

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



LINDA<sup>2.0</sup>

# Prognose der Einspeisung aus PV-Anlagen mithilfe von Wettervorhersagen

Graz | 15.02.2024 | 08:20 – 10:00 Uhr | Session D2

Tobias Lechner



Fakultät  
Elektrotechnik

# Agenda

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



LINDA<sup>2.0</sup>

- Motivation
- Betrieb der konventionellen und hybriden NEA
- Problemstellung Vorhersage PV-Einspeisung
- Methodik
- Ergebnisse
- Fazit
- Ausblick

- LINDA Konzept: Inselnetz mit DEA zur Versorgung von kritischen Infrastrukturen
  - Ausgleich der Wirkleistung über die Frequenz und der Blindleistung über die Spannung im Inselnetz gemäß den in den TAR geforderten Statiken → keine Kommunikation zwischen Inselnetzbildner und Erzeugern und Lasten im Inselnetz nötig
- LINDA 2.0: Übertragung des Konzepts auf Netzersatzanlagen (NEA)  
→ Entwicklung einer hybriden NEA

# Betrieb konventionelle NEA

Gefördert durch:

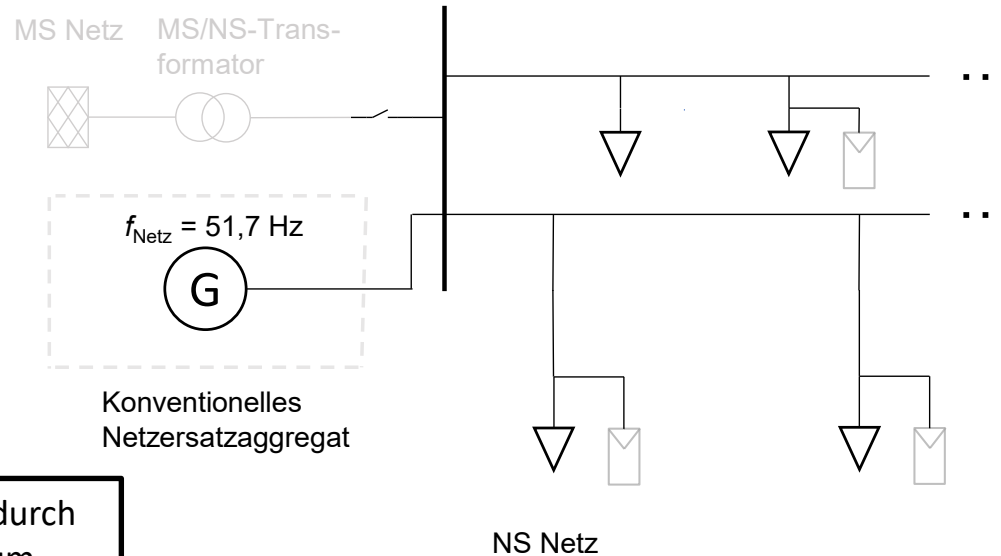


Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# LINDA<sup>2.0</sup>



Trennung der DEA durch erhöhte Frequenz um Lastflussumkehr zu verhindern

# Betrieb hybride NEA

Gefördert durch:

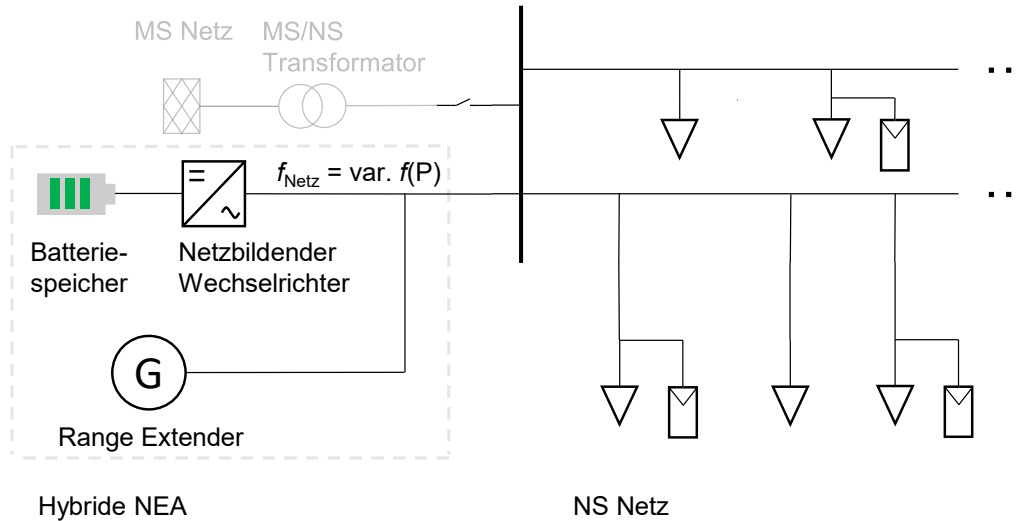


aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# LINDA 2.0

Wechselrichter  
mit Frequenz  
Droop  
Charakteristik;  
Range Extender  
keine netz-  
bildende  
Funktion



Einsatzplanung mithilfe  
eines  
Energiebilanztools  
(Last- und  
Einspeiseprognose)

# Problemstellung Vorhersage PV-Einspeisung

- Für Prognose der PV-Einspeisung ist Klarheitsindex  $k_T$  nötig
- Wettervorhersagen prognostizieren nur den Bedeckungsgrad  $k_D$
- Direkter Vergleich zwischen  $k_T$  und  $k_D$  ist nicht möglich
- Ermittlung eines Verhältnisses zwischen  $k_T$  und  $k_D$
- Überprüfung der Qualität der Wettervorhersage
- Ermittlung des einzuplanenden Fehlers bei der Prognose der PV-Einspeisung mithilfe von Wetterberichten

# Bedeckungsrad und Klarheitsindex

Gefördert durch:

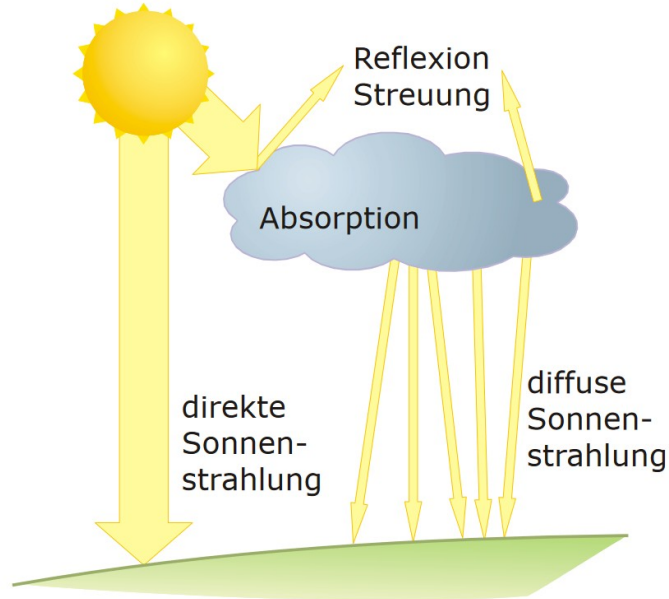


Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



LINDA<sup>2.0</sup>



$$\text{Globalstrahlung } G_h = G_{\text{direkt}} + G_{\text{diffus}}$$

$G_{\text{oh}}$  = Extraterrestrische Strahlung  
parallel zur Erdoberfläche

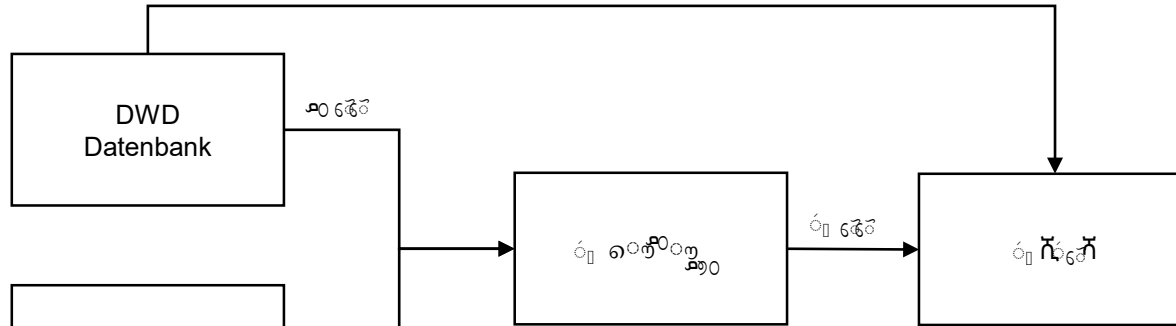
$$\text{Klarheitsindex } k_T = G_h / G_{\text{oh}}$$

Bedeckungsgrad  $k_D$  gibt keinen  
Aufschluss über  
Absorption/Reflexion/Streuung in der  
Atmosphäre (z.B. unterschiedliche  
Wolkendicke, Dunst und Nebel)

Quelle: V. Quaschnig, Regenerative Energiesysteme: Technologie - Berechnung - Klimaschutz, 10. Aufl. München: Hanser, 2019

# Methodik Ermittlung Korrelation $k_T(k_D)$

Gemessene Globalstrahlung  $G_{hDWD}$



Bestimmung des Sonnenstandes und der resultierenden extraterrestrischen Strahlung  $G_{oh\ ber}$



# Methodik Überprüfung Vorhersage

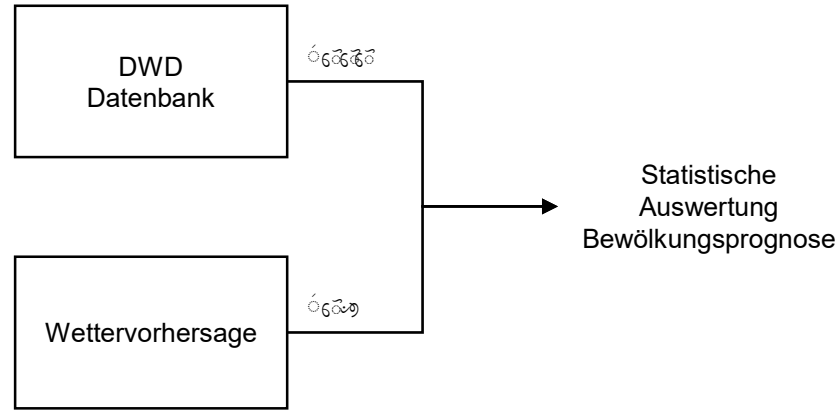
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



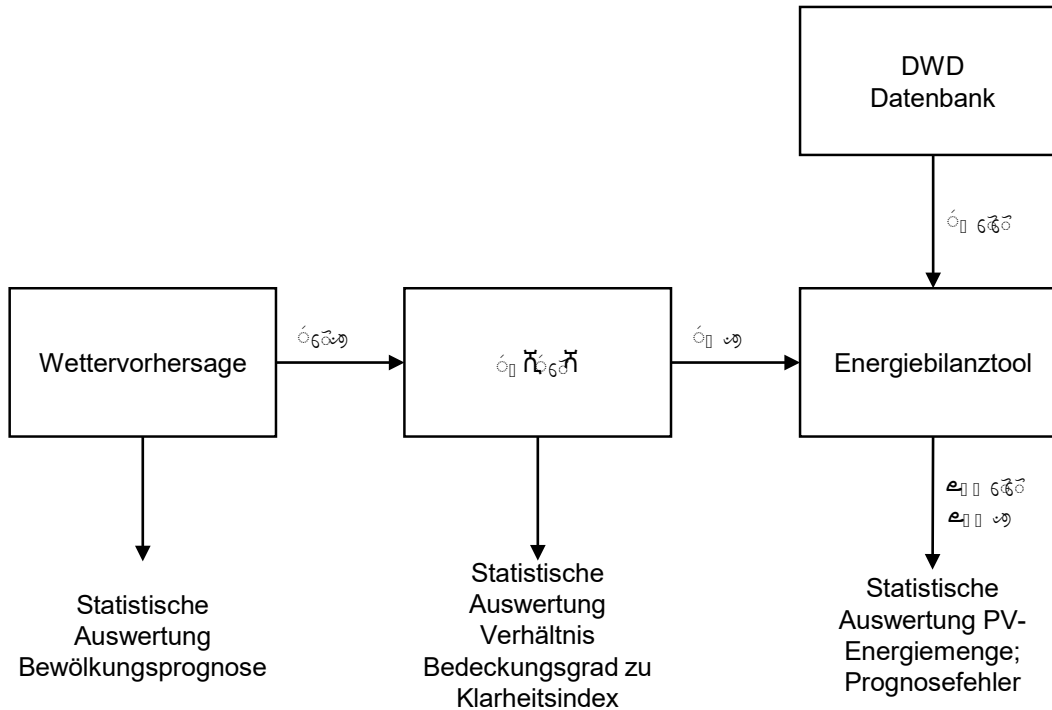
LINDA<sup>2.0</sup>



Wetterabfrage um 00:15 Uhr

- Tagesvorhersage (+ 24 h)
- 1-Tagesvorhersage (+ 48 h)
- 2-Tagesvorhersage (+ 72 h)

# Methodik Ermittlung Prognosefehler

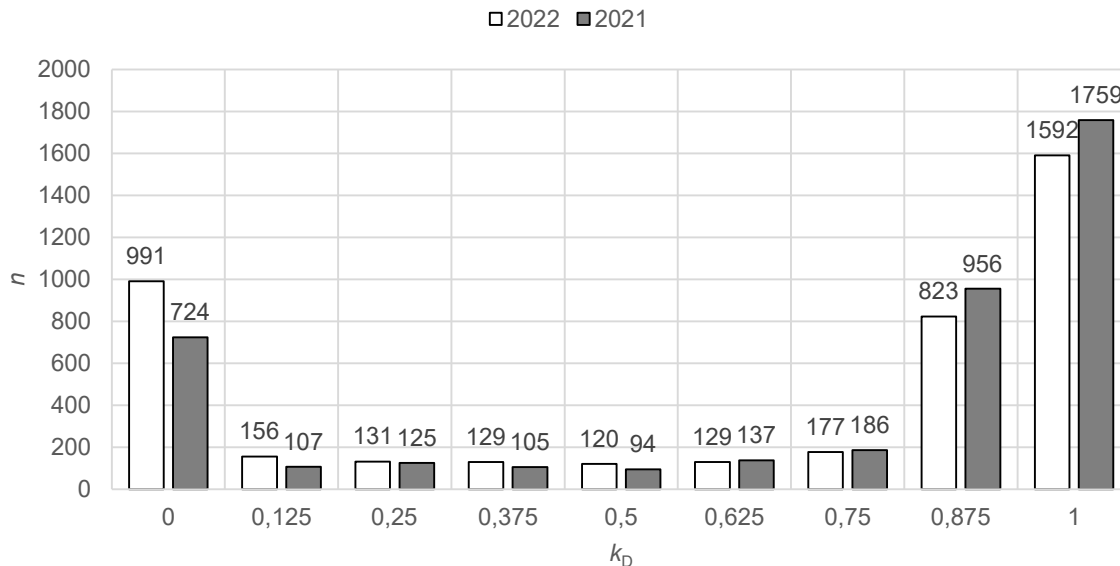


Vier identifizierte und untersuchte Fälle:

1. Unterschätzt
2. Leicht unterschätzt
3. Mittel
4. Überschätzt

# Jährliche Aufteilung der Bedeckungsgrade

Gefördert durch:  
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Viele Werte fallen auf wolkenlos  $k_D = 0$  oder stark bewölkt ( $k_D = 0,875$ ) und bedeckt ( $k_D = 1$ )

# Korrelation $k_T(k_D)$

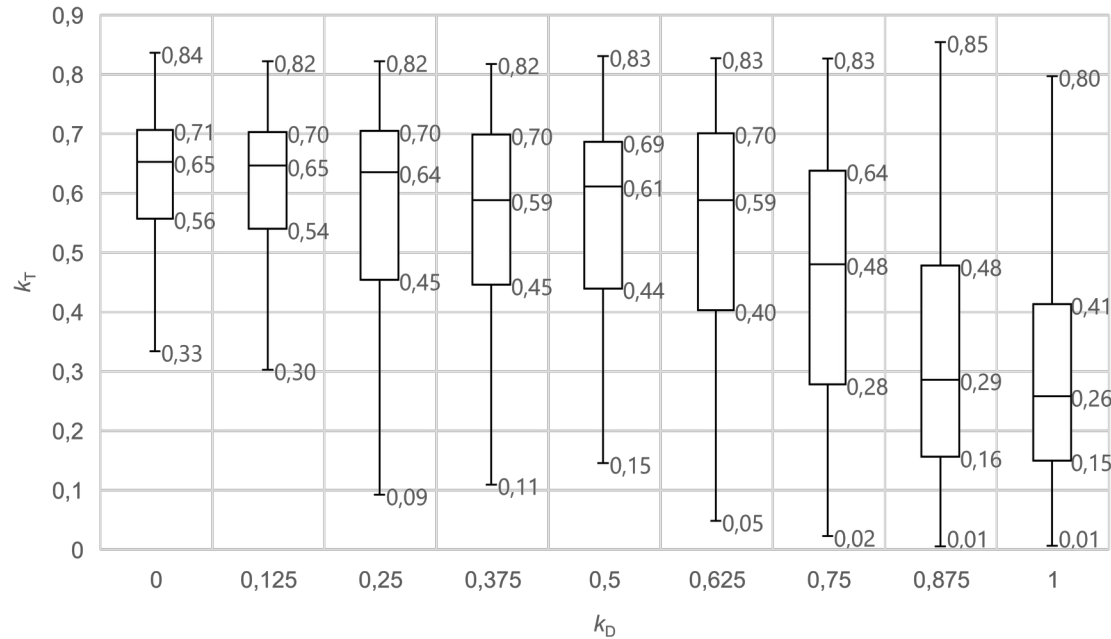
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# LINDA 2.0



# Korrelation $k_T(k_D)$

Gefördert durch:

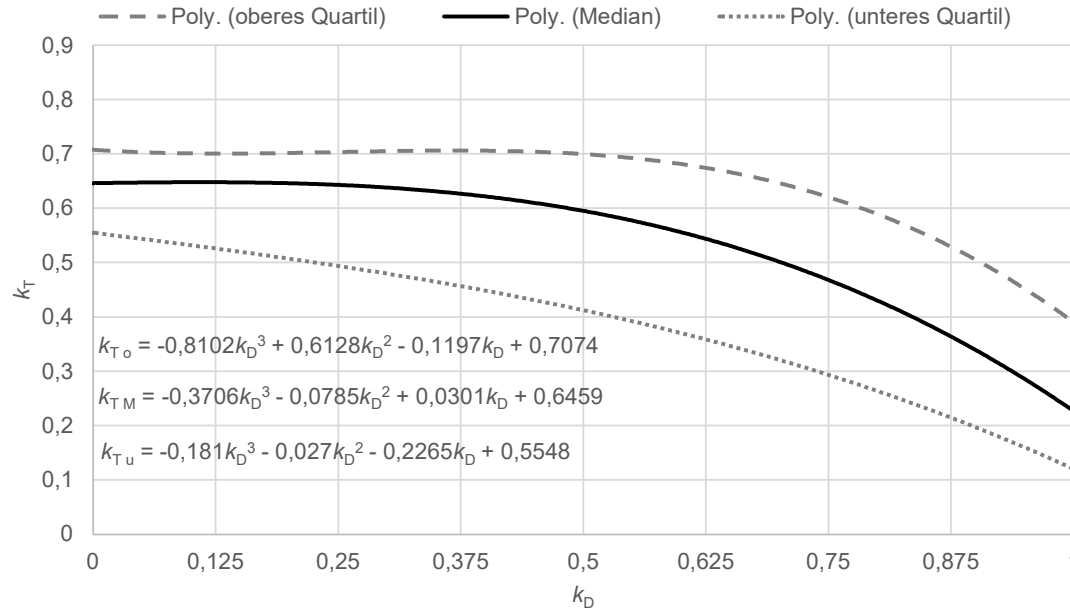


Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

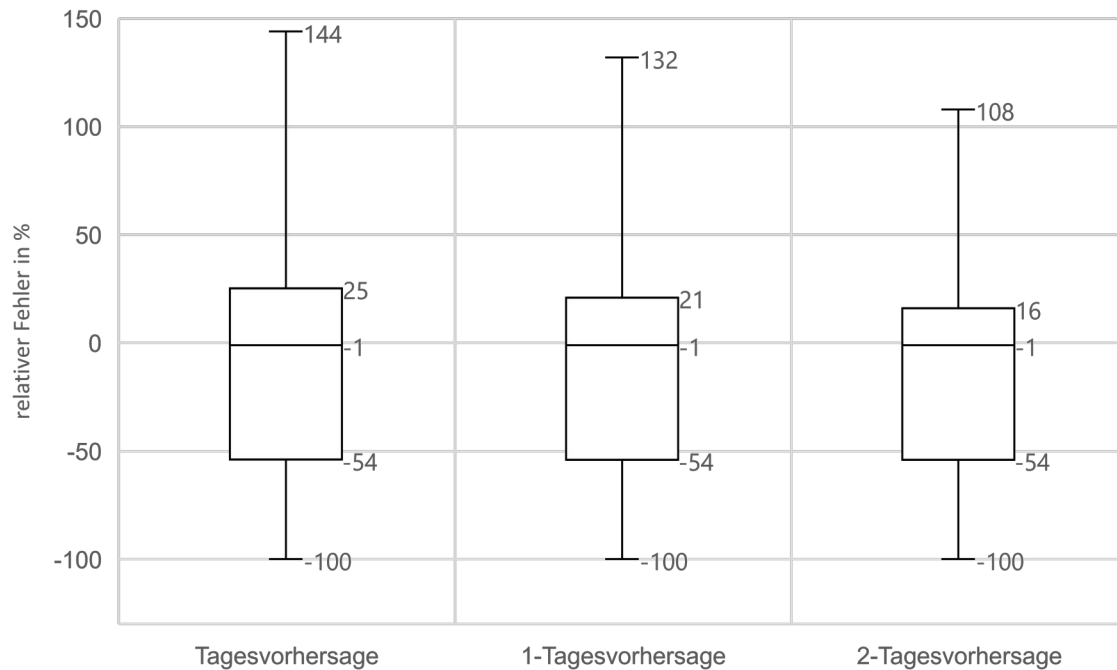


LINDA<sup>2.0</sup>



Auch bei vollständig bedecktem Himmel ( $k_D = 1$ ) wird der Klarheitsindex  $k_T$  nicht Null

# Qualität der Vorhersage



# Fehler der Energieprognose

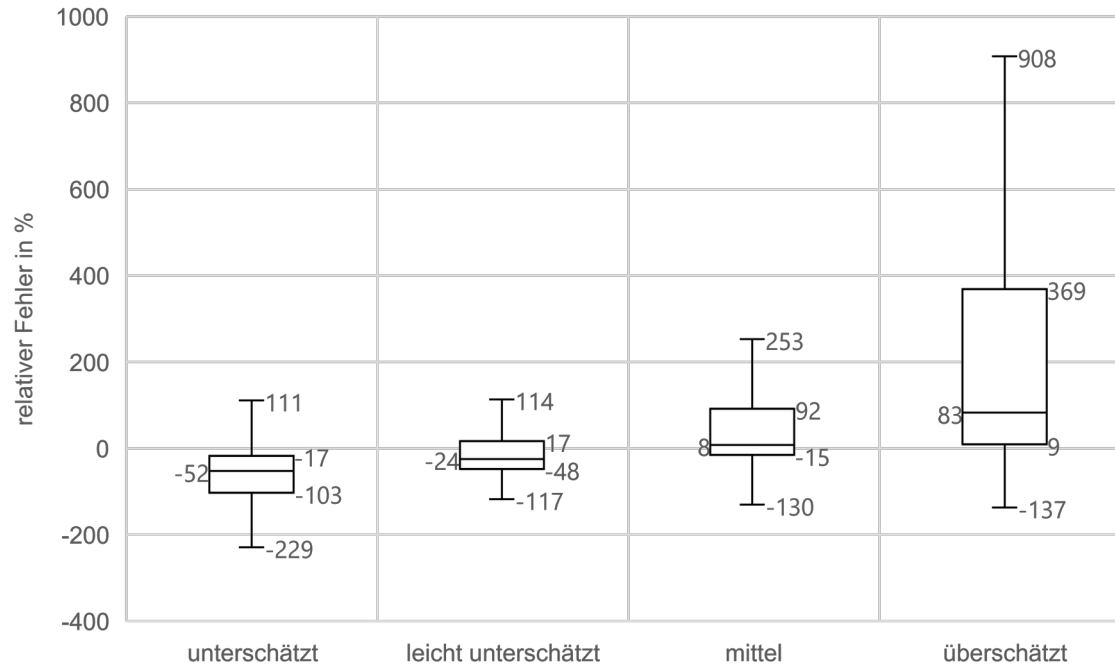
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



LINDA<sup>2.0</sup>



Tagesprognose

- Korrelation konnte aus den Daten ermittelt werden
- Wetterprognosen treffen den Bedeckungsgrad im Median gut
- Geringster Fehler im Median wenn eine mittlere PV-Einspeisung angenommen wird
- Geringste Spannweiten und Interquartilsabstände wenn die PV-Einspeisung leicht unterschätzt wird
- Konservativer Ansatz (Unterschätzung) zu bevorzugen; überschüssige PV-Energiemengen können abgeregelt werden
- Überschätzung der PV-Energiemenge ist kritisch



- Zusammenfassen von mehreren Jahren für monatliche Auswertung einer Korrelation
- Untersuchung der Qualität der Vorhersage anderer Anbieter
- Ersetzen der Vorhersage durch DWD Daten zur Validierung des Tools und der Korrelation
- Validierung durch Feldeinsätze und Messdaten (Korrekturfaktor Ausrichtung PV-Anlagen)
- Übertragbare Methode zur Ermittlung von PV-Einspeisung (allg. Speicherbewirtschaftung, abgeregelte Energiemengen konv. NEA Betrieb, Ausfallarbeit Redispatch 2.0)

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## LINDA<sup>2.0</sup>



Tobias Lechner  
Technische Hochschule Augsburg  
Fakultät für Elektrotechnik  
An der Hochschule 1  
D-86161 Augsburg

Tel.: + 49 821 5586 3596  
[tobias.lechner@hs-augsburg.de](mailto:tobias.lechner@hs-augsburg.de)  
[www.tha.de](http://www.tha.de)