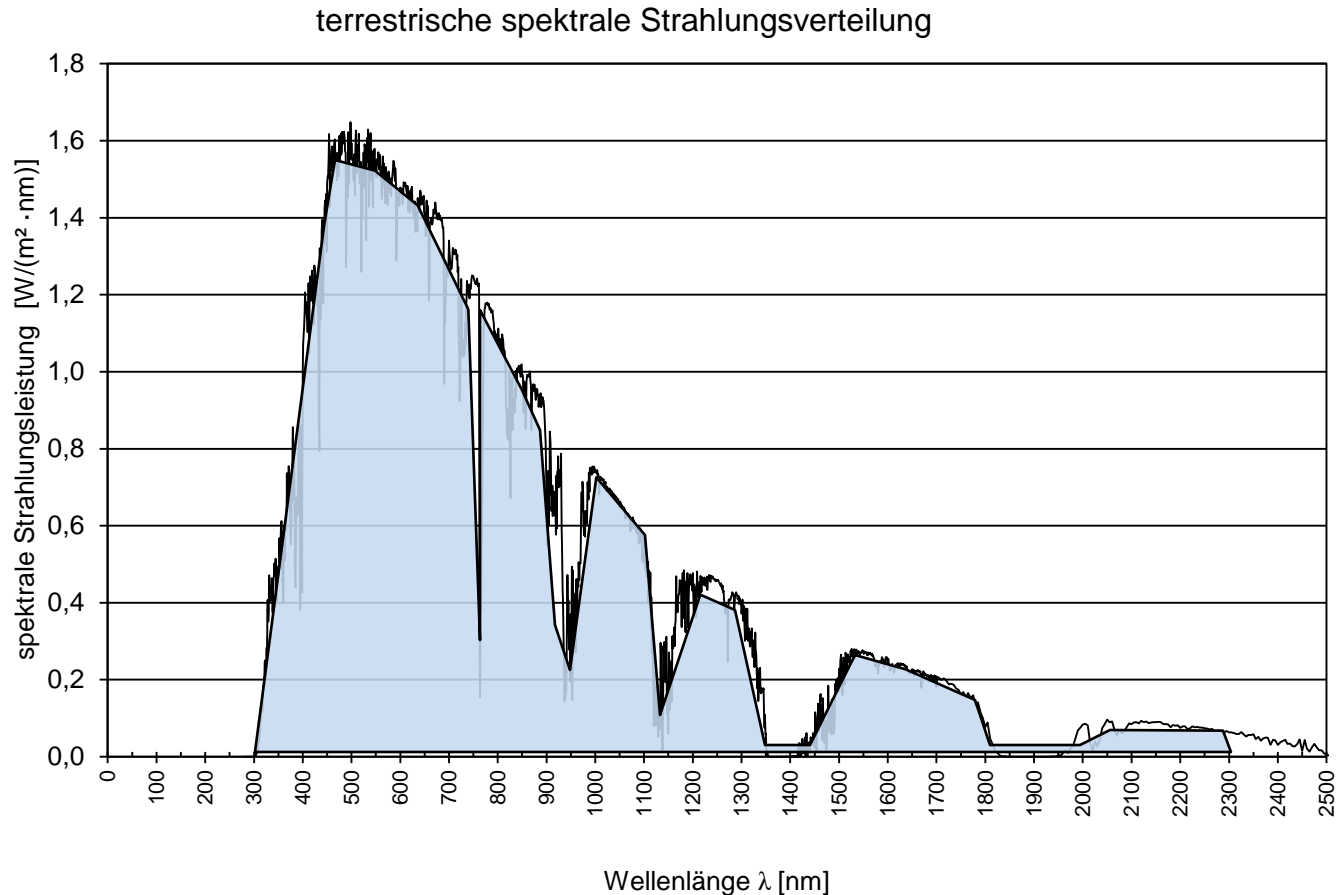
auf der Erde (Wolkentag): 50 W/m^2

Zeitdauer mal Strahlung:

Europa: $1000\text{h Sonne mal } 1000 \text{ W/m}^2 = 1000 \text{ kWh/m}^2$

Sahara: $2500\text{h Sonne mal } 1000 \text{ W/m}^2 = 2500 \text{ kWh/m}^2$

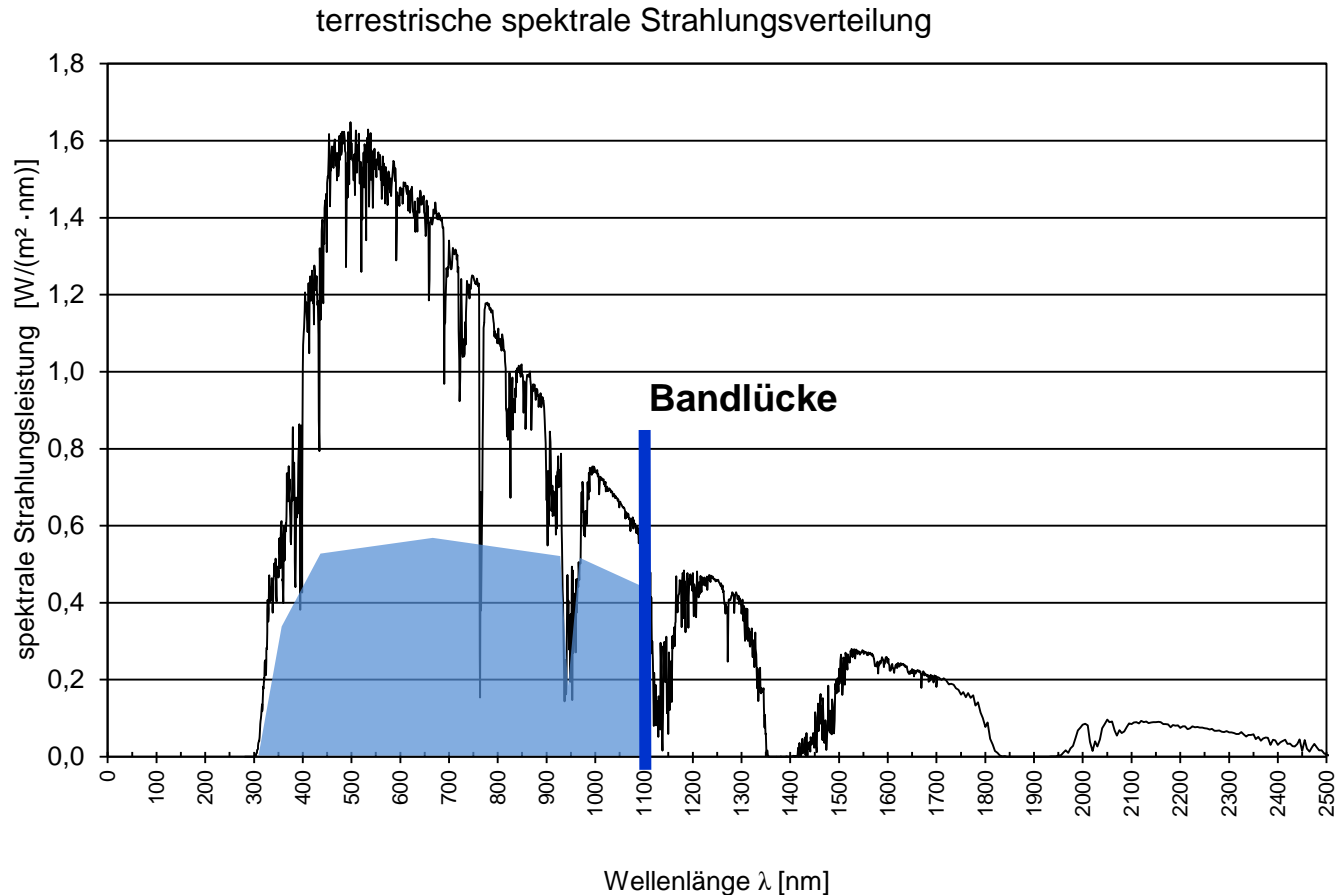
Solarthermie - Wärme von der Sonne



Ziel:

Absorption der gesamten Strahlungsenergie und
Umwandlung in Nutzwärme ohne Verluste

Photovoltaik - Strom von der Sonne



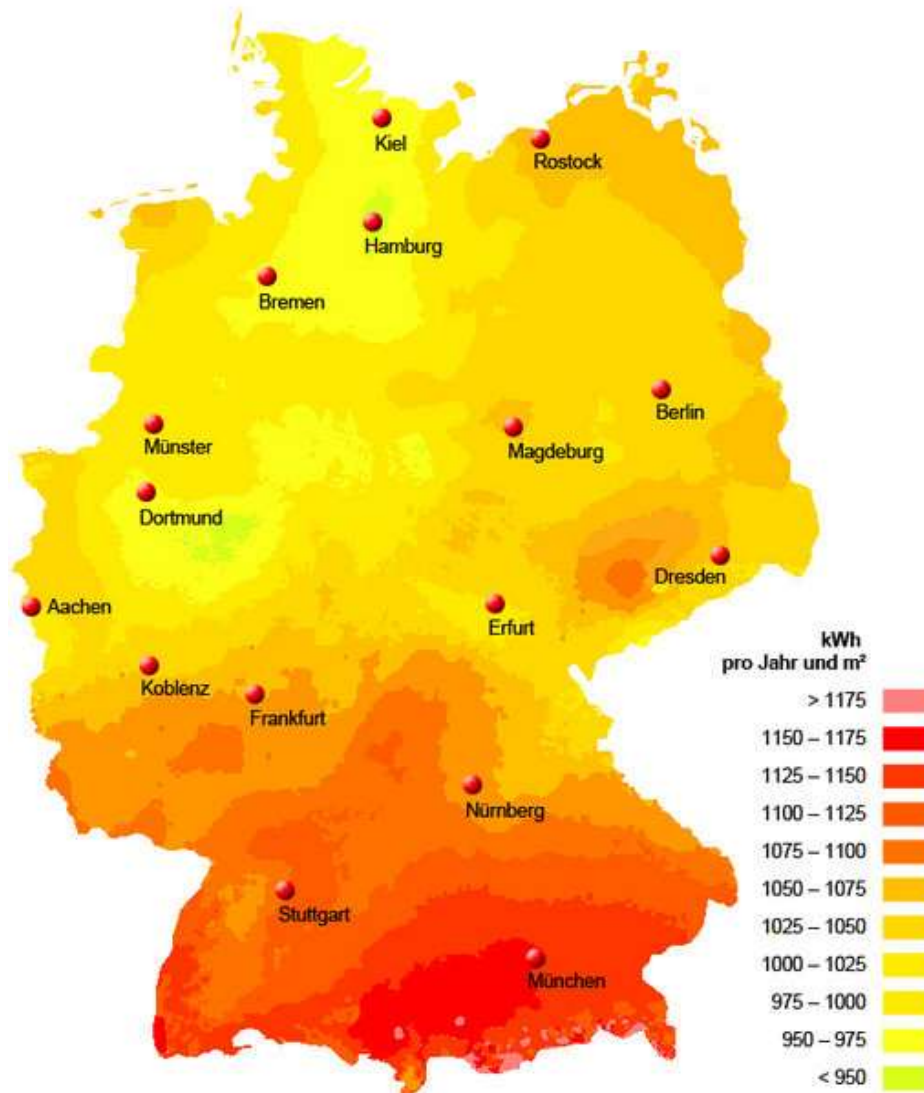
Ziel:

Optimierung der Ausnutzung der Strahlungsenergie

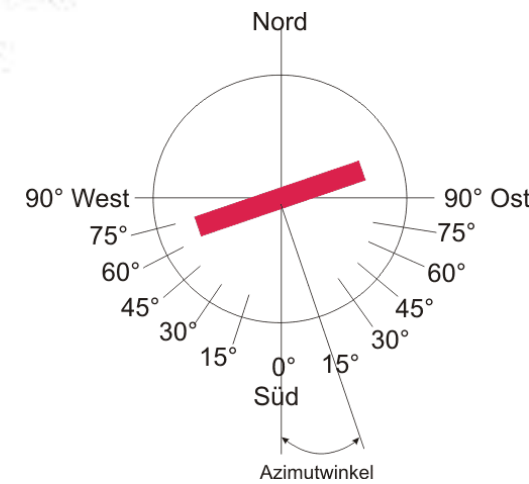
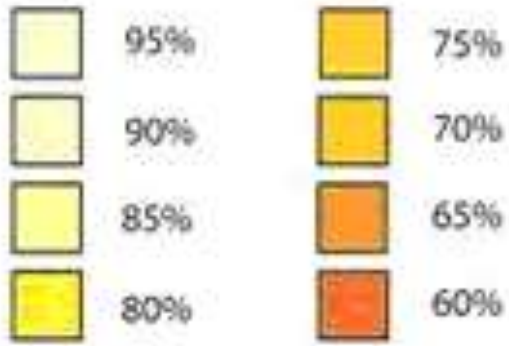
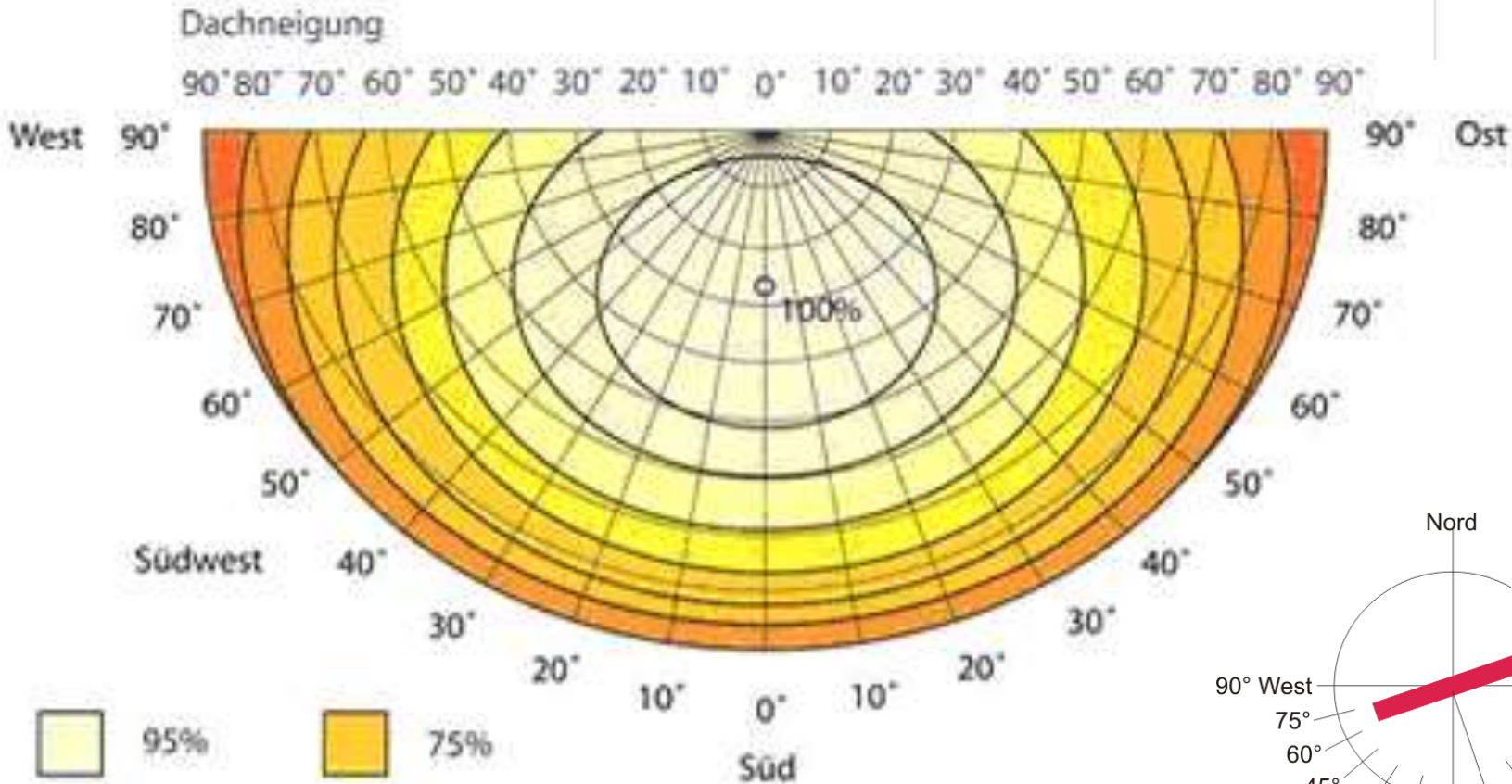
→ höherer Wirkungsgrad

Erste PV-Zelle vor 50 Jahren realisiert → heute: potentielle Lösung für globales Energieproblem

Süddeutscher Raum von der Sonne bevorzugt



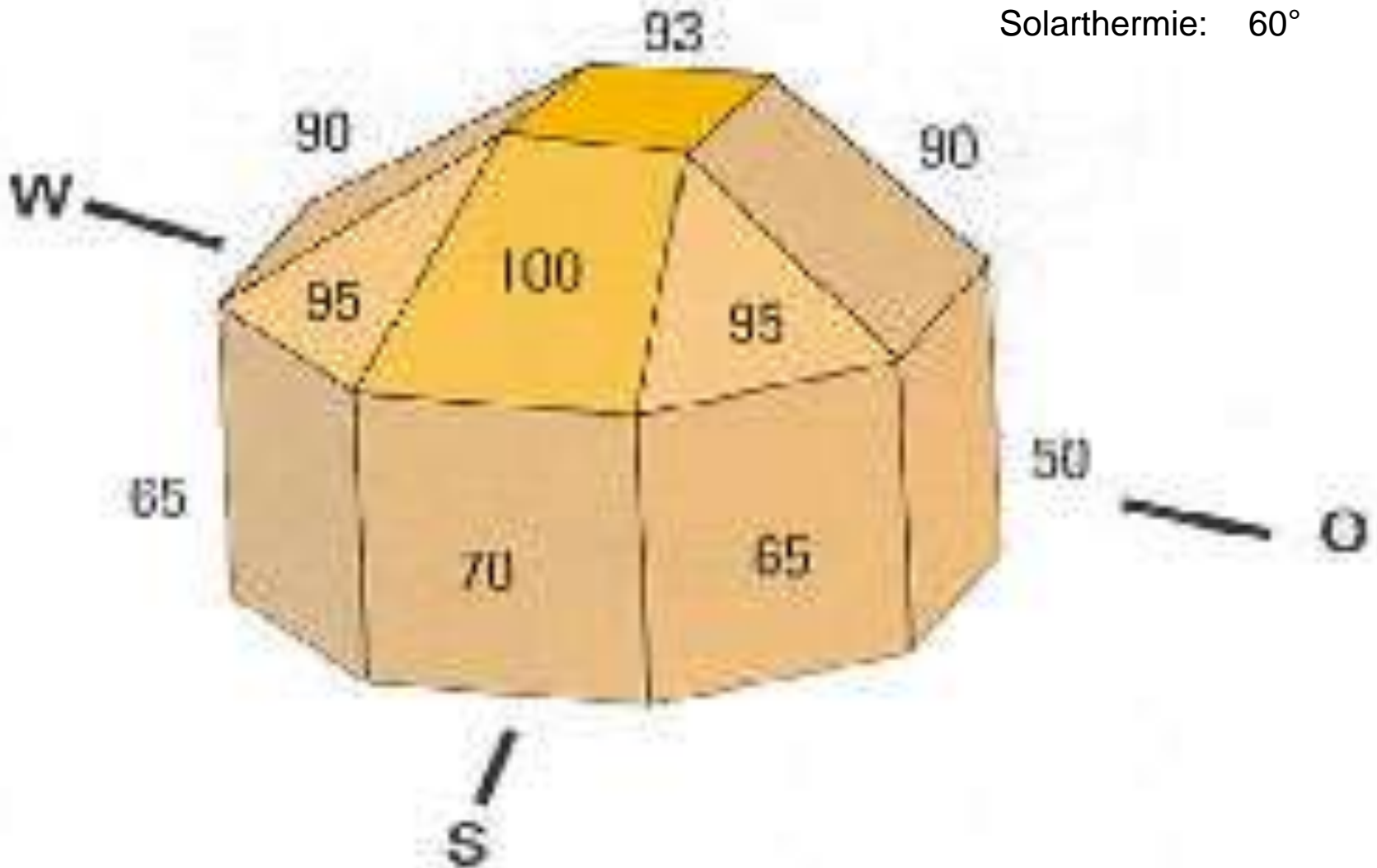
Ausrichtung von Solaranlagen und deren Wirkungsbereich



http://www.renewable-energy-concepts.com/index.php?eID=tx_cms_showpic&file=uploads%2Fpics%2FAusrichtung_Azimuth.gif&width=800m&height=600m&bodyTag=%3Cbody%20style%3D%22margin%3A0%3B%20background%3A%23fff%3B%22%3E&wrap=%3Ca%20href%3D%22ja_vascript%3Aclose%28%29%3B%22%3E%20%7C%20%3C%2Fa%3E&md5=537c915bf1c648b20ce3ce058ba23445

Ausbeute bei verschiedenen Auslegungswinkeln

Photovoltaik: 35°
Solarthermie: 60°



Wärme von der Sonne

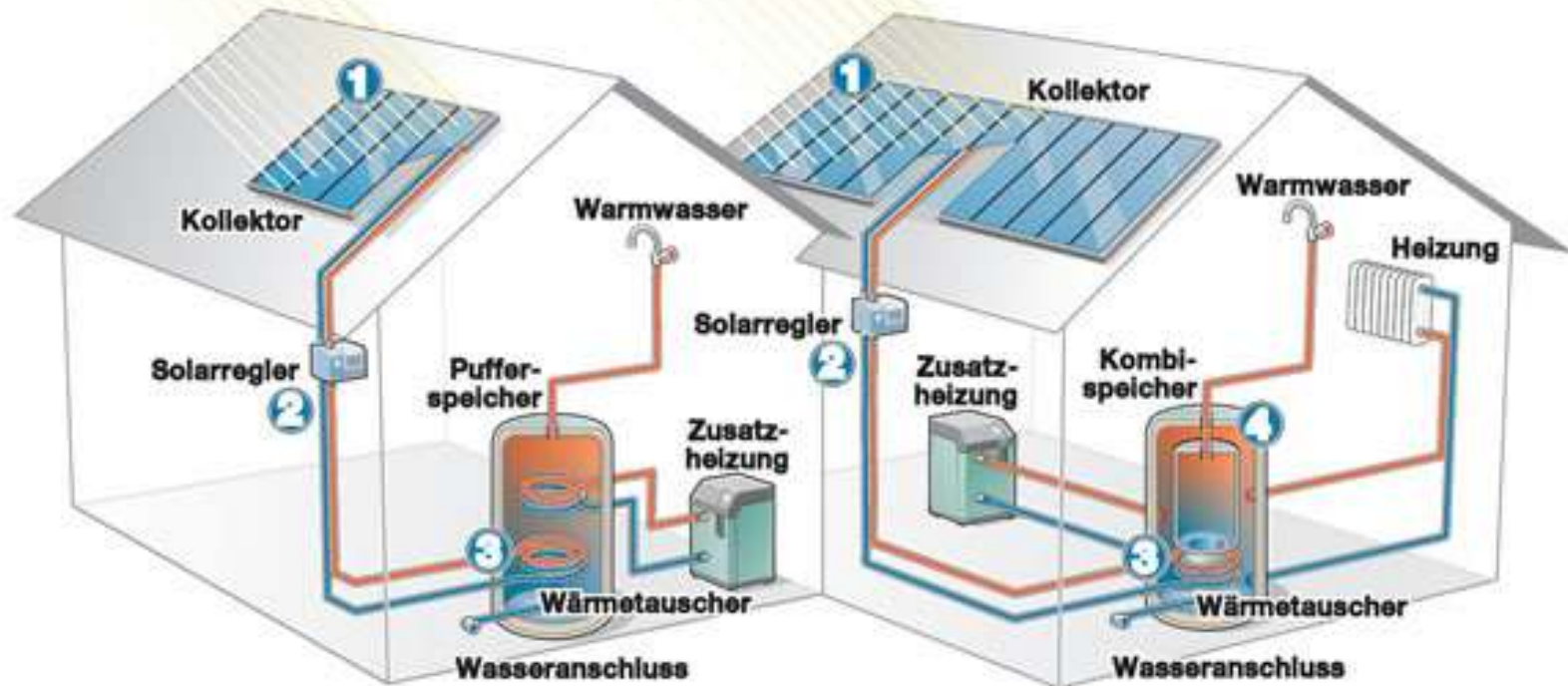
Solarthermie

Solarkollektoren geeignet für Warmwasser und Heizungsunterstützung

Wärme von der Sonne ...

A ... für heißes Wasser

B ... und zum Heizen



1 Sommerstrahlen erwärmen den Kollektor und das darin enthaltene Wasser.

2 Das bis zu 80°C heiße Wasser zirkuliert zwischen Kollektor und Pufferspeicher.

3 Der Wärmetauscher gibt Solarwärme an das Wasser im Pufferspeicher ab.

4 Der Pufferspeicher stellt die Wärme auch nachts und an kalten Tagen zur Verfügung.



Verschiedene Kollektortypen



Flachkollektor

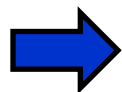
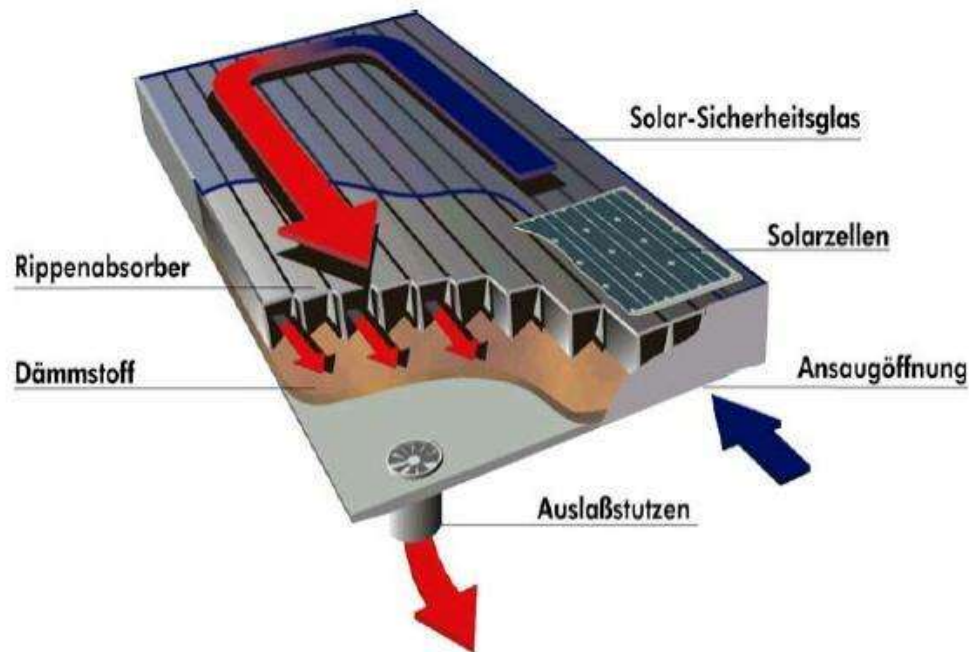


Vakuurröhrenkollektor

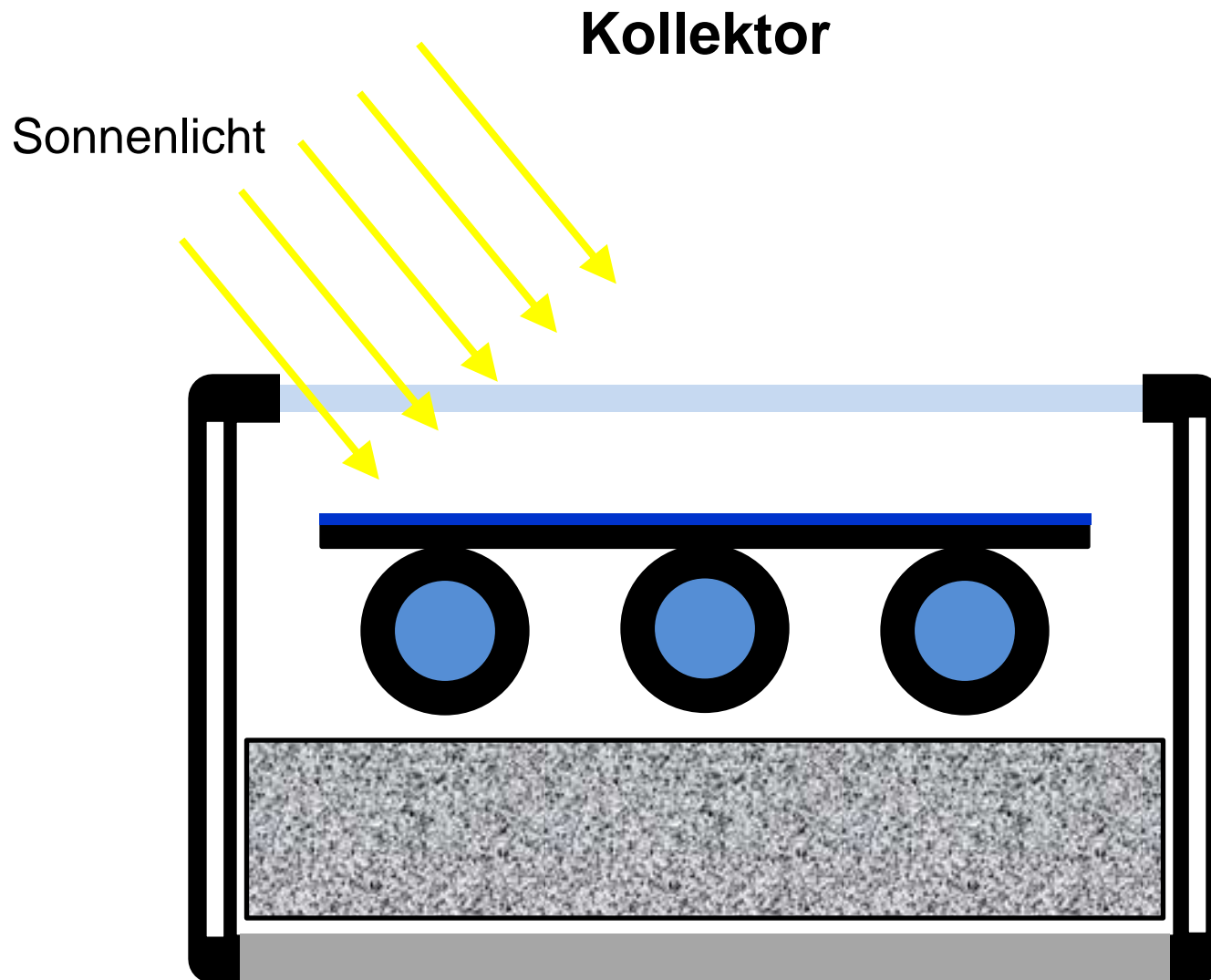
Schwimmbadkollektor – einfachster Solarkollektor



Luft als Wärmeträgermedium: Luftkollektor



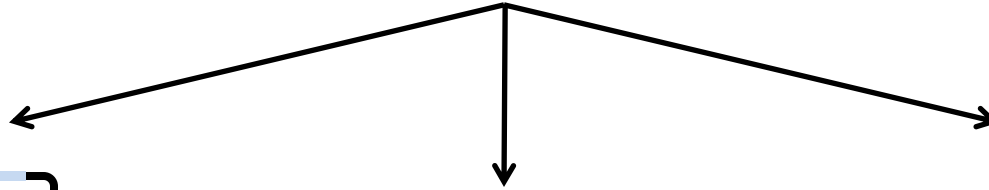
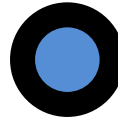
vermehrter Einsatz in Passivhäusern zur Luftheizung
(Konzept: Vorwärmung für Wärmepumpe)



- Verbesserung:**
- Verbesserter Wärmetransport durch **mehr Rohre** mit verbesserter **Wärmeträgermediumdurchströmung**

Alternative Konzepte für Solarthermische Kollektoren

schwarzer Schlauch



Flachkollektoren

- 1. Dämmung mit Mineralwolle

keine Dämmung
sondern Strahlkonzentration
(ideal bei direkter Sonnenstrahlung)



Vakuum-Röhren-Kollektoren

- 1. Dämmung mit Vakuum
- 2. konzentrierende Spiegel



Quelle: Solar Millenium

1. Parabolrinnenspiegel



Quelle: DLR

2. Fresnel-Systeme



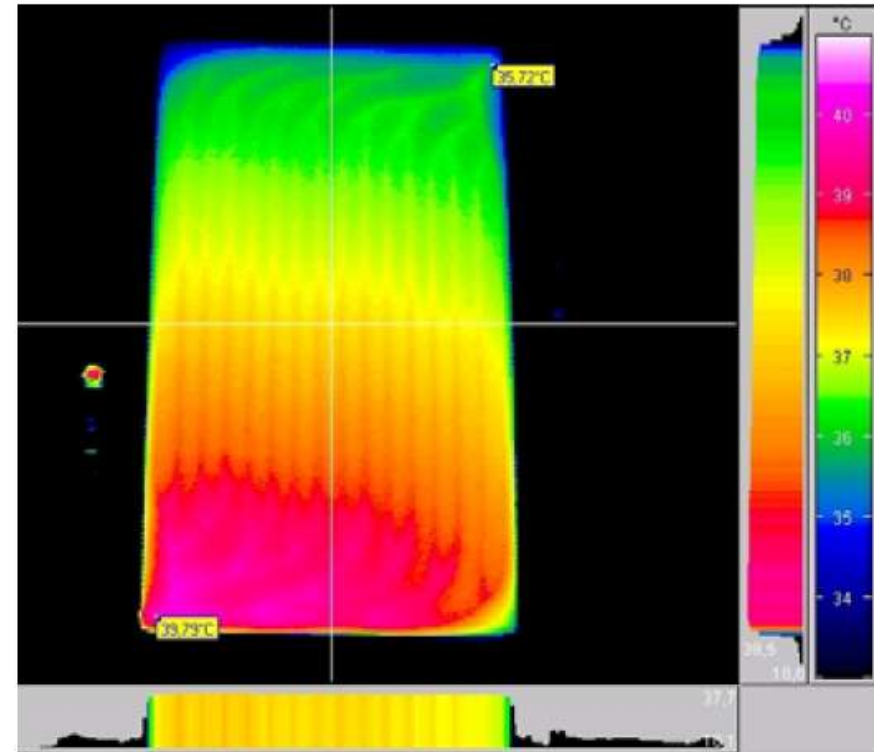
Quelle: DLR

3. Parabol-„Schüssel“-Spiegel „dish-Stirling“

Bionischer Kollektor

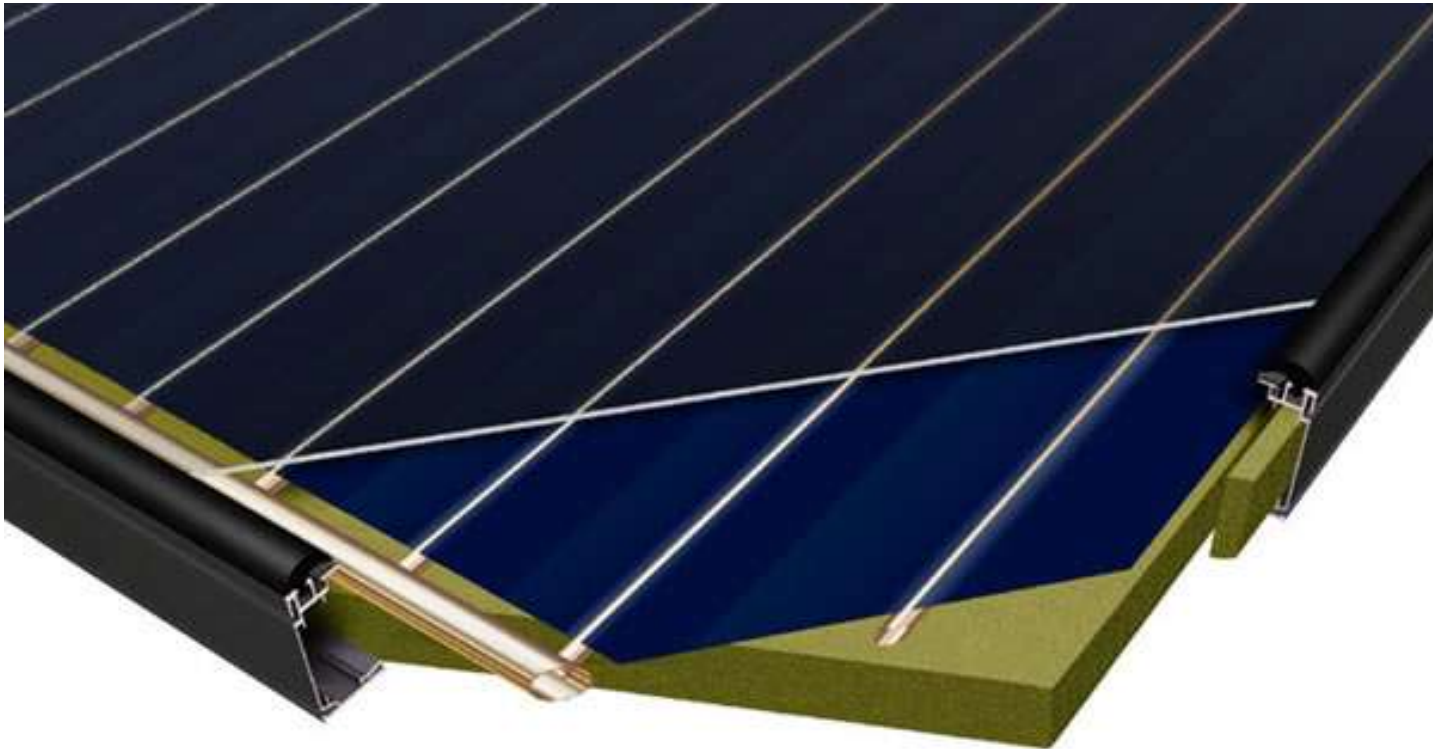


FracTherm[®]-Solarabsorber in Kollektorgehäuse
(hier ohne Verglasung)

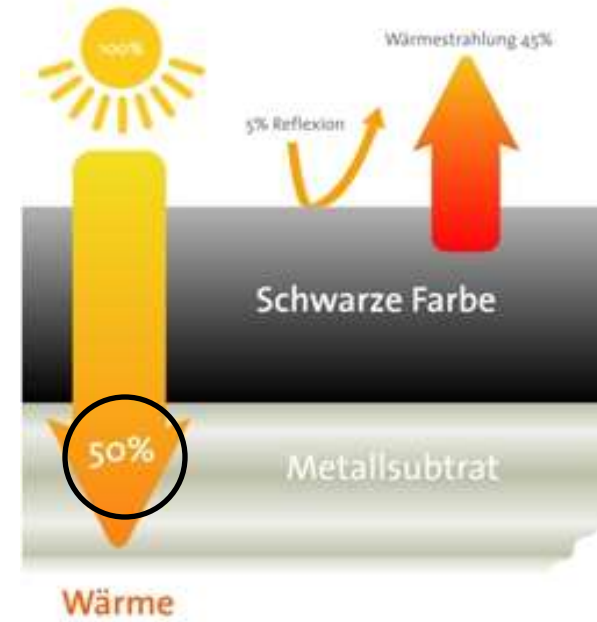
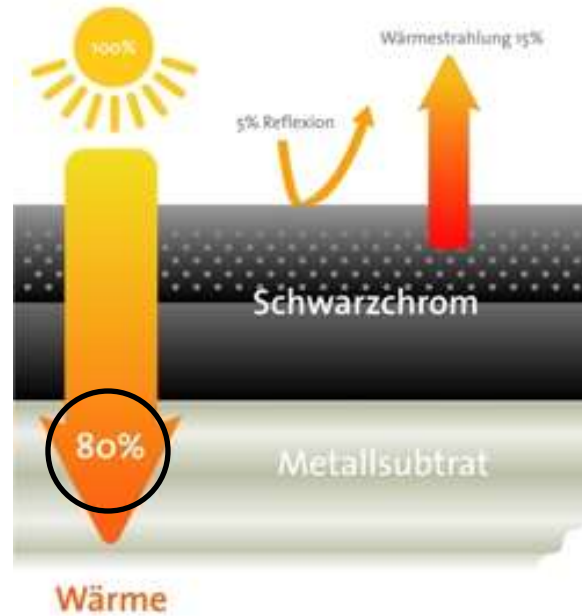
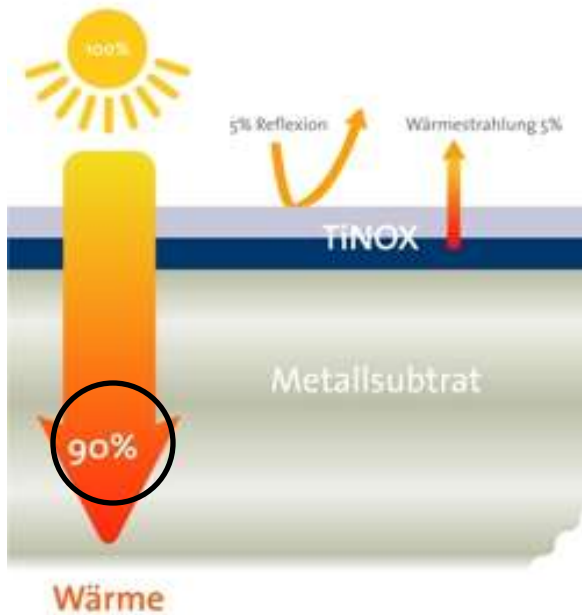


Thermografieaufnahme eines *FracTherm*[®]-
Solarabsorbers nach Einströmen warmen Wassers

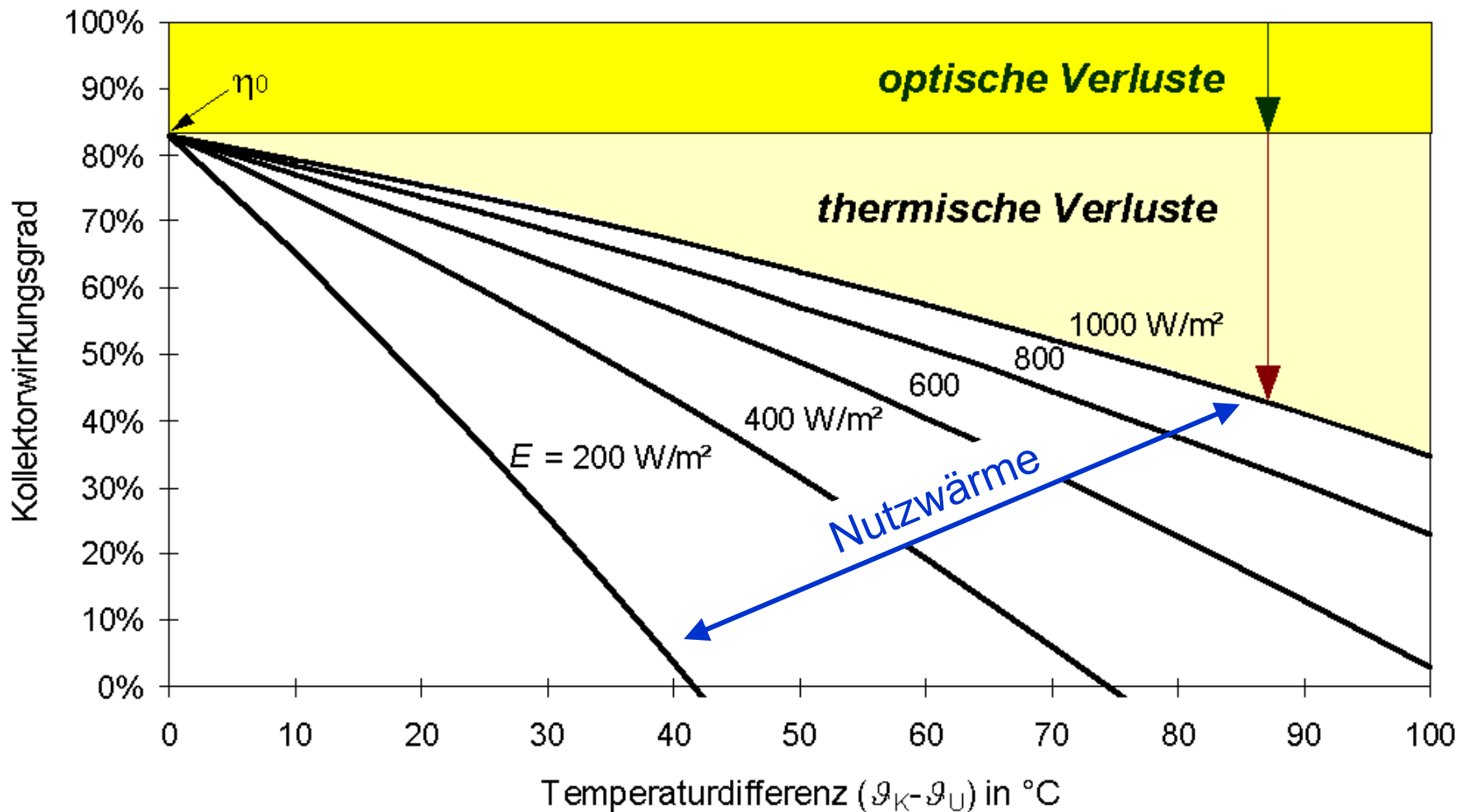
TINOX-beschichteter Kollektor



Vergleich unterschiedlicher Absorber



Wirkungsgradkennlinie - schematisch



Quelle: Volker Quaschnig - Regenerative Energiesysteme

Mittlere Wirkungsgrade von solarthermischen Kollektoren:

50-60 %

Wirkungsgrade von PV-Modulen:

10-20 %

Beispiele von solarthermischen Kollektoren



Aufdach



Indach

Beispiele von solarthermischen Kollektoren



Flachdach

Beispiele von solarthermischen Kollektoren

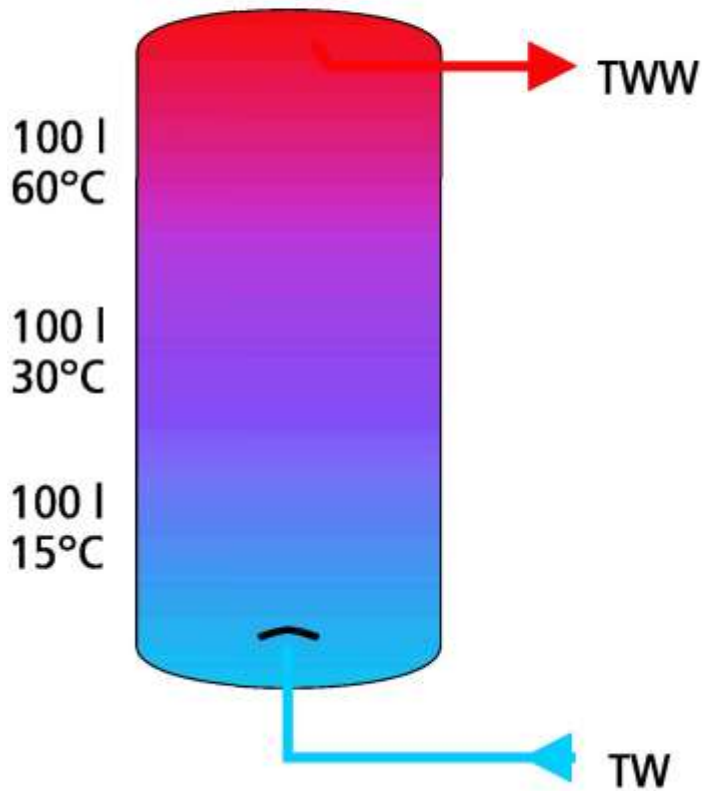


Wandmontage

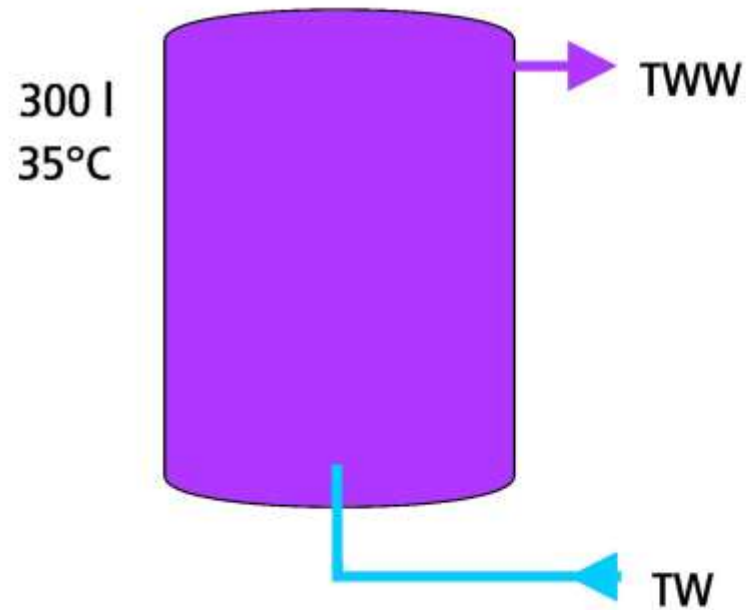


Balkonmontage

Zwei Speicher mit gleichem Wärmehalt

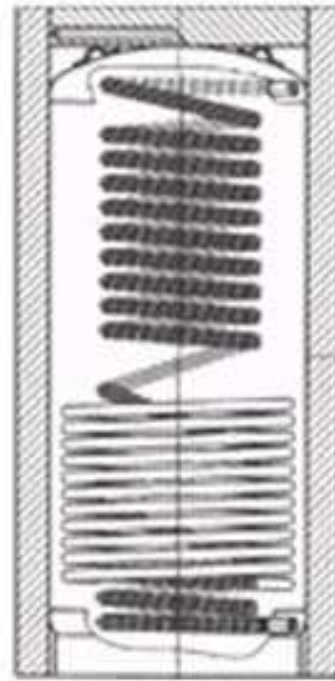


Schichtung nutzbar



Nachheizung notwendig

Kombispeicher



Warmwasser durch Edelstahlrohr (Durchlauferhitzerbetrieb)

- schnelle Erwärmung
- keine Legionellengefähr
- keine Kalkablagerung

Kosten einer solarthermischen Anlage

Bedarf

- pro Person ca. 2,5 m² Kollektorfläche bei Heizungsunterstützung
- pro m² Kollektorfläche 75 Liter - 100 Liter Pufferspeicher

- 4-Personen:
4 x 2,5m² = 10 m² Kollektor → 10 x 100 Liter = 1000 Liter (Puffer)
→ **6 Kollektoren 12 m² / 1000 Liter**

Investkosten:

- solarthermischer Kollektor: ca. 400 € - 700 €
- Pufferspeicher: ca. 1000 €
- **Gesamtanlage: ca. 7000 € bis 10000 €**

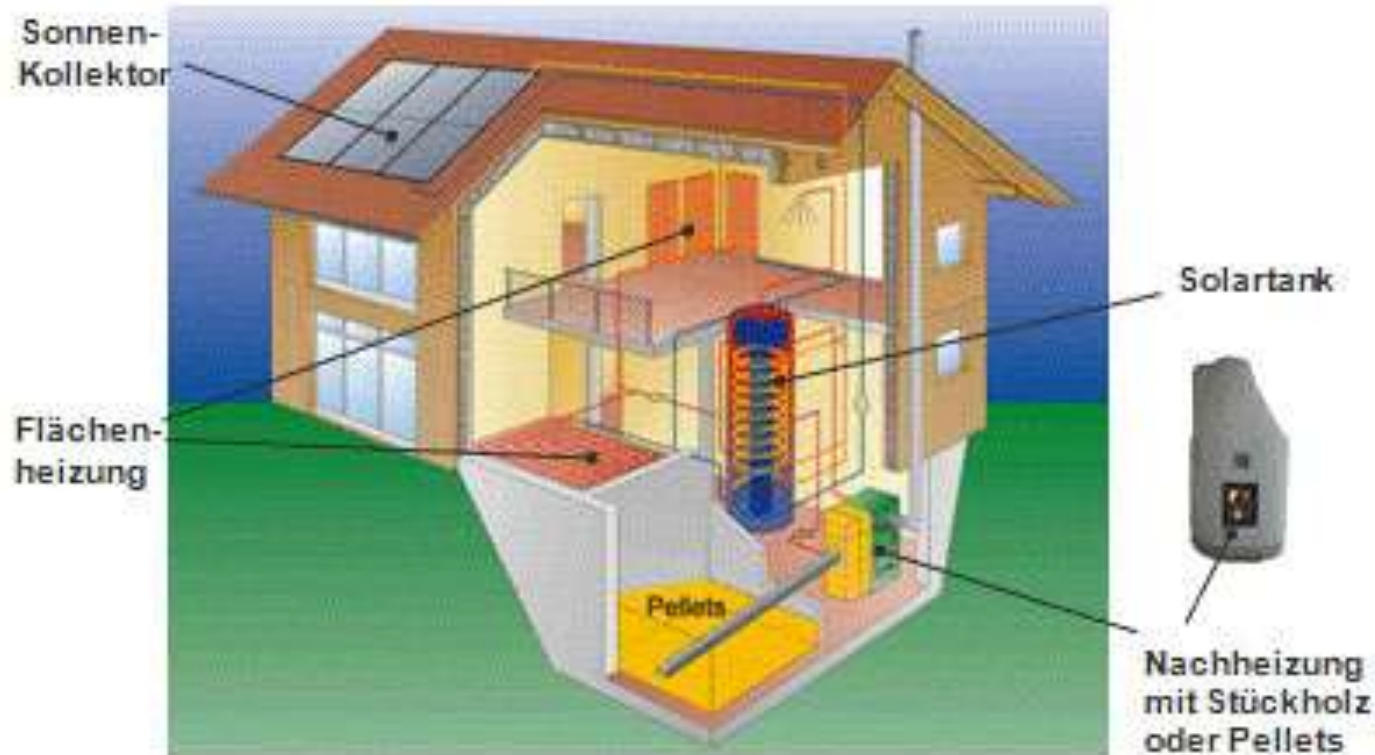
Zuschüsse

- Förderprogramme (z. B. KfW oder bafa)
 - **120 € pro angefangenem Bruttokollektorfläche** (bis 40 m²)
 - Beispiel oben: 1440 €

→ **Einsparung von anderen Brennstoffen aufgrund Solarthermie (ca. 35-50 % - abhängig von Gebäude und Verbrauch)**

Sonnenhaus - Großspeicher im Haus

Komponenten einer Sonnenhaus-Heizung



1. Gebäude gut isoliert
2. große Kollektorfläche
3. großer Speicher
4. kleine Zusatzheizung

Überbrückung von mehreren
sonnenfreien Tagen/Wochen möglich
(= **Sonne sammeln und speichern**)

Sonnenhaus

Besucherzentrum Naturpark Bayerischer Wald - Zwiesel



Zentralspeicher im Treppenhaus



Großspeicher und Sonnenhäuser



Solare Nahwärme München-Ackermannbogen (2006)



**6.000 m³ Betonbehälter
mit Edelstahlauskleidung**

**Betriebsbereich:
95 - 10 °C**



Solarthermie

- Solarthermie hat **keine Brennstoffkosten**
- Solarthermie nicht nur für Warmwasser sondern auch für **Heizungsunterstützung** nutzen
- **Zusatzheizung** nötig (ideal: regenerativ)
- Sonnenarchitektur - **passive Sonnenenergienutzung** (bei Neubauten)



Strom von der Sonne

Photovoltaik

Aufbau einer Photovoltaik-Anlage

Modul (Waver = photoaktives Material):

Dickschichtsysteme

monokristallines Silicium

polykristallines Silicium

Dünnschichtsysteme

amorphes Silicium

Cadmium-Tellurid (CdTd)

Kupfer-Indium-Diselenid (CIS)



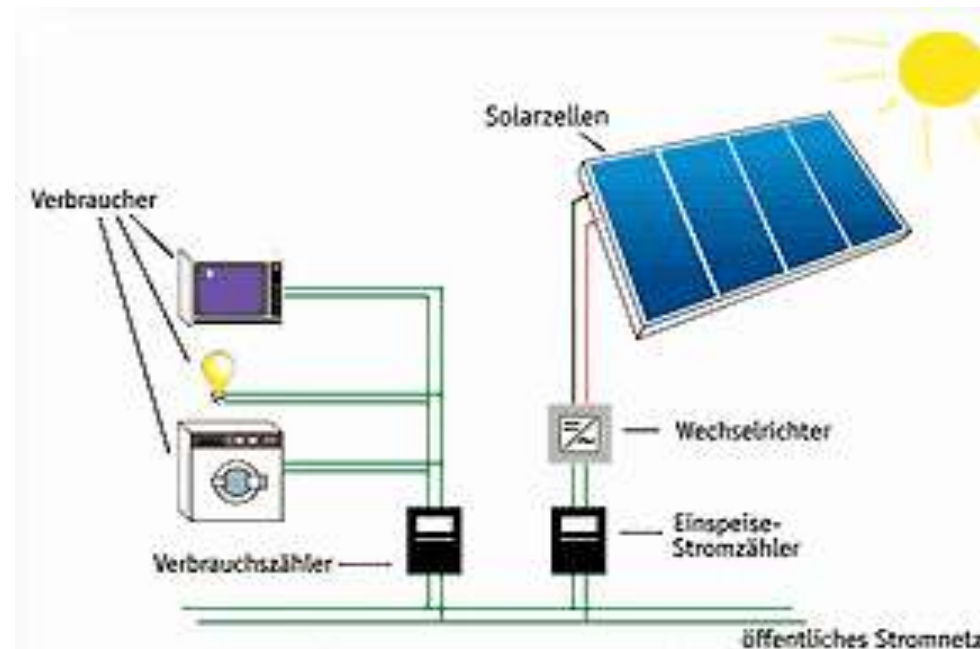
Montage-System

Gleichstrom-Kabel

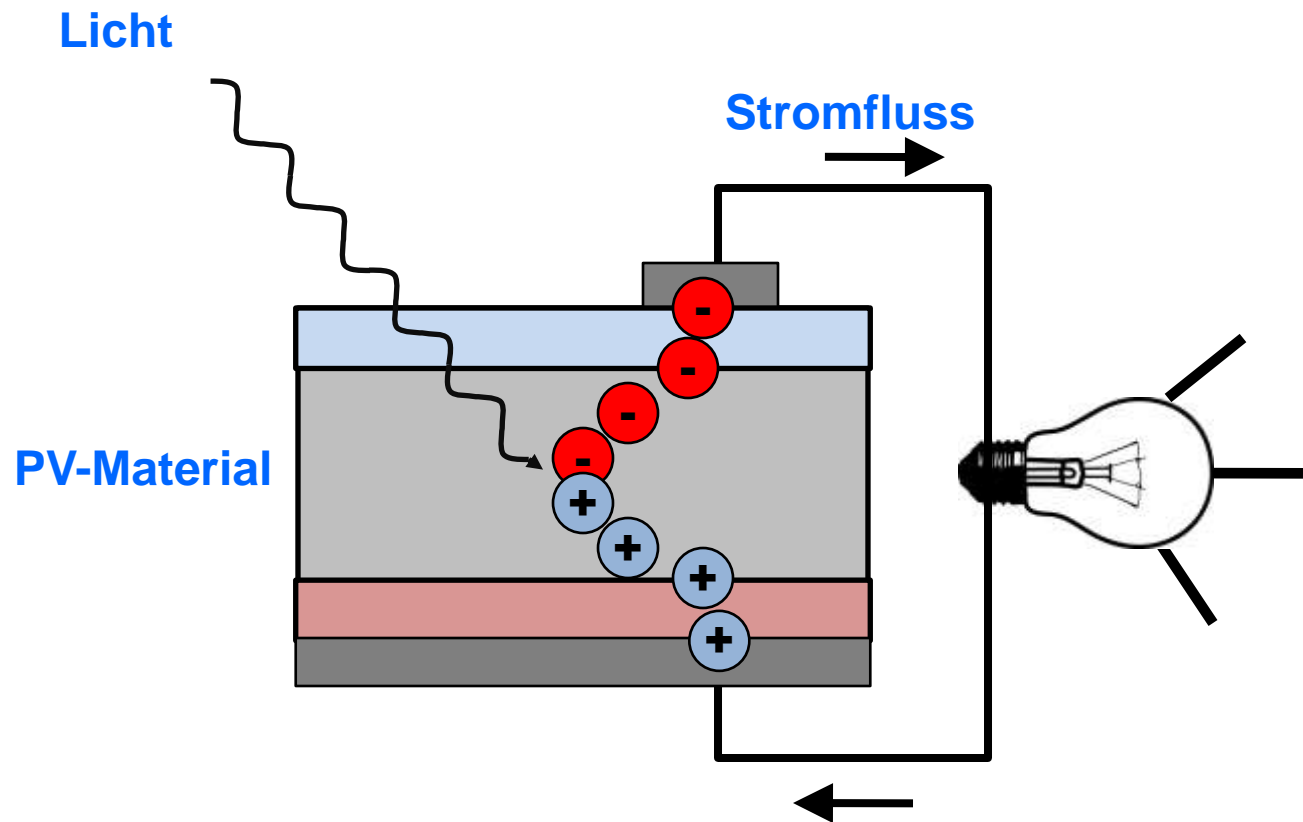
Wechselrichter

Stromzähler

- Eigenverbrauchszähler



Wesentliche Merkmale und Kriterien für Optimierung



Einsatzbereiche von Photovoltaik

- Consumer-Systeme (z. B. Taschenrechner, Uhren, *neu*: Handy)



Einsatzbereiche von Photovoltaik

- Größere Inselanlagen (z. B. Berghütten, DC-Beleuchtung in Entwicklungsländern)

Photovoltaik ist leise bedeutet
Unabhängigkeit vom Diesel



Photovoltaik ist Licht
und Bildung



Neue Monte Rosa-Hütte
Gemeinschaftsprojekt von ETH
Zürich, SAC, Hochschule Luzern -
Technik & Architektur und EMPA

Bauprojekt mit ausgezeichneter
Architektur und Vorbildcharakter im
Bereich Energie- und
Ressourceneffizienz. ©
neumonterosahuette.ch

Einsatzbereiche von Photovoltaik

- Batterie-Ladestationen (Gabelstapler / Fahrzeug / Rasenmäher)



Einsatzbereiche von Photovoltaik im Energiebereich

- Netzgekoppelte Anlagen (mit Wechselrichter)



PV auf Hausdach



PV auf Industriedach



Freiflächenanlage fest fixiert

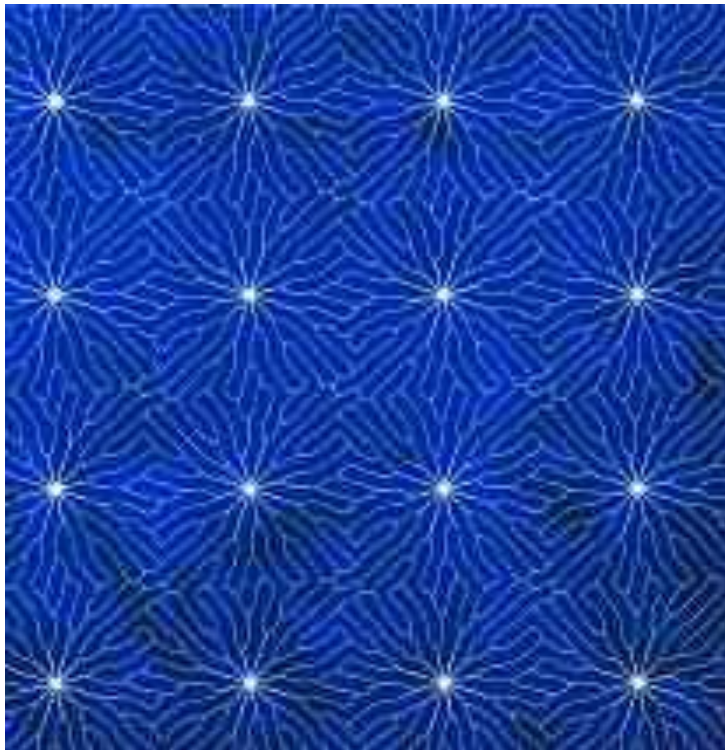


Freiflächenanlage Tracking-System

Trend von 2 zu 3 bus bars (Kontaktstreifen)



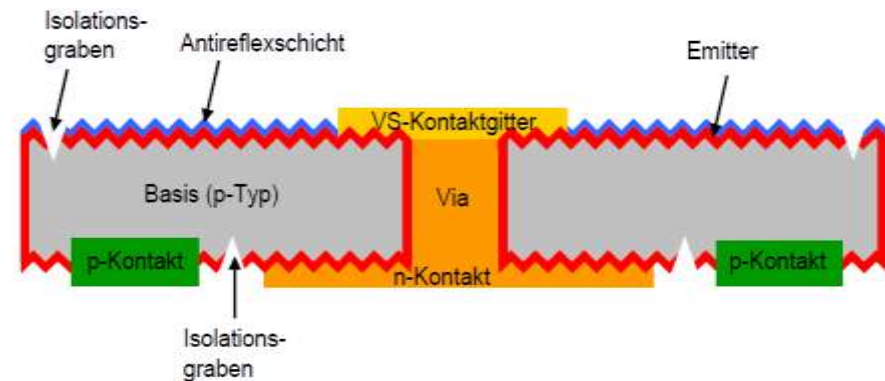
Rückseitenkontakte MWT (=metal wrap through) - Zellen



Waver-Vorderseite mit Rückseitenkontakt



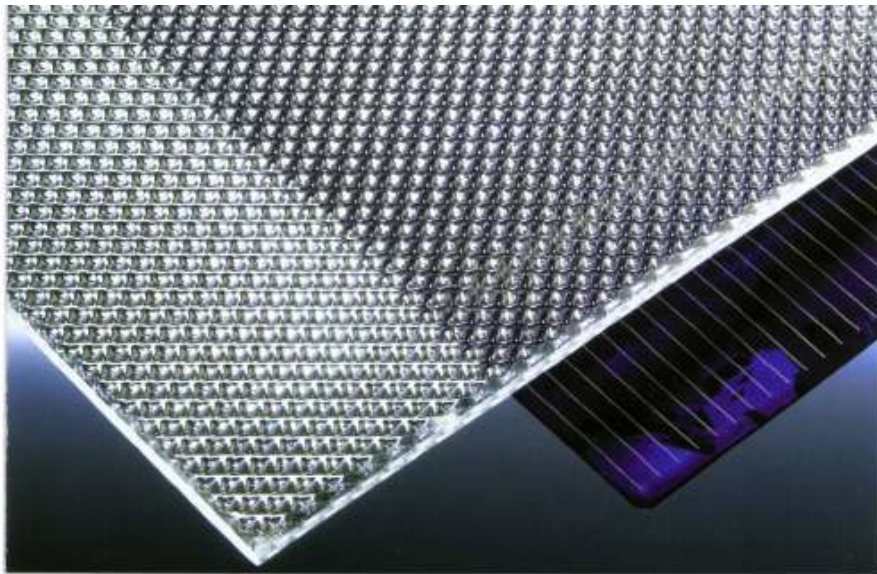
Laserdurchschuss



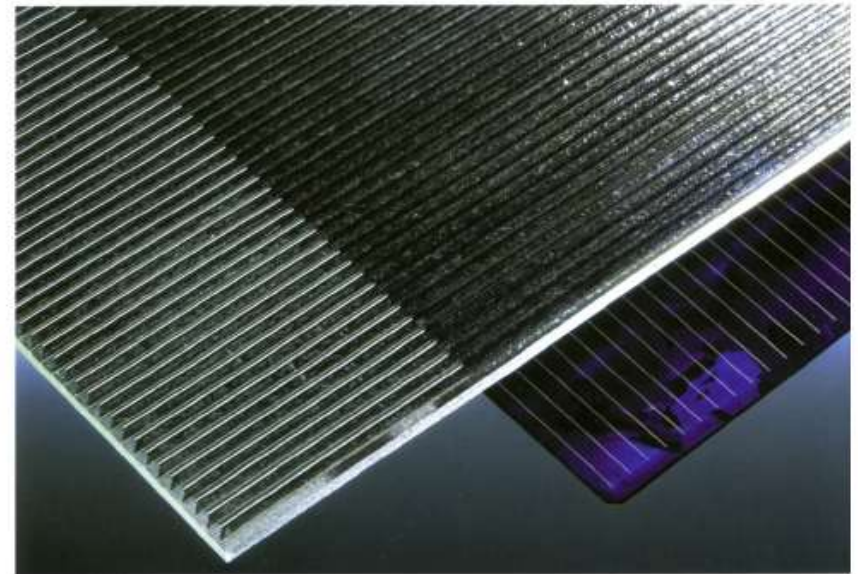
Schnittbild MWT

Wirkungsgradverbesserung: ca. 0,5 %

Optik: strukturierte Glasscheibe für PV-Module



prismatisch

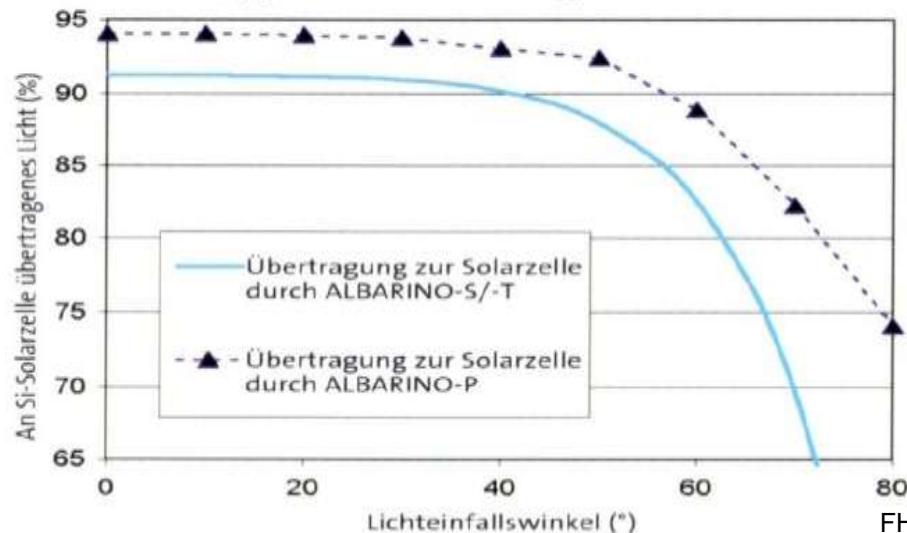


gerillt

sgc ALBARINO P

sgc ALBARINO G

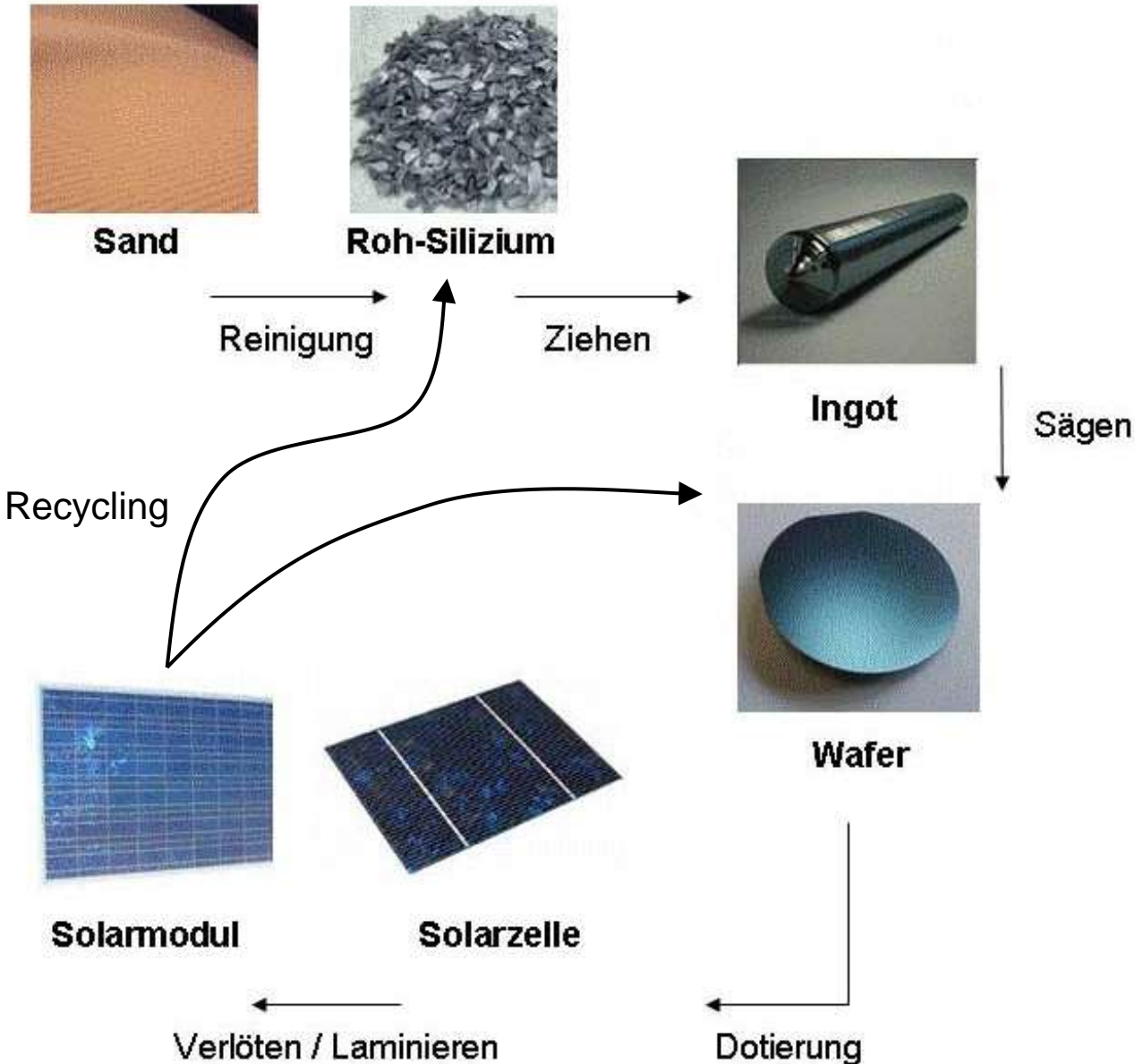
• Erhöhung des Wirkungsgrades bei tiefer, pyramidenförmiger Struktur: +3 %



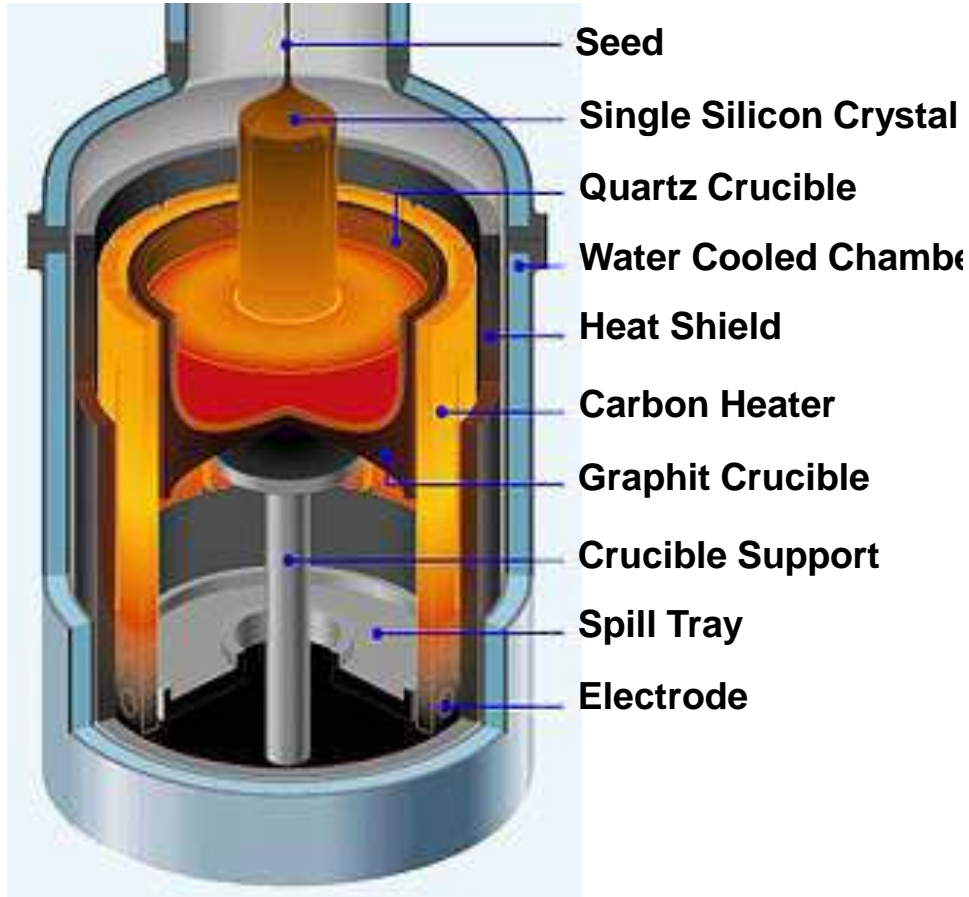
Einsatz für Ost-West-Dächer!

Solarsilicium-Kreislauf

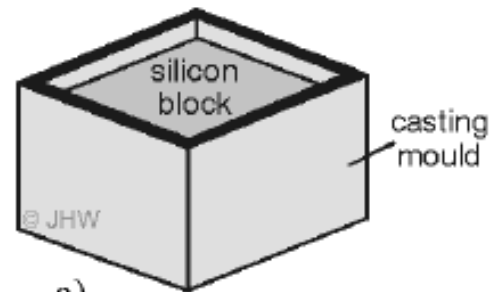
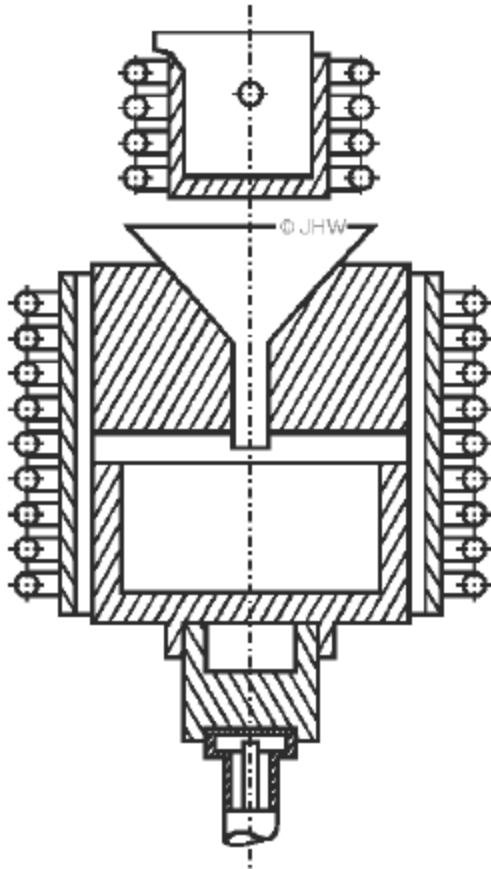
Silicium gibt es wie Sand am Meer



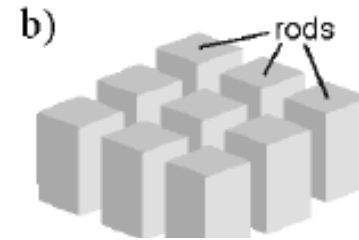
Einkristallwachstum nach Czochralski-Verfahren



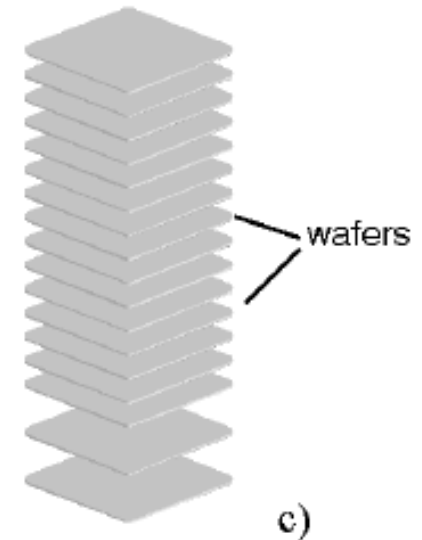
Blockgießen - Polykristallines Silicium



a)



b)



c)

geschmolzenes Si wird in Graphittiegel gegossen



kontrollierte Abkühlung sorgt für kolumnare Strukturen



Zersägen in viereckige Scheiben

Dünnschichtzellen



a-Si:H-Solarmodul

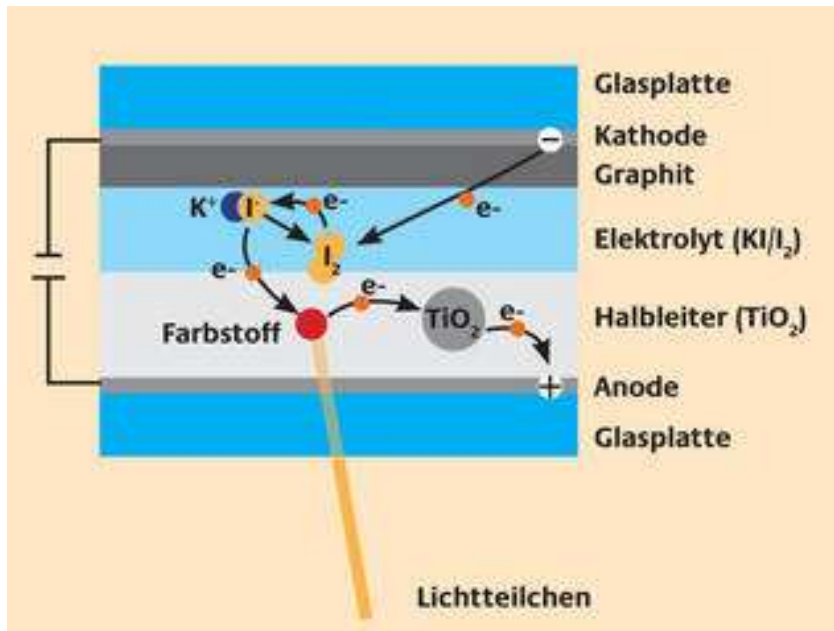


CIS-Dünnschicht-Solarzellen

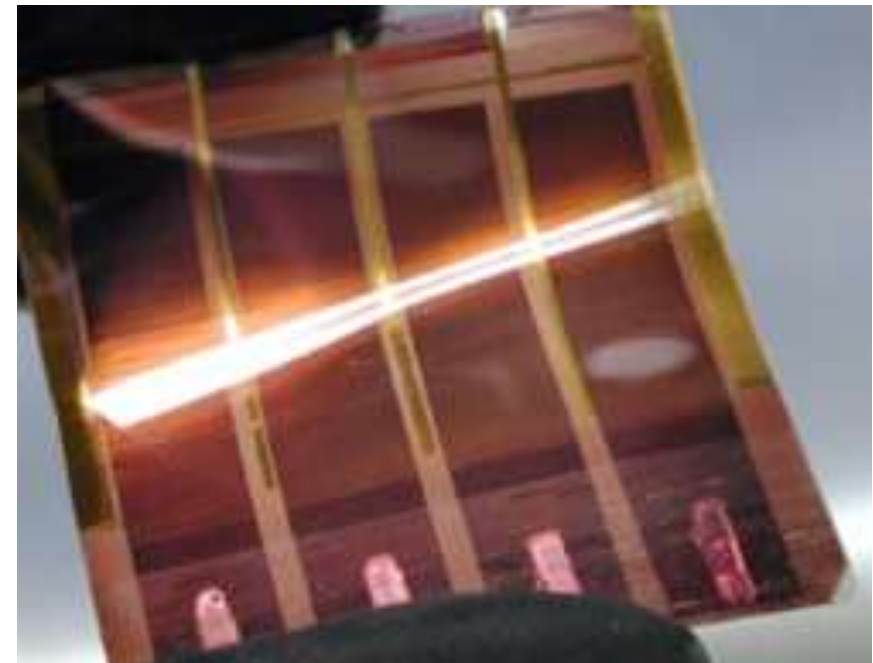


CdTe-Dünnschicht-Solarzellen

Organische Photovoltaikzellen Farbstoffzellen – flexible Zellen



Grätzelzelle

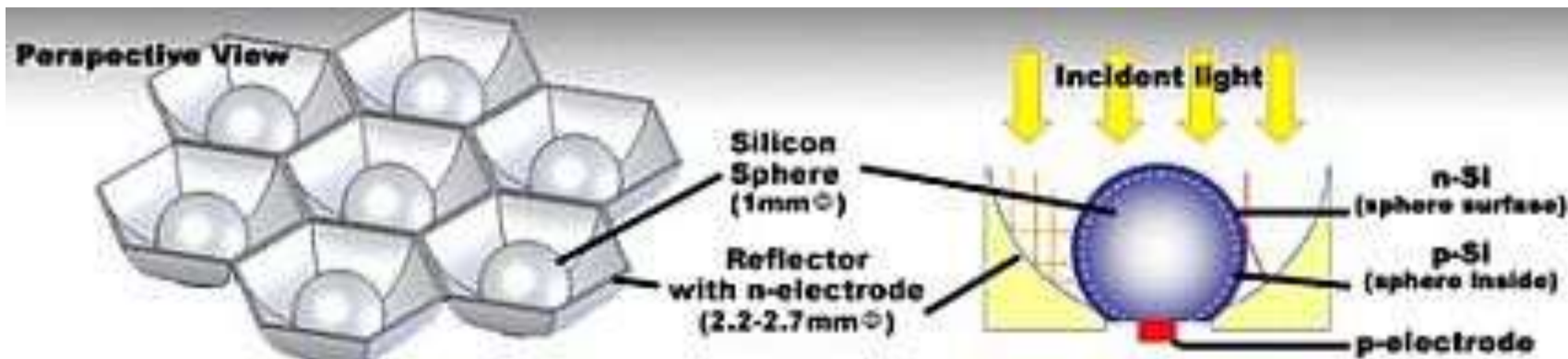


flexible organische Solarzelle (Fraunhofer ISE)

Material: Kunststoffe (Polymere) / Farbstoffe
derzeit Forschungsstadium (Bayern Innovativ Projekt)

- Degradation
- Beständigkeit
- + flexible und dünne Anwendungen
- + kostengünstig bei ca. 10 % Wirkungsgrad

Kugelsolarzellen



Kugelsolarzellenmodul
Wirkungsgrad: 10 – 12 %

Transparente Solarsysteme



Transparente Solarmodule des Museums
Center for Water Education in Kalifornien



Einsatzbereiche:

- teilverschattete Lichtgänge
- Hallensysteme
- Glas-Übergänge
- Fassaden
- Gewächshäuser

PV-verschattete Gewächshäuser



BIPV – Building Integrated Photovoltaics

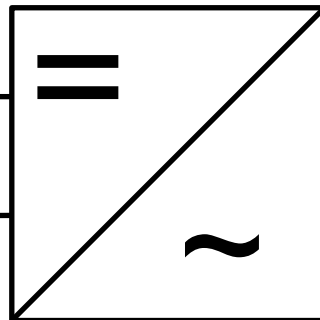


Einbindung der Photovoltaik in die
Architektur

Leistungselektronik bei Photovoltaikanlagen



Photovoltaik-Module als Gleichstrom-Generator



DC/AC-Wechselrichter



Transformator

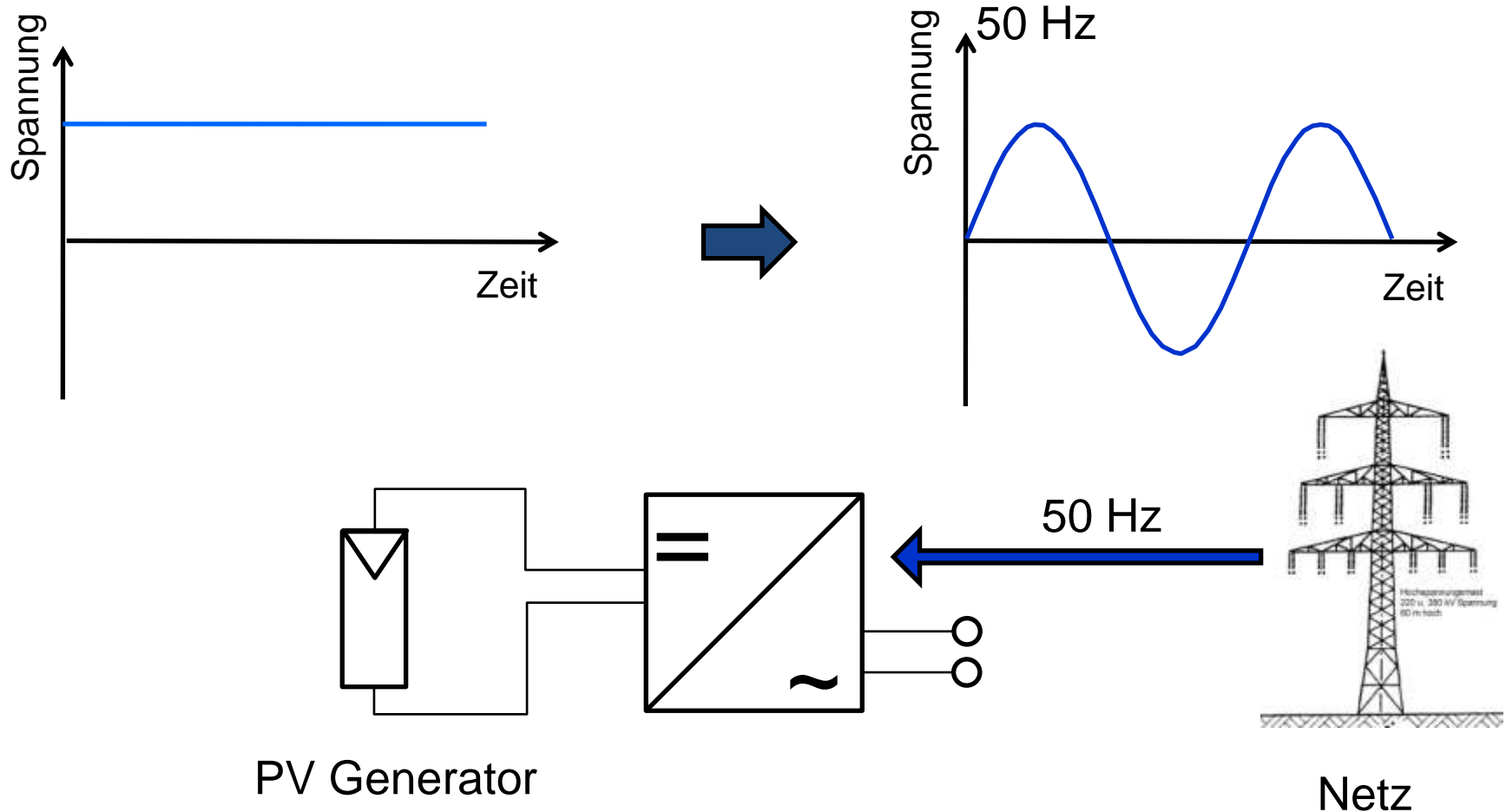


Elektrisches Energieversorgungsnetz



Wechselrichter Innenansicht

Funktion des Wechselrichters: Umwandlung von Gleichspannung in Wechselspannung

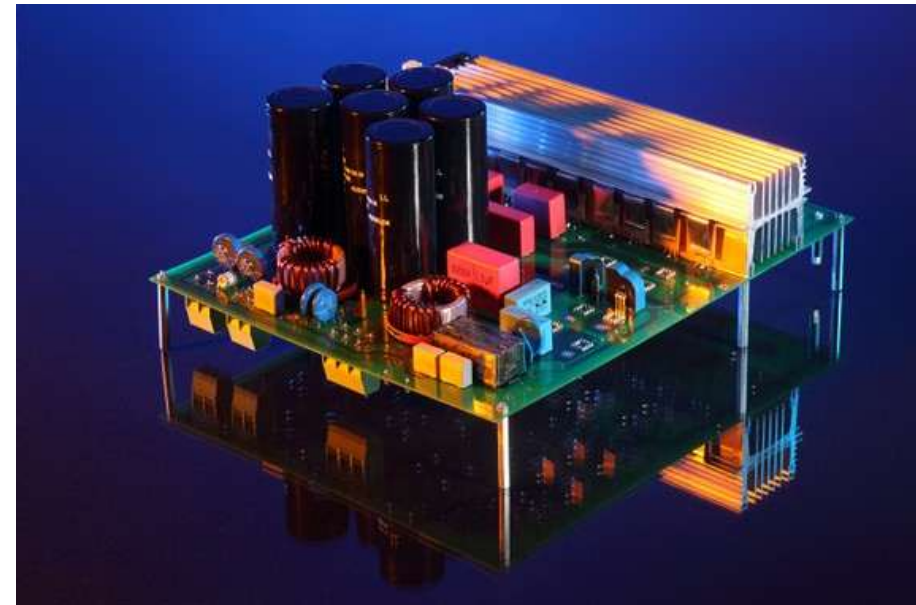
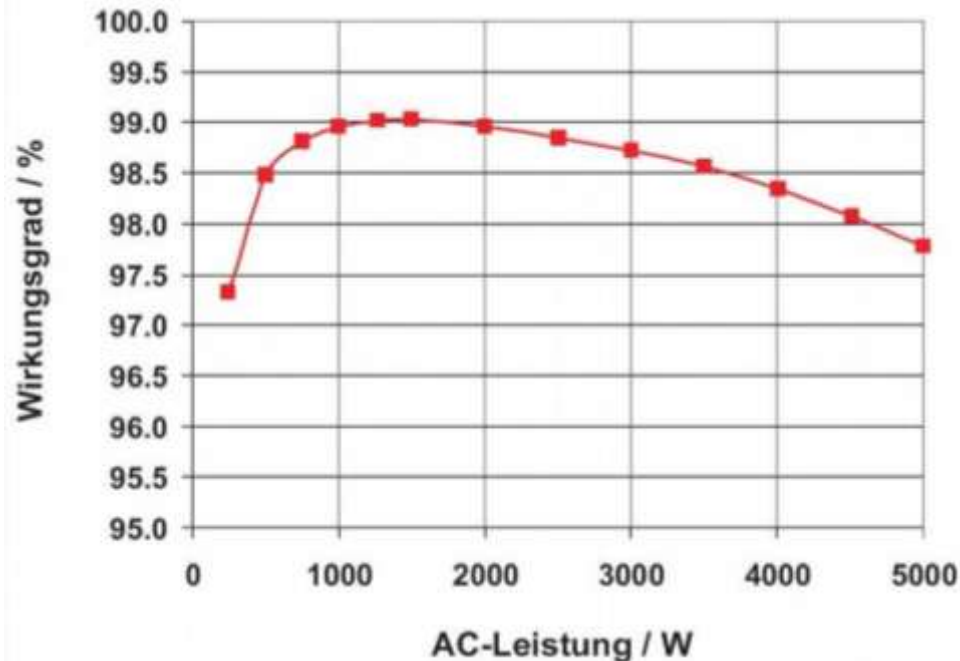


Wechselrichter Wirkungsgrad Weltrekord bei 99%

(29.07.2009)

Pressemeldung:

Fraunhofer ISE verbessert eigenen Weltrekord - Über 99 Prozent Wirkungsgrad bei Photovoltaik-Wechselrichtern durch Verwendung von Sperrschicht-Transistoren (JFETs) aus **Siliciumcarbid (SiC)**



Gratulation an Prof. Dr. Bruno Burger, Leiter der Gruppe Leistungselektronik am Fraunhofer ISE

Kostenbetrachtung

- Anlagekosten: von **1975 €/kW_{Peak}** bis **2300 €/kW_{Peak}**
- Einspeisevergütung:
Gebäude/Scheune/Lärmschutzwand
2011 (bis 30 kW_{Peak}): **28,74 €Cent/kWh**
- Modulanzahl und Fläche
m² bei 5 kW_{Peak}: ca. 20-25 Module / 30-40 m²
- Amortisation (Beispiel 5 kW_{Peak}-Anlage):
 - 1000 Sonnenstunden x 5 kW_{Peak} x 0,2874 €/kWh = 1430 €/Jahr /kW_{Peak}
 - 11000 € : 1430 € = 7- 8 Jahre Amortisation

Einspeisevergütungen nach EEG

- Einspeisevergütung:

Gebäude/Scheune/Lärmschutzwand

bis 30 kW _{Peak}	2011	28,74 €Cent/kWh
bis 30 kW _{Peak}	2012	25,29 €Cent/kWh
30 bis 100 kW _{Peak}	2011	24,05 €Cent/kWh
bis 10 kW _{Peak}	2012	20,77 €Cent/kWh

Freifläche

Ackerfläche/Grünfläche

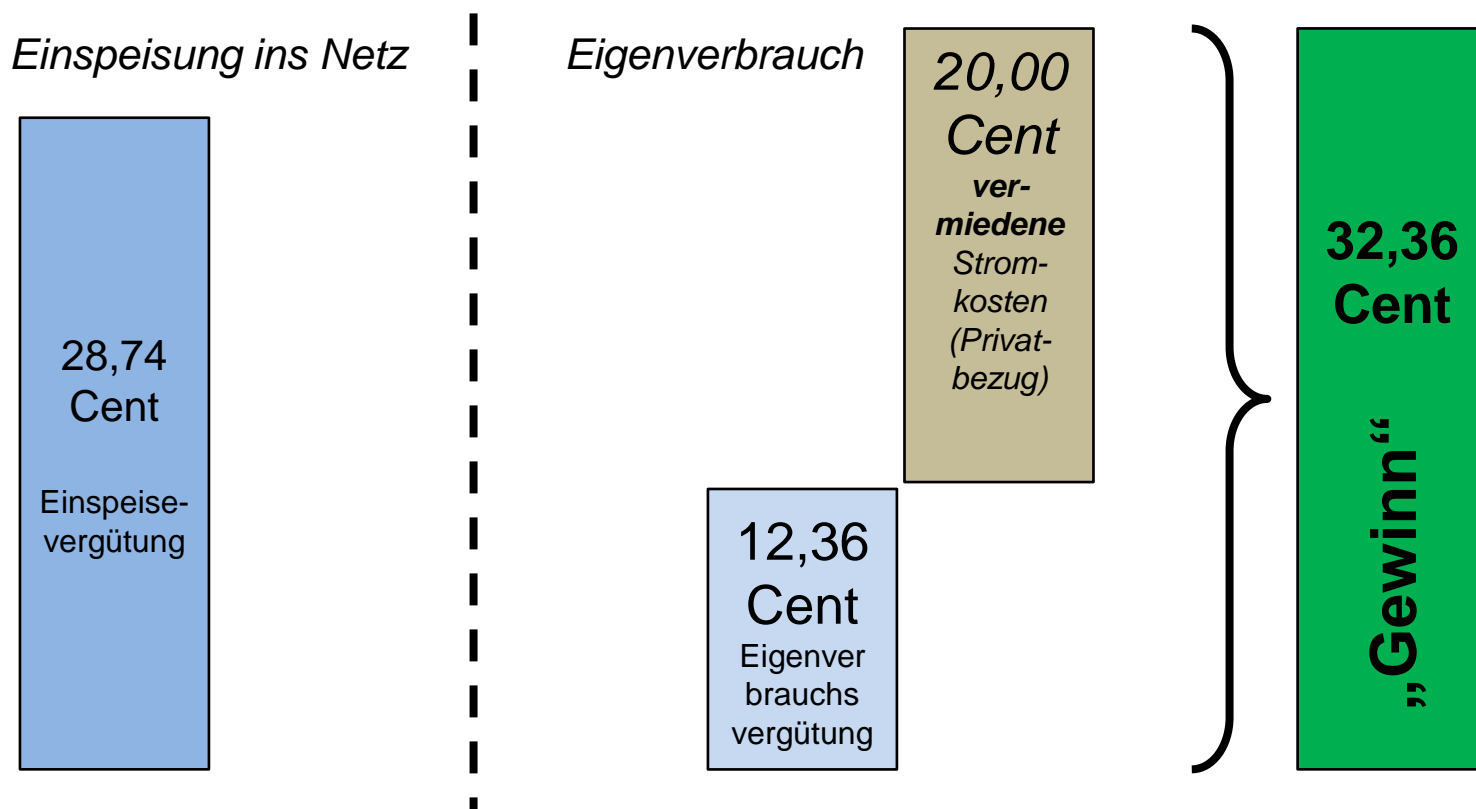
0 €Cent/kWh

Konversionsflächen	2011	22,07 €Cent/kWh
	2012	19,42 €Cent/kWh
sonstige Flächen	2011	21,11 €Cent/kWh
(Autobahnen/Schienenwege)	2012	18,58 €Cent/kWh

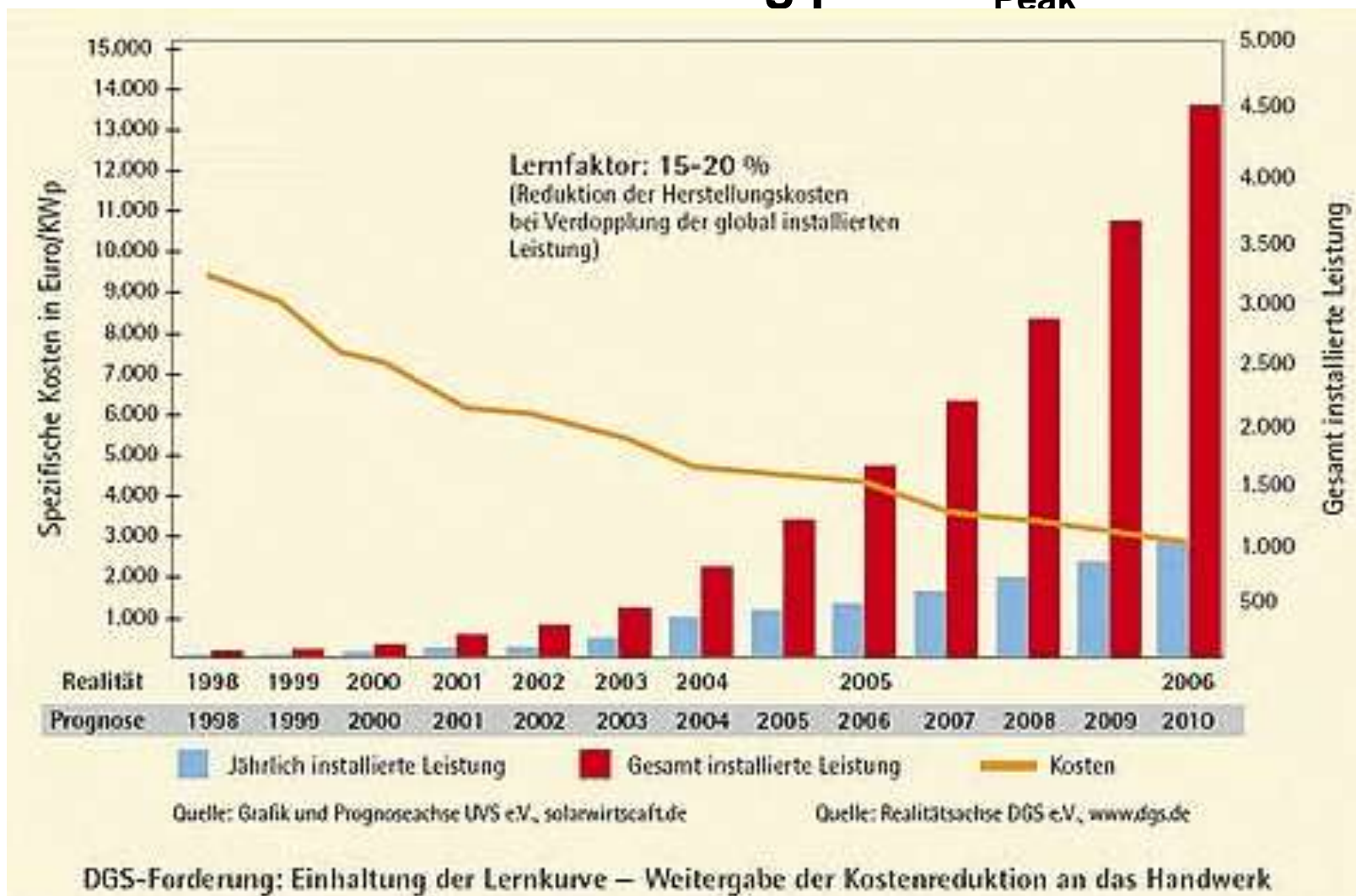
- Rendite: 6-8 % (je nach Eigenkapital und Eigenverbrauch)
- Finanzierung (Förderkredite KfW, z. T. Hausbank)

Eigenverbrauch

- Eigenverbrauch vom eigenem Dach (nur bis 31.12.2011, für 2012 derzeit nicht geplant)
 - bis 30 % **12,36 €Cent/kWh**
 - über 30 % 16,74 €Cent/kWh
- Einspeisevergütung: 2011 (bis 30 kW_{Peak}): **28,74 €Cent/kWh**

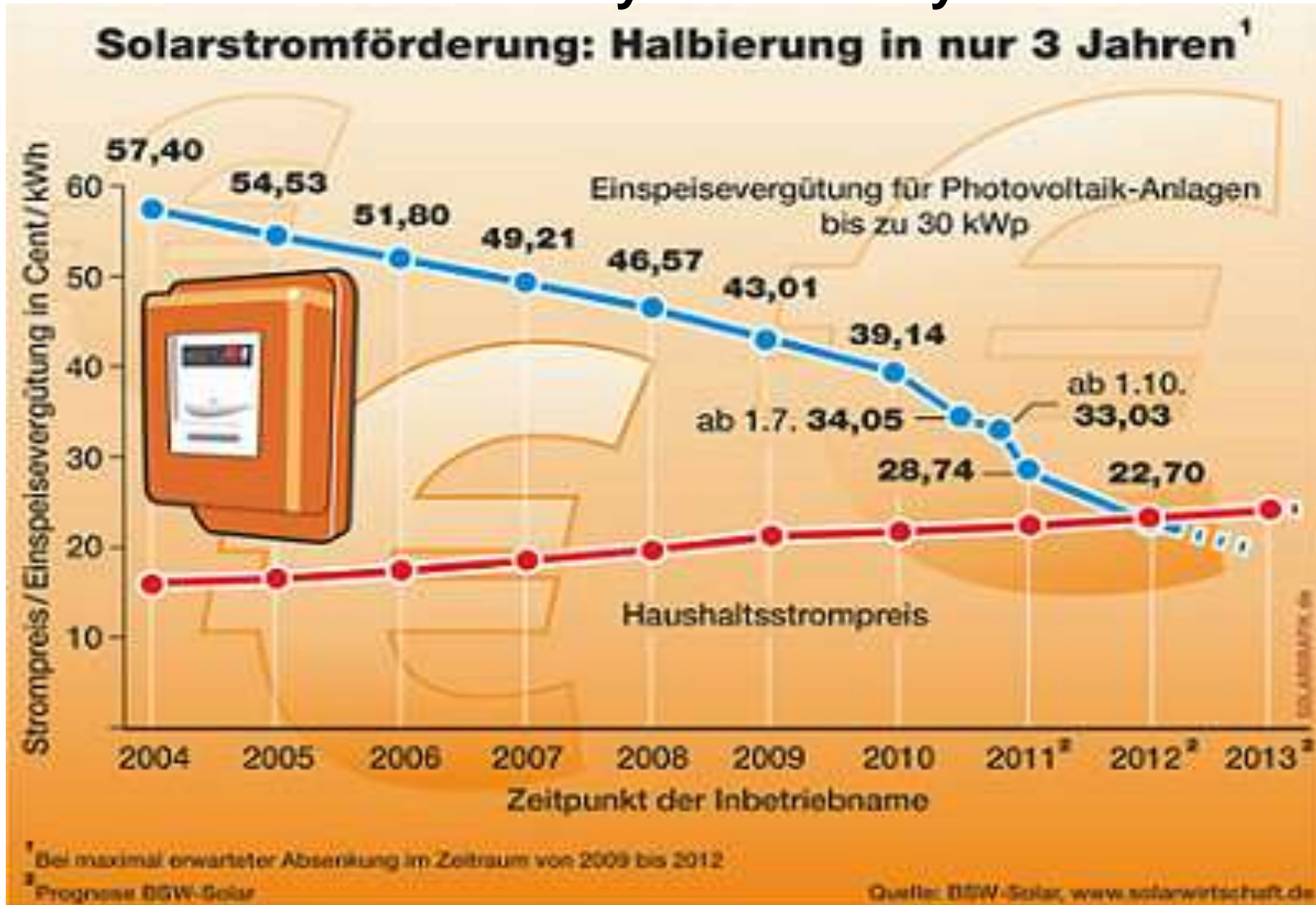


Kostenentwicklung pro kW_{Peak}



- sinkende Preise durch Masseneffekt
- „Elektronik“ Lernkurve

Grid Parity = Grid Party

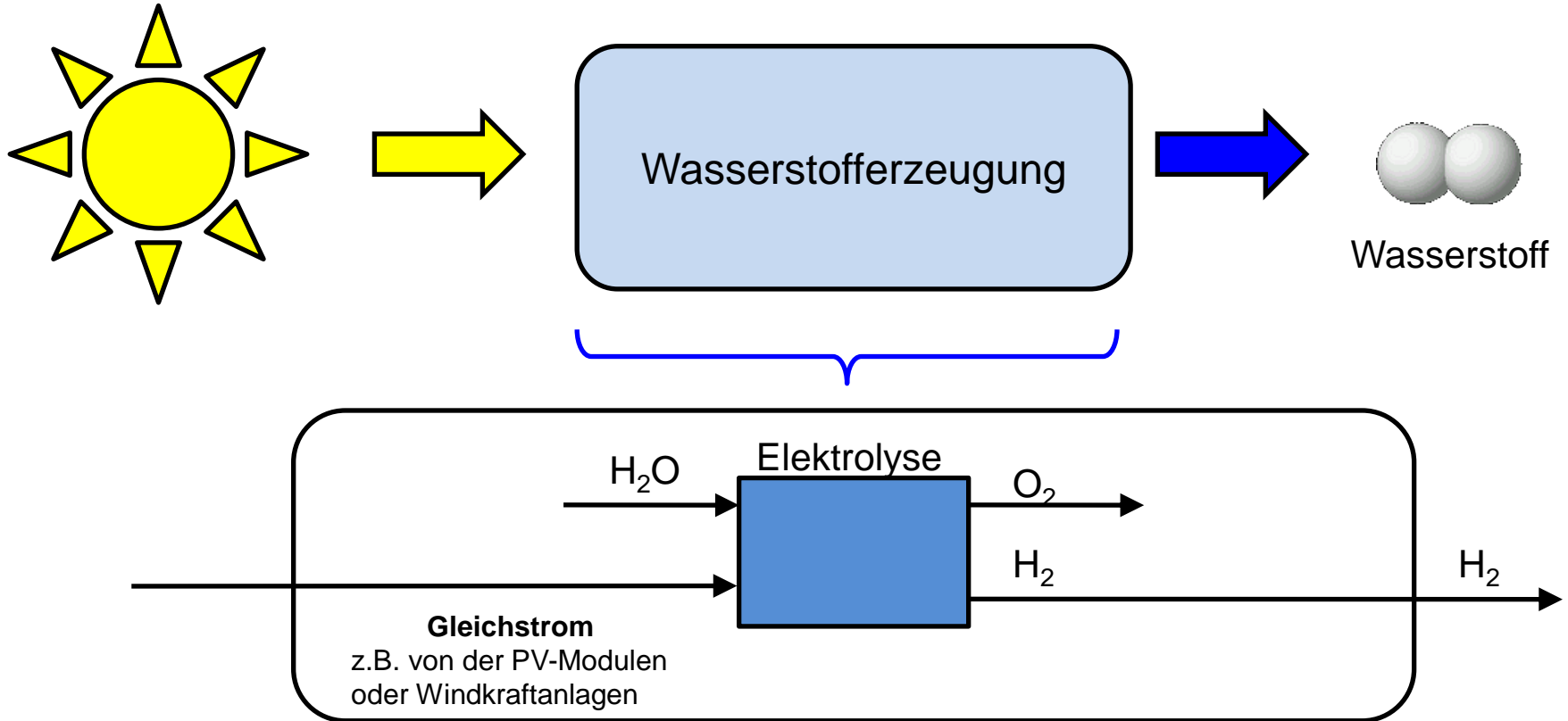


bei Netzgleichheit wird Photovoltaik zum „Selbstläufer“

Herausforderung der Photovoltaik: *Speicherung*

Lösung:
Methanisierung

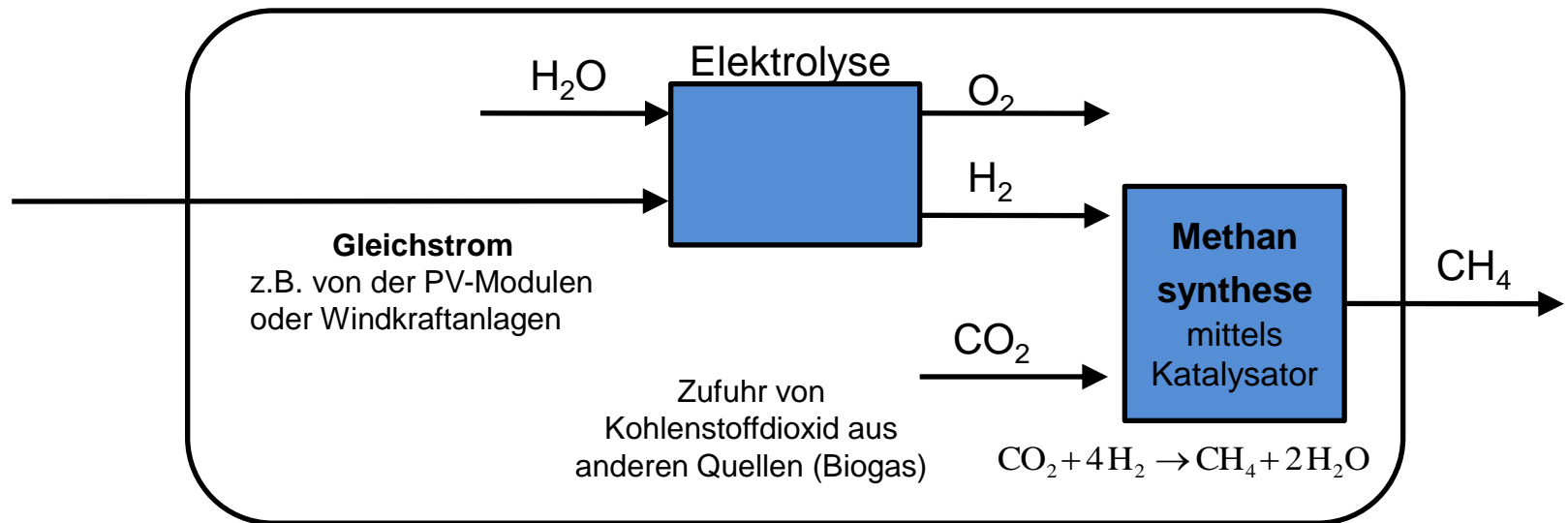
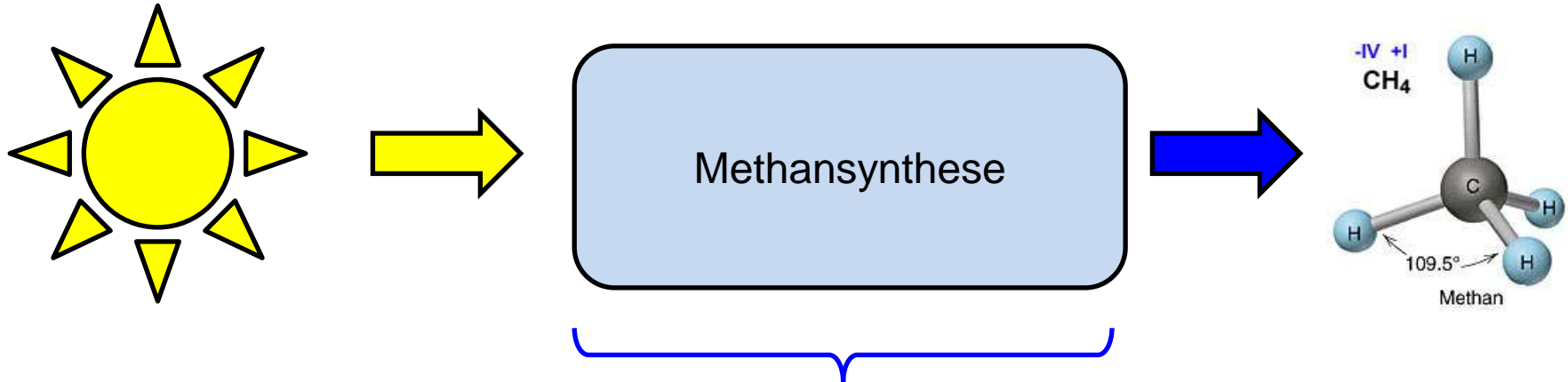
Umwandlungsmöglichkeit – erster Schritt



Wasserstoff:

- energiereich
- ungünstige Speichereigenschaften
- diffundiert durch alle Materialien
- hoch explosiv (Knallgas)

Umwandlungsmöglichkeit – zweiter Schritt



Paul Sabatier (1854 – 1941) Nobelpreis 1912 für Methansynthese

Trends für die Photovoltaik

- Trend zu **polykristallinem Silicium**
- **Recycling** (Wiederverwendung von Zellen)
- Trend zu **Gewerbe-Dachanlagen** (eigener Strom-Generator auf dem Dach)
- Trend zu **Building Integrated PV** (BIPV - als „amortisierende“ Glasfassade)
- Photovoltaik-Carports
- Photovoltaik-Inselsysteme mit Batterie-Energiespeichersysteme



Wünsche für die Zukunft der Solarenergie

- mehr **Forschung** zum Thema Photovoltaik und Energiespeicher
- mehr **produzierende Wertschöpfung** bei der Solarenergie
- Photovoltaik als Basis einer **dezentralen Energieversorgung** (jeder wird Stromerzeuger)
- Solarenergie als **architektonisches Element** (PV-LED-Straßenleuchten, Südrichtung im Bebauungsplan)
- Solarenergie auf **staatlichen Dächern** (z.B. Schulen)

**Die Sonne ist die Energie der Zukunft aber
wir dürfen heute keine Zeit verlieren
die Sonne als Energiequelle zu nutzen
wenn wir morgen überleben wollen.**

Prof. Dr. Dr. Bruno Ehrmaier

Prof. Dr.-Ing Dr. phil. Bruno Ehrmaier

HOCHSCHULE WEIHENSTEPHAN-TRIEDSDORF

Umweltingenieurwesen
Elektrotechnik und Erneuerbare Energien

Tel: 09826/654-238
home-office: 08761/3014653
Mobil: 0176/55084002

bruno.ehrmaier@hswt.de



HOCHSCHULE
WEIHENSTEPHAN-TRIEDSDORF
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

