

# Alles senkrecht ! Agriphotovoltaik mit vertikalen bifacialen Solarmodulen

08.01.2021

Heiko Hildebrandt



# Agenda

## Überblick und Technik

Energiewirtschaftliche Aspekte

Landwirtschaftliche Aspekte

Ökologische Aspekte

Solarzaun

Wirtschaftlichkeit/Zusammenfassung



# Vertikale bifaciale Next2Sun PV-Anlage Donaueschingen (4,1 MW)



08.01.2021

Next2Sun GmbH

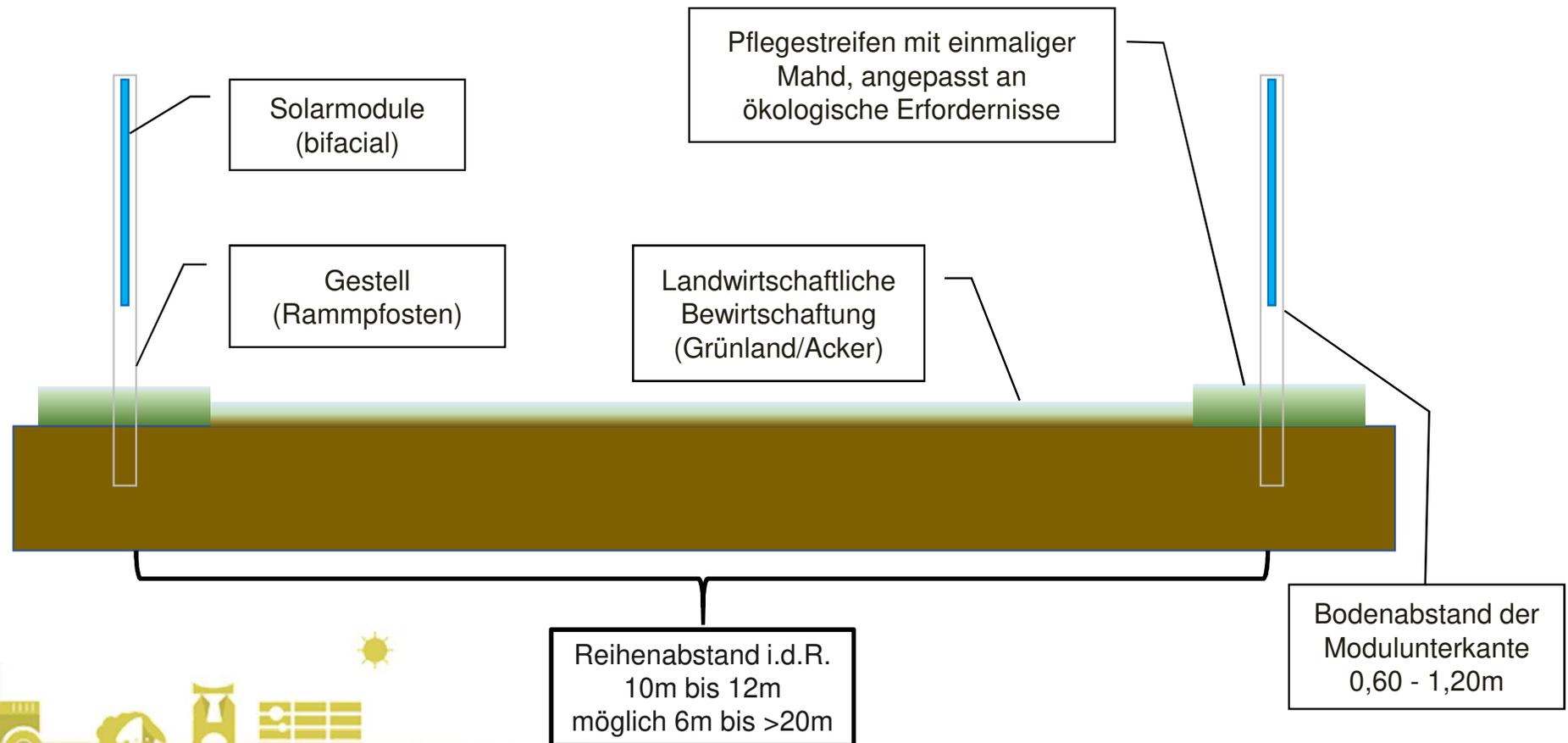
# Vertikale bifaciale Next2Sun PV-Anlage Donaueschingen (4,1 MW)



08.01.2021

Next2Sun GmbH

# Aufbau einer Next2Sun PV-Anlage



# Gestellsystem aus verzinktem Stahl mit Aluminium-Komponenten



- **Nivellierfähige Konstruktionselemente** zur Anpassung an Geländegegebenheiten
  - Bis zu 20% Gefälle bebaubar
- Pfosten - Riegel Konstruktion mit spannungsfreier Modulfassung
- Modulhalter aus stranggefertigtem Aluminiumprofil mit EPDM-Einlage



# Rahmenlose Glas-Glas-Module mit mind. 85% Rückseiteneffizienz



- **Rahmenlose Glas-Glas-Module**  
formschlüssig in die Rahmenkonstruktion eingesetzt
- Aktuell i.d.R. n-PERT-Technologie (Passivated Emitter Rear Totally Diffused)
  - Ca. 85 % Bifacialität (Rückseiten-Effizienz)
- Neu: Heterojunction (HJT)
  - Mono-kristallin mit amorpher Dünnschicht
  - Bis 100% Bifacialität



# Basics: Vergleich N2S vs. konventionell

- **Der spezifische Ertrag** liegt um 5-10% über dem Ertrag konventioneller Anlagen (Standorte in DE)
- **Die installierbare Leistung** auf einer überplanten Grundfläche liegt wegen der großen Reihenabstände um einen Faktor 2-3 niedriger als bei konventionellen Anlagen
- **Der effektive Flächenverbrauch** (Grundfläche zu Modulfläche) sinkt von ca. 2,00 auf ca. 0,50 bis 0,005 (je nach Betrachtung)
- **Der Marktwert der Stromproduktion** liegt um ca. 0,3 ct/kWh höher als bei konventionellen Anlagen (Strommarkt DE 2020)



# Agenda

Überblick

**Energiewirtschaftliche Aspekte**

Landwirtschaftliche Aspekte

Ökologische Aspekte

Solarzaun

Wirtschaftlichkeit/Zusammenfassung



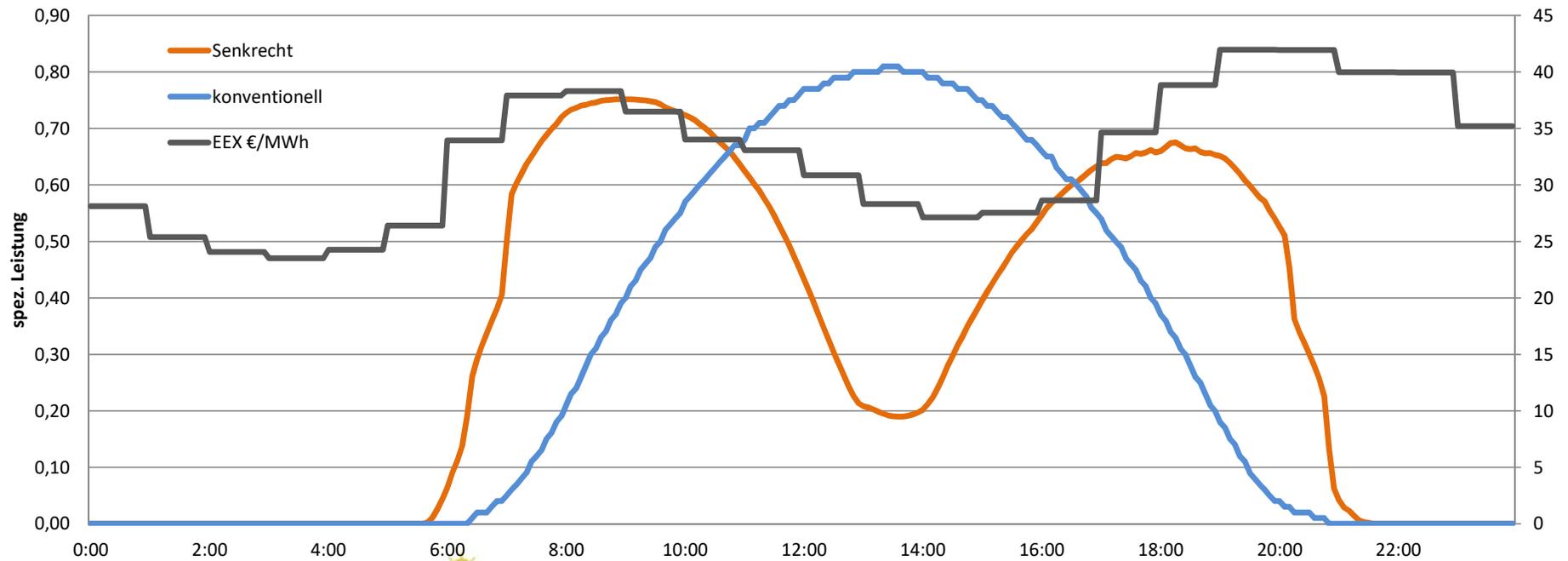
# Energiewirtschaft: Optimierung Markt

- **Ost-West-Ausrichtung** der beiden aktiven Modulflächen ergibt ein **im Tagesverlauf** komplementäres Profil zu konventionellen Anlagen
- **Süd-Nord-Ausrichtung** der beiden aktiven Modulflächen ergibt ein **im Jahresverlauf** gleichmäßigeres Profil
- Der Marktwert der Stromproduktion erhöht sich in beiden Fällen
- Solarpark Dirmingen in 2019 (real erreicht): ca. 0,3 ct/kWh mit Ost-West-Ausrichtung der Modulflächen

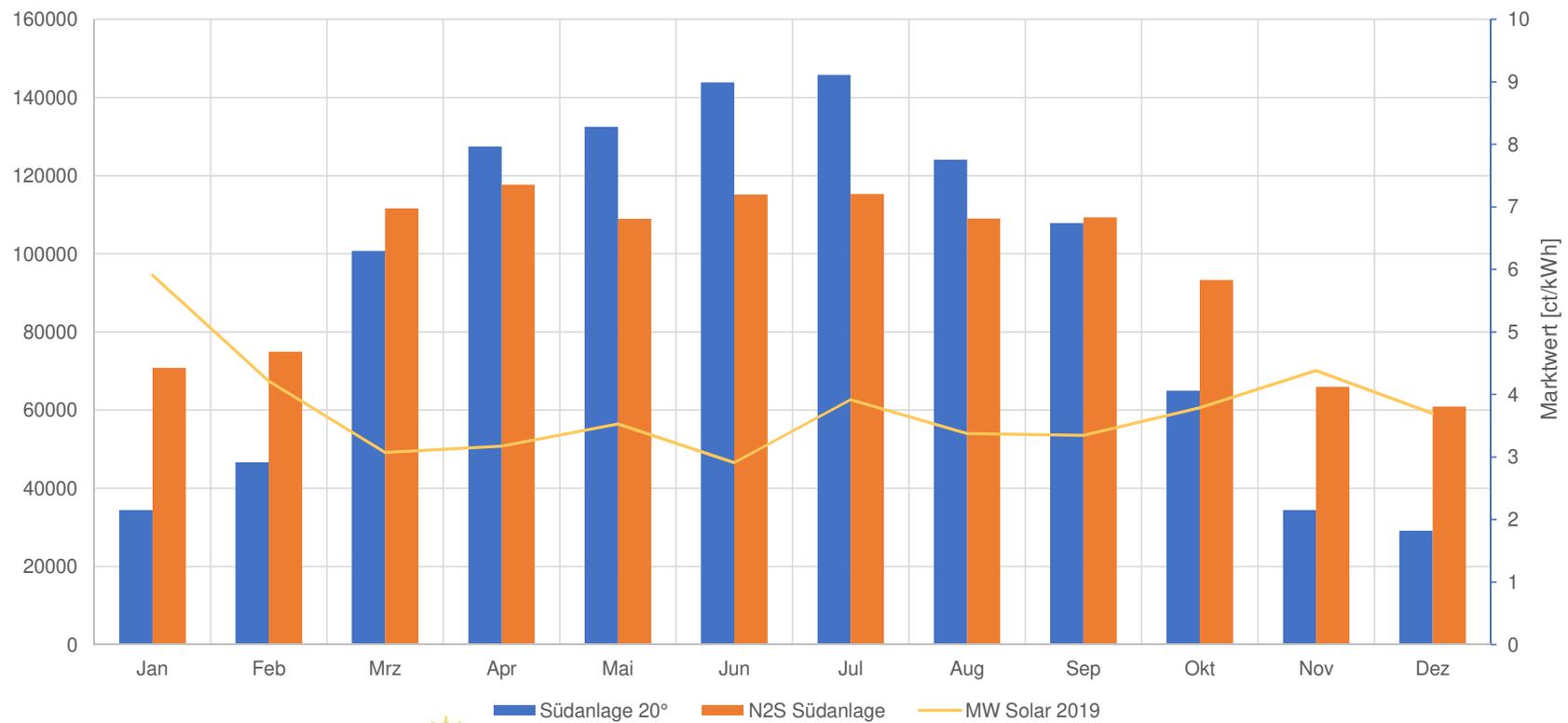


# Grafik: Tagesproduktion / EEX

Spezifische Erzeugungsleistung im Tagesverlauf [kW / kWp],  
Preise Strombörse (EPEX Spot Stundenkontrakte (26.5.2017))



# Grafik: Saisonale Produktion / EEX

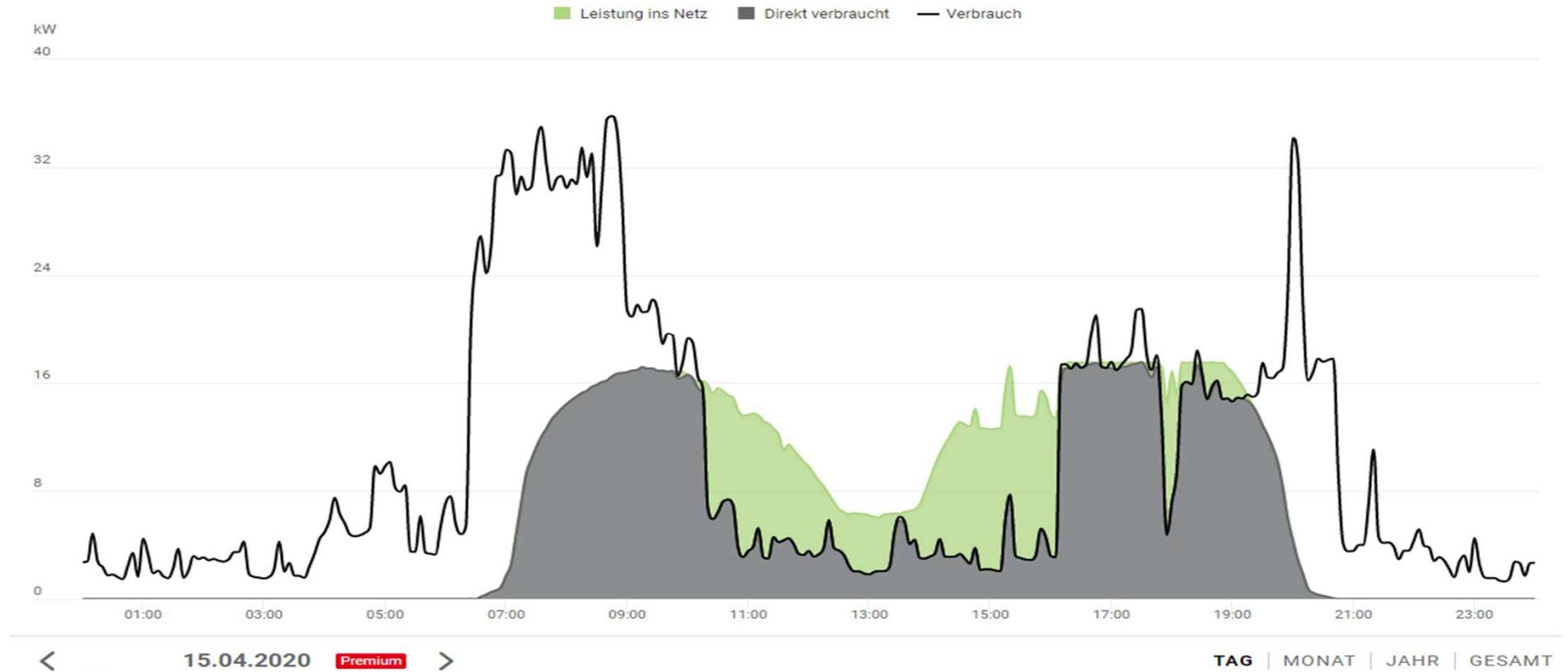


# Energiewirtschaft: Eigenbedarf

- **Wählbare und kombinierbare Ausrichtung** der beiden aktiven Modulflächen ermöglicht die Anpassung des Erzeugungsprofils an lokale Verbrauchsstrukturen
- Der Eigenverbrauchsanteil kann dadurch gesteigert werden
- Daraus ergibt sich eine **höhere Wirtschaftlichkeit** für den Betreiber bzw. Eigennutzer
- Beispiele:
  - Ost-West-Ausrichtung für Milchviehbetriebe (s. folgende Grafik)
  - Kombination unterschiedlicher Ausrichtungen für Bandlastkunden



# Grafik: Eigenverbrauch Milchbetrieb



# Agenda

Überblick

Energiewirtschaftliche Aspekte

**Landwirtschaftliche Aspekte**

Ökologische Aspekte

Solarzaun

Wirtschaftlichkeit/Zusammenfassung



# Grünlandnutzung



**Alle üblichen Nutzungsarten möglich!**

- Heunutzung
- Mähwiesen/Silage
- Nutztierhaltung  
(insbesondere auch mit Rindern)



# Ackernutzung



- Viele gängige Feldfrüchte sind auch in vertikalen Agri-PV-Anlagen möglich:
  - Weizen, Gerste, Hafer
  - Kartoffeln
  - Rüben
  - Leguminosen
  - Sonderkulturen
- Mit Einschränkungen möglich:
  - Roggen, Raps
- Wegen zu hoher Wuchshöhe nicht:
  - Mais, Silphie



# Beispiel Heuernte Donaueschingen 2020

- **Mahd** mit Claas Bandmähwerk mit Mittelschwadablage
    - Arbeitsbreite 9,20m bei lichtem Reihenabstand von 9,80m (!)
    - Arbeitsgeschwindigkeit (mit GPS) ca. 10-12 km/h
  - Kreiseln/Nachtschwad mit 9m Kreisler
  - Schwaden mit dem Seitenschwader
  - Pressen von Großpacken
  - Laden und Abfuhr
- 
- Siehe nachfolgendes Video, auch hier zu finden:  
<https://www.youtube.com/watch?v=06z2hVX9kXg>



# Beispiel Heuernte Donaueschingen 2020

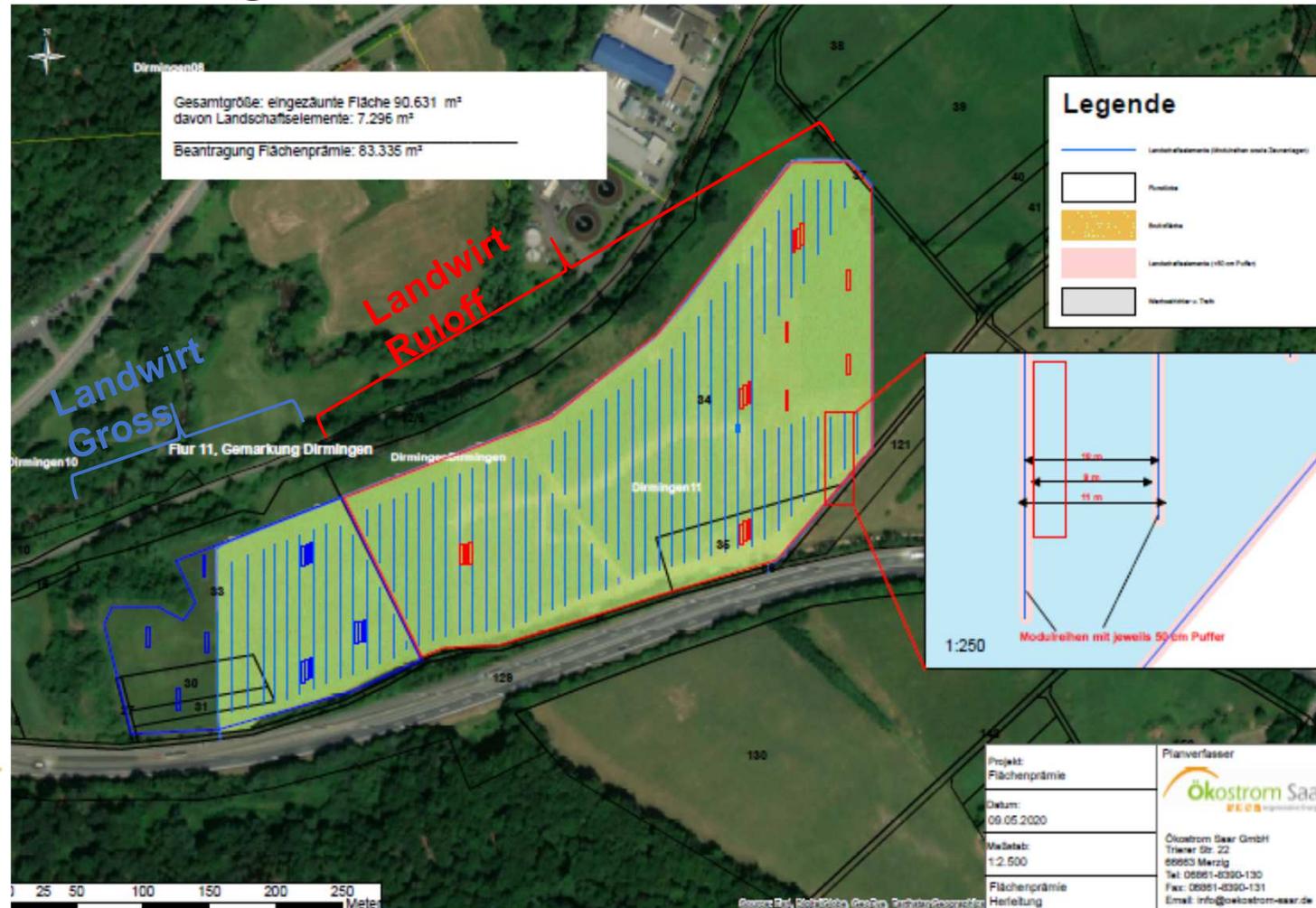
- Es wurden **keine Schäden** an der PV-Anlage oder den verwendeten Arbeitsmaschinen verursacht
- **Ertrag** wurde hier nicht erfasst (da 1.Nutzung direkt nach Bau)
- **Nachfolgend** wird der restliche Aufwuchs unter den Modulreihen entfernt
  - Zaunpfostenmäher mit manueller Nacharbeit
  - Testweise: Beweidung direkt nach der Heuernte
- **2. Schnitt** erfolgte im September als Silageschnitt (Ladewagen)
- Je nach Witterung danach Überweidung mit Schafen



# Heu Ernte SP Dirmingen 2020

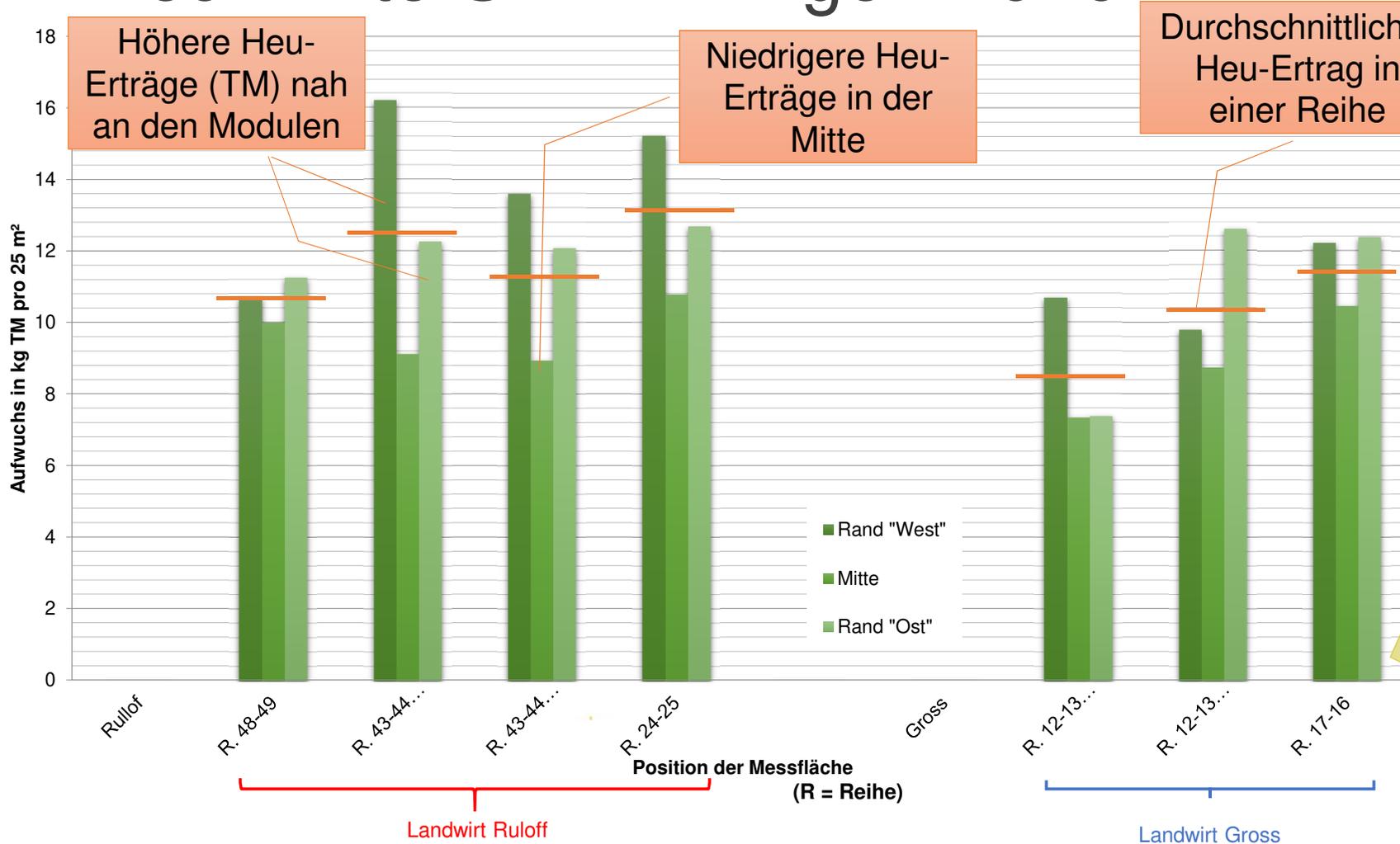
## Durchführung der Erhebung:

- Beprobung auf 8 Referenz-Flächen (außerhalb der Modulreihen) und 7 Flächen innerhalb der Modulreihen
- Je drei Proben-Flächen nebeneinander in einer Modulreihe (in der Mitte und jeweils an den Seiten nah zu den Modulen)
- Der Aufwuchs jeder Fläche (mit 2.50 x 10 m) wurde aufgesammelt und in einem "Big Bag" direkt nach dem Mähen gewogen
- Eine Probe von jeder Testfläche wurde auf die Futterqualität untersucht
- Ein Schlag (mit etwa 7 ha), getrennt bewirtschaftet von zwei Landwirten (Rollof, Gross)
- Nur ein Erntejahr.



08.01.2021

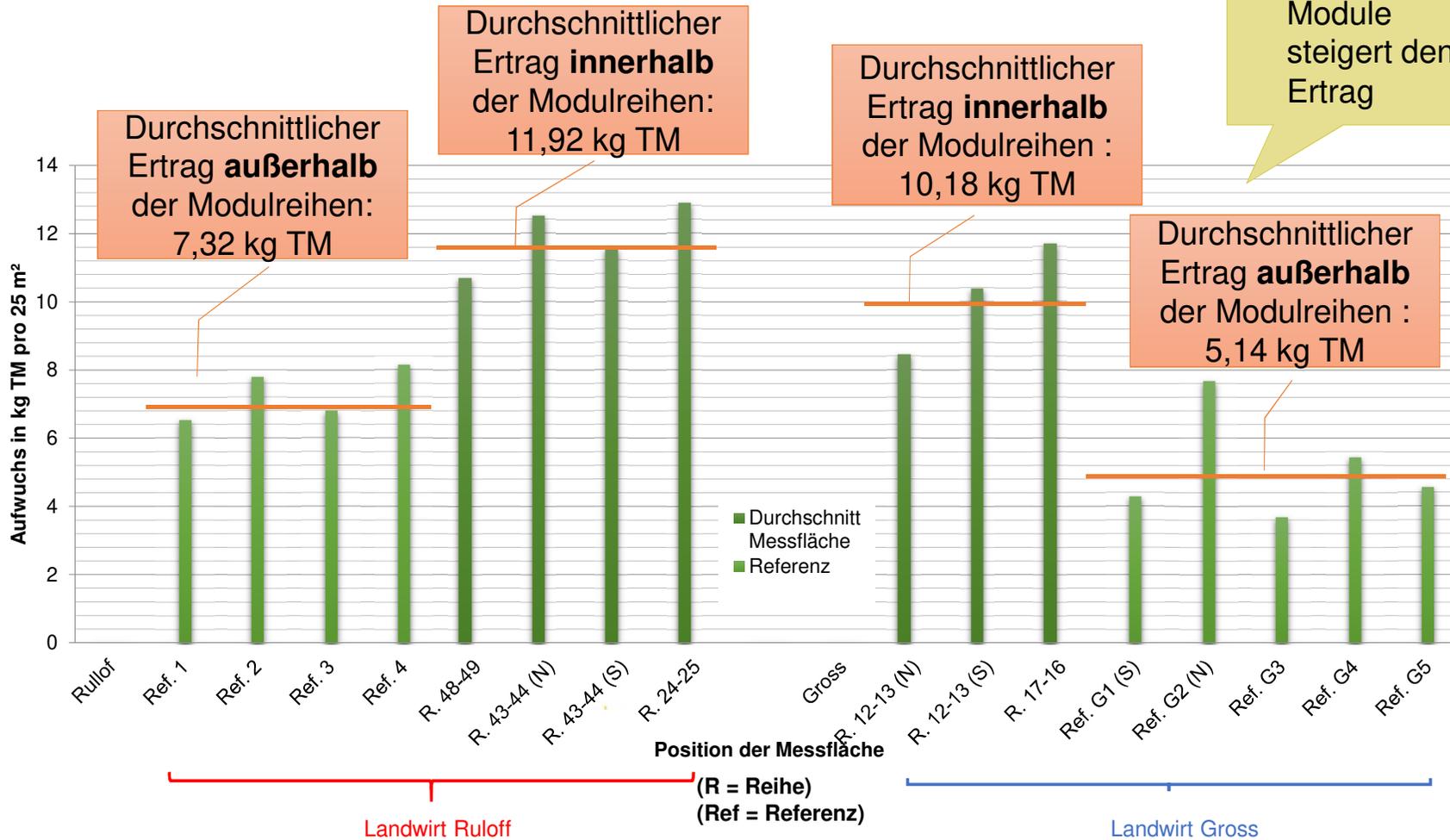
# Heu Ernte SP Dirmingen 2020



## Ergebnisse innerhalb der Modulreihen:

- Wir nehmen höhere positive Schatten-Effekte nah an den Modulen an (West & Ost) und geringere Effekte weiter von den Modulen entfernt.
- Wir brauchen weitere Forschung, um mögliche Effekte von Morgen- und Abendsonne herauszufinden.

# Heu Ernte SP Dirmingen 2020



## Erkenntnis:

- Verschattung durch die Module steigert den Ertrag

## Unsere Ergebnisse:

- Jeder Messpunkt innerhalb der Modulreihen ist besser als jeder Messpunkt außerhalb.
- Minimale Ertragszunahme innerhalb der Modulreihen: +10%
- Durchschnittliche Ertragszunahme innerhalb der Modulreihen: +77 %

# Flexible Anpassung an landwirtschaftliche Nutzung

- **Reihenabstände** können zwischen ca. **6m** und **20m** variieren
- Je nach örtlicher Gegebenheit **1-3 Modulreihen** übereinander installierbar
- **Reihenausrichtung** kann an Gelände- oder Bewirtschaftungsrichtung angepasst werden
- Anpassung an verschiedene Anforderungen:
  - Weidetierhaltung: Besonders geschützte Verlegung der Kabel
  - Anfahrtschutz sensibler Bereiche (Kabel und Wechselrichter)
  - Ausgestaltung als Solarzaun



# Agenda

Überblick

Energiewirtschaftliche Aspekte

Landwirtschaftliche Aspekte

**Ökologische Aspekte**

Solarzaun

Wirtschaftlichkeit/Zusammenfassung



# Ökologie: Eingriff ... ?

- Keine Versiegelung und fast **keine Überbauung**
  - Der Überbauungsgrad beträgt unter 1%
  - Vergleichswert konventionelle Anlagen: 50-60%
- Unveränderter Wasserhaushalt
  - Nahezu keine Konzentrationswirkung der Solarmodule
- Nur geringer Entzug solarer Strahlungsleistung
  - In der Jahresbilanz ca. 15% der Einstrahlung



# Ökologie: ... oder Ausgleich ?

- Die Wertigkeit der Gesamtfläche kann erhöht werden
  - Tendenziell Extensivierung der Nutzung bei Grünland
  - Strukturanreicherung und veränderte Kulturen bei Ackerland
- Unter den Modulreihen entstehen **hochwertige Strukturen**
  - Bereits ohne zusätzliche Maßnahmen vergleichbar mit Blühstreifen
- Zwischen den Modulreihen kann die Nutzung auch großflächig „ökologisiert“ werden
  - Bedeutet Einschränkung der landwirtschaftlichen Nutzung
  - Mischformen möglich, z.B. Blühwiese alle 5 oder 10 Reihen



# Ökologie: ... oder Ausgleich ?

- Gezielte Schaffung von Habitatstrukturen unter den Modulreihen
  - Lesesteinhaufen



- Totholz / Organik

- Feuchtbereiche 



# Erfahrungen

- Solarpark Aasen / BW
  - Standort im Vogelschutzgebiet (insgesamt unproblematisch)
    - Nahrungshabitat u.a. für Rotmilan (keine Einschränkung)
    - Externer Ausgleich für Feldlerche erforderlich (aktuell Monitoring)
  - Vorkommen der streng geschützten Wanstschrecke
    - kein Betroffenheit
  - Überschuss von >400.000 Ökopunkten
    - Ausgleich Landschaftsbildeingriff
- Solarpark Dirmingen / SL
  - Standort im Landschaftsschutzgebiet
  - LRT 6510 – teilweise vorhanden und mit PV weiter entwickelt



# Agenda

Überblick

Energiewirtschaftliche Aspekte

Landwirtschaftliche Aspekte

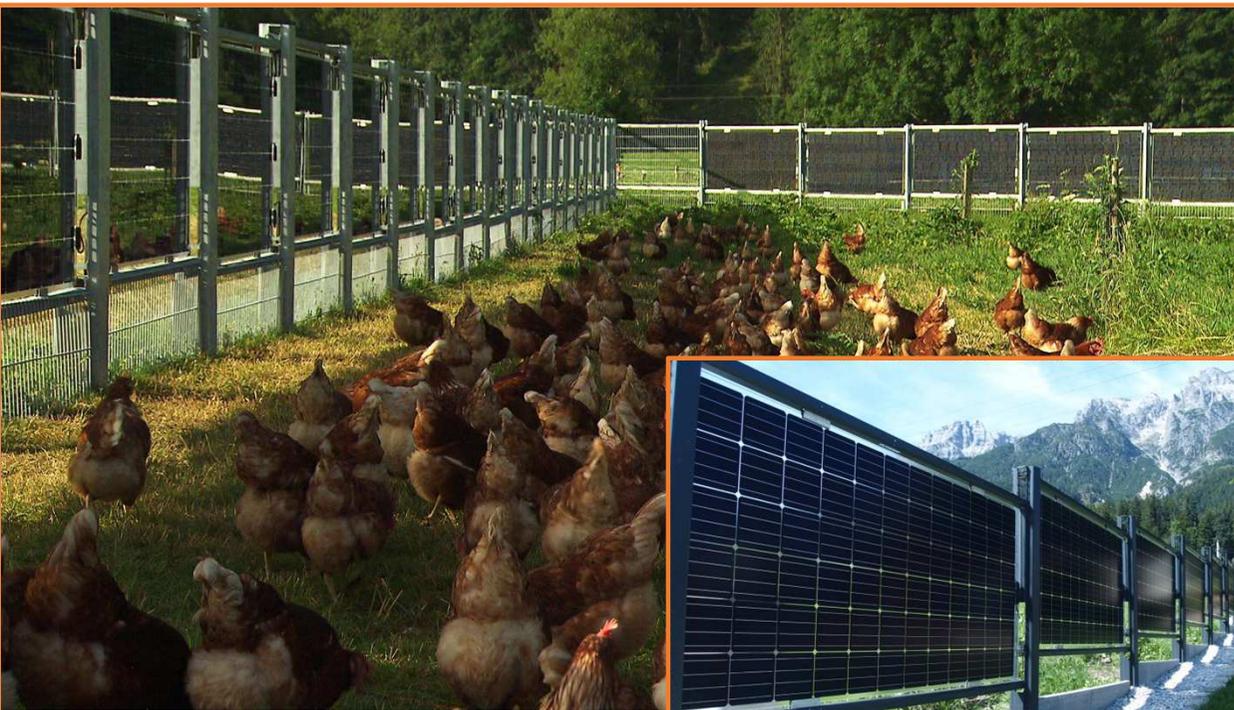
Ökologische Aspekte

**Solarzaun**

Wirtschaftlichkeit/Zusammenfassung



# Solarzaun: Einzäunung & Energieproduktion in einem



- Innovatives Zaunsystem mit Doppelfunktion vereint langlebige Einfriedung mit solarer Stromproduktion
- Für Betriebsgelände, Landwirtschaft, Privatgrundstücke
- Keine Versiegelung und nahezu keine Überbauung
- Große Flexibilität bei der Wahl des unteren Zaunelements



# Agenda

Überblick

Energiewirtschaftliche Aspekte

Landwirtschaftliche Aspekte

Ökologische Aspekte

Solarzaun

**Wirtschaftlichkeit/Zusammenfassung**



# Eckdaten Wirtschaftlichkeit

Beispiel: 5 MW-Anlage	Konventionell	Next2Sun	Bemerkung
Investition (Projekt)	500 - 550 €/kW	550 - 600 €/kW	↑ Module / ↑ Gestell
Stromertrag	~ 1.050 kWh/kW	1.100 bis 1.150 kWh/kW	Je nach Modultechnik
Stromvergütung	Nach Gebot (Ausschreibung)	Nach Gebot + ca. 0,3 ct/kWh	Höherer Marktwert
Fläche Modulfeld +Ausgleich	6 ha +1 ha A+E	14 ha +0 ha A+E	
Flächenkosten	ca. 2-3 €/kW*a	ca. 3-4 €/kW*a	
EK-Rendite 20a	3% bis 5%	3,5% bis 5,5%	
Lebensdauer	25-30 Jahre	30-40 Jahre	Glas-Glas Module

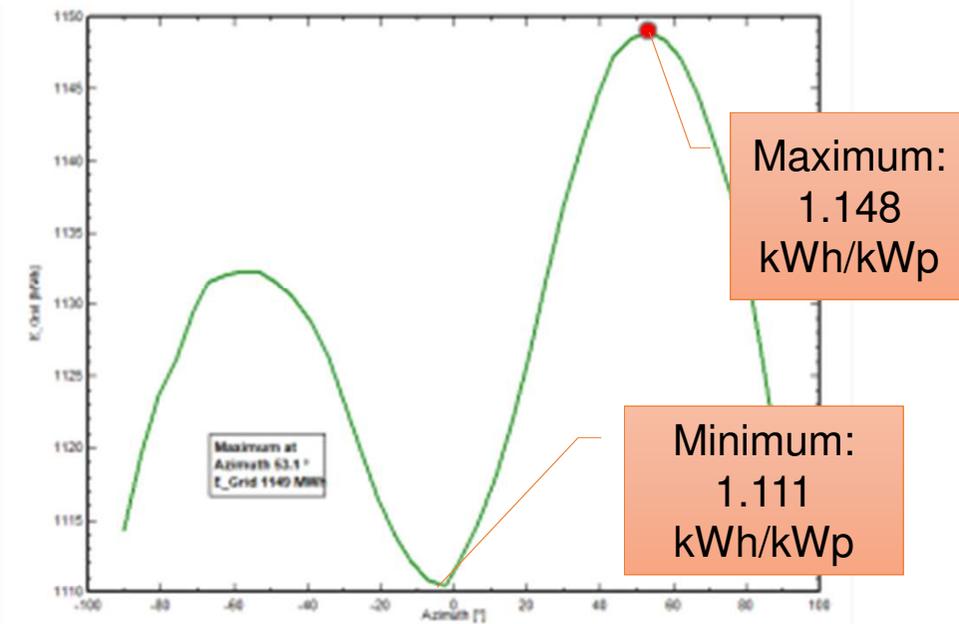
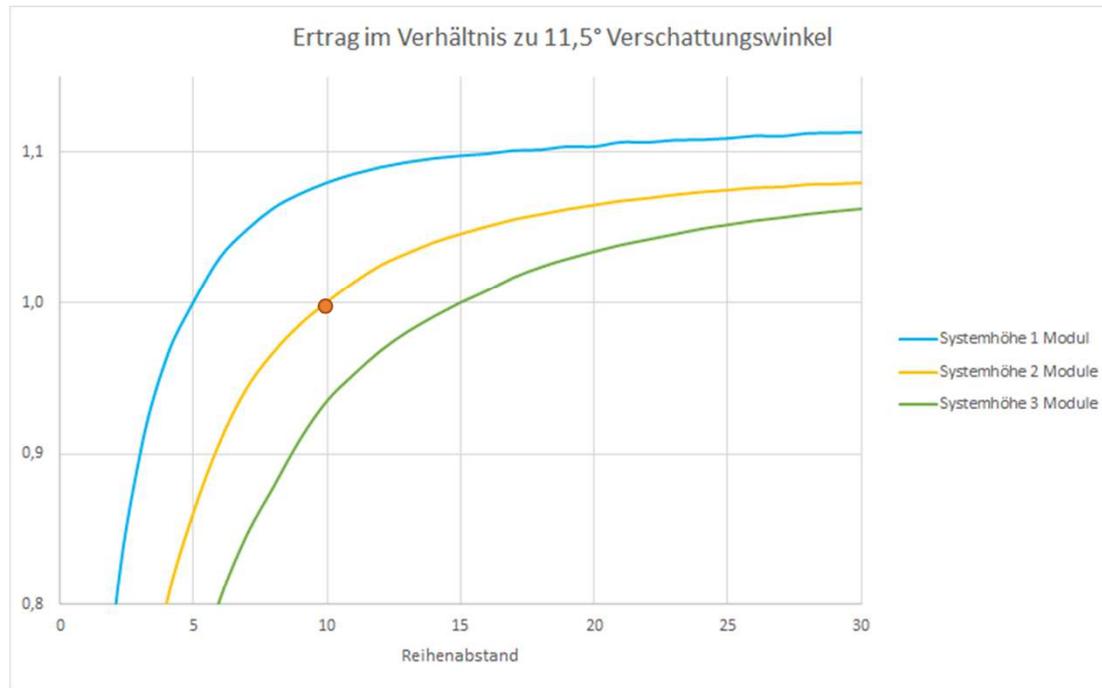


# Zusammenfassung

- **Landwirtschaftliche Flächennutzung** bleibt erhalten
- **PV nicht in Konkurrenz** zu Haupterwerb, sondern in Ergänzung
- **PV passt sich der Landwirtschaft an**, nicht umgekehrt
- **Ökologische Aufwertung** statt zusätzlicher Ausgleichsflächen
- **Netzstabilisierende Wirkung** → ortsnahe Einspeisung
- Auf Strombedarf optimierbares Erzeugungsprofil  
(**Eigenverbrauchsoptimierung**)
- Kombinierbarkeit mit Einfriedung (**Solarzaun**)



# Flexible Anpassung an landwirtschaftliche Nutzung



Germany TMY  
Optimum: 53° Azimuth  
Additional Yield : 2,5%

