LANGFRISTSZENARIEN FÜR DIE TRANSFORMATION DES ENERGIESYSTEMS IN DEUTSCHLAND (LFS4)

Vorstellung Vorabanalyse Bifaciale Photovoltaik | 18.11.2025

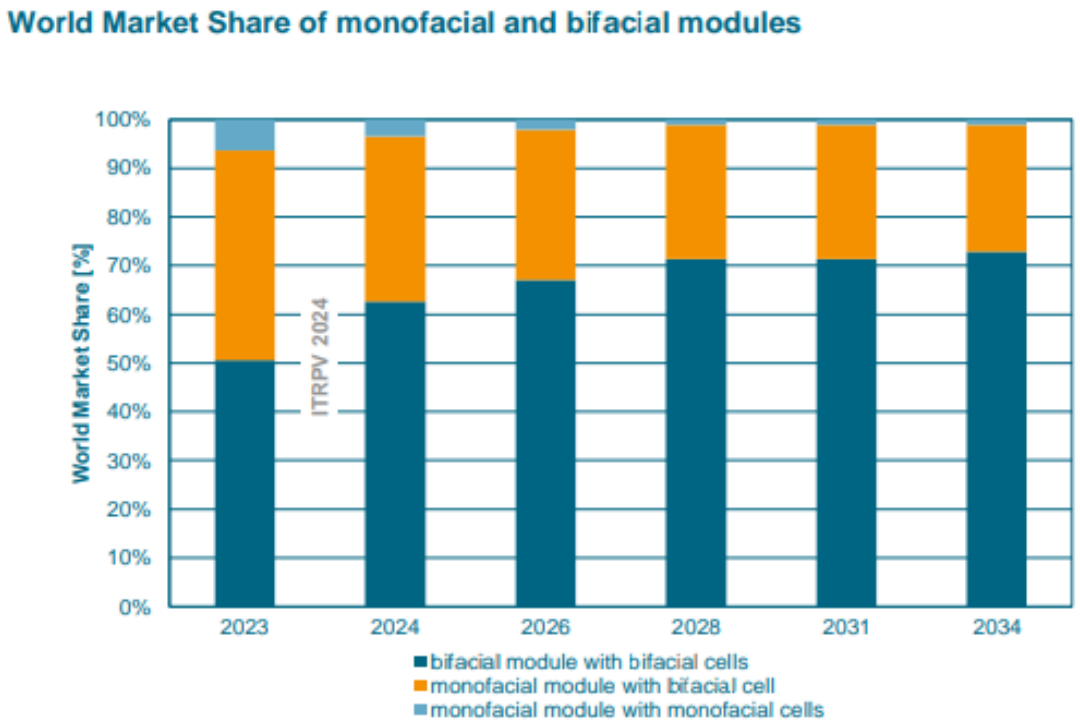
Fraunhofer ISI consentec ifeu TU berlin E&R Energy and Resources

Vorabanalyse: Bifaziale Photovoltaik

- Ausgangslage
  - In LFS3 nur monofaziale Freiflächen-Photovoltaik berücksichtigt
  - Anteil bifaziale Photovoltaik am Weltmarkt bereits 50% mit weiter steigender Tendenz [1]
- Zielsetzung
  - Integration bifazialer Photovoltaik in bestehendes Modell
  - Auswirkungen auf LCOE und Zeitreihen analysieren
- Methodik
  - Erweiterung des Strahlungsmodells
  - Erweiterung des Kostenmodells
- Ergebnisse
  - Bifaziale PV erzielt trotz höherer Systemkosten in ganz Europa niedrigere LCOE
- Auswirkungen auf die nächste Szenarienrunde:
  - Bifaziale PV als neue Standard-Technologie für Freiflächen-PV-Anlagen in LFS4

[1] Fischer et al. (2024, May). International Technology Roadmap for Photovoltaics (ITRPV): Results 2023, 2024 Edition. VDMA Photovoltaics Equipment.

Vorabanalyse: Bifaziale Photovoltaik Relevanz



[1]

[2]

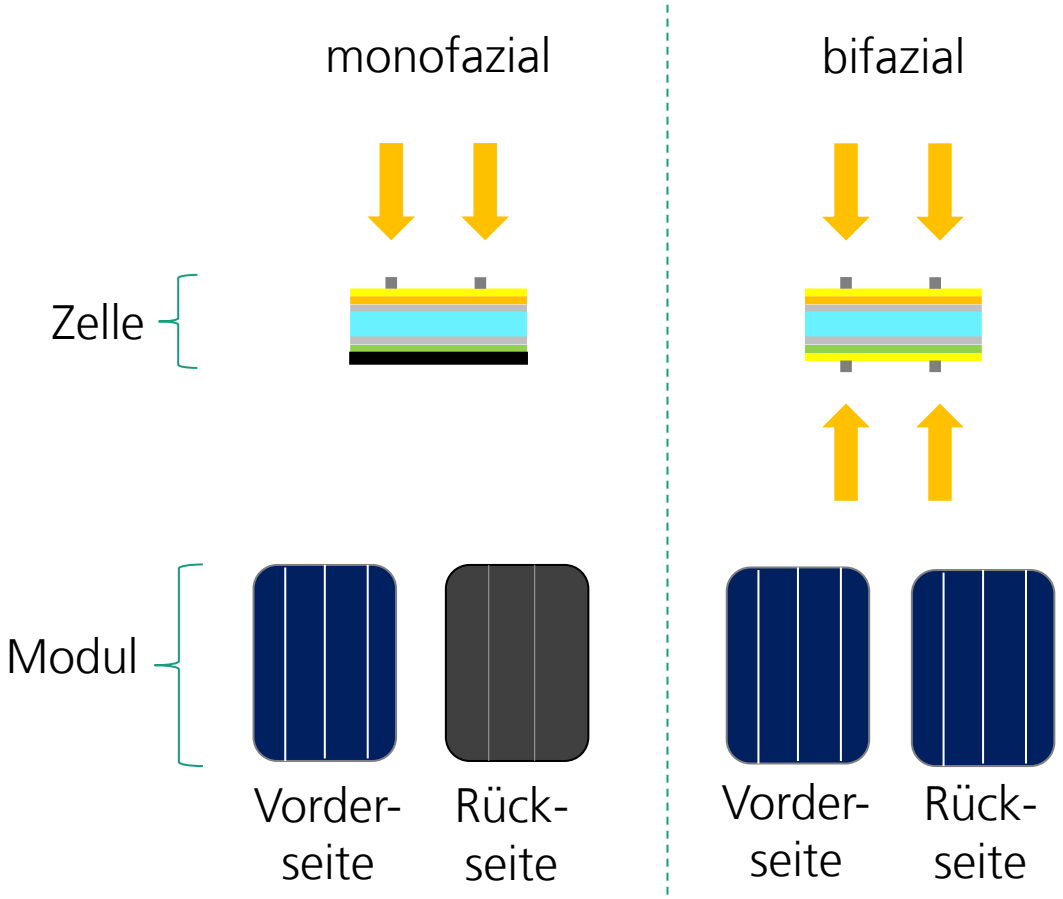
- Anteil bifaziale Photovoltaik am Weltmarkt bereits 50% mit weiter steigender Tendenz

[1] Fischer et al. (2024, May). International Technology Roadmap for Photovoltaics (ITRPV): Results 2023, 2024 Edition. VDMA Photovoltaics Equipment.
[2] Spiske, Markus (2022, November 2). Close-Up Photo of Solar Panels. https://www.pexels.com/photo/close-up-photo-of-solar-panels-14384697/

Vorabanalyse: Bifaziale Photovoltaik

- Erfassung und Nutzung der Strahlung auf der Vorder- und Rückseite des Moduls
  - Höherer Energieertrag
  - Erweiterung des Einstrahlungsmodells
- Alternative Zell-/Modulprozessierung
  - Zusätzliche Kosten
  - Erweiterung des Kostenmodells

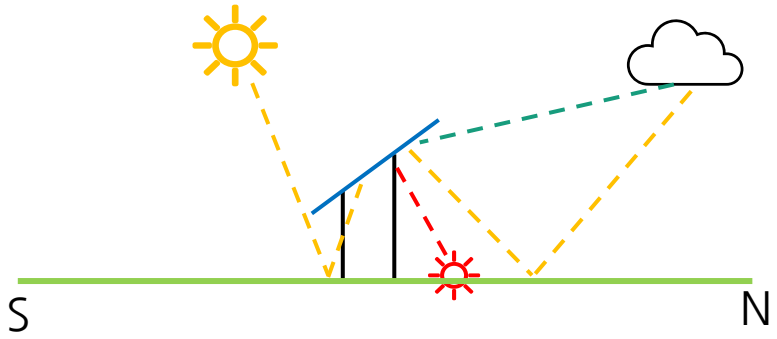
- Welche veränderten Erzeugungskosten entstehen?
- Wie verändert sich das Einspeiseprofil?



Vorabanalyse: Bifaziale Photovoltaik Einstrahlungsmodell

Geometrisches Einstrahlungsmodell für die Rückseite

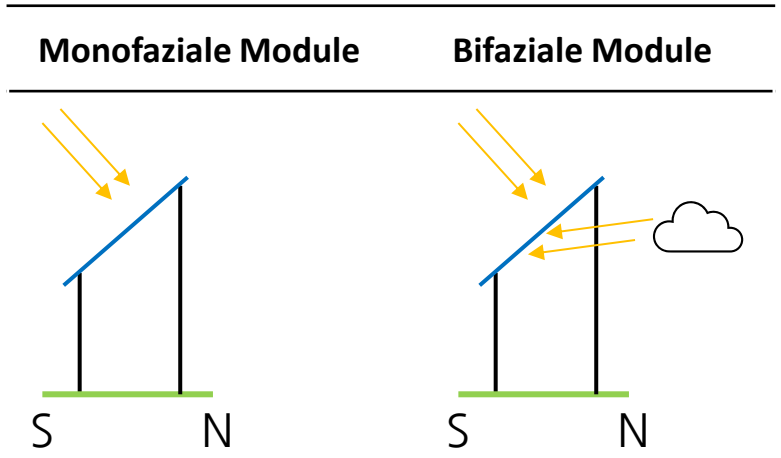
$$I_{t,back} = I_{t,back}^{dir} + I_{t,back}^{dif} + I_{t,back}^{Ground}$$



- Berücksichtigung zusätzlicher direkter und diffuser Einstrahlung auf die Rückseite der Module
- Regionaler Albedo-Werte auf Basis der jeweiligen Landnutzungskategorie

land type	albedo
barren land	0.33
croplands	0.17
shrubland	0.20
forest	0.13
grass	0.20
snow	0.68

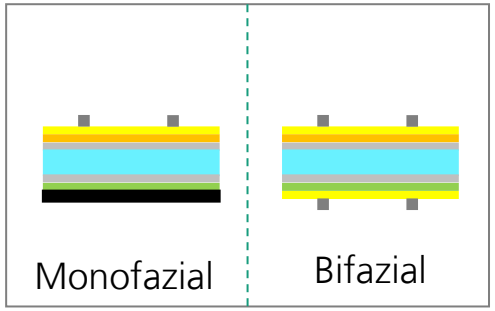
Vorabanalyse: Bifaziale Photovoltaik Kostenmodell



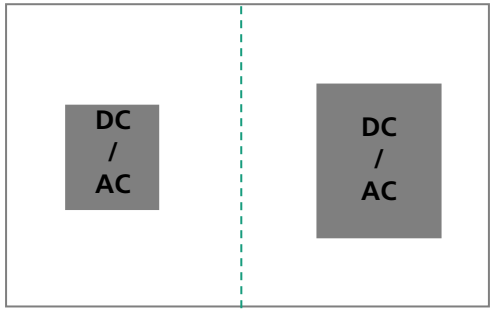
- Modellendogene Wahl zwischen monofazialen und bifazialen Modulen und den entsprechenden Wechselrichtern

Einordnung

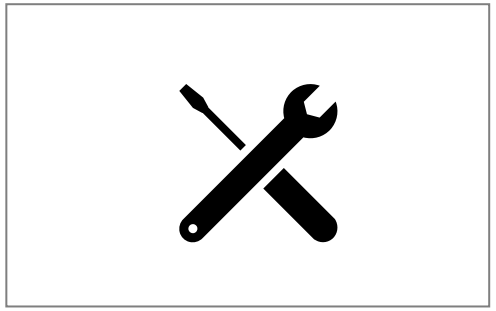
- Gesamtsystemkosten für bifaziale Systeme 8% höher als für monofaziale Systeme angenommen
  - Kapitalkosten 12% höher als für monofaziale Module
  - Gleiche Betriebskosten für monofaziale und bifaziale Systeme angenommen



Module

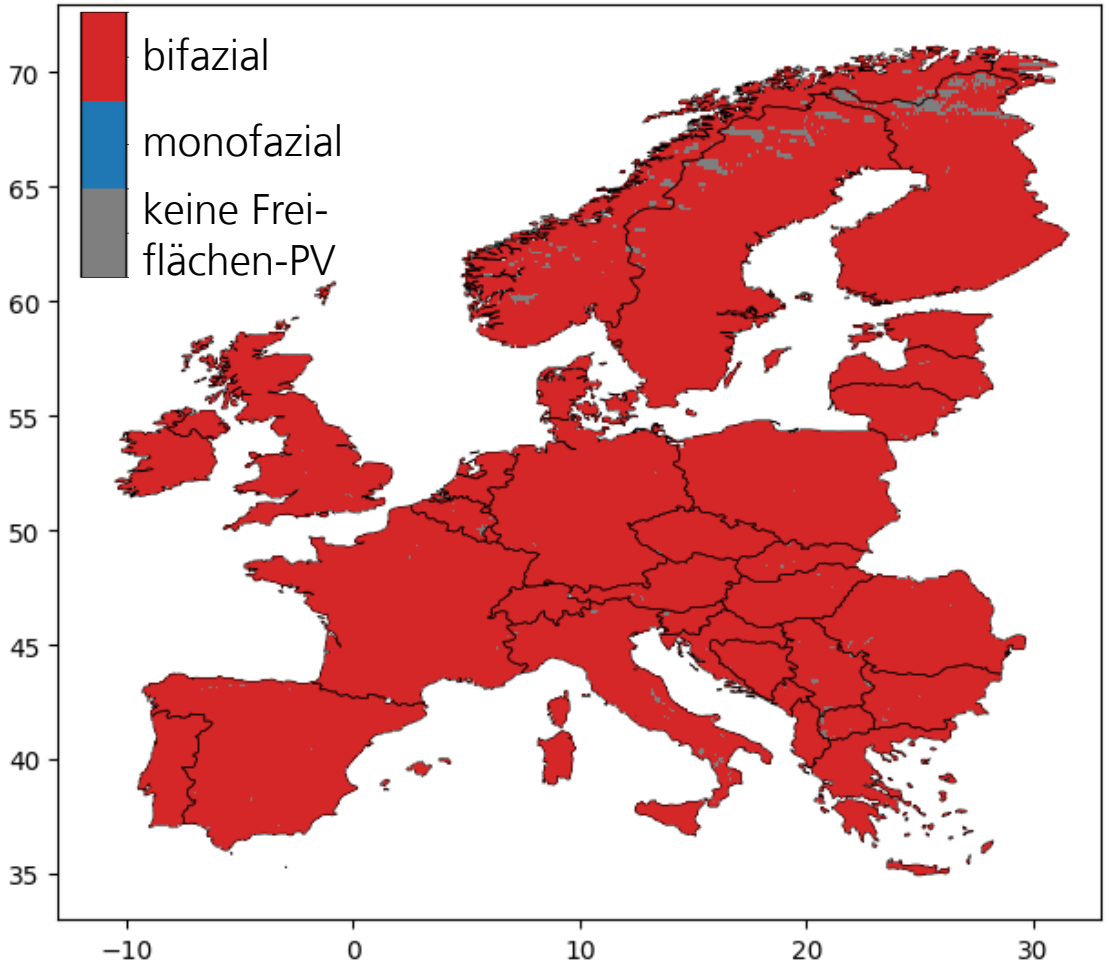


Wechselrichter



Restliche Systemkosten

Vorabanalyse: Bifaziale Photovoltaik
Technologiewahl Freiflächen-PV: monofazial vs. bifazial



Erkenntnisse

- Bifaziale PV in ganz Europa Technologie mit geringeren LCOE
- Ausnahmen (graue Gebiete) sind Regionen, in denen keine Freiflächen-PV installiert werden kann/darf (z.B. Städte, Seen, Naturschutzgebiete)

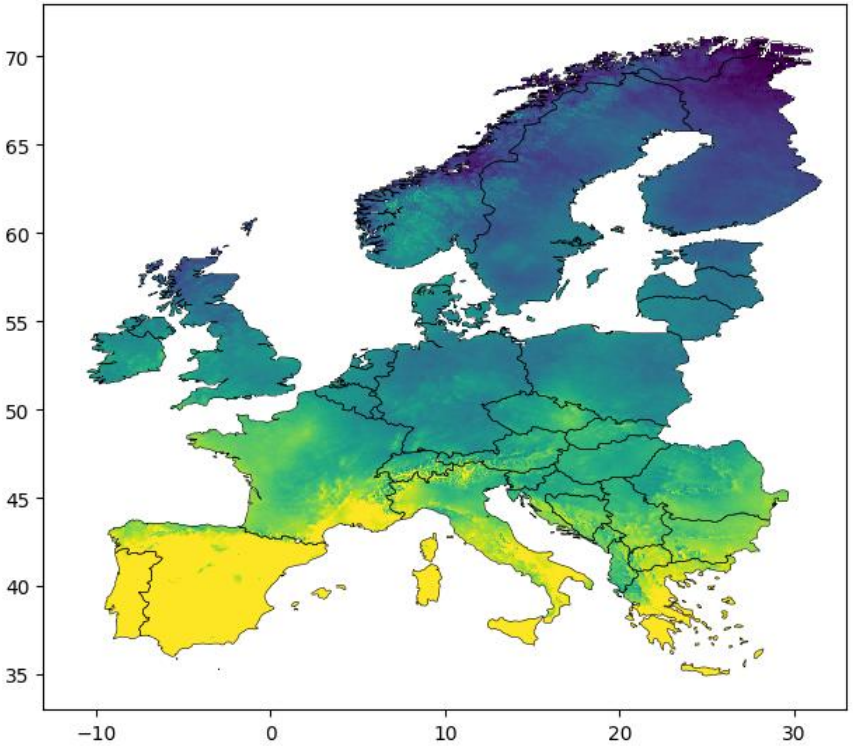
Einordnung

- Gesamtsystemkosten für bifaziale Systeme 8% höher als für monofaziale System angenommen

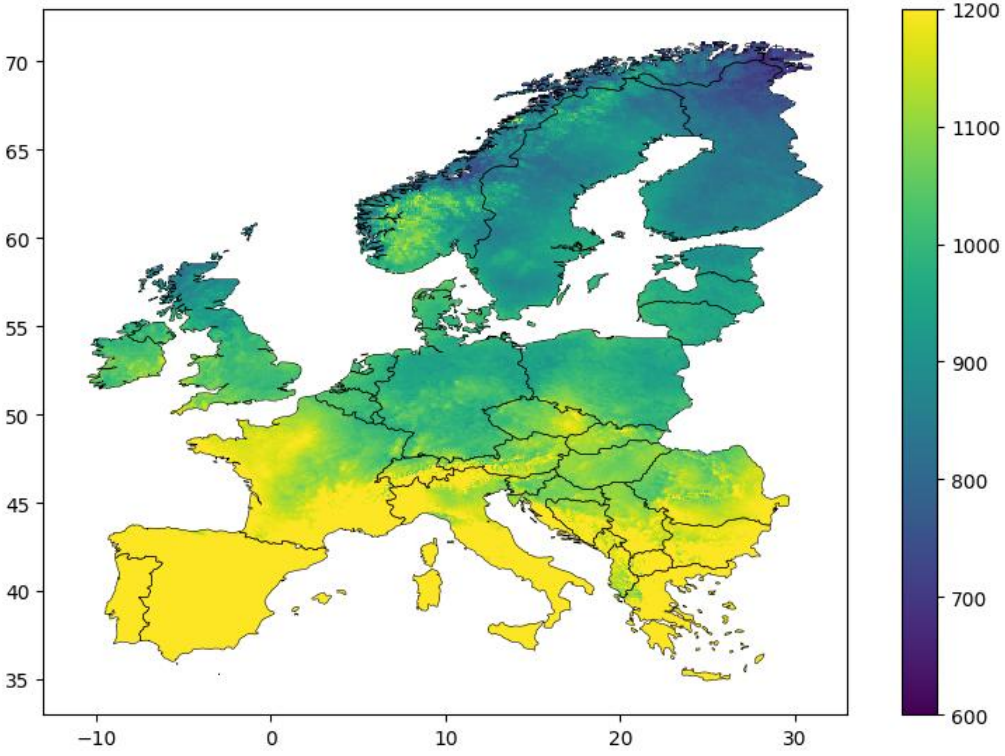
Schlussfolgerungen

- Höherer Energieertrag der bifazialen Module überwiegt höhere Investitionskosten

Vorabanalyse: Bifaziale Photovoltaik Volllaststunden 2045



monofazial

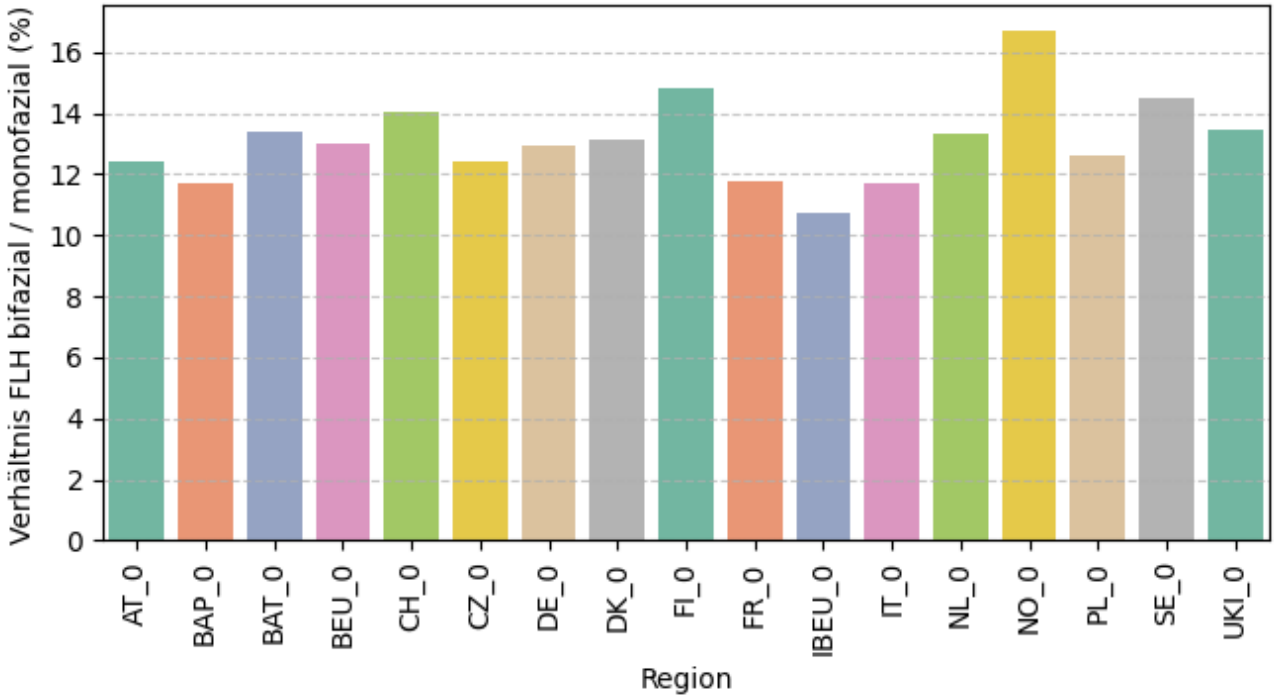


bifazial

Erkenntnisse

- Ca. 11-14% höhere Anzahl FLH mit bifazialen Modulen für die meisten Regionen

Vorabanalyse: Bifaziale Photovoltaik Volllaststunden 2045



Erkenntnisse

- 11-14 % höhere Anzahl an FLH mit bifazialen Modulen für die meisten Regionen
- In Norwegen sogar > 16%

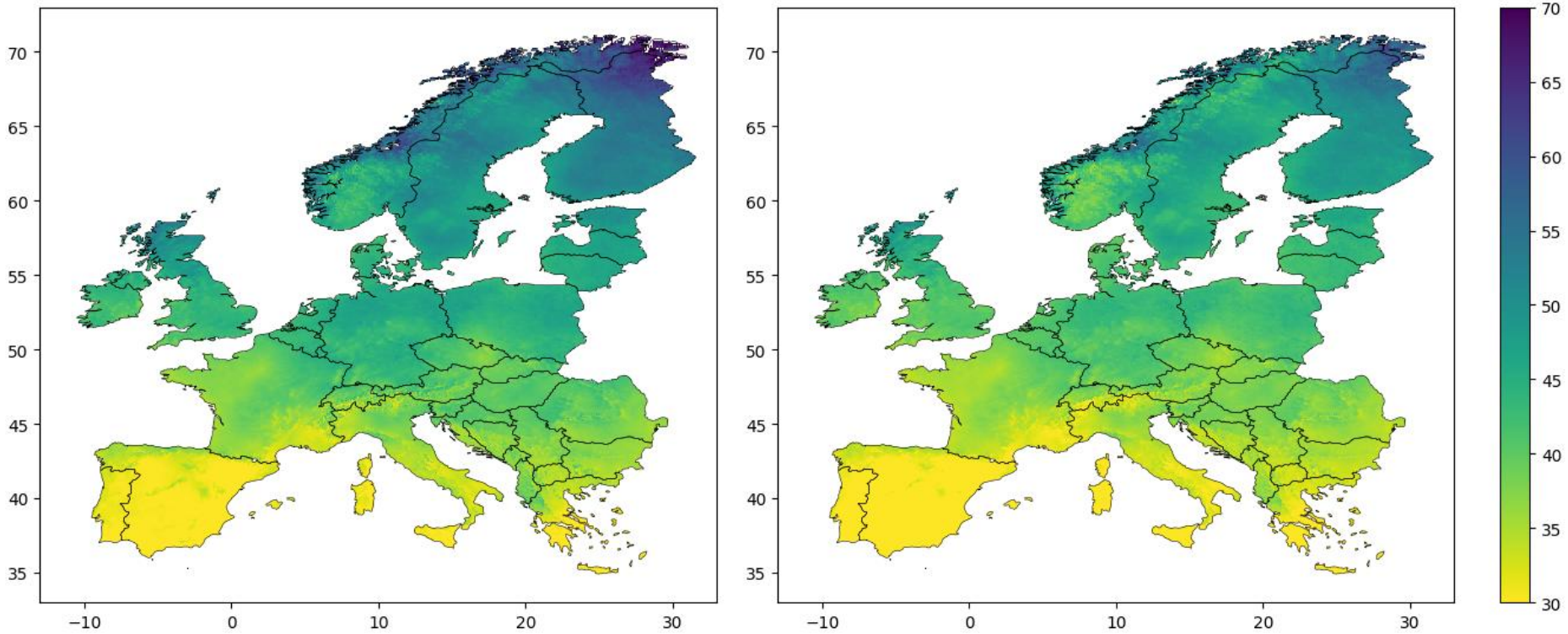
Einordnung

- In Norwegen höherer Albedo durch viel Brachland (barren)

Schlussfolgerungen

- In allen europäischen Regionen erzielen bifazialen Module einen höheren Energieertrag
- Höherer diffuser Strahlungsanteil im Norden bevorzugt zusätzlich bifaziale Module

Vorabanalyse: Bifaziale Photovoltaik Stromgestehungskosten 2045



monofazial

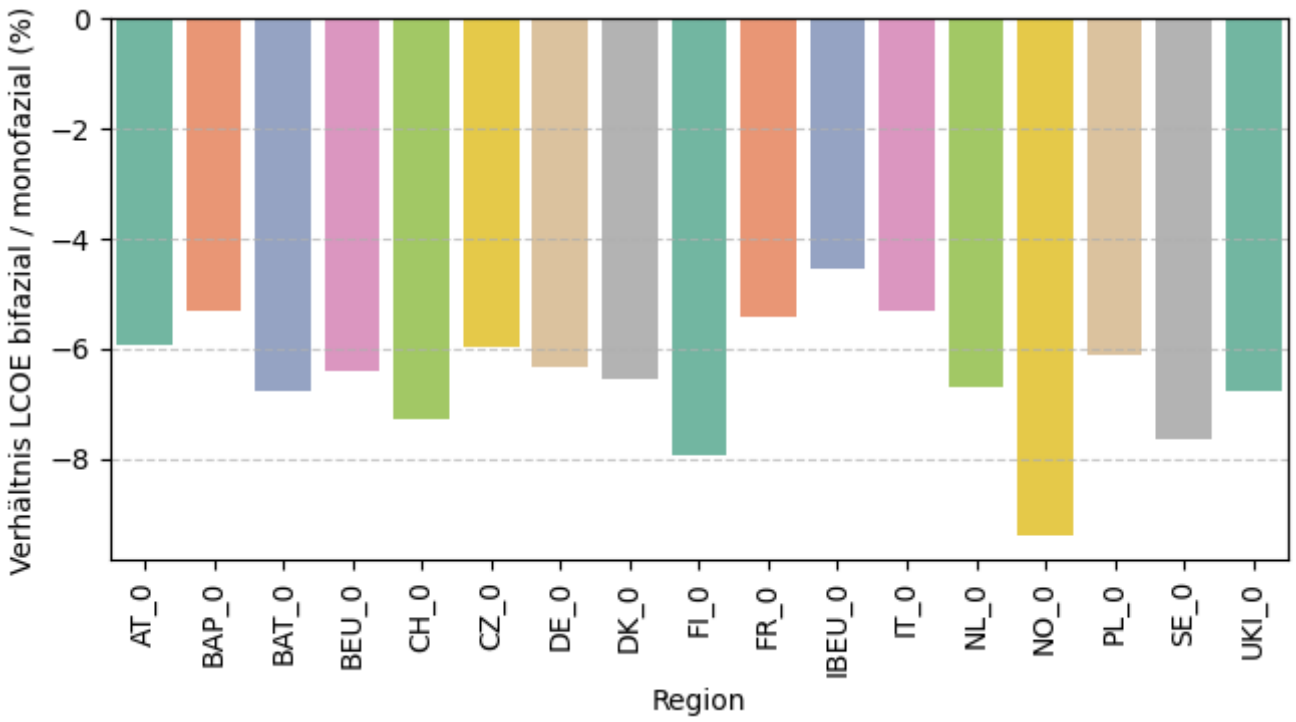
bifazial

Erkenntnisse

- Ca. 5-8% geringere LCOE mit bifazialen Modulen für die meisten Regionen

Fraunhofer ISI consentec ifeu TU berlin E&R Energy and Resources

Vorabanalyse: Bifaziale Photovoltaik Stromgestehungskosten 2045



Erkenntnisse

- 5-8 % geringere LCOE mit bifazialen Modulen für die meisten Regionen
- In Norwegen sogar < -9%

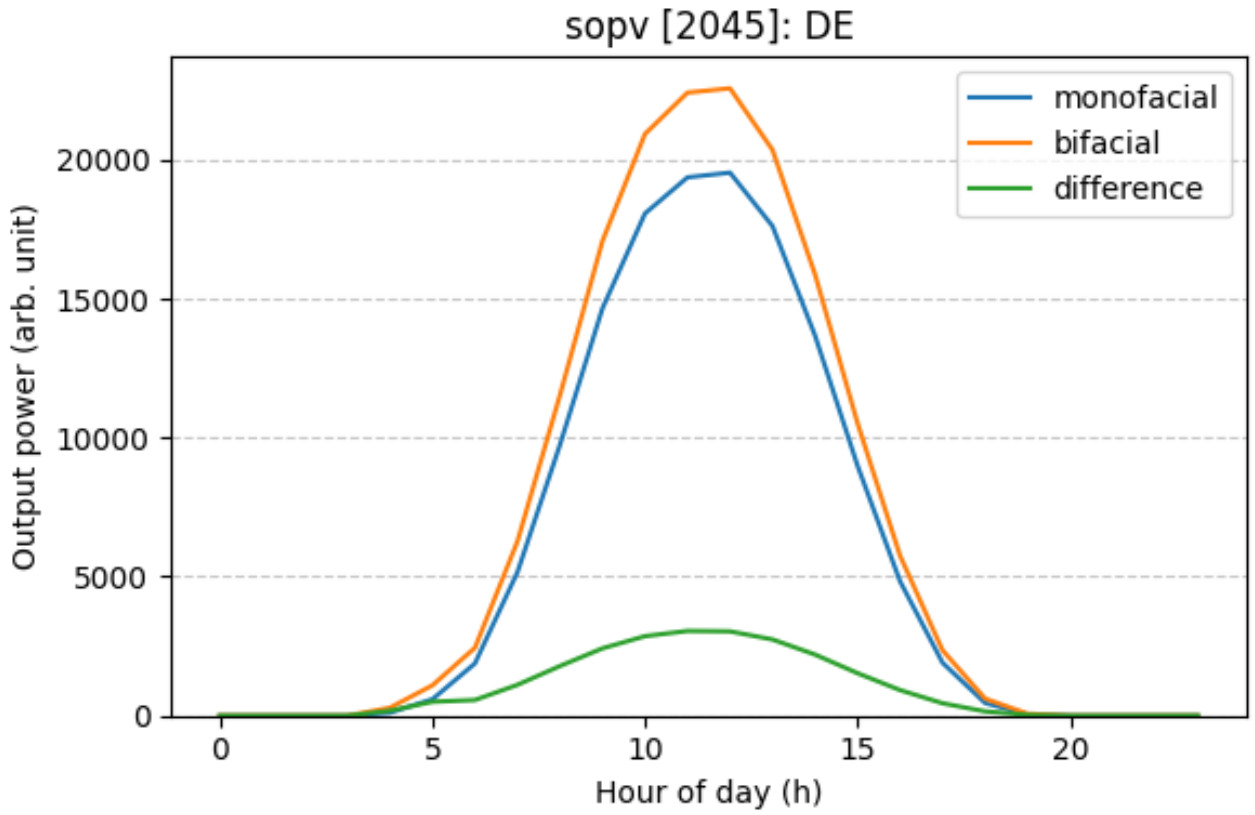
Einordnung

- In Norwegen höherer mittlerer Albedo durch viel Brachland (barren)
- Gesamtsystemkosten für bifaziale Systeme 8% höher als für monofaziale Systeme angenommen

Schlussfolgerungen

- Höherer Energieertrag der bifazialen Module überwiegt höhere Systemkosten in allen europäischen Regionen
- Höherer diffuser Strahlungsanteil im Norden bevorzugt zusätzlich bifaziale Module

Vorabanalyse: Bifaziale Photovoltaik Tagesprofil: Deutschland



Erkenntnisse

- Höherer Energieertrag mit bifazialer PV
- Absolute Gewinne v.a. in der Mittagszeit
- Prozentual jedoch größter Gewinn in den Morgen- und Abendstunden

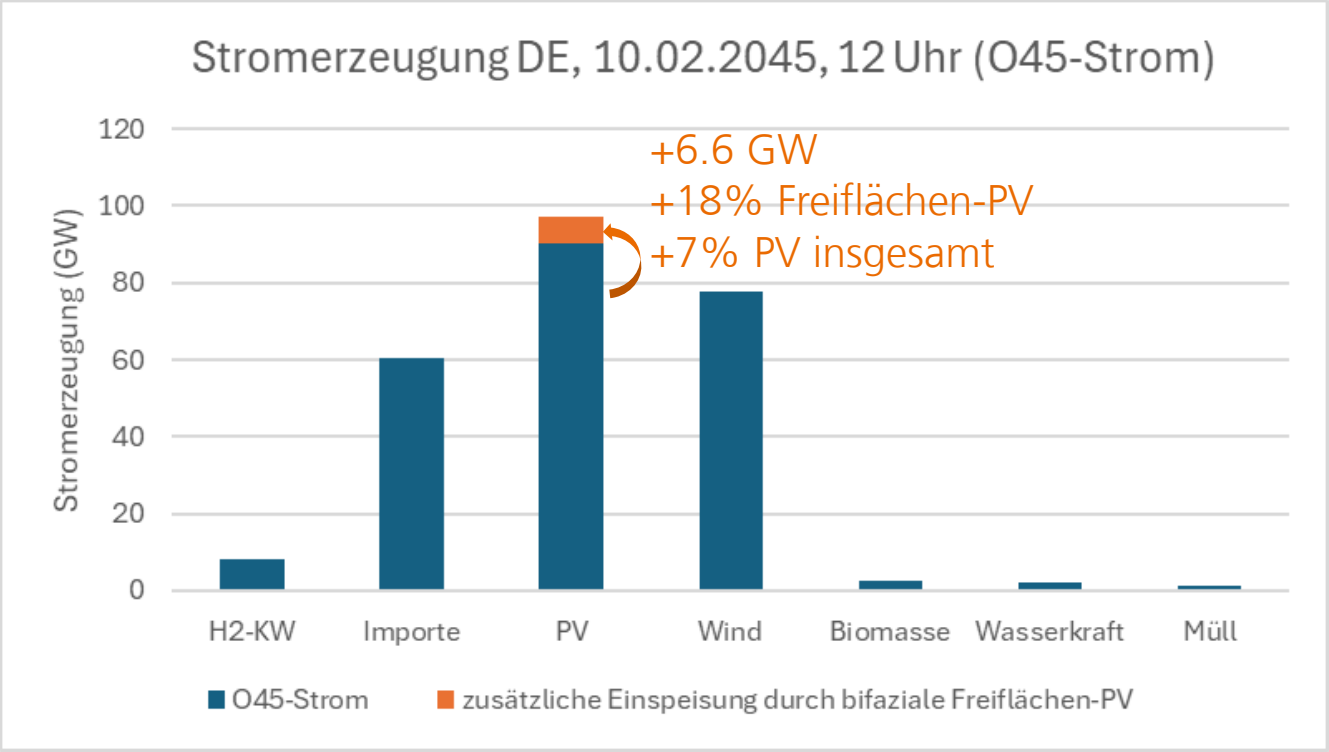
Einordnung

- Jahresmittelwert für jede Stunde des Tages in Deutschland 2045

Schlussfolgerungen

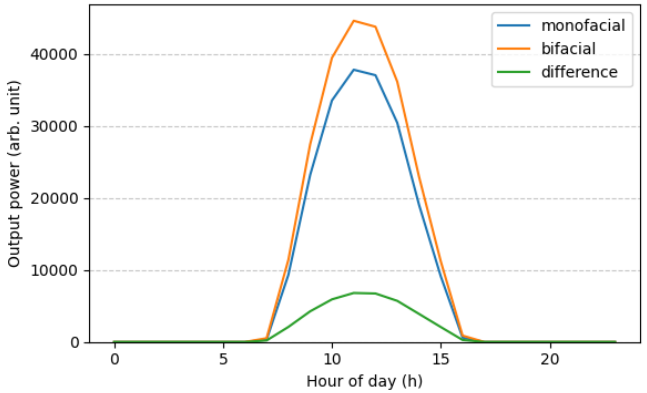
- Bei Anpassung der installierten Leistung (normierter Mittagspeak) minimal verbreitertes Tagesprofil durch Einsatz bifazialer Module
- „0.9 MW bifaziale PV ist etwas systemdienlicher als 1 MW monofaziale PV“

Vorabanalyse: Bifaziale Photovoltaik
Beispiel: Bifaziale PV in O45-Strom

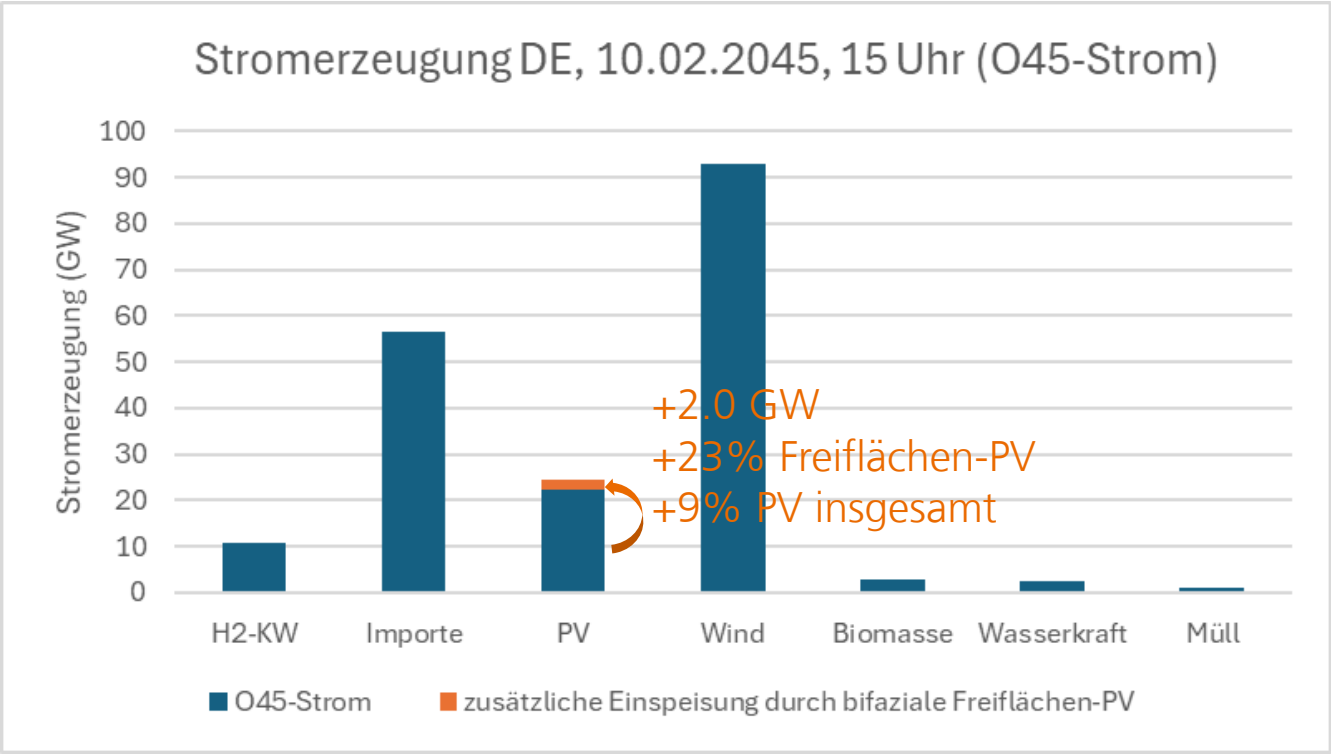


Erkenntnisse

- 6.6 GW zusätzliche Stromerzeugung in DE mit bifazialen Systemen
- 18% höhere Einspeisung der Freiflächen-PV mit bifazialen System
  - 7% höhere PV-Einspeisung insgesamt
- Das entspricht 3.7% der gesamten deutschen Stromerzeugung (ohne Importe) und 11.0% der deutschen Importe zu diesem Zeitpunkt

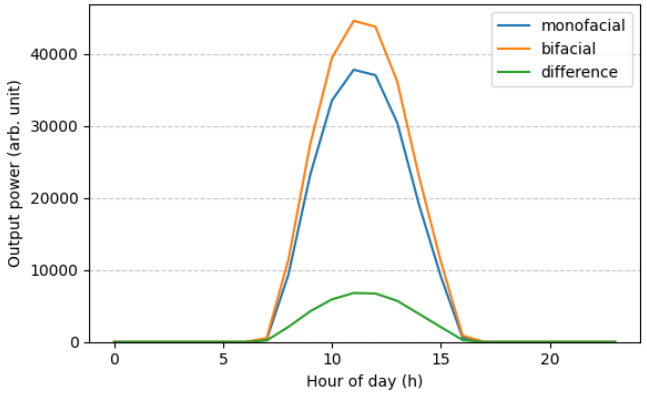


Vorabanalyse: Bifaziale Photovoltaik
Beispiel: Bifaziale PV in O45-Strom

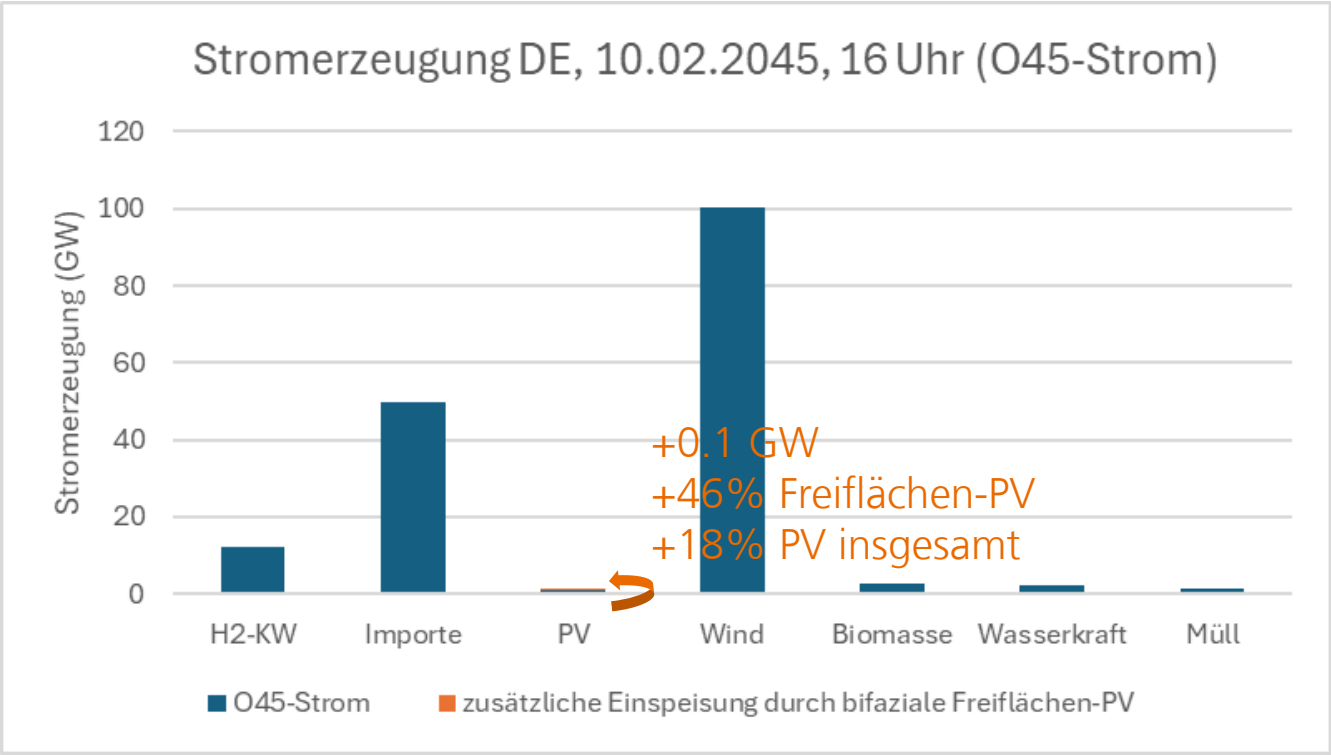


Erkenntnisse

- 2.0 GW zusätzliche Stromerzeugung in DE mit bifazialen Systemen
- 23% höhere Einspeisung der Freiflächen-PV mit bifazialen System
  - 9% höhere PV-Einspeisung insgesamt
- Das entspricht 1.5% der gesamten deutschen Stromerzeugung (ohne Importe) und 3.5% der deutschen Importe zu diesem Zeitpunkt



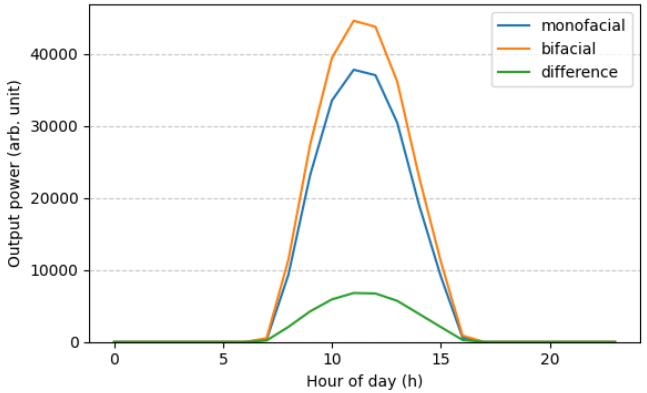
Vorabanalyse: Bifaziale Photovoltaik
Beispiel: Bifaziale PV in O45-Strom



- Das Beispiel verdeutlicht nochmal: Absolute Gewinne durch bifaziale Systeme in der Mittagszeit am größten, relative Gewinne jedoch in den Morgen- und Abendstunden am größten.

Erkenntnisse

- 0.1 GW zusätzliche Stromerzeugung in DE mit bifazialen Systemen
- 46% höhere Einspeisung der Freiflächen-PV mit bifazialen System
  - 18% höhere PV-Einspeisung insgesamt
- Das entspricht 0.1% der gesamten deutschen Stromerzeugung (ohne Importe) und 0.3% der deutschen Importe zu diesem Zeitpunkt



Vorabanalyse: Bifaziale Photovoltaik

- Schlussfolgerungen
  - Bifaziale PV erzielt trotz höherer Systemkosten in ganz Europa niedrigere LCOE
  - Geringfügige Einflüsse auf das Tagesprofil der PV-Einspeisung
    - Absolute Gewinne v.a. in der Mittagszeit
    - Prozentual jedoch größter Gewinn in den Morgen- und Abendstunden

- Auswirkungen auf die nächste Szenarienrunde:
  - Bifaziale PV als neue Standard-Technologie für Freiflächen-PV-Anlagen in LFS4