

# Photovoltaik: Der beste Strom fürs Passivhaus

## Ausgangslage, Potentiale, internationale Trends

TRI Alpe Adria 2008  
Internationales Symposium für energieeffiziente Architektur  
Freitag 30. bis Samstag 31. Mai 2008  
Weissensee-Kärnten  
Österreich

Thomas Nordmann CEO  
TNC Consulting AG • CH-8703 Erlenbach • Switzerland  
nordmann@tnc.ch • www.tnc.ch



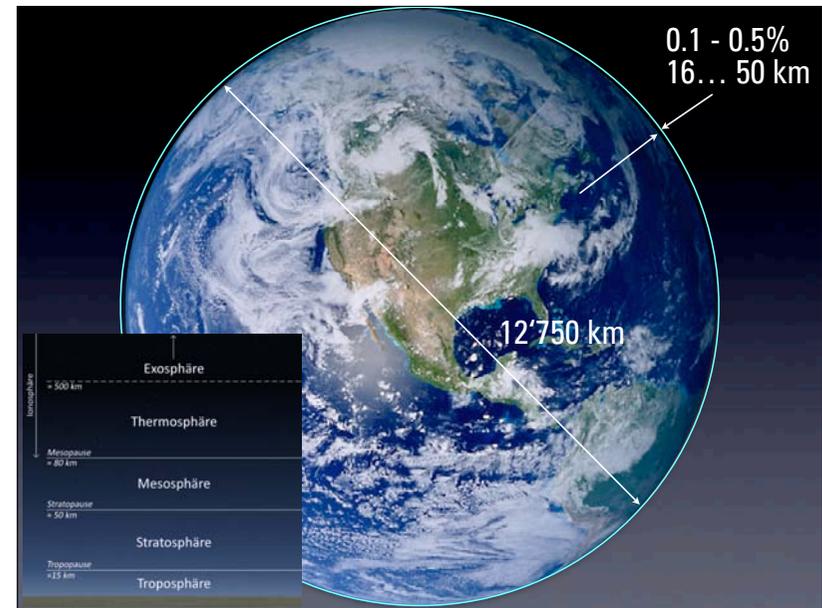
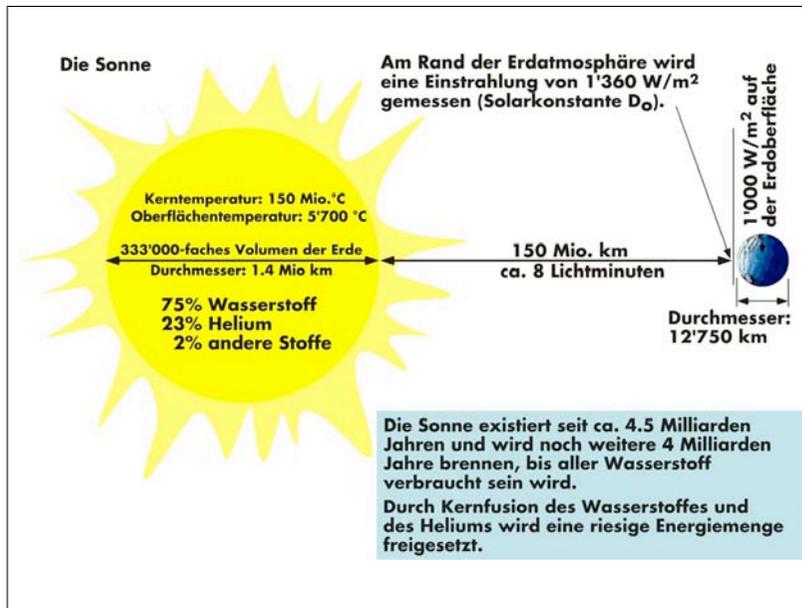
© Nordmann • TRI 2008

# Photovoltaik: Der beste Strom fürs Passivhaus

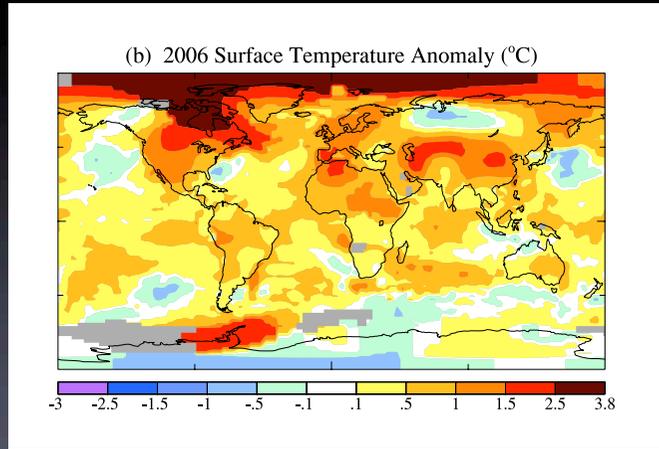
- CO<sub>2</sub> Prolog: Wie reagiert die Erde?
- Wie funktioniert Photovoltaik – in 5 Minuten?
- Was sind die Unterschiede zwischen Solarthermie, Solarstrom im Inselbetrieb oder Netzverbund?
- Frisst Solarstrom Land?
- Warum ist der Himmel für Solarstrom tolerant?
- Wie verlaufen Wachstum und Kostenentwicklung bei PV?
- Warum steigt der Stromanteil in der Energiebilanz Passivhaus?
- PV Gebäudeintegration: 20 Solarstrom Projekte in 10 Minuten
- Wann wird Solarstrom wirtschaftlich?
- Solarstrom als Teil der 2'000 W Gesellschaft?



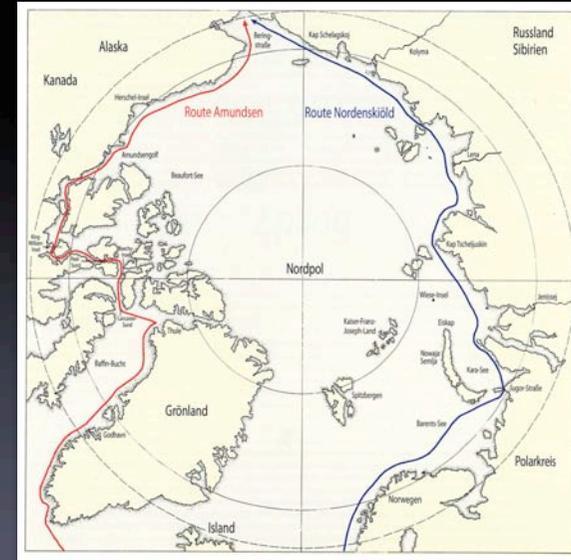
© Th. Nordmann • TRI 2008



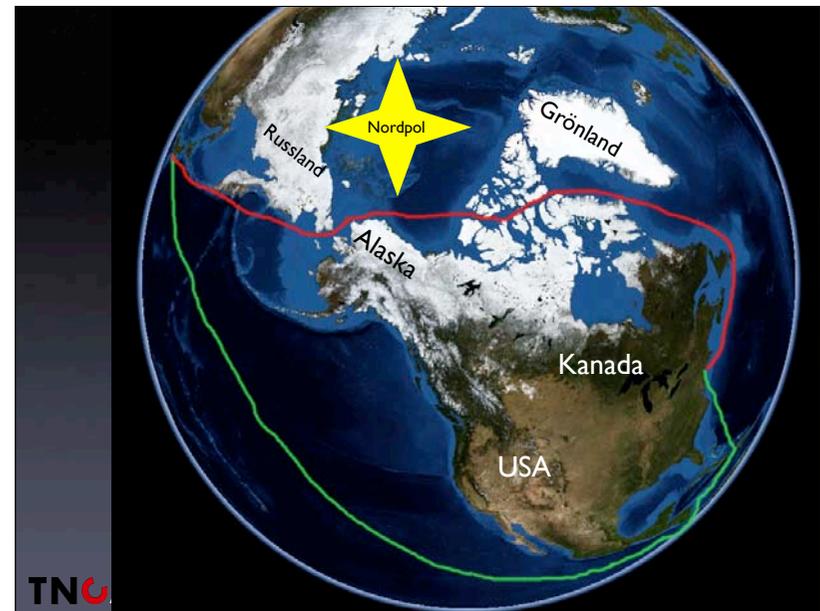
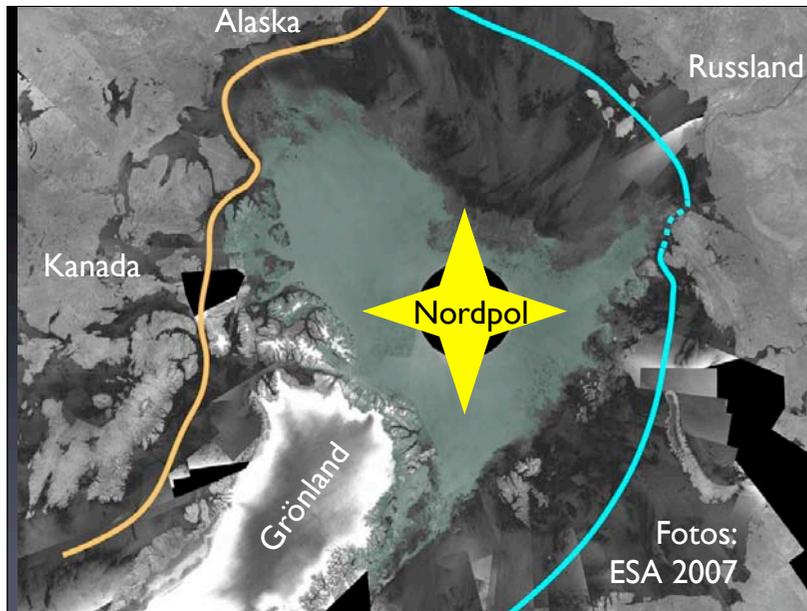
# Wie reagiert die Erde?



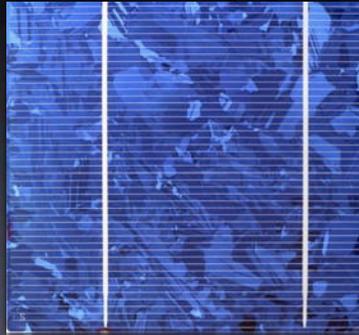
© Nordmann • Bülich 5-2006



© Th. Nordmann • Tri 2006



Leistung: 0 - 1'000  $W_p/m^2$   
 Energie/Jahr: 600 - 1'200  $kWh/m^2$

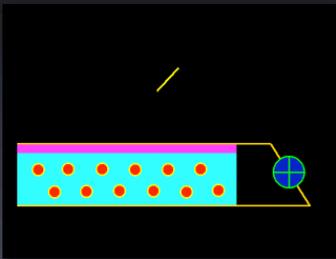


125 mm x 125 mm  
 d 0.2 mm  
 $\eta = 12 \dots 18 \%$   
 $\approx 10$  Gramm Silizium  
 $\approx 2.5 W_p$  Gleichstrom

© Th. Nordmann • TRI 2008

TNC Advanced Energy Concepts

Leistung: 0 - 1'000  $W_p/m^2$   
 Energie/Jahr: 600 - 1'200  $kWh/m^2$



125 mm x 125 mm  
 d 0.2 mm  
 $\eta = 12 \dots 18 \%$   
 $\approx 10$  Gramm Silizium  
 $\approx 2.5 W_p$  Gleichstrom

© Th. Nordmann • TRI 2008

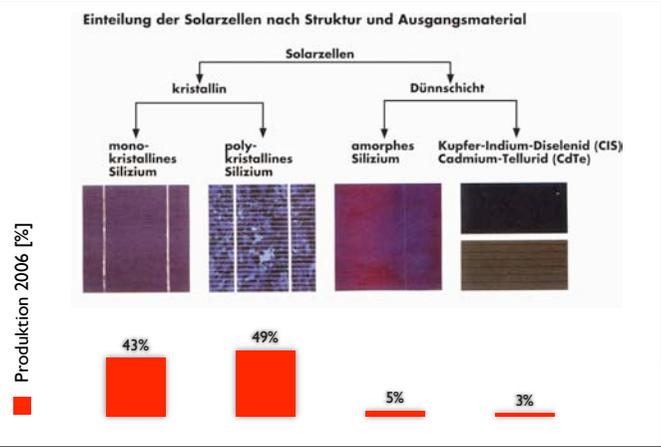
TNC Advanced Energy Concepts

### Die verschiedenen Solarzellen Technologien

Einteilung der Solarzellen nach Struktur und Ausgangsmaterial

```

  graph TD
    Solarzellen --> kristallin
    Solarzellen --> Dünnschicht
    kristallin --> monokristallines_Silizium[monokristallines Silizium]
    kristallin --> polykristallines_Silizium[polykristallines Silizium]
    Dünnschicht --> amorphes_Silizium[amorphes Silizium]
    Dünnschicht --> CIS_CdTe[Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) Cadmium-Tellurid (CdTe)]
  
```



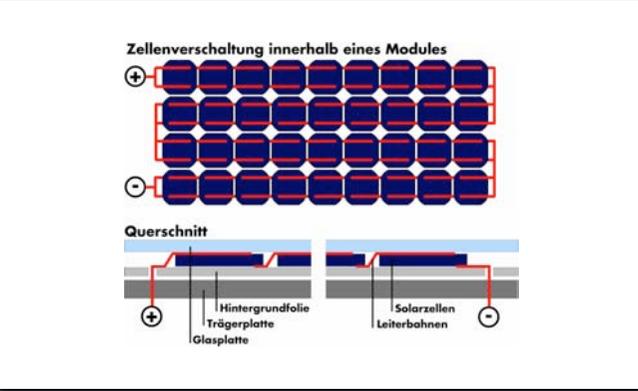
Technologie	Produktion 2006 [%]
monokristallines Silizium	43%
polykristallines Silizium	49%
amorphes Silizium	5%
Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) Cadmium-Tellurid (CdTe)	3%

© TNC 2008

TNC Advanced Energy Concepts

### Aufbau von Standardmodulen

Zellenverschaltung innerhalb eines Moduls



Querschnitt

Hintergrundfolie  
 Trägerplatte  
 Glasplatte  
 Solarzellen  
 Leiterbahnen

© Nordmann • TRI 2008

TNC Advanced Energy Concepts

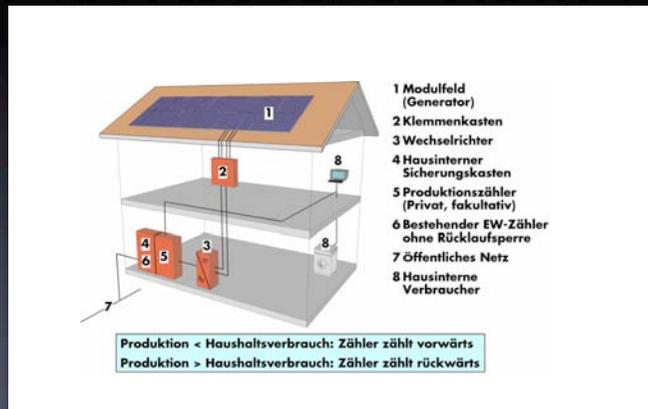
## Aufbau von Standardmodulen



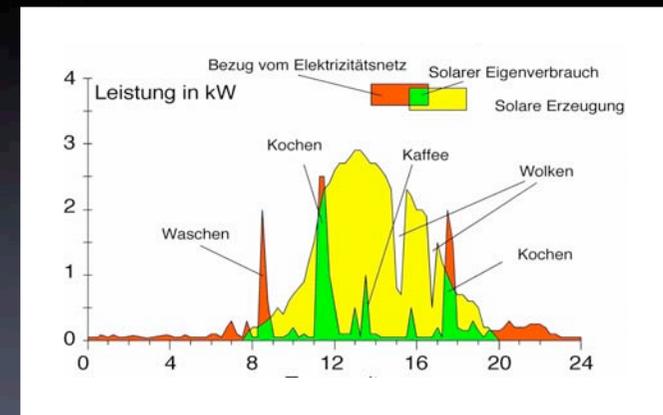
Was sind die Unterschiede zwischen Solarthermie, Solarstrom im Inselbetrieb oder Netzverbund?



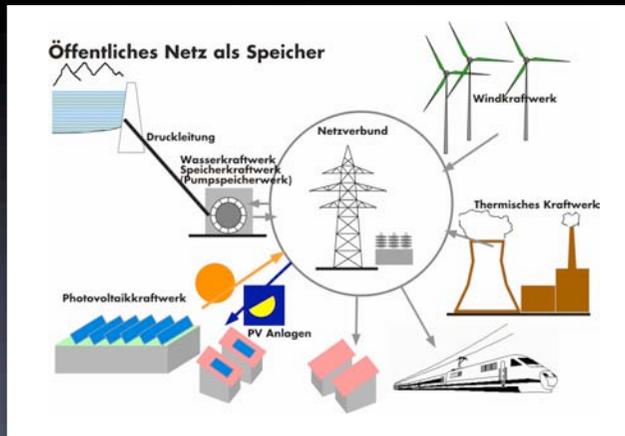
## Von der Photozelle zur Solarstrom Netzverbund Anlage



## 3kW Netzverbundanlage Tagesverlauf



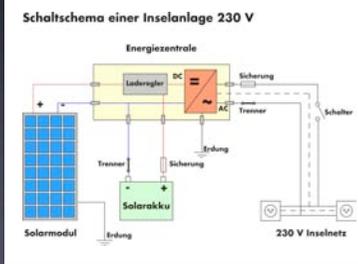
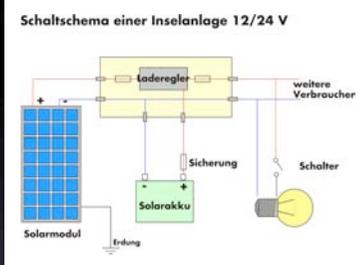
# PV eingebunden ins Nationale Stromnetz

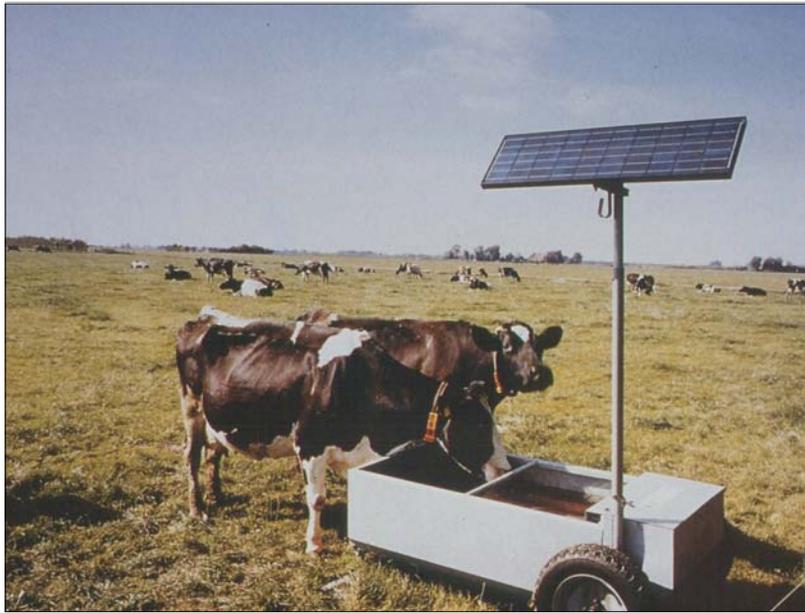


# Maximaler Deckungsgrad oder Wärmeertrag?



# Solarstrom-Inselanlagen





21



22



23



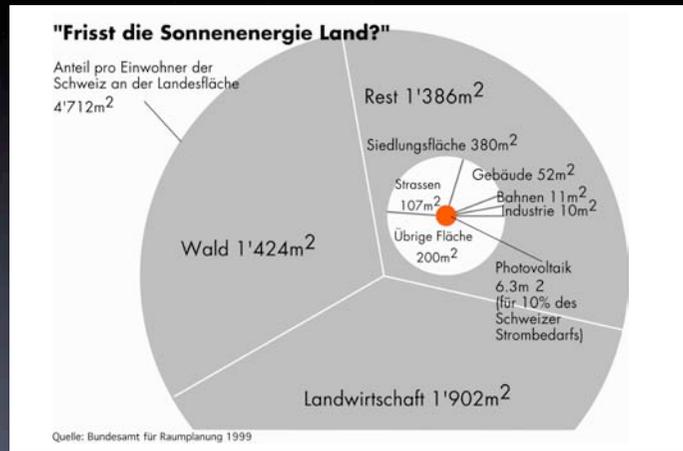
### Frisst Sonnenenergie Land?

24

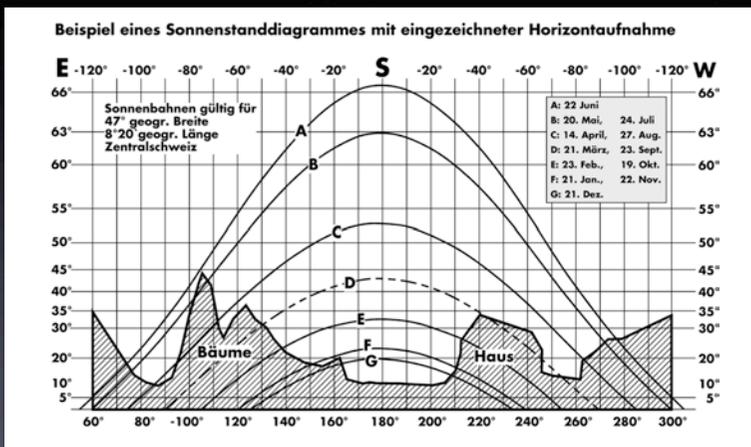
# Landverbrauch pro Kopf... Weltweit

- Netherlands 2680 m<sup>2</sup>/per capita
- Germany 4450 m<sup>2</sup>/per capita
- Switzerland 6000 m<sup>2</sup>/per capita
- European Union 6850 m<sup>2</sup>/per capita
- U.S.A. 37040 m<sup>2</sup>/per capita

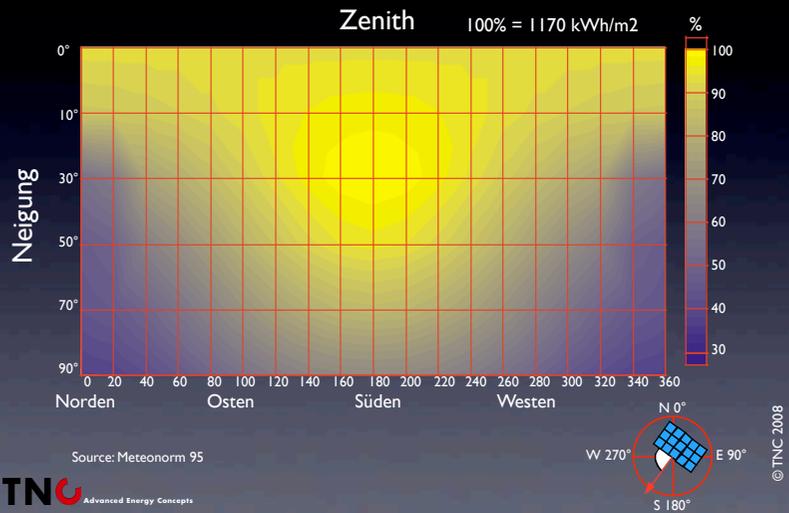
# Der Flächenbedarf für Solarstrom



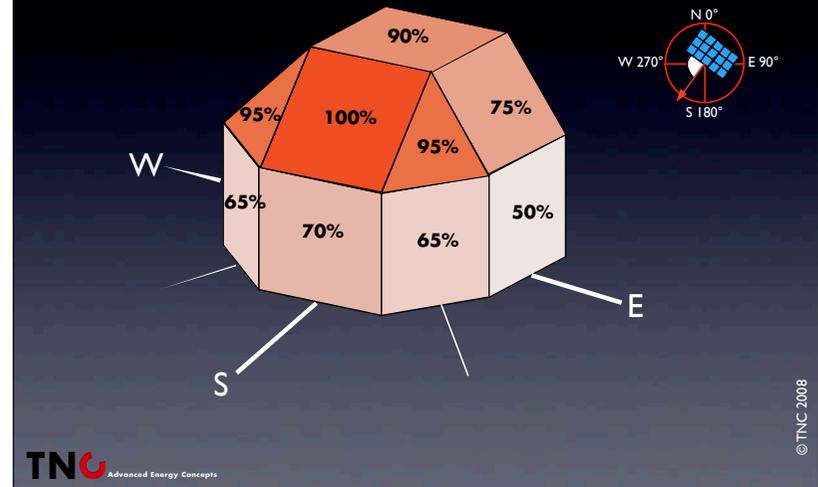
# Sonnenbahnen und Horizont



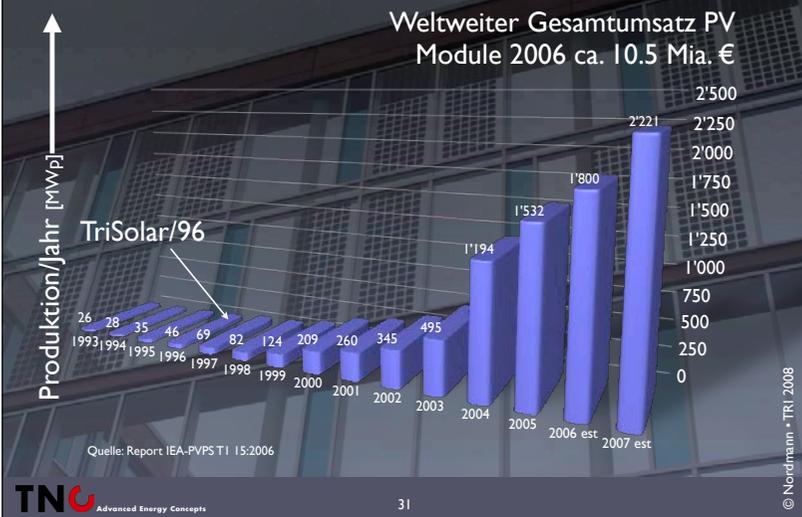
# Warum ist der Himmel für Photovoltaik tolerant?



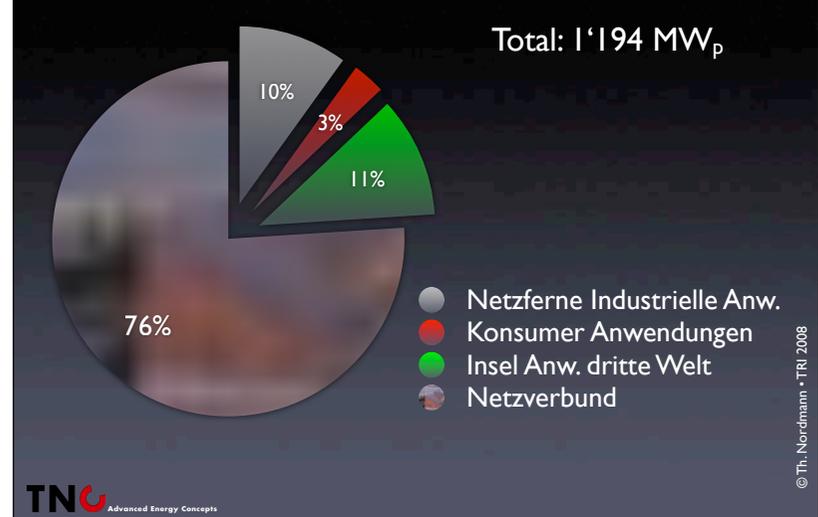
# Warum ist der Himmel tolerant zu gebäudeintegrierter Photovoltaik?



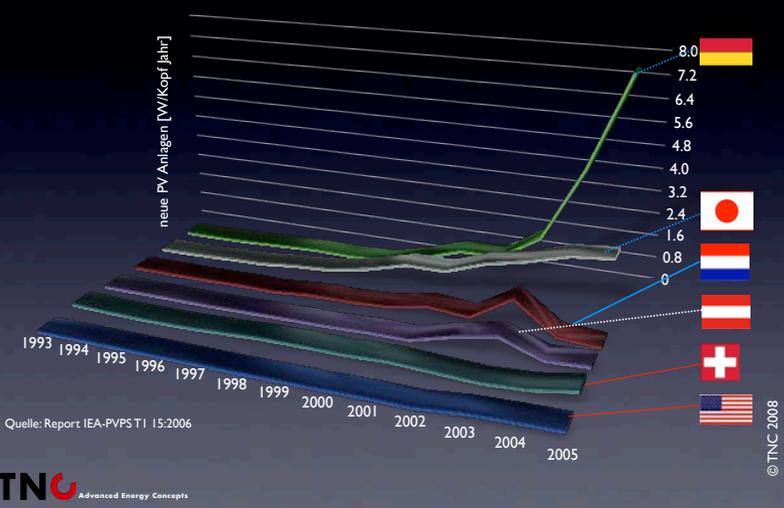
# PV Modul Produktion weltweit



# Solarstrom Marktsegmente 2004



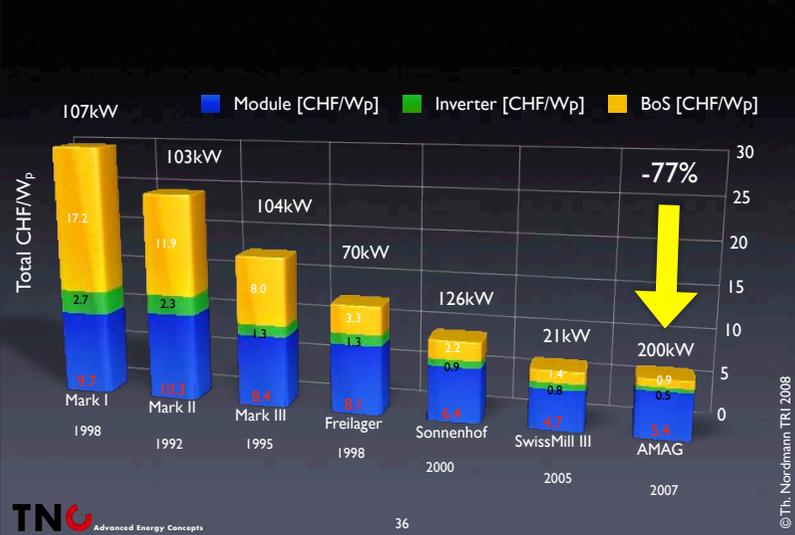
# Solarstrom Weltmarktentwicklung 1992 - 2005 [W<sub>p</sub>/Kopf Jahr]



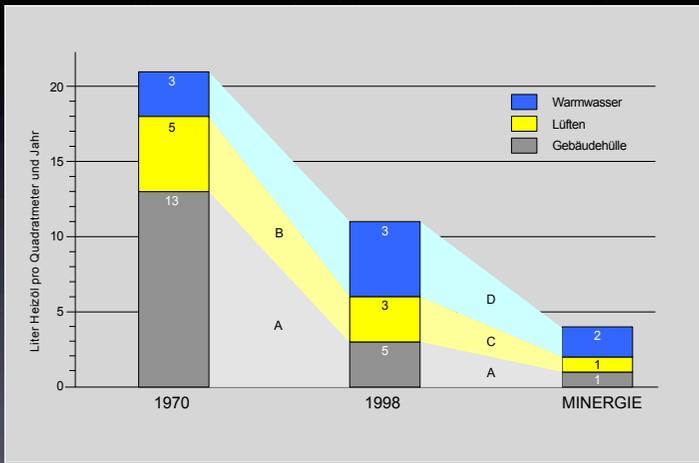
# Wann wird der Solarstrom preiswerter?



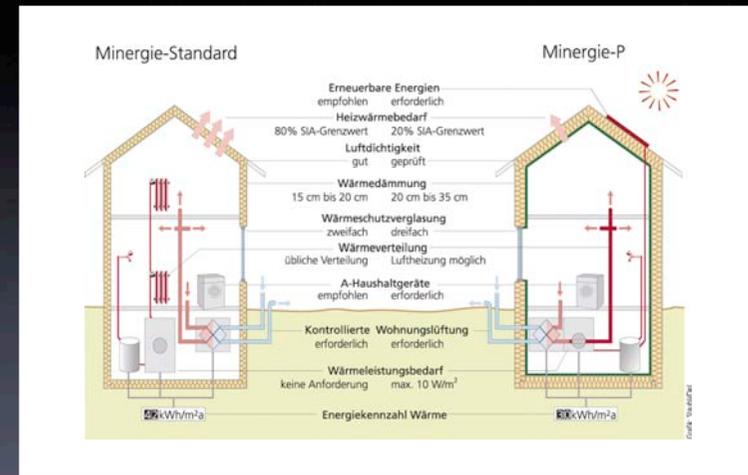
# TNC PV Anlagen Lernkurve: 1989 - 2007



# Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser



# Minergie(-P): Was ist empfohlen - was erforderlich?



# Sorgloser Stromverbrauch Heute!

3 Personen EFH Haushalt	Stromverbrauch [kWh/a]	Strom [%]
Normalgebrauch Elektrizität	4'000	44
Allg. Stromverbrauch	1'500	16
Elektro-Brauchwasser	3'600	40
Total Strom	9'100	100

Quelle SAFE : SEV/VSE 19/2007

## Der Stromverbrauch im Griff? Morgen

3 Personen EFH Haushalt 0.8 Mio Fr	Strom alt kWh/a	Strom neu kWh/a	Anteil [%]	extra Kosten [%] pro EFH
Normalgebrauch Elektrizität	9'100		100	
mit Solar/Elektro- Brauchwasser	3'600	1'080	-70%	+1-2%
Gebrauch von A-Geräten	5'500	3'250	-40%	+1%
3 kW PV 850kWh/kWp	0	-2'550		+3%
Normalgebrauch Elektrizität		1'780	-80%	+5.5%



## 1/5 Solarstrom von der Fassade...



## Warum integrieren?



# Warum integrieren?



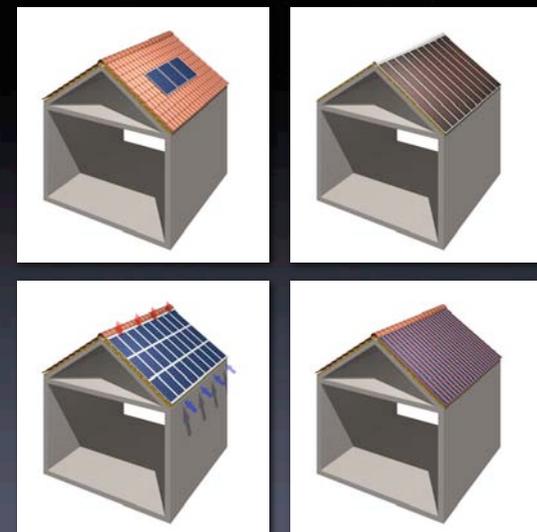
# Glasmanufaktur: Kunsthandwerk für die Reichen

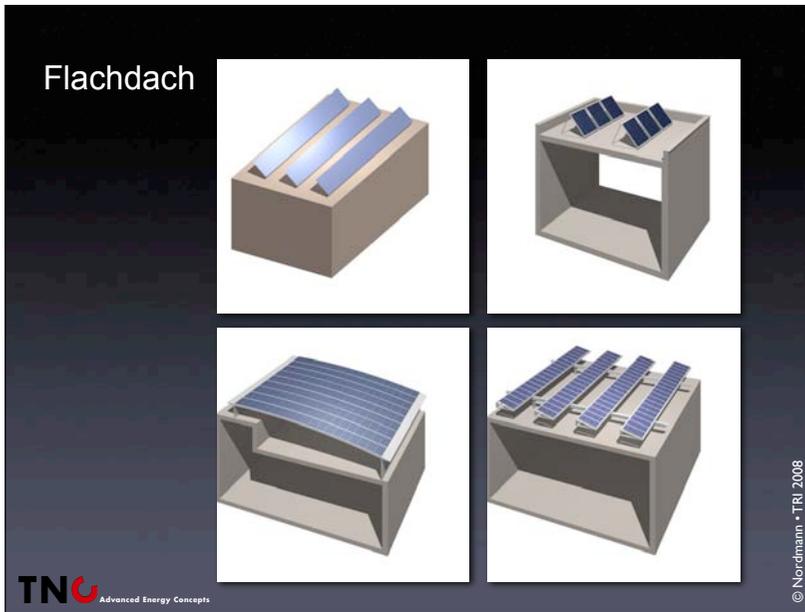


# Glasmanufaktur: Kunsthandwerk für die Reichen



# Schrägdach







### PV-Integration in die Fassade

**TNC** Advanced Energy Concepts





57

Vordach

TNC Advanced Energy Concepts

© Nordmann TRI 2008

58

Kantonsschule  
Stadelhofen Zürich

TNC Advanced Energy Concepts

© Nordmann TRI 2008

59

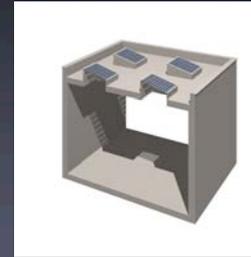
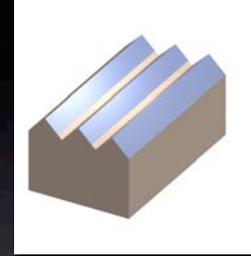
TNC Advanced Energy Concepts

© Th. Nordmann TRI 2008

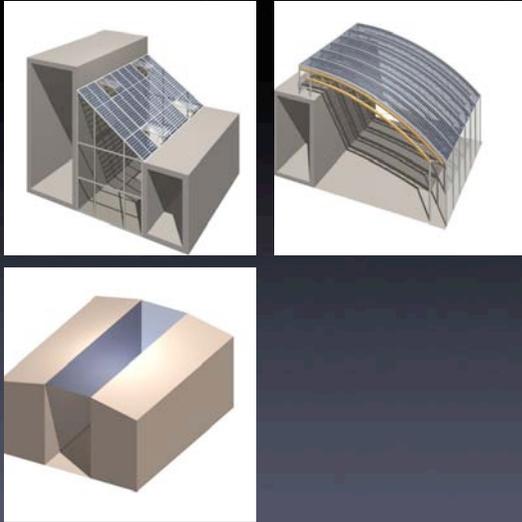
60



### Sheddach



# Das Atrium



© Th. Nordmann • TRI 2008



© Th. Nordmann • TRI 2008



© Th. Nordmann • TRI 2008

## Isolierverglasung ohne mit PV

	ohne	mit PV
• Witterungsschutz	+++	+++
• thermische Isolation	+++	+++
• Schallschutz	++	+++
• Tageslichtnutzung	+++	+
• Sonnenschutz	+	+++
• Lichtfilterung	-	++
• Gestaltung	+	+++
• Solarstromerzeugung	-	+++
• EMC-Filter	-	++
• Intrusionsschutz	+	++
• UV-Schutz	-	+++

**Mit gebäudeintegrierter PV im Passivhaus zur  
bilanziellen Energie-Autarkie**



Reto P. Miloni, Dipl.-Ing. Architekt ETH SIA

69



**Südfassade mit PV-bestücktem Brüstungsglas 1 kWp  
Dach mit 6 kWp-PV-Aufständerung**

70

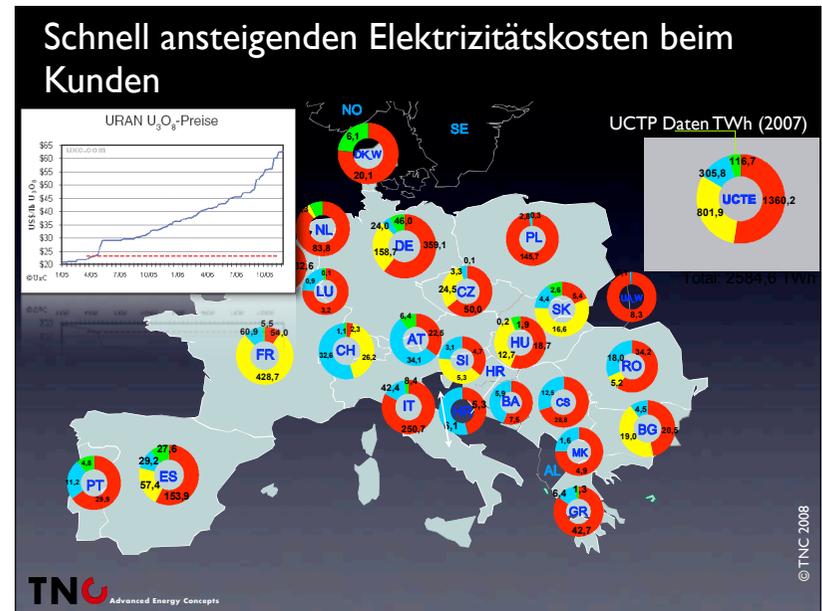
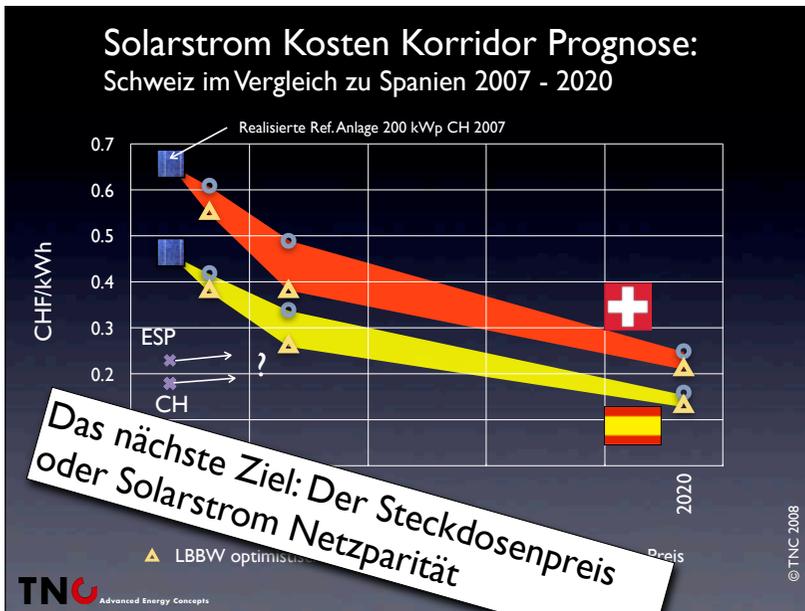


**Passivhaus Schmoelzer mit Solarschiebläden**

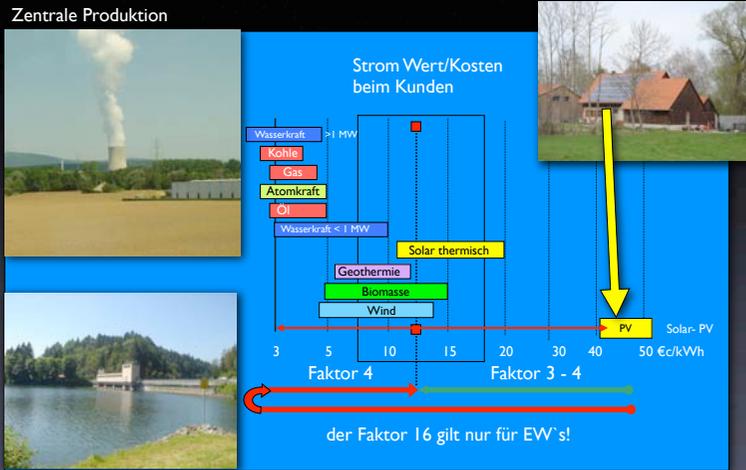
71



72



# Solarstrom im Wettbewerb...



# Das Solarstrom Dilemma: Am Anfang für 25 Jahre alles selber bezahlen?

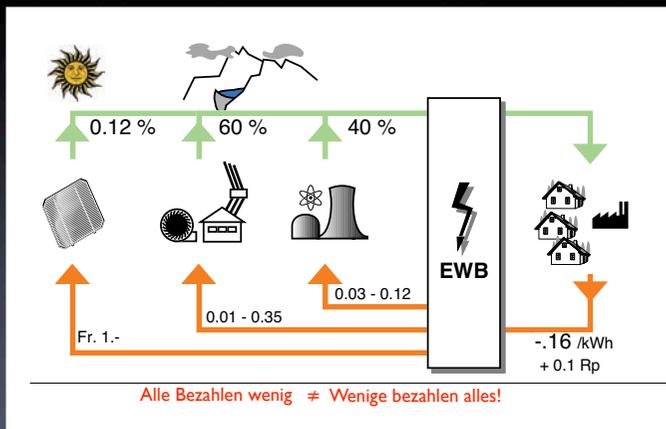


2. Klasse Zürich - Bern <> SFr. 83.-  
1. Klasse Zürich - Bern <> SFr. 119.-

1. Klasse 4700.- x 25 Jahre = SFr. 117'500.-  
2. Klasse 2'990.- x 25 Jahre = SFr. 74'750.-

Der Kluge reist im Zuge!  
mit dem 25 Jahre Fix-Kosten - GA?

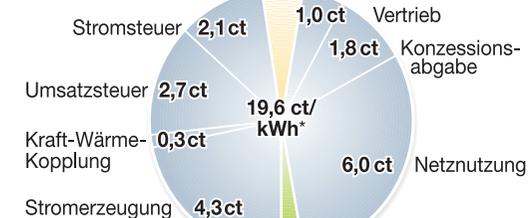
# Kostendeckende PV Vergütung in Burgdorf ab 1992 in Deutschland ab 2000 und in der Schweiz 2007!



# Der Anteil der Erneuerbaren Energien am Deutschen Strompreis ist gering

Alleine das Ablesen des Zählers kostet fast doppelt  
so viel wie der Beitrag für Erneuerbare Energien.

Messkosten 1,0 ct



Beitrag für  
Erneuerbare Energien 0,54 ct

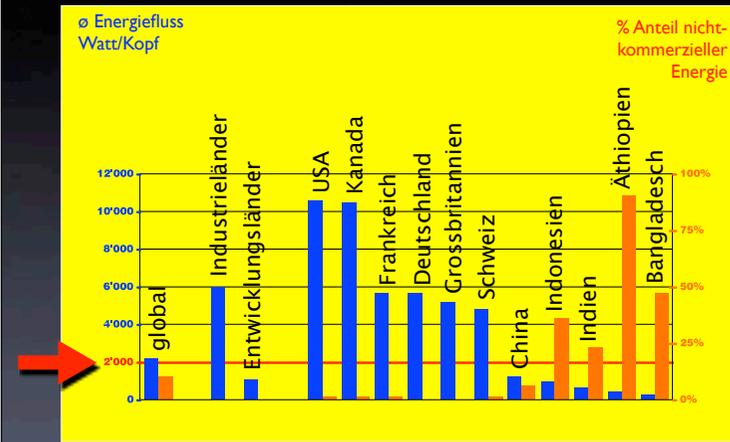
Quelle: BEE

\*Durchschnittspreis für Privatkunden 2005

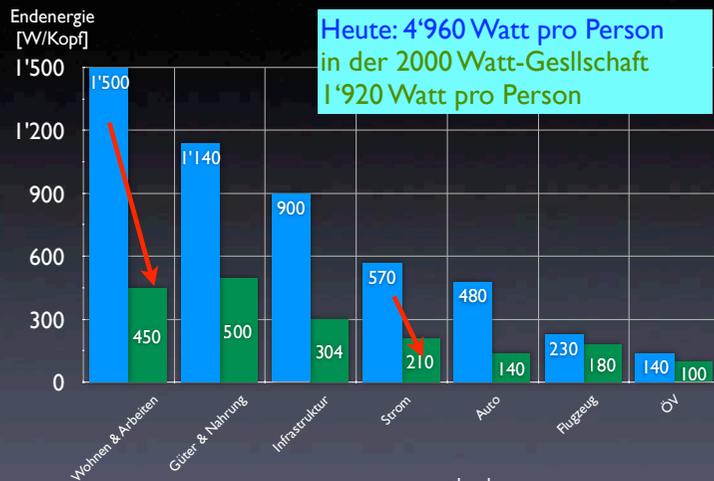
## Von der 1'000 W zur 5'000 Watt Gesellschaft



## Primär-Energie-Verbrauch in Watt pro Person



## Europa als 2'000 Watt-Gesellschaft?



## Sieben Thesen I:

- Montag  
Solarstrom ist heute noch die teuerste neue erneuerbare Energie aber mit dem grössten Anwendungs- und Kostenreduktionspotential.
- Dienstag  
Im Netzverbund laden Solarstromanlagen in einen unendlich grossen Speicher. Es gibt keine Speicherkosten und keine Speicherverluste. Wasserkraft und PV: eine optimale Kombination!
- Mittwoch  
Die technischen und ästhetischen Integrationsmöglichkeiten von PV am Gebäude sind vielfältig und können auch gestalterisch genutzt werden.

## Sieben Thesen II:

- **Donnerstag**  
Anwendungspotential der PV Gebäudeintegration =  $\approx$  30% des Gesamt-Stromverbrauchs. Das enorme Flächenpotential ( $\approx$  25 m<sup>2</sup>/Kopf) wird heute nur im Promille-Bereich genutzt.
- **Freitag**  
Bei Passivhäusern ist der verbleibende Stromverbrauch der dominierende Teil in der Energiebilanz. Bei konsequentem Einsatz von A-Geräten ist die Reduktion auf 1/4 - 1/2 möglich!

## Sieben Thesen III:

- **Samstag**  
Die Entwicklung der Architektur hin zum Passivhaus ist parallel und zu wenig zusammen mit den Möglichkeiten der Photovoltaik verlaufen. Gefragt ist der Schulterschluss zwischen Wärme- und Stromnutzung. 30 - 50% PV-Stromanteil sind heute leicht machbar!
- **Sonntag**  
«Im Hause muss beginnen, was leuchten will im Vaterland»  
Jeremias Gotthelf 1797 - 1854 Schweizer Dichter und Denker
- Das Rezept heisst: Passivhaus, mit Solares Brauchwasser A-Geräte und Solarstrom!