Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

Windenergietage 2025 in Potsdam

Das Referenzertragsmodell und seine (Fehl-) Anreize

Dr. Alexander Basse
Fachgebiet Erneuerbare Energien
Umweltbundesamt

50 Jahre Umweltbundesamt 1974–2024

Inhalte

1. **Das Referenzertragsmodell: Übersicht**

2. **(Fehl-) Anreize des Referenzertragsmodells**
   - Windparklayouts
   - Anlagendesign

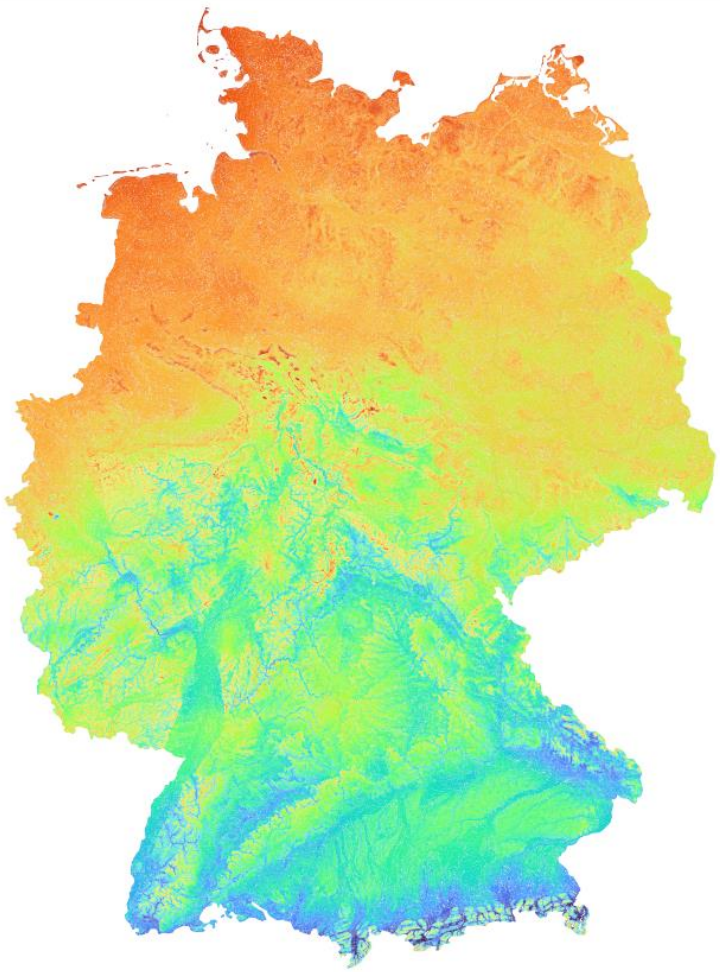
3. **Zusammenfassung und Fazit**

Das Referenzertragsmodell (REM): Übersicht

Hintergrund:

- Im Norden mehr Wind als im Süden
  → im Süden geringere Erträge → geringere Einnahmen
- Ausgleich über REM („Standortdifferenzierung“):
  Anlagen an windschwachen Standorten erhalten eine höhere Förderung (in Ct/kWh)

Primäres Ziel des REM ist ein gleichmäßigerer Ausbau der Windenergie in Deutschland (Einsparungen von Kosten bei Netzausbau, gleichmäßigere Einspeisung, …)



Quelle: eigene Berechnung und Darstellung, Datenbasis: anemos Windatlas

Das Referenzertragsmodell (REM): Übersicht

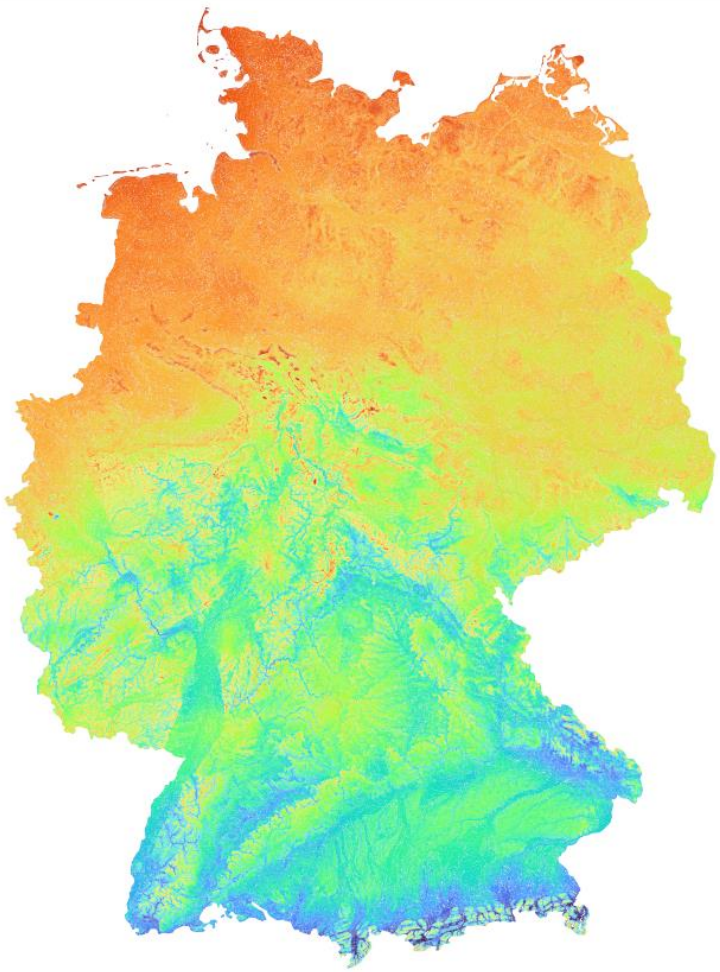
Mechanismus:

1. Bestimmung der **Standortgüte** aus Verhältnis von (geplantem bzw. realem) Ertrag der Anlage am Standort und dem Ertrag, den die Anlage am sog. Referenzstandort* erzielen würde

$$Standortgüte = \frac{Standortertrag}{Referenzertrag}$$

*definiert in EEG Anlage 2 als Standort mit folgenden Windbedingungen:

- Rayleigh-Verteilung
- mittlere Jahreswindgeschwindigkeit von 6,45 m/s auf 100 m
- Vertikalprofil mit Hellmann-Exponenten α = 0,25
- Rauhigkeitslänge von 0,1 m



Quelle: eigene Berechnung und Darstellung, Datenbasis: anemos Windatlas

Das Referenzertragsmodell (REM): Übersicht

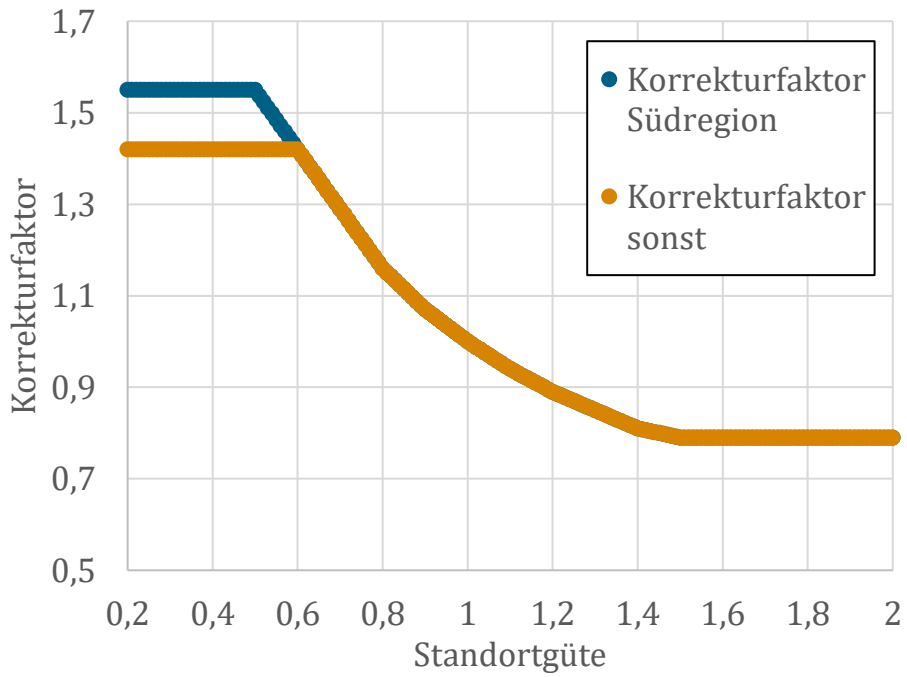
Mechanismus:

1. Bestimmung der **Standortgüte** aus Verhältnis von (geplantem bzw. realem) Ertrag der Anlage am Standort und dem Ertrag, den die Anlage am sog. Referenzstandort* erzielen würde

$$Standortgüte = \frac{Standortertrag}{Referenzertrag}$$

2. Bestimmung des Korrekturfaktors (EEG § 36 h) für die entsprechende Standortgüte

3. Anwendung des Korrekturfaktors auf den anzulegenden Wert (Gebot in der Ausschreibung)



Quelle: eigene Darstellung

Standorte mit niedrigerer Standortgüte erhalten einen höheren Korrekturfaktor, damit einen höheren (korrigierten) anzulegenden Wert und damit eine höhere Förderung in Ct/kWh

Das Referenzertragsmodell (REM): Anreize

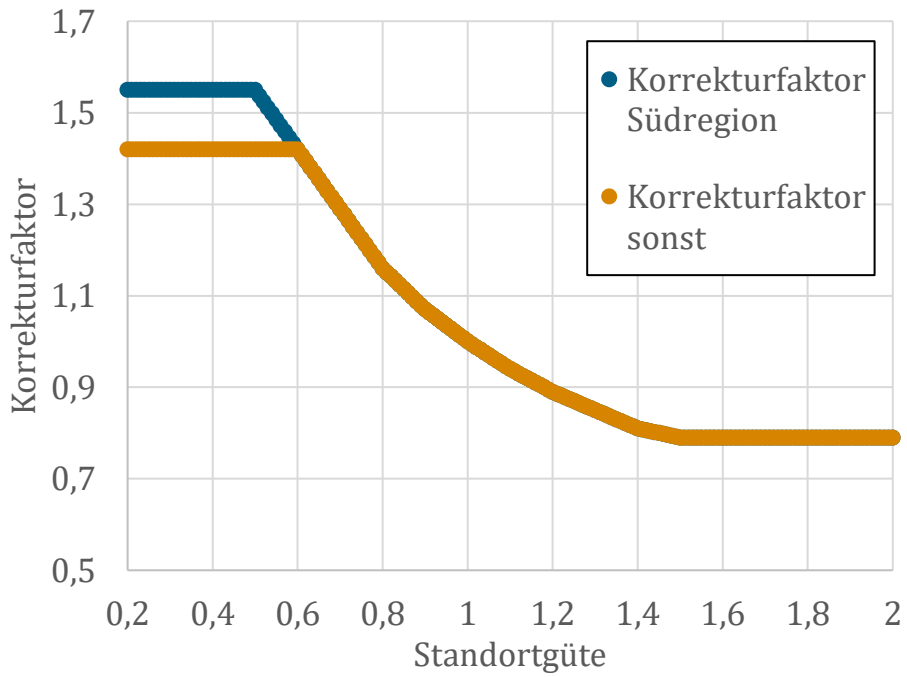
Der Standortertrag entspricht im Wesentlichen dem **realen Ertrag der Anlage**, die Standortgüte bemisst sich also **nicht** an den ungestörten Windbedingungen am Standort

→ Energetische Verluste fließen automatisch ein und reduzieren den Standortertrag und damit die Standortgüte entsprechend

→ Ein Standort wird „schlechter“, je höher die Verluste sind

→ **Energetische Verluste werden durch das REM großteils* kompensiert**

**i. Allg. keine vollständige Kompensation, da die Stromgestehungskosten mit abnehmender Standortgüte i.d.R. stärker steigen als der Korrekturfaktor,*
s. z.B. Lüers et al.: Kostensituation der Windenergie an Land, Stand 2024



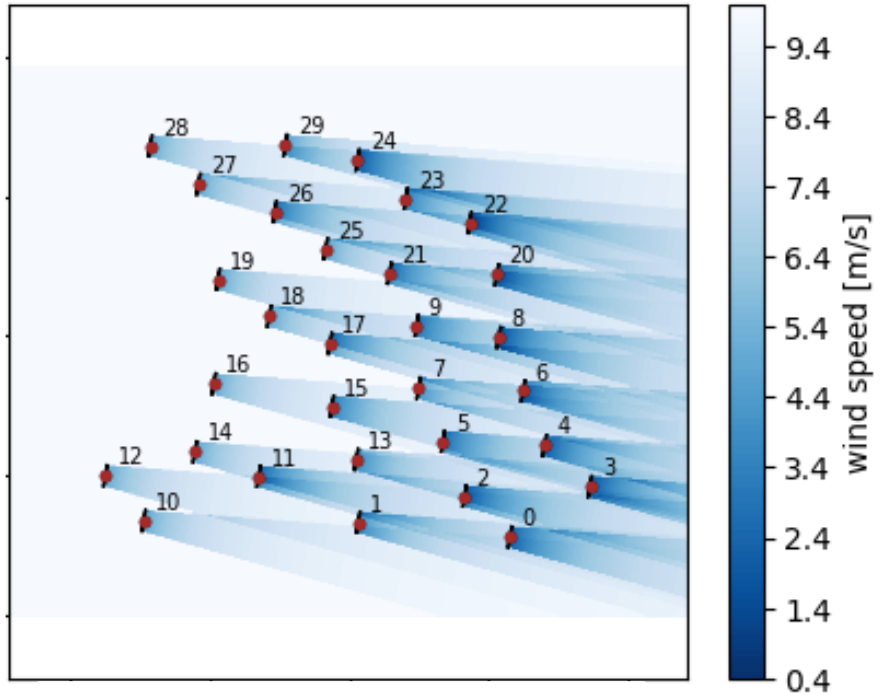
Quelle: eigene Darstellung

Das Referenzertragsmodell (REM): Anreize

Kompensation der energetischen Verluste

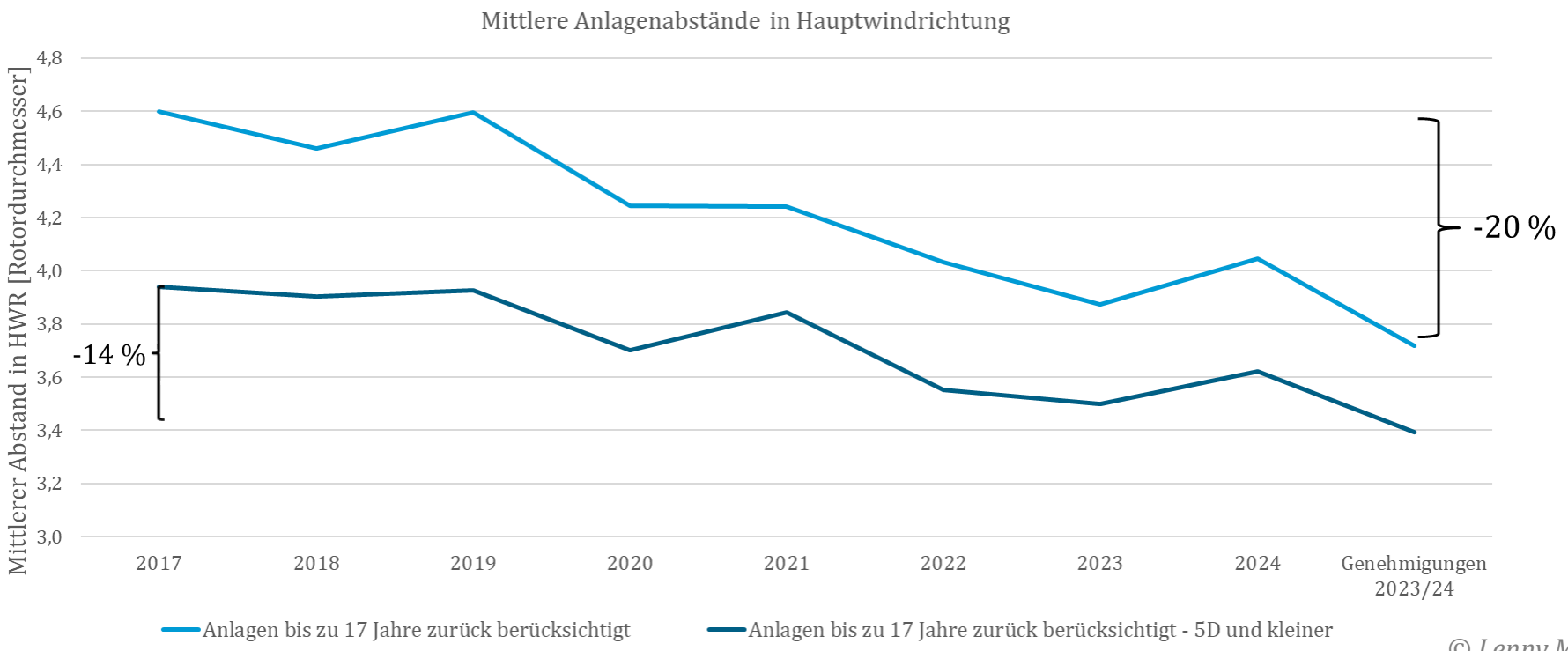
- Ertragsverluste durch genehmigungsrechtliche Auflagen
  - Artenschutz
  - Schallreduzierter Betrieb
  - Schattenwurf
  - Standortsicherheit (Sektormanagement)

- Ertragsverluste durch aerodynamische Abschattung (Wakes)



© Maximilian Schropp (UBA)

(Fehl-) Anreize: Windparklayouts (Anlagenabstände)

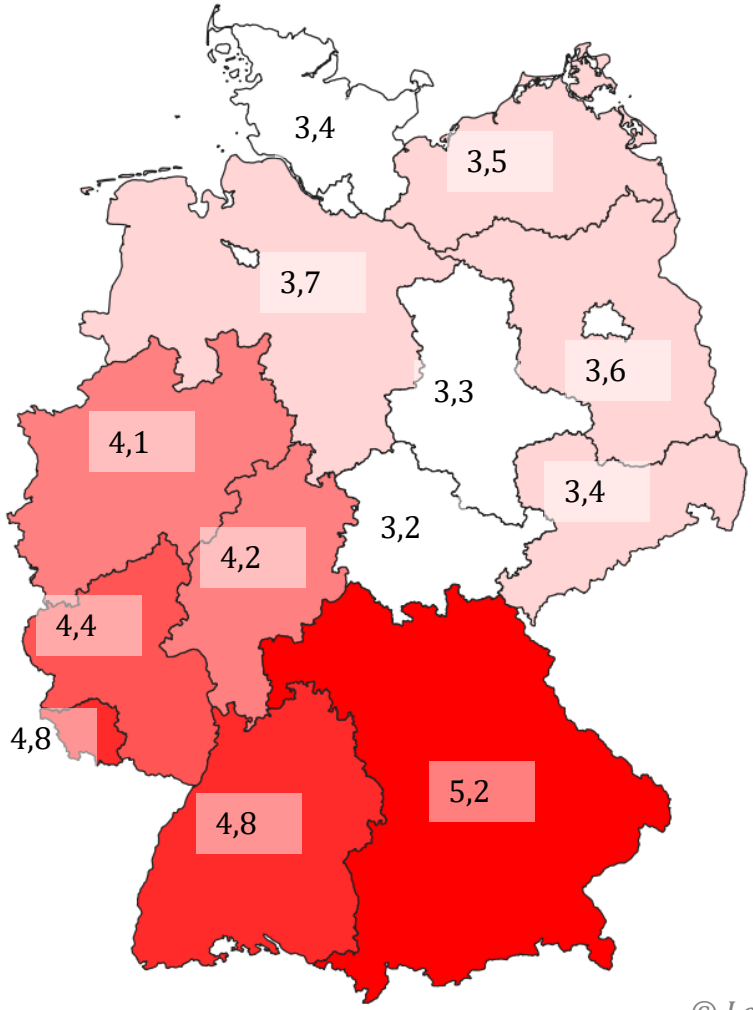


© *Lenny Münzer (UBA)*

UBA-Analyse zeigt, dass die mittleren Abstände von Windenergieanlagen in Deutschland in den letzten Jahren deutlich abgenommen haben → real wirkender Anreiz durch das REM?

(Fehl-) Anreize: Windparklayouts (Anlagenabstände)

Deutschland: 3,8



Durchschnittlicher Abstand in HWR [RD]

- 3,1 - 3,4
- 3,4 - 3,7
- 3,7 - 4,0
- 4,0 - 4,3
- 4,3 - 4,7
- 4,7 - 5,0
- 5,0 - 5,3

Betrachtungsrahmen:
Inbetriebnahmen 2022-2024
und Genehmigungen 2023/24

© Lenny Münzer (UBA)

(Fehl-) Anreize: Windparklayouts (Anlagenabstände)

Vorteile für Projektierer und Betreiber von Windparks

Bei dichterer Bebauung können mehr WEA auf der selben Fläche installiert werden

→ Synergieeffekte und Kosteneinsparungen („Mengenrabatt“)

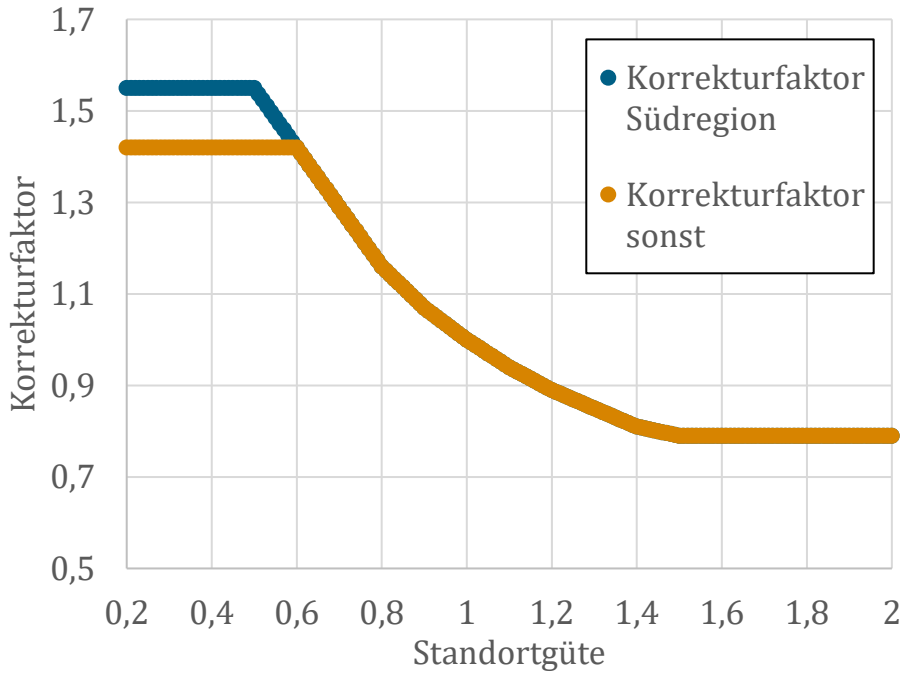
→ **Kosten pro WEA sinken**

Vorteile für den Windenergieausbau

→ Höhere Leistungsdichte

→ Höherer Stromertrag pro Fläche

→ **Gesteigerte Flächeneffizienz**



Quelle: eigene Darstellung

Nachteile

Bei engerer Bebauung nehmen die energetischen Verluste zu

→ höhere Verluste durch Abschattung (Wakes), ggf. schallreduzierten Betrieb, ggf. Sektormanagement

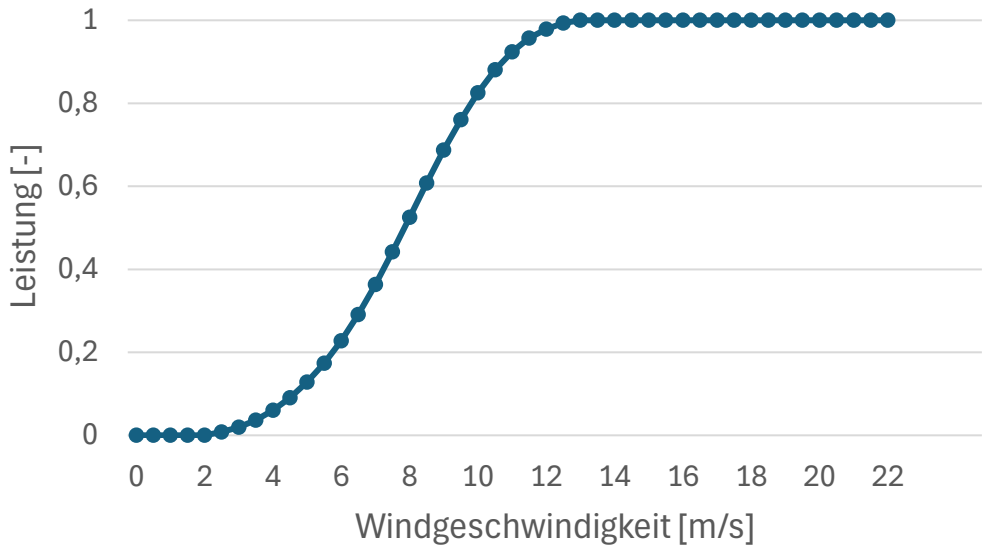
→ **Geringere Stromproduktion pro WEA, geringere Volllaststundenzahlen, höhere Förderkosten (?)**

(Fehl-) Anreize: Anlagendesign

Der Referenzstandort ist ein **überdurchschnittlich windreicher Standort***. An windreichen Standorten bringen größere Nennleistungen einen größeren relativen Ertragszuwachs als an windschwächeren Standorten

$$Standortgüte = \frac{Standortertrag}{Referenzertrag}$$

→ Standortertrag nimmt bei Wahl eines größeren Generators weniger stark zu als Referenzertrag
→ Standortgüte sinkt, Korrekturfaktor steigt
→ Förderung (in Ct/kWh) steigt
→ **Anreiz im REM zu größeren Nennleistungen**



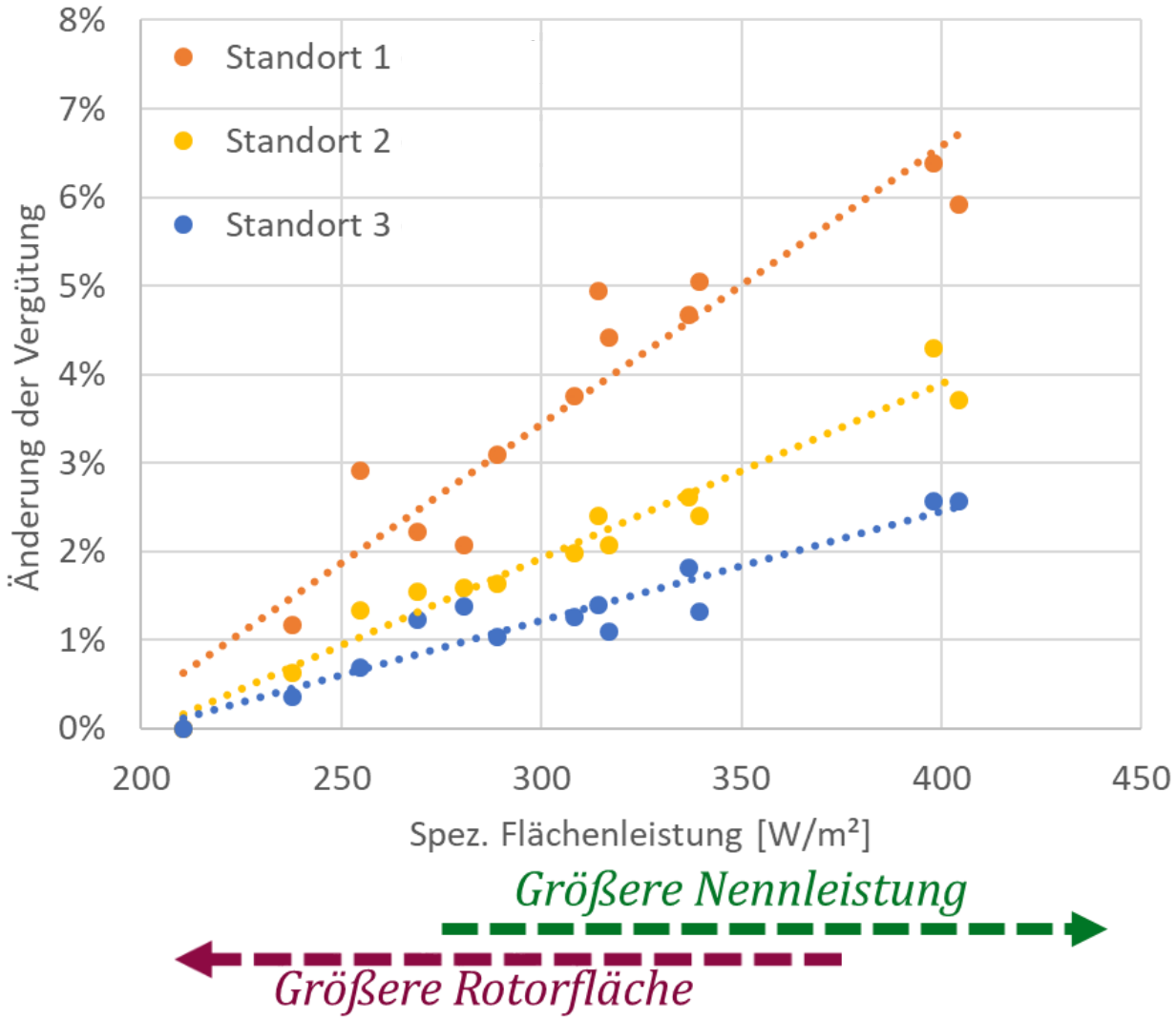
Quelle: eigene Darstellung

**DWG 2023*: Nur 3 % der WEA-Standorte in Deutschland weisen eine Standortgüte von über 1 auf*

(Fehl-) Anreize: Anlagendesign

UBA-Analyse zur Änderung der Vergütung in Abhängigkeit der Anlagentechnologie für verschieden windreiche* Standorte:
Die **Vergütung steigt mit der spezifischen Flächenleistung** ($SFL = \frac{Nennleistung}{Rotorfläche}$)

**Standort 1 niedrigere, Standort 2 mittlere, Standort 3 höhere mittlere Windgeschwindigkeit*



Quelle: eigene Darstellung

(Fehl-) Anreize: Anlagendesign

Vorteile

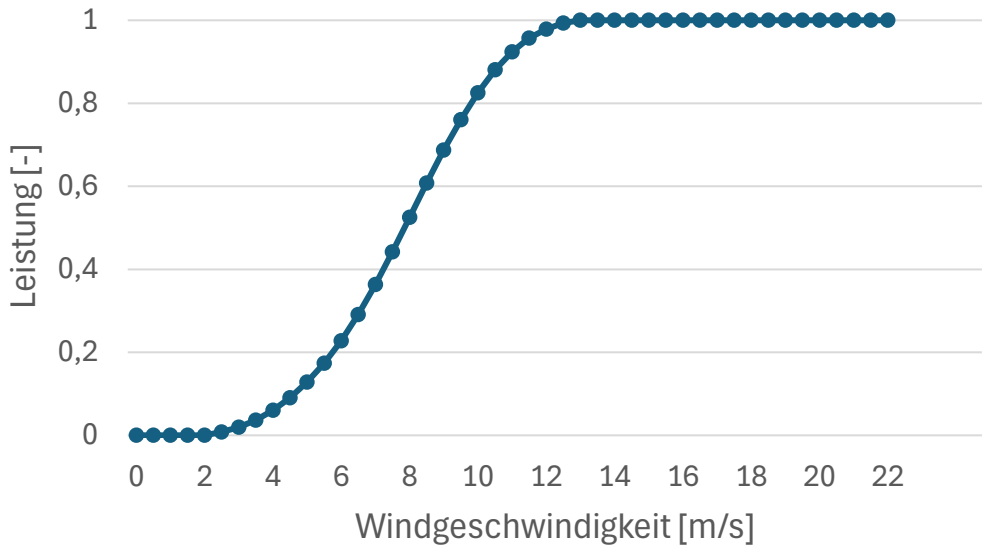
→ Die (politischen) **Leistungsziele** sind leichter erreichbar

→ Bei größerer Nennleistung **steigt der absolute Stromertrag** pro Anlage sowie pro Fläche

Nachteile

→ Anlagen mit größerer Nennleistung haben i. Allg. eine geringere Volllaststundenzahl

→ Mehr Einspeisung bei hohen Windgeschwindigkeiten,
geringere Systemdienlichkeit



Quelle: eigene Darstellung

Zusammenfassung und Fazit

Primäres Ziel des REM ist die **Standortdifferenzierung**: Anlagen an windschwächeren Standorten erhalten eine höhere Förderung (in Ct/kWh) → Ausgleich von Standortnachteilen, homogenerer Windenergieausbau

Energetische Verluste reduzieren die Standortgüte
→ einerseits: Ausgleich von Standortnachteilen aufgrund von z.B. genehmigungsrechtlichen Auflagen
→ andererseits: (großteils) Kompensation von Wake-Verlusten → geringere Abstände → höhere Wake-Verluste → höhere Förderung in Ct/kWh (aber auch: höhere Flächeneffizienz)

Eine **Vergrößerung der Nennleistung** reduziert die Standortgüte
→ einerseits: höhere Flächeneffizienz (mehr Strom und Leistung pro Fläche)
→ andererseits: höhere Förderung bei weniger systemdienlichen Anlagen

Diese Anreize haben **Vor- und Nachteile**. Es ist oft eine Abwägungsfrage, ob Vor- oder Nachteile überwiegen, d.h. ob es sich um Fehlanreize handelt

Für eine vollständige Quantifizierung der (Anreiz-)Wirkung wäre eine **Betrachtung der Kosten** wichtig
→ Kosteneinsparungen können Gebote senken und damit den Förderbedarf

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr. rer. nat. Alexander Basse
Fachgebiet Erneuerbare Energien
Umweltbundesamt
alexander.basse@uba.de
www.umweltbundesamt.de

50 Jahre Umweltbundesamt 1974–2024