

# *Stopp Klimaerwärmung mit intelligenten Solarmodulen*

Dipl. Ing.(FH) Wilfried Brand

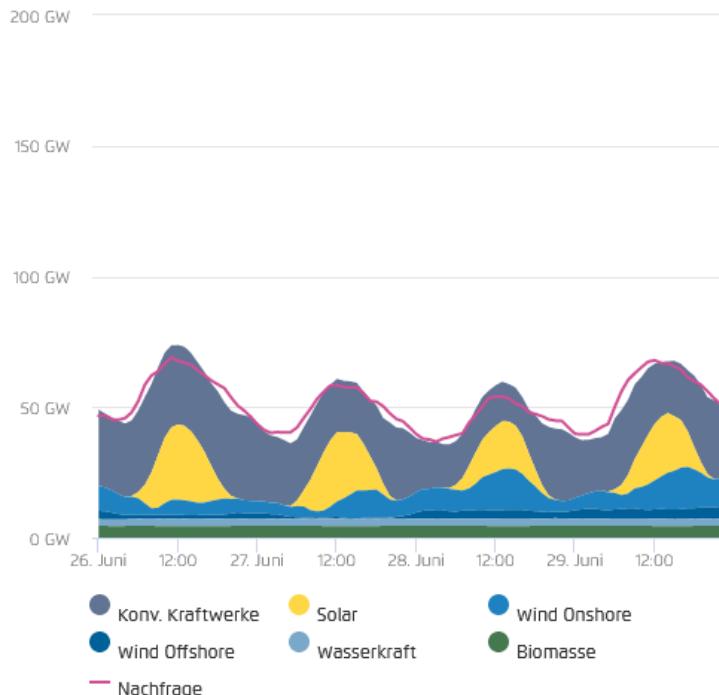
# Status quo – Problematik mit Sonnenenergie

- Das Klima hat sich global seit 1850 um ca. 1,1°C erwärmt; in Deutschland 1,5°C
- CO2 gilt als Hauptverursacher für die Erderwärmung
- Die Bundesregierung will zur Reduzierung des CO2 Ausstoßes u. a. die Photovoltaik massiv ausbauen von aktuell 54 GWp (2020) auf 200 GWp (2035)
- Dies wird an sonnigen und windreichen Tagen zu Stromüberproduktion führen. Solaranlagen müssen deshalb zeitweise abgeschaltet werden
- Der Speicherausbau wird mit dem Ausbau der PV-Anlagen aus Kostengründen nicht Schritt halten können
- Abgeschaltete PV- Anlagen erwärmen aber massiv das Klima, da sie 97% der Sonnenenergie absorbieren und in Wärme umsetzen

# Stromerzeugung heute und in Zukunft (Quelle: Agora)

## Vergleichsansicht

Heute: Stromerzeugung und Stromverbrauch



Zukunftsjahr: 2035 / Erneuerbaren-Anteil 78%

Wetterdaten aus:

26.06.2020

bis 29.06.2020

Zeitraum darstellen

Juli 2021 (real)

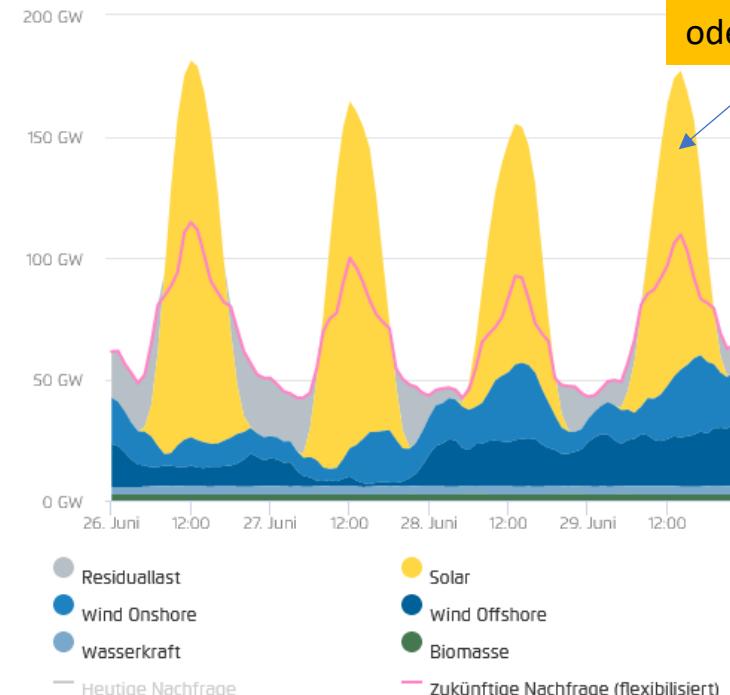
Installierte PV Leistung: 54 GWp

Wilfried Brand, 16.11.2021

Geplante installierte PV Leistung: 200 GWp<sup>3</sup>

Quelle Agora

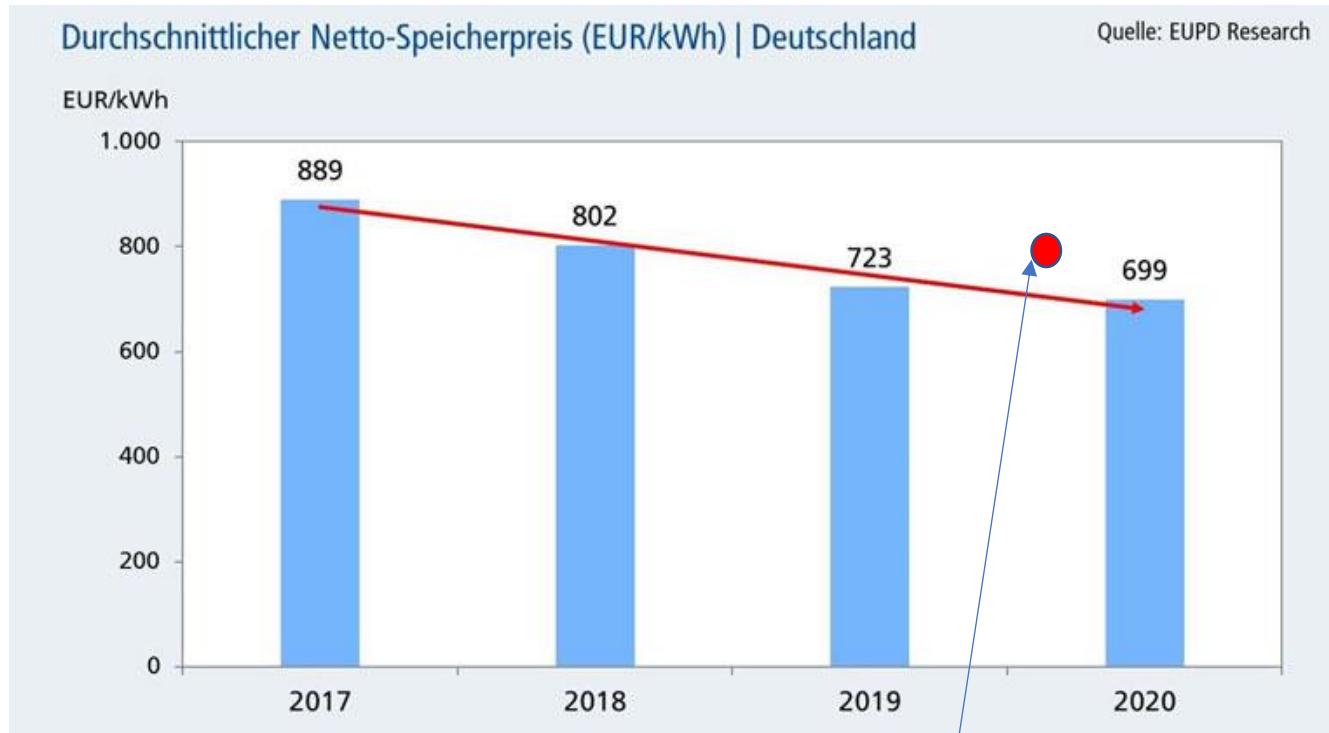
Zukunft: Stromerzeugung und Stromverbrauch



Mehr Strom als Bedarf:  
Strom muss entweder abgeschaltet  
oder gespeichert werden

Juli 2035 (simuliert)

# Batterie Speicherpreise



- Für Großspeicher sind bis 2030 evtl 250 €/kWh denkbar
- Bei 200 Zyklen/Jahr und 15 Jahre Lebenszeit → 3000 Zyklen  
→ 8,3 €c/kWh (heute: 22,6 €c/kWh)  
(aktueller Strompreis an der Börse ca. 6 €c)
- **Strom speichern ist teurer als Strom erzeugen**

Tesla Batterie in Australien, 150 MW, 192 MWh, 150 Mio € → 780 €/kWh

# Wirkungsgradkette Wasserstoffspeicher

Solar- oder Windstromstrom → Wasserstoff → komprimieren auf 200 bar → Transport → Brennstoffzelle/Strom

55%                    90%                    95%                    50%

**Gesamtwirkungsgrad: 24%**

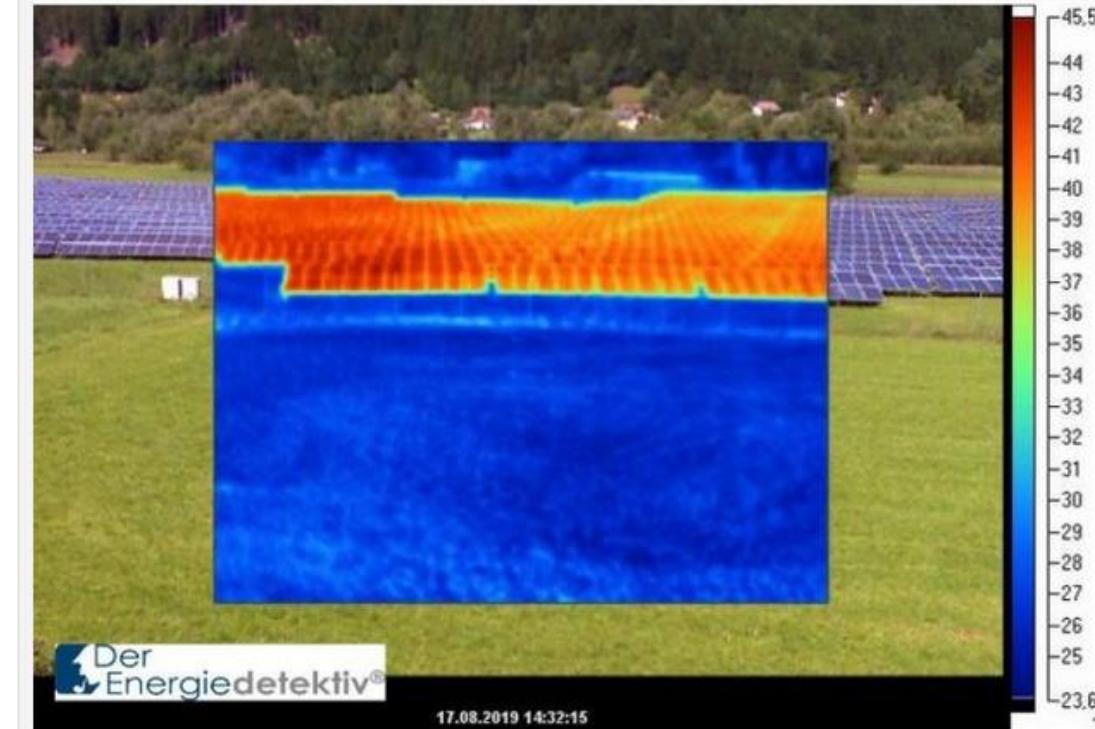
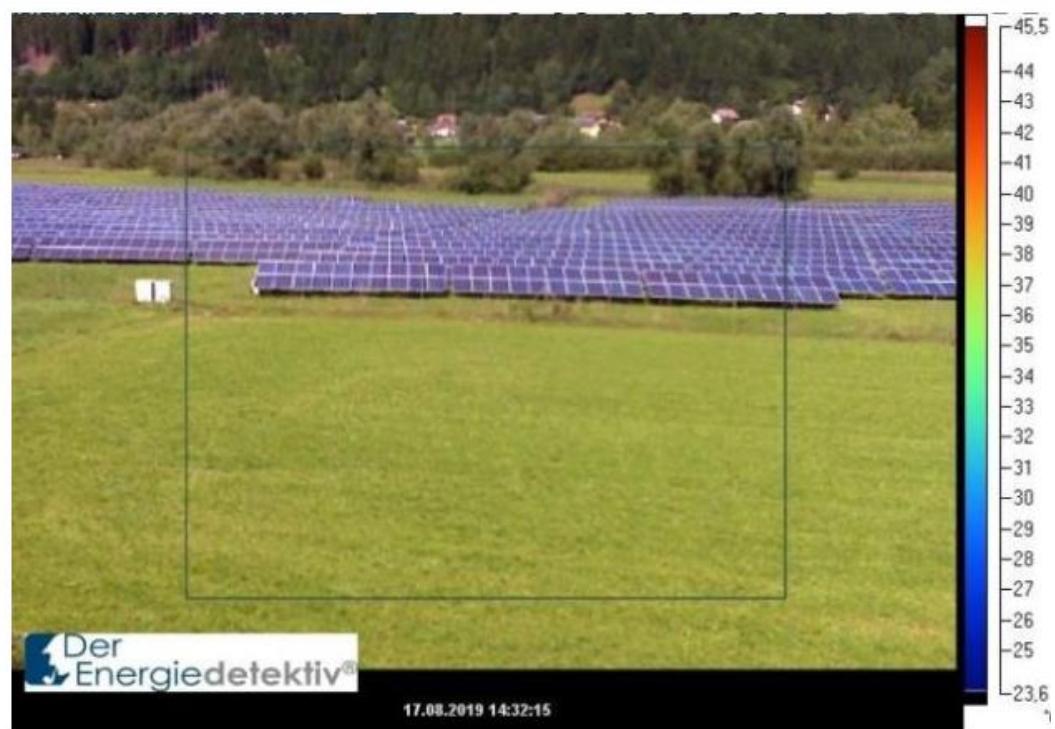
Kosten für 1 kWh: ? €

Mindestens Faktor 4 höher

Wasserstoff muss verdichtet werden, da die volumetrische Energiedichte sehr gering ist.  
Energiedichte Wasserstoff:  $10,8 \text{ MJ/m}^3 = 3 \text{ kWh/m}^3$  (1l Benzin = 10 kWh/cm<sup>3</sup>)

Invest?

# Erwärmungseffekt durch Solaranlagen



Bei PV-Anlagen gibt es keine Verdunstungskälte

# Solarmodule mit Wendefunktion

Solarpaneel Normalstellung



Solarpaneel um 180° verdreht,  
Rückseite der Sonne zugewendet



Bei Überstrom wird die  
Sonnenstrahlung reflektiert

Solarpaneel senkrecht gestellt.  
Bei Regen, Schneefall od. Hagel



oder beim Mähen



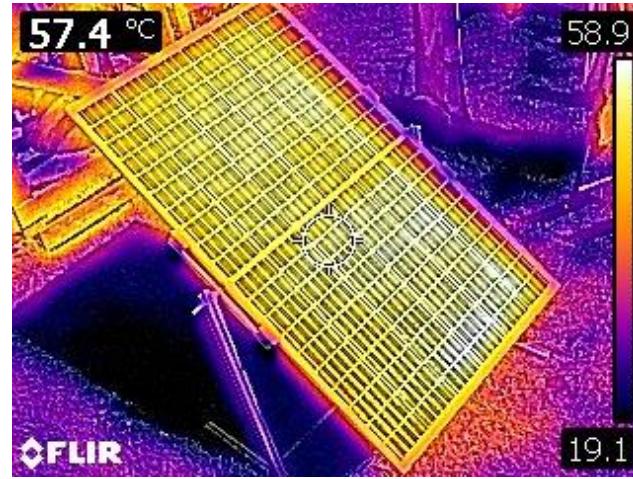
Solarpaneele eingeschaltet



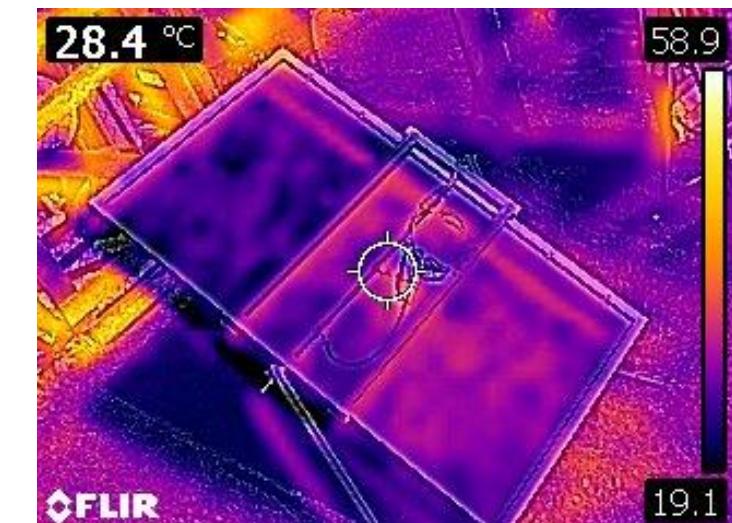
Solarpaneele ausgeschaltet



Solarpaneele um 180° gedreht



Wilfried Brand, 16.11.2021



# Energiebilanz Deutschland

- 2019 wurden in Deutschland 177 GWh PV-Strom und 6,3 TWh Windstrom nicht eingespeist; zusammen 6,47 TWh. Hätte man nur PV Anlagen abgeregelt und in Reflexionsstellung gebracht und die Windräder laufen lassen, hätte man das Klimaerwärmung reduzieren können; siehe Berechnung unten .
- Solarstrahlung Deutschland: 1040 kWh/m<sup>2</sup> bei klarem Himmel  
Fläche Deutschland: 357 386 km<sup>2</sup> = 357 386 \* 10<sup>6</sup> m<sup>2</sup>
- Gesamte Jahreseinstrahlung Deutschland: 1150 kWh/m<sup>2</sup>a \* 357 386 \* 10<sup>6</sup> m<sup>2</sup> = 357 386 \*10<sup>12</sup> Wh/a = **410 PWh/a**
- Um Klimastabilität wie 1970 herzustellen, muss permanent je m<sup>2</sup> (auch Ozeane) 0,9 W Leistung mehr abgestrahlt werden. Da 2/3 der Erdoberfläche Wasser sind, müssen an Land 2,7 W/m<sup>2</sup> mehr abgestrahlt werden.

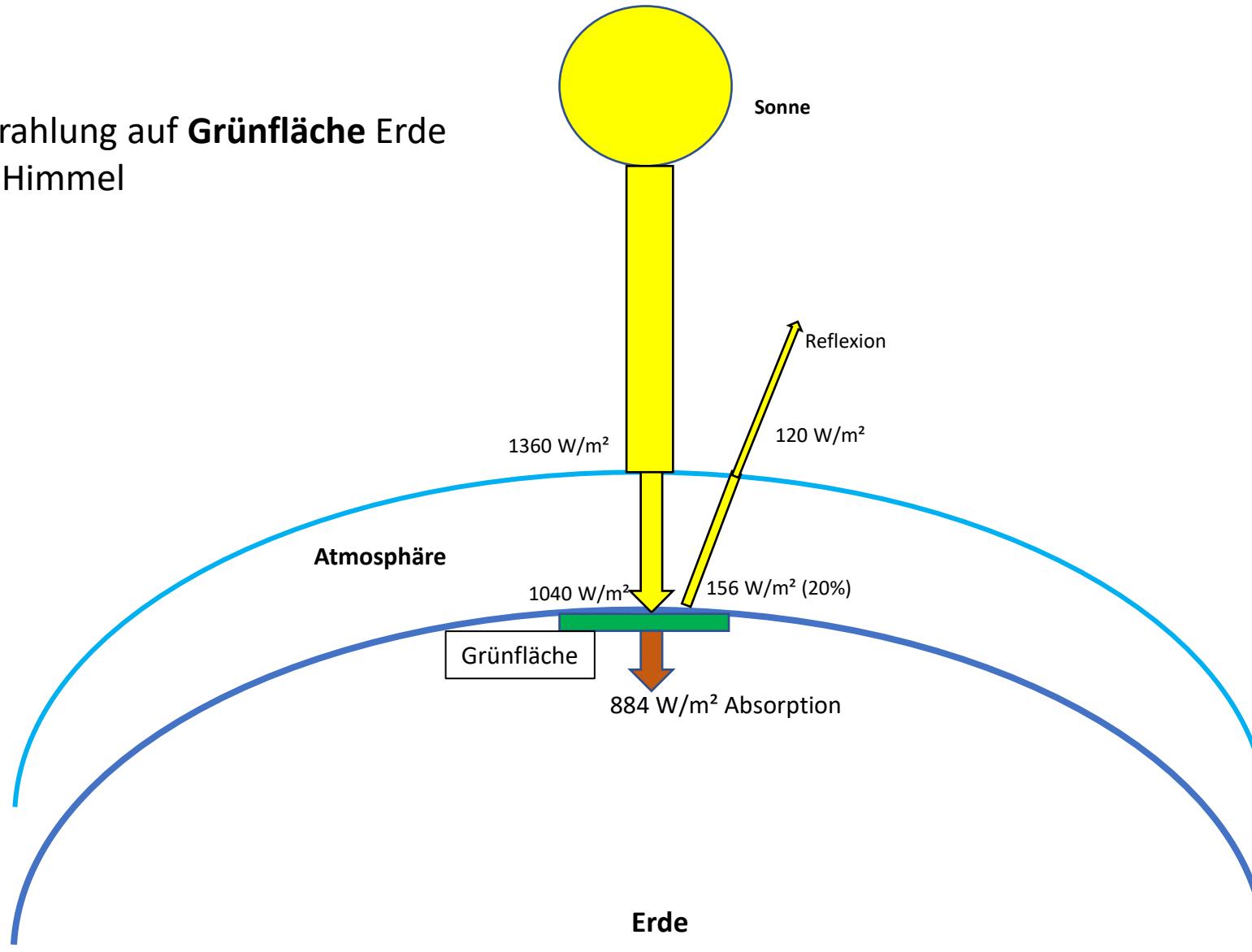
Quelle: <https://www.derstandard.de/story/2000127625390/beispiellose-zunahme-des-energie-ungleichgewichts-der-erde>

## Für Deutschland:

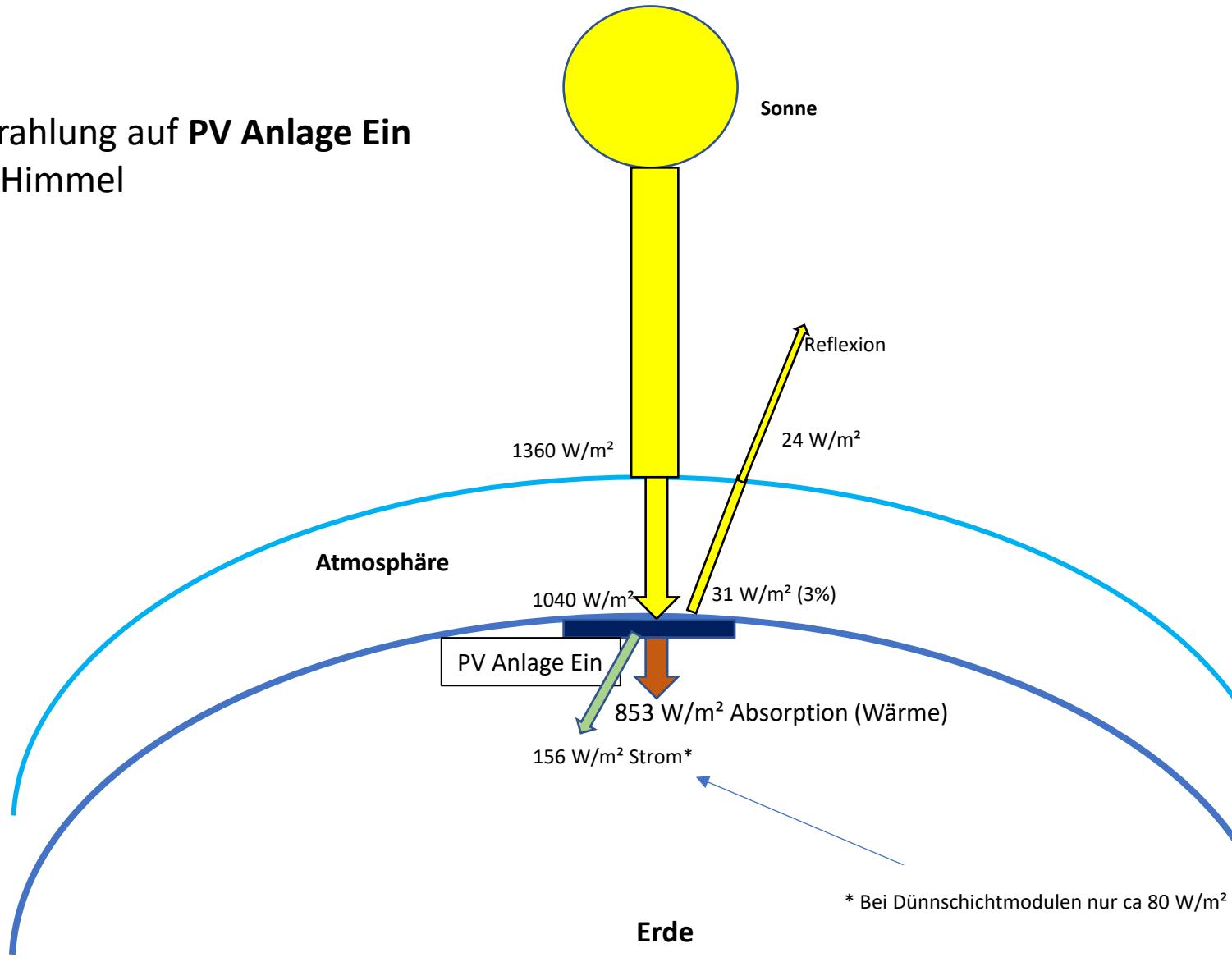
$$357\ 386 * 10^6 \text{ m}^2 * 2,7 \text{ W} * 8760 \text{ h} = 4\ 696 * 10^{12} \text{ Wh/a} = \mathbf{9 \text{ TWh/a}}$$

- Künftig sollen in Deutschland 200 GWp PV-Leistung installiert werden  
200 GWp benötigen eine PV-Fläche von 2000 \*10<sup>6</sup> m<sup>2</sup> ( 1kWp = 10 m<sup>2</sup>)  
Angenommen: 50% Dachflächen und 50% Freiflächen → 1000\*10<sup>6</sup> m<sup>2</sup> für Freiflächen  
**Wenn nur 10% der Freiflächen an 50 Tagen für 3 h reflektieren würden**, könnten  
 $700\text{W/m}^2 * 50 * 3\text{h} * 100 * 10^6 \text{ m}^2 = 120 * 10^{12} \text{ Wh/a} = \mathbf{10,5 \text{ TWh/a}}$  zusätzlich  
reflektiert werden → **Abkühlung in Deutschland** (Wert 700 W/m<sup>2</sup>, siehe Berechnung Reflexionsleistung)
- Zusätzliche Abkühlung durch mehr Verdunstungskälte.  
Bei Regen und Schneefall werden die Paneelen senkrecht gestellt. Boden unter Solarfläche kann Wasser aufnehmen und verdunsten (Verdunstungskälte, keine Flächenversiegelung); ca 50% des Niederschlags verdunstet, der Rest versickert oder fließt oberflächlich ab.  
1l Wasser verdampfen → 0,68 kWh; bei 700 l/m<sup>2</sup> Jahresniederschlag sind das  $350/\text{m}^2 * 0,68\text{kWh} = \mathbf{238 \text{ kWh/m}^2}$  Verdunstungskälte

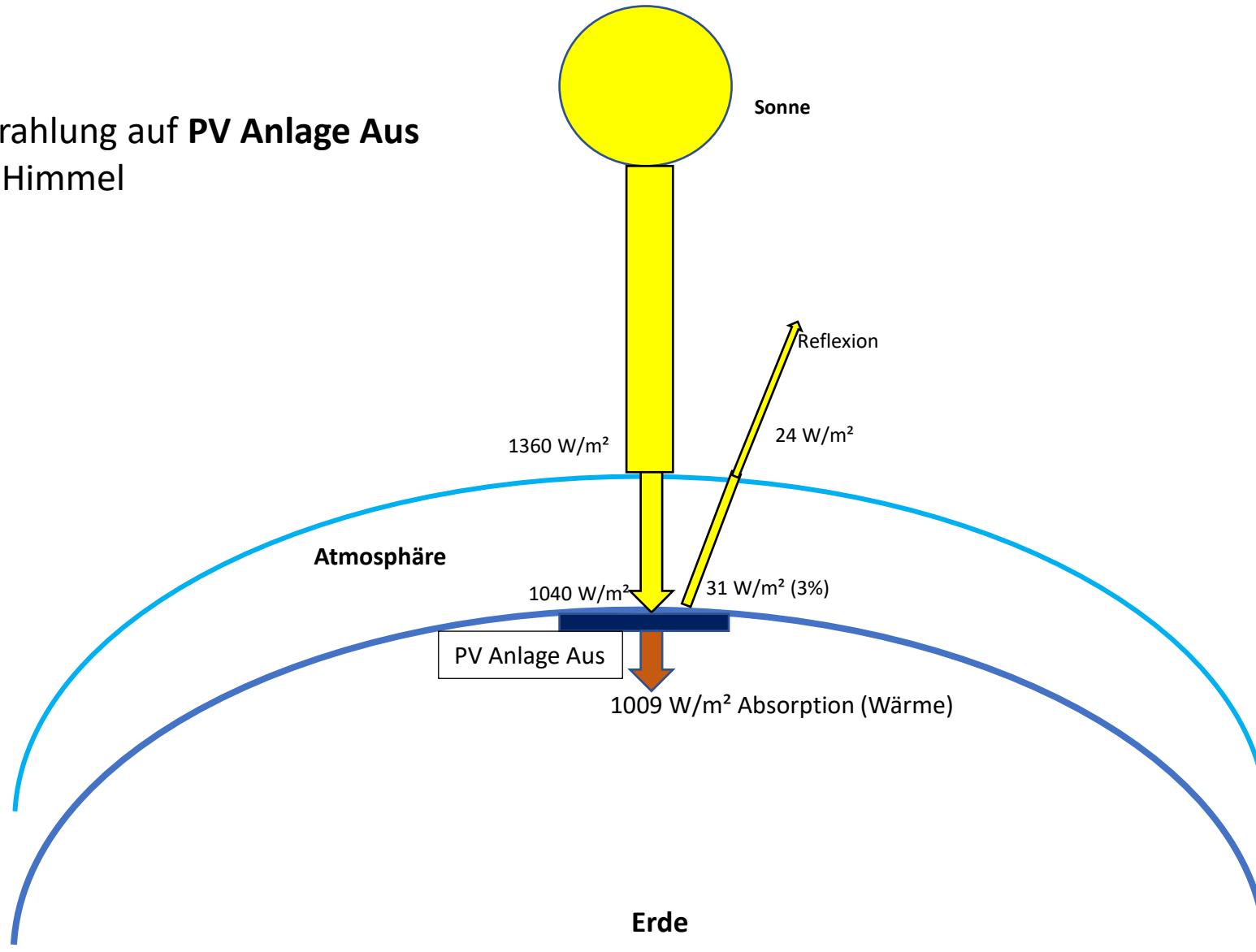
Sonneneinstrahlung auf **Grünfläche** Erde  
wolkenloser Himmel



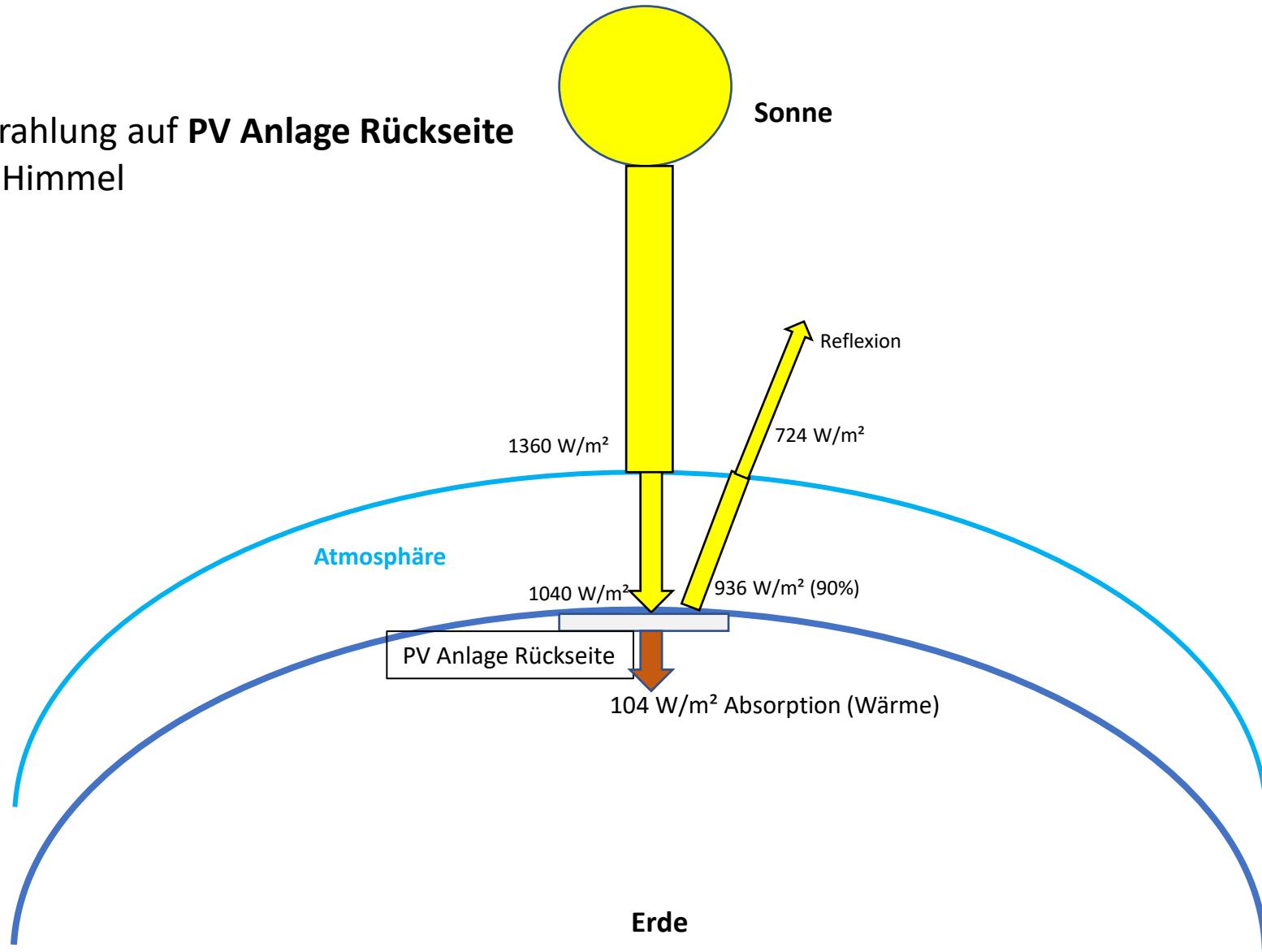
## Sonneneinstrahlung auf PV Anlage Ein wolkenloser Himmel



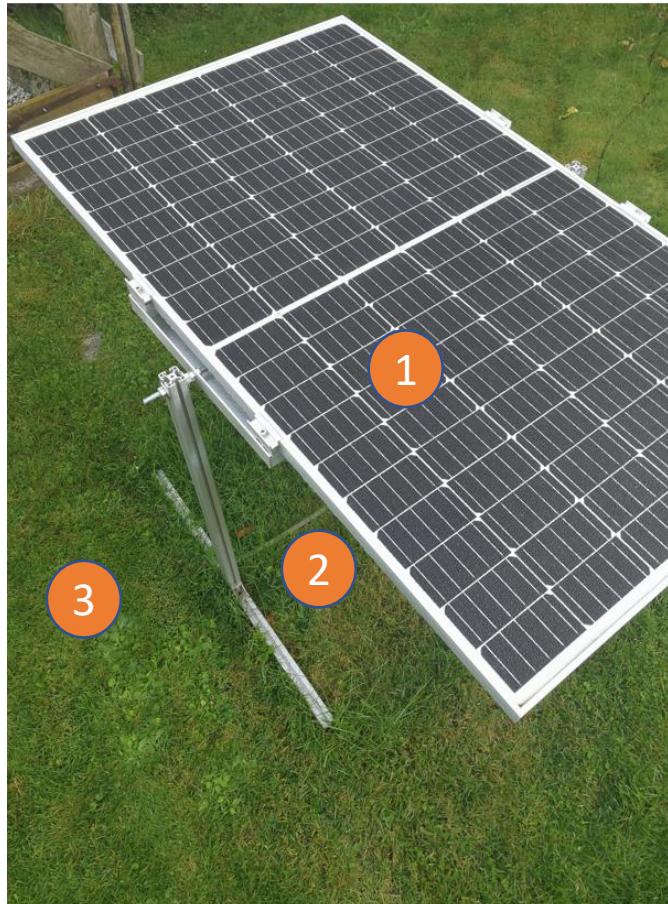
## Sonneneinstrahlung auf PV Anlage Aus wolkenloser Himmel



Sonneneinstrahlung auf **PV Anlage Rückseite**  
wolkenloser Himmel



# Temperaturmessung vor Sonnenaufgang nach klarer Nacht



$T_U = 1,5^\circ\text{C}$

1 =  $-5,5^\circ\text{C}$

2 =  $-1,5^\circ\text{C}$

3 =  $-2,0^\circ\text{C}$

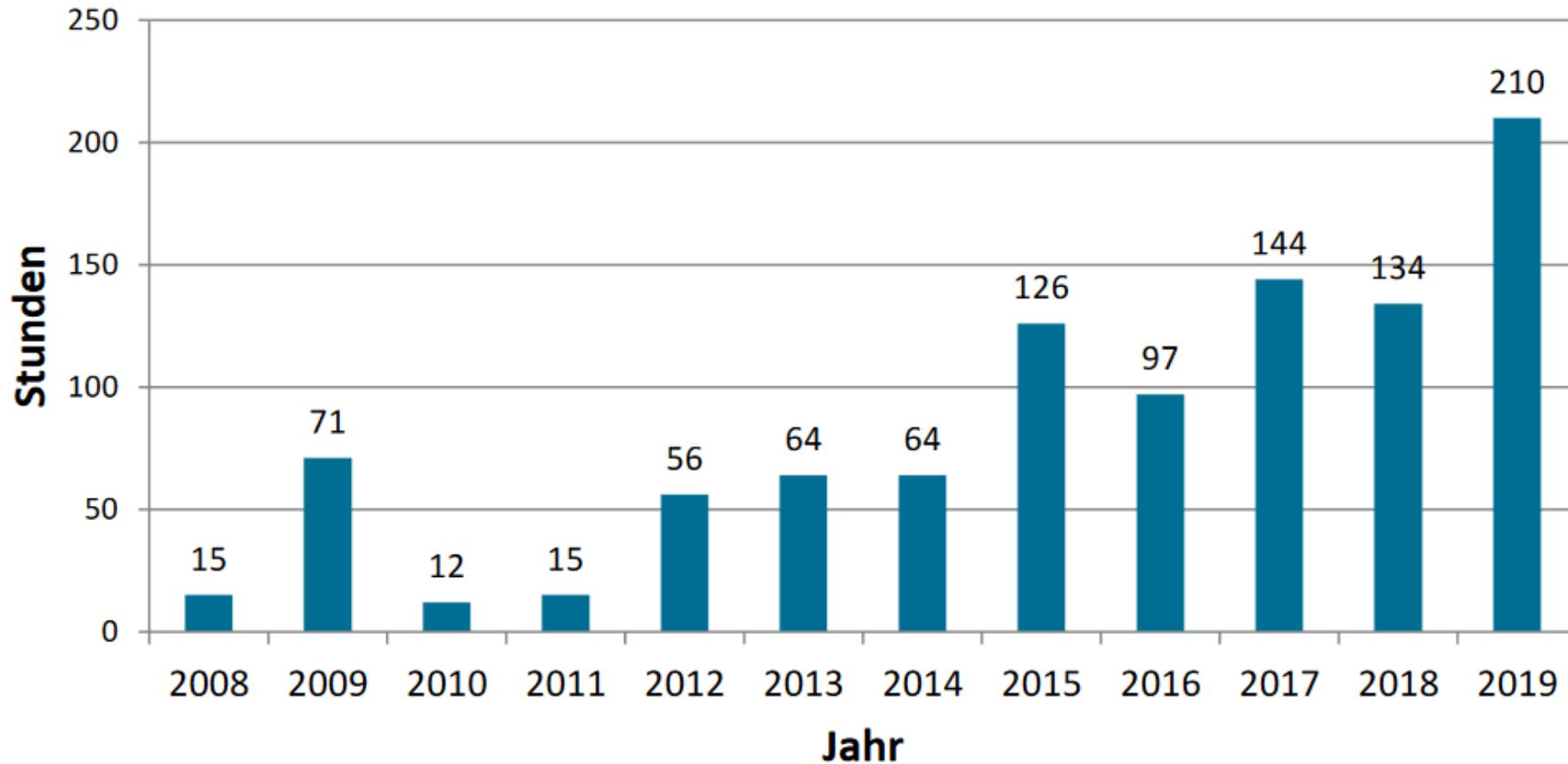
Solarmodul kühlt nachts die Luft ab durch  
stärkere Rückstrahlung ins Weltall

# Vorteile von Solarmodulen mit Wendemöglichkeit

- 2019 wurde wegen Überproduktion für 210 Stunden ein negativer Strompreis bezahlt (Tendenz stark steigend)
- Insgesamt wurden 7,6 TWh mit negativem Preis ins Ausland verkauft.  
Die deutschen Stromkosten wurden damit mit 135 Mio € belastet.  
Zusätzlich wurden dennoch 2% von Solar- und Windstrom abgeregelt; Quelle: Fraunhofer Institut
- Mit den vorgeschlagenen Solarmodulen hätten wir folgende Vorteile erzielt:
  - Keine negativen Strompreise
  - ca. 15% mehr Solarertrag wegen Tracking
  - **Klimaabkühlung**
- Hagelschutz, günstigere Versicherung

# Negative Day Ahead Börsenstrompreise

## Stunden pro Jahr



Grafik: B. Burger, Fraunhofer ISE; Daten: EPEX

# Agro PV- Anlage in Frankreich



Hersteller: Axial Structural (Spanien)



- Module können um 360° verdreht werden
- 96 Solarmodule pro Motor
- Vom TÜV Rheinland zertifiziert, also wind- und wettertauglich
- System ist fertig entwickelt und kann gekauft werden
- Reflektierende Rückseite fehlt
- <https://www.pv-magazine.de/2021/10/15/neuer-tracker-aus-spanien-spezial-fuer-agro-photovoltaik/>
- <https://www.zdf.de/nachrichten/heute-in-europa/heute---in-europa-vom-21-oktober-2021-100.html>

ab Minute 13

# Zusammenfassung / Wünsche

- Die Klimaerwärmung kann auch ohne CO2- Reduzierung gestoppt oder abgemildert werden
- Wenn nur 10% der geplanten PV-Freiflächen an 50 Tagen im Jahr für jeweils 3 Stunden in Reflektionsstellung gebracht werden, hat das für die Klimaerwärmung den gleichen Effekt wie eine 100%ige CO2-Reduzierung
- Zusätzlicher Kühlungseffekt durch mehr Verdunstungskälte
- Zusätzliche Abkühlung nachts durch waagrecht stellen der Module
- Die Wissenschaft sollte ein Äquivalent entwickeln: wieviel Reflexionsenergie/a entspricht einer Tonne CO2 ?
- 10 % aller neuen Freiflächen PV-Anlagen sollten mit Modulen mit Wendemöglichkeit ausgerüstet werden
- Freiflächen mit Wendemodulen sollten gefördert werden
- Die Biodiversität unter Solarmodulen würde wegen gleichmäßigerer Bewässerung zunehmen
- Indirekter Hochwasserschutz (bei Starkregen würde Wasser unter Solarflächen versickern und nicht oberflächlich ablaufen)