

---

# Doppelt ernten: Photovoltaik und Landwirtschaft sind kombinierbar

---



A. Goetzberger

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme

Fraunhofer-Institut für  
Solare Energiesysteme ISE

Neuer Vorschlag der Fraunhofer-Gesellschaft

# Kartoffeln unter dem Kollektor

- Um optimale Energiekonversion zu erreichen, muß jeder Flachkollektor nach Süden (auf der Nordhalbkugel) ausgerichtet werden und um einen Winkel, der gleich der geographischen

## Grundlagen der Rechnung

Die mathematischen Beziehungen, die für diese Berechnungen hergeleitet wurden, basieren auf folgenden Annahmen:

1. Das periodische Kollektorfeld ist nach

**Solarenergie  
1981**

## On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation

A. GOETZBERGER and A. ZASTROW

*Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme Oltmannsstrasse 22, D-7800 Freiburg, West Germany*

*(Received February 15, 1981)*

**Int. J. Solar Energy  
1982**

## Energy Farming

ADOLF GOETZBERGER, RICHARD SWANSON, TOM WERNER, MASAFUMI YAMAGUCHI

**Solarzeitalter  
2006**

---

# Inhalt

---

- Motivation: Doppelnutzung von PV und Landwirtschaft ist möglich
- Wie wird Solarstrahlung heute genutzt?
- Auswertung bestehender Anlagen auf Freiflächen: Ergebnis: Nur 1 bis maximal 5% der verfügbaren Strahlung werden in Strom umgewandelt.
- Was geschieht mit dem Rest der Strahlung? 30 – 40% fällt auf die Module
- Voraussetzung für die Doppelnutzung
- Vorteile der Doppelnutzung
- Anwendung in Mitteleuropa
- Anwendung in ariden Zonen



---

# Wirkungsgraddefinitionen

## Gesamtflächenwirkungsgrad

---

$$\eta_a = \frac{\text{Energie pro Jahr (DC, kWh)}}{\text{Strahlung auf Gesamtfläche im Jahr (kWh)}}$$

## Flächenfüllfaktor

$$F_a = \frac{\text{Module area}}{\text{Plant area}}$$

## Strahlungswirkungsgrad

$$\eta_R = \frac{\text{Strahlung auf Module, (pro Jahr. kWh)}}{\text{Strahlung auf Gesamtfläche pro Jahr, (kWh)}}$$

$$\eta_a = \eta_R \times \text{Modulwirkungsgrad im Jahr}$$

---

# Results for different PV-plants

---

Type of plant	Power (MW)	Area (m <sup>2</sup> )	Energy produced. (MWh/a)	$\eta_{\text{Module}}$	$\eta_a$	$\eta_R$
1. Stationary rows	1,4	40 000	1 400		<b>0,037</b>	0,29
2. Stationary rows	2,0	70 000	2 000		<b>0,026</b>	0,33
3. Stationary rows on flat roof	0,062	1320	64	0,118	<b>0,046</b>	0,45
4. 20° roof fully covered	0,0988	776	105	0,127	<b>0,12</b>	0,99(= Fa )
5. 1-axis tracking	1,92	40 750	2 350	0,135	<b>0,054</b>	0,44
6. 2-axis tracking	1,03	8 1920	1 290	0,128	<b>0,016</b>	0,14

---

# Bedingungen für optimale Doppelnutzung

---

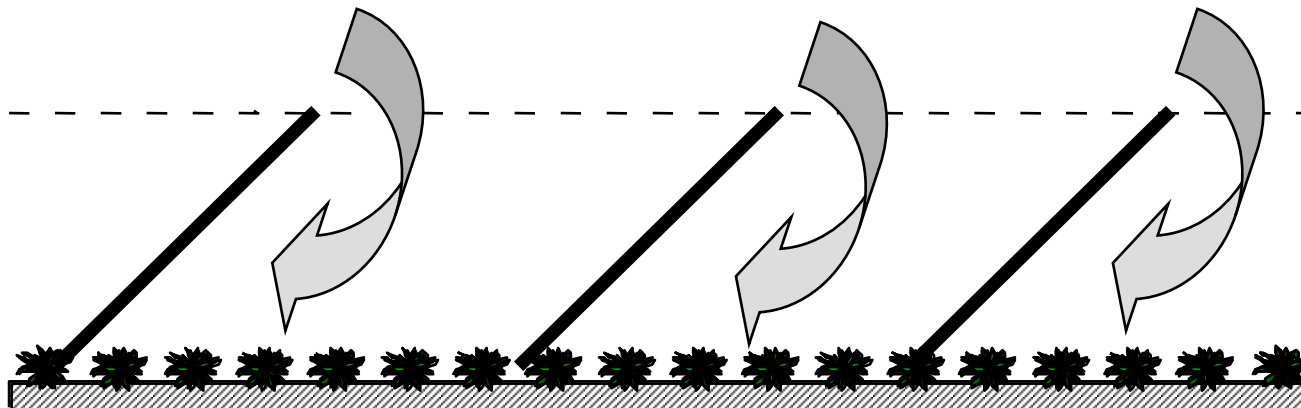
- Optimaler Neigungswinkel ist gleich geogr. Breite für besten saisonalen Energieertrag oder  $+ (10 - 15^\circ)$  für beste Energieausbeute
- Um gegenseitige Verschattung der Module im Winter zu reduzieren müssen folgende Bedingungen eingehalten werden:
- Kein Schatten am 21. Dezember 12:00. Daraus folgt: Abstand zwischen Modulreihen sollte 2 bis 3 mal Modulbreite betragen
- Für Pflanzenwachstum ist möglichst gleichförmige Bestrahlung des Bodens erforderlich, daher Erhöhung der Module

# Panels close to ground



Very uneven illumination  
on ground, impractical for  
cultivation

← south

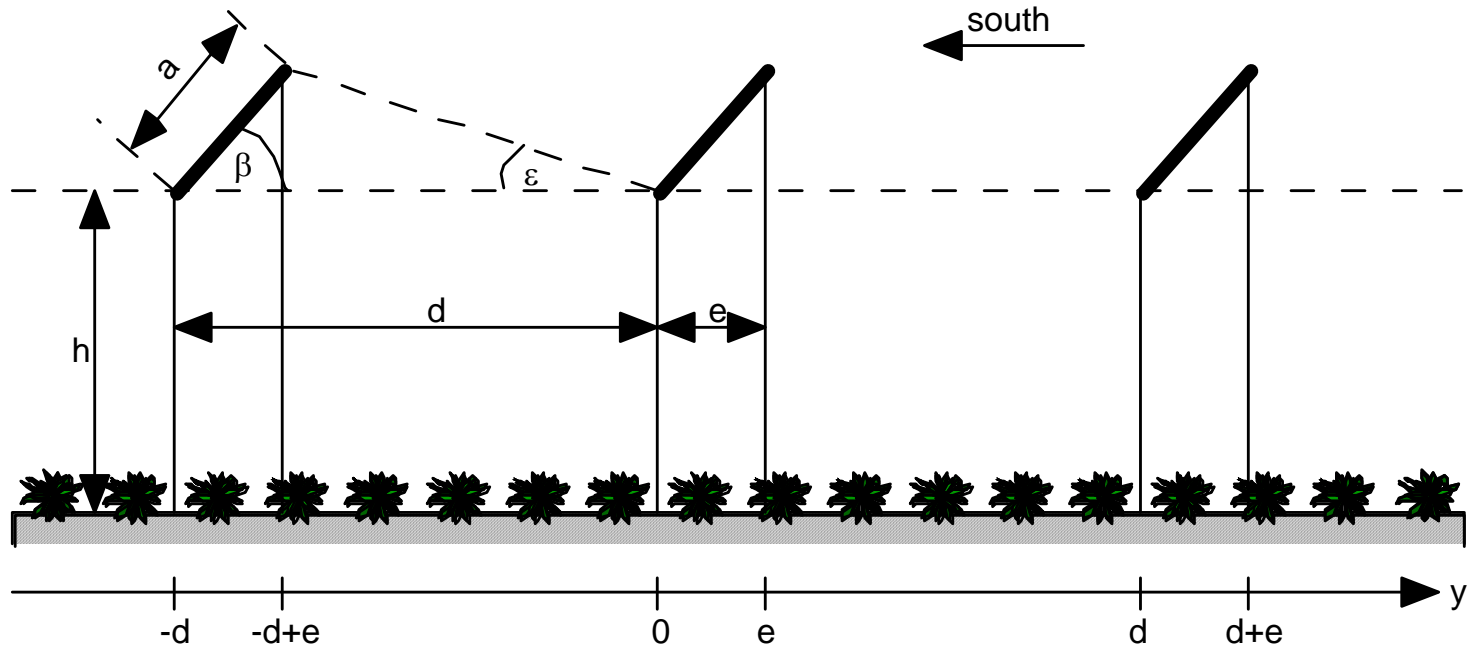


Solution: Elevate panels above ground

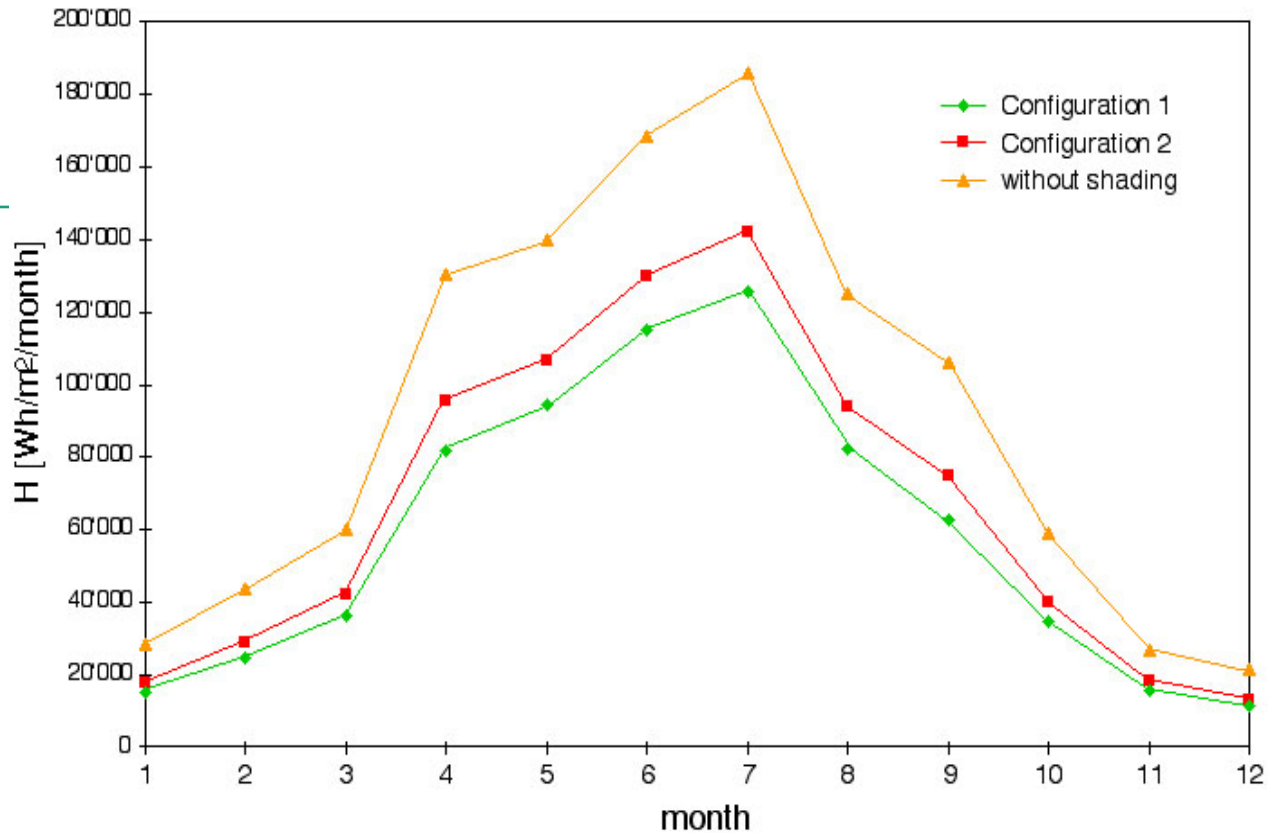


# Geometry of the sun farming concept

Radiation at ground =  $1 - \eta_R \sim 60 - 80\%$



A. Goetzberger, et al. 2nd World Conf. PV Solar Energy Conversion, 1998, 3481  
A. Goetzberger, A. Zastrow, Int. J. Solar Energy, Vol.1, 1982, 55



**Monthly radiation on ground with weather data of Freiburg for two dimensions of structure and without PV generator (top curve)**

---

# PV Generator als Schafweide

---





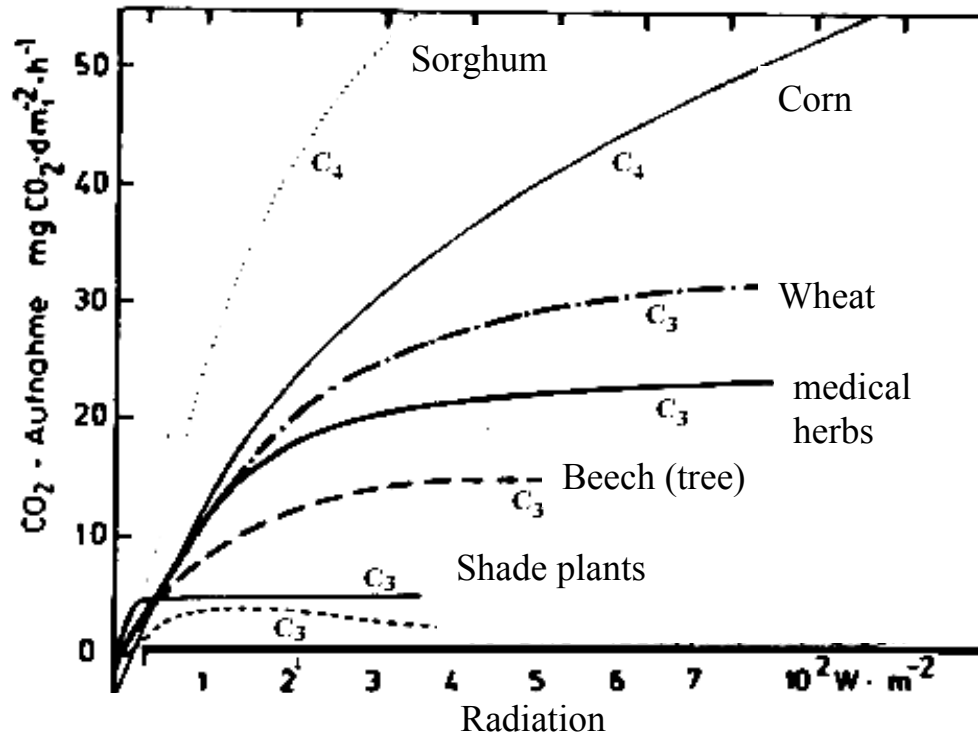
---

# Möglichkeiten der Doppelnutzung von Land für PV und Nutzpflanzen

---

- Die landwirtschaftliche Nutzung wird durch PV fast nicht eingeschränkt, daher kann das Land für mehr als Schafweide genutzt werden
- Die Strahlung unter dem PV Generator ist hoch während der Wachstumsaison und niedrig im Winter
- Die meisten Nutzpflanzen (auch Energiepflanzen) wachsen mit der verfügbaren Strahlung

# Biomass Production of Plants vs. Solar Radiation



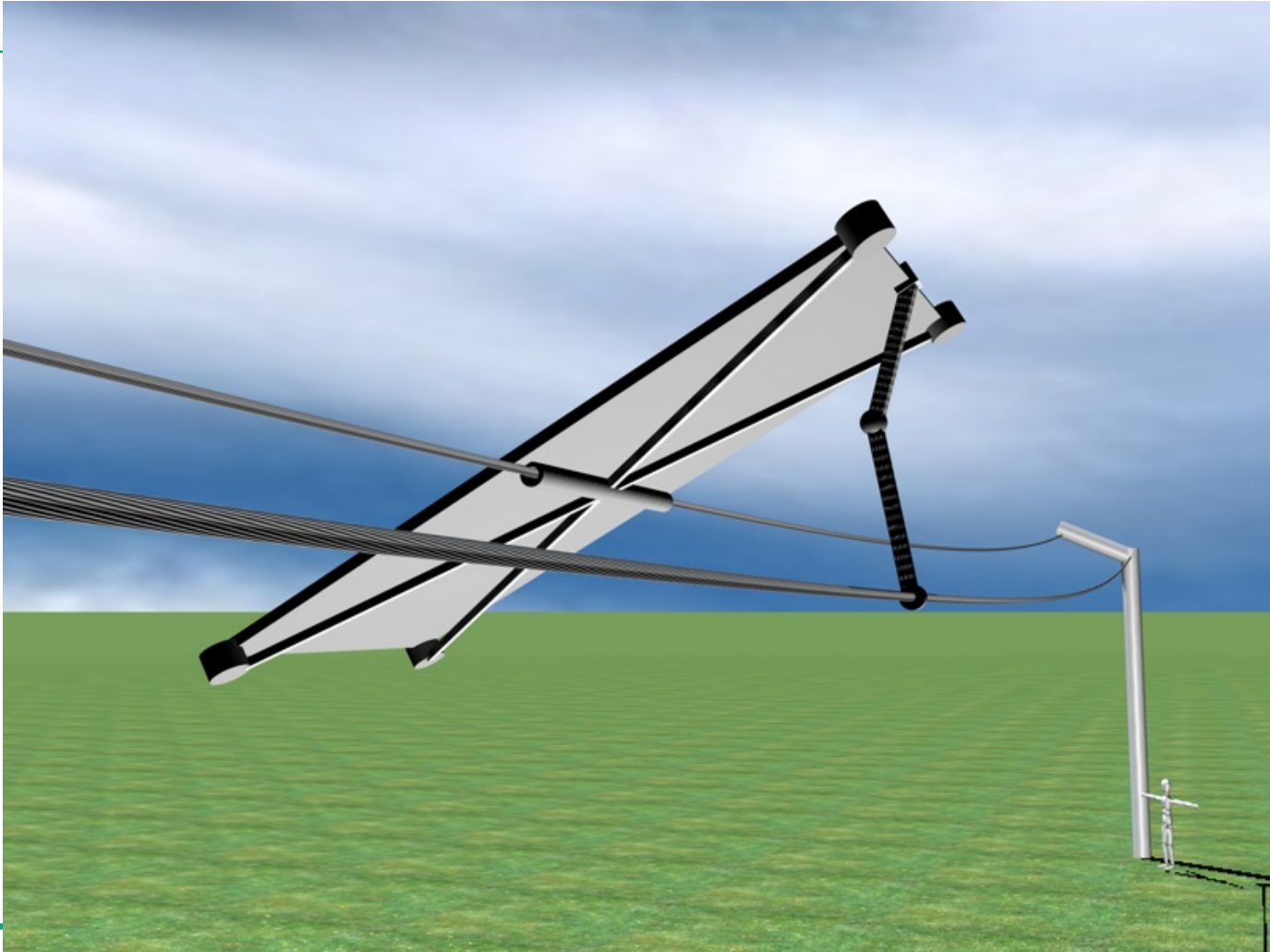
---

# Vorteile der Doppelnutzung

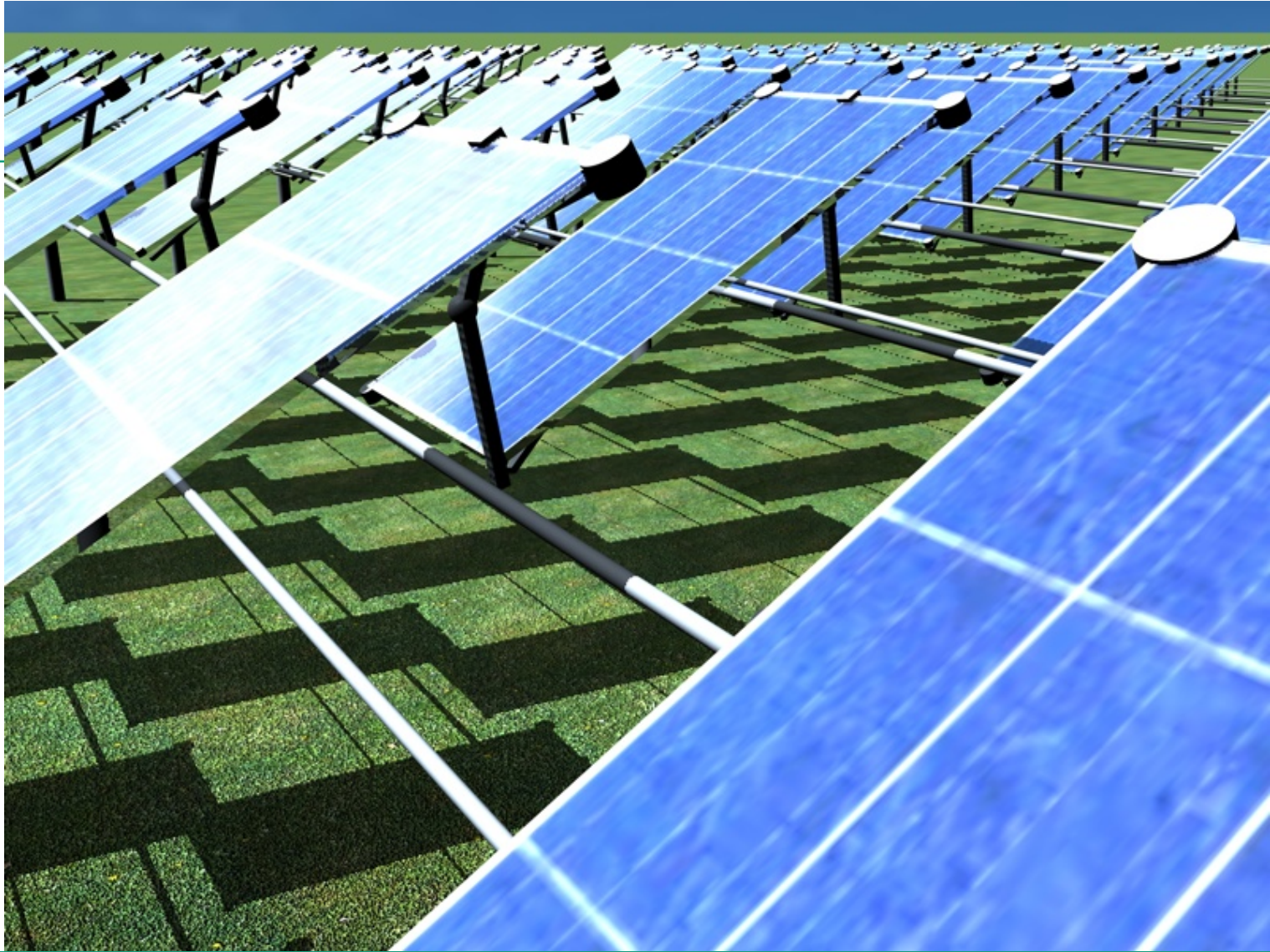
---

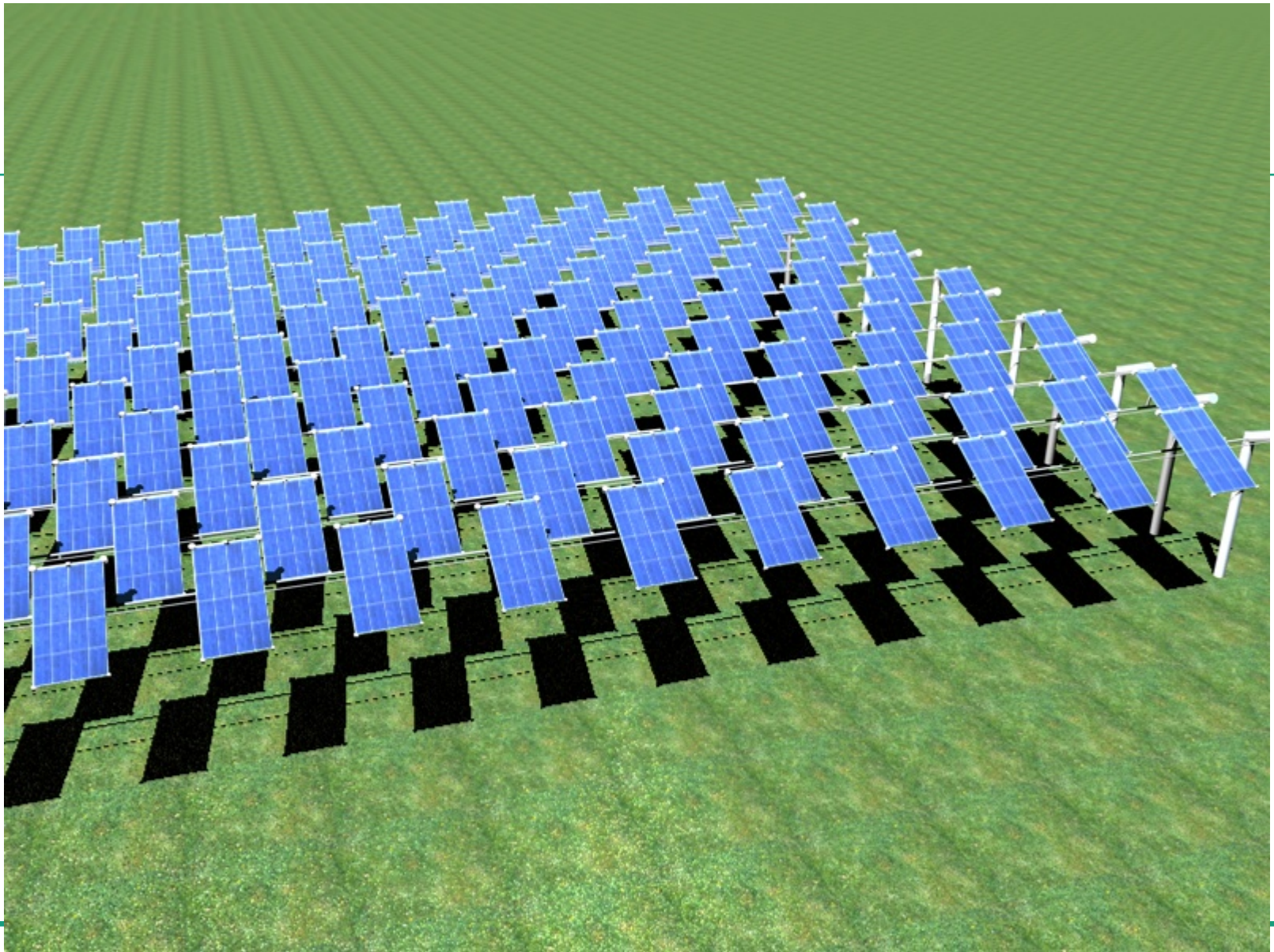
- Die Kontrolle des Wachstums von Unkraut und Büschen entfällt
- Das Argument, dass PV wertvolle Nutzfläche verbraucht, entfällt
- Die gleiche Landfläche kann für Ernte von Energie und Nutzpflanzen gleichzeitig genutzt werden
- Bei Nutzung von Bioenergie gewinnt man zwei kompatible Energieformen: PV hat hohen Wirkungsgrad und Biomasse ist speicherbar
- Das Potential der PV wird drastisch erhöht, da praktisch alle Freiflächen in Frage kommen. (Trotzdem sollte man soweit wie möglich Gebäude nutzen)

# New mounting system with ropes (Proposed by M. Procida)











## **Solar Wings in der Schweiz Projekt des Seilbahnbauers Roland Bartholet**

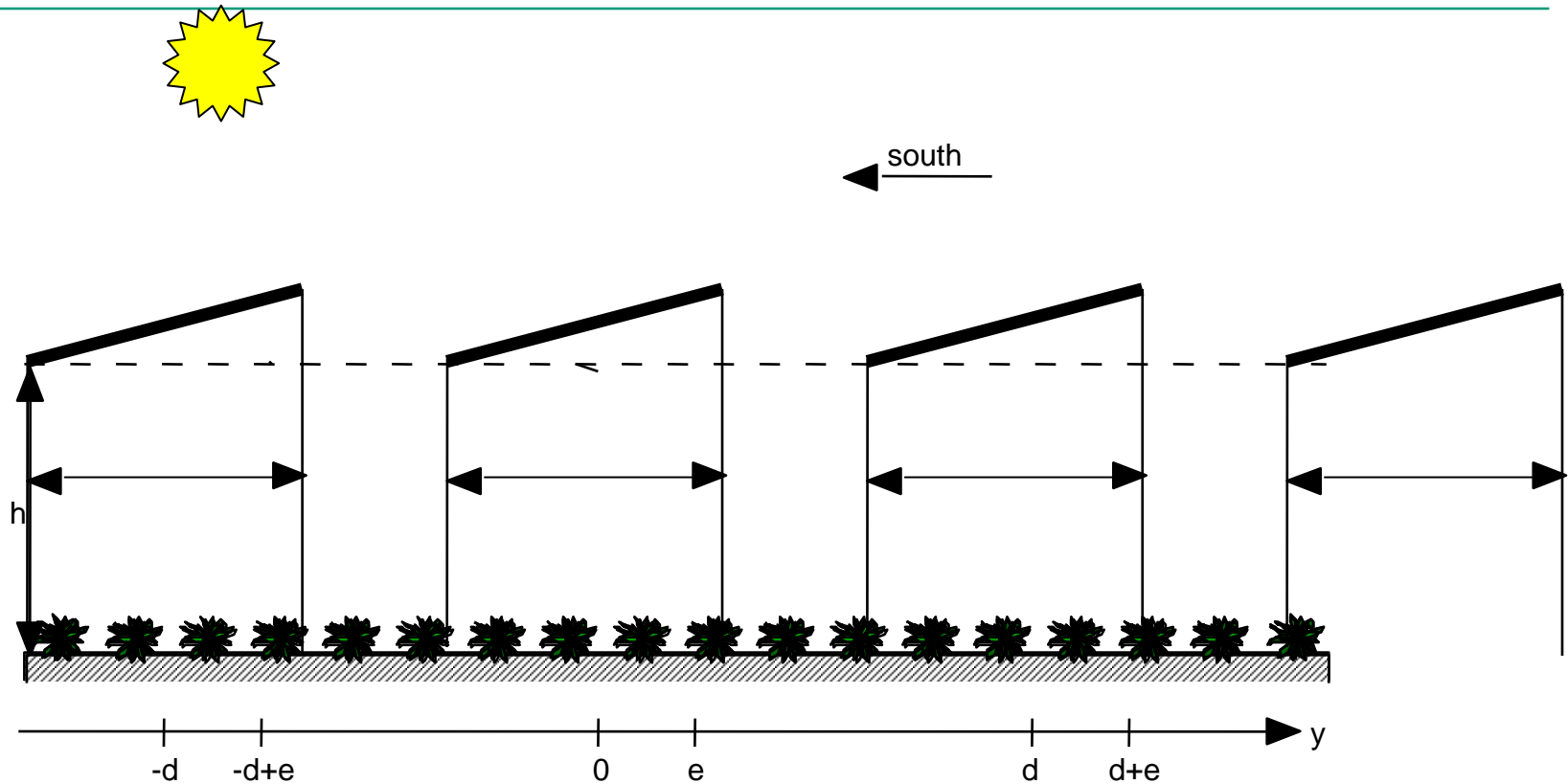
---

# Vorteile der Montage auf Seilen

---

- Windkräfte werden durch flexible Montage aufgenommen
- Das PV System ist so hoch, dass Bearbeitung des Bodens mit Maschinen möglich ist
- Der Grad der Beschattung kann der Pflanzenart angepasst werden

# Anwendung in Äquatornähe



---

# PV für aride Gebiete

---

- Pflanzen werden vor zu viel Sonne geschützt
- Durch Beschattung sinkt der Wasserbedarf der Pflanzen
- Die durch PV erzeugte Energie kann zur Wasserentsalzung und Betrieb von Bewässerungsanlagen eingesetzt werden

---

# Doppelnutzung für Entsalzung und Bewässerung

---

- **Wasserbedarf für Mais ohne Niederschlag**

- 0.7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> pro Ernte. Für 2 Ernten: 1.4 m Wasser

- **Energiebedarf für Meerwasserentsalzung durch Umkehrosmose:**

- **3 – 10 kWh/m<sup>3</sup>: angenommen 5 kWh**

- Bewässerungsbedarf: 1.4x5 = **7 kWh/jahr/m<sup>2</sup>**

- **PV Energieertrag:**

- Flächenfüllfaktor: 50% der Gesamtfläche

- Jährliche Sonneneinstrahlung: 2000 kWh/m<sup>2</sup>

- PV Systemwirkungsgrad: 14%

- **PV Ertrag: 2000x0.5x0.14 = 140 kWh/m<sup>2</sup>**

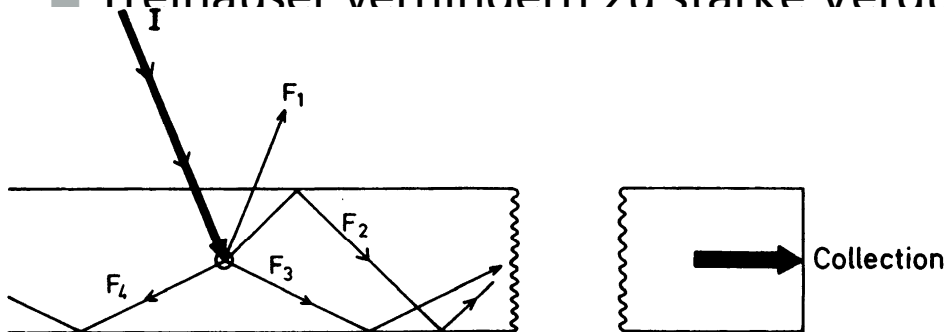
- **Ertrag nach Bewässerungsbedarf: 140 – 7 = 133 kWh/m<sup>2</sup>**

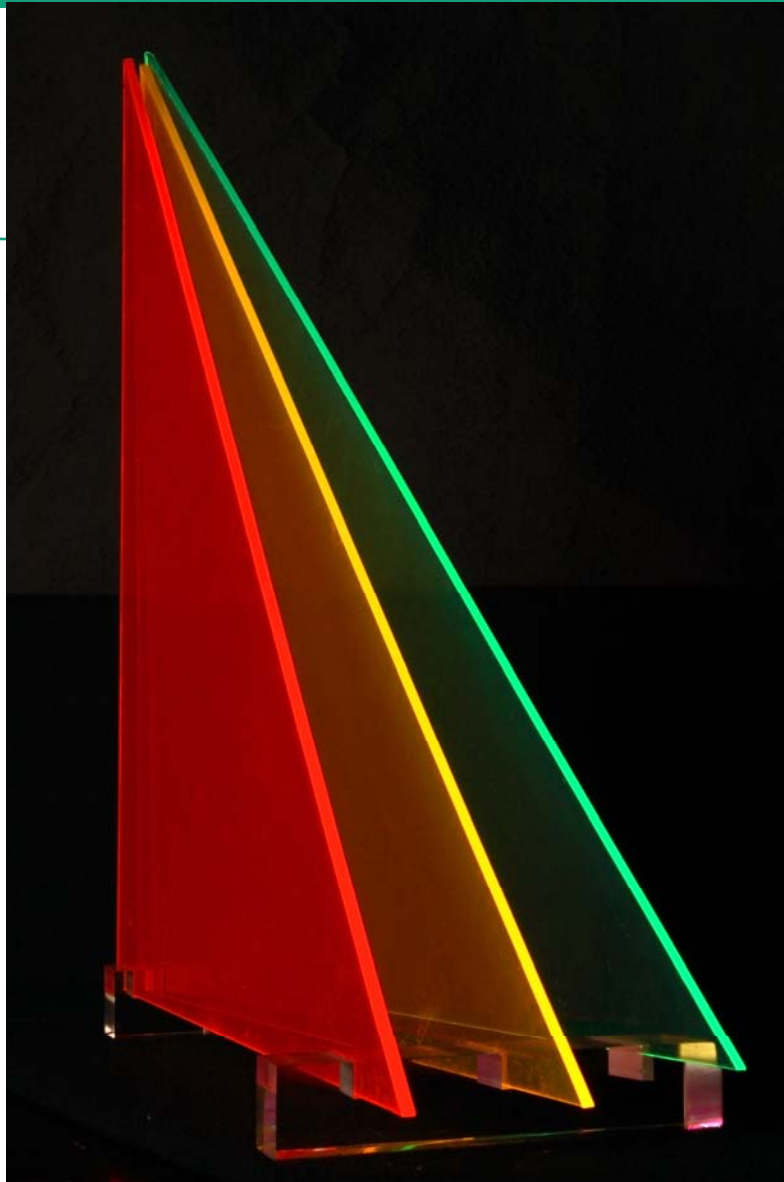




# Andere Realisierungsmöglichkeiten

- Semitransparente Module ermöglichen volle Flächenbedeckung (z. B. Treibhäuser)
- Fluoreszenzkonzentratoren, Prinzip
  - Selektive Transmission der für Pflanzen nutzbaren Spektralbereiche
  - Der restliche Teil des Spektrums wird in Elektrizität umgewandelt
  - Treibhäuser verhindern zu starke Verdunstung





---

# Zusammenfassung

---

- Große PV Freiflächenanlagen wandeln nur einen kleinen Teil der verfügbaren Strahlung in Strom um
- Die Strahlung zwischen und unter Modulreihen ist ausreichend für die meisten Nutzpflanzen
- Durch sinnvolle Aufständigung kann die Beleuchtung der Pflanzen optimiert werden
- In ariden Zonen können sensible Pflanzen unter dem Schatten von PV Anlagen wachsen
- Die Energie aus PV Systemen kann zur Wasserentsalzung verwendet werden. Die Begrünung von Wüsten könnte Realität werden