



windPRO

## Mehr Ertrag mit optimierten Schallstrategien in windPRO 4.0

Der neue Curtailment-Optimizer im  
Schallmodell-Test



Robin Funk  
EMD Deutschland GbR  
[rf@emd.dk](mailto:rf@emd.dk)

windPRO-Support  
[support-de@emd.dk](mailto:support-de@emd.dk)



# Überblick

- Optimierung von Schall-Curtailments in windPRO

Warum?

Wie?

- Schalloptimierung im Ländervergleich

Immissionsrichtwerte nach Gebietstyp  
vs. Immissionsrichtwerte nach Umgebungsgeräusch

# Überblick

- ◆ Optimierung von Schall-Curtailments in windPRO

Warum?

Wie?

- ◆ Schalloptimierung im Ländervergleich

Immissionsrichtwerte nach Gebietstyp  
vs. Immissionsrichtwerte nach Umgebungsgeräusch



# Warum?

- „Schalloptimierung ist in Deutschland nicht so schwierig“
  - Keine Windgeschwindigkeits- oder –richtungsabhängigkeit
  - Feste Immissionsrichtwerte
  - Wenn Überschreitung: WEA mit höchstem Schallbeitrag am Immissionsort runterregeln
  - So lange bis es passt
- Aber:
  - Kann trotzdem eine Weile dauern
  - Auswirkungen der Schallstrategie auf Ertrag werden oft nicht mehr überprüft

# Warum?

- ◆ Schalloptimierung in Frankreich oder UK:
  - ◆ Berücksichtigung von Umgebungsgeräusch
  - ◆ Mehrere Windgeschwindigkeiten
  - ◆ Richtungsabhängige Betrachtung z.T. möglich
- ◆ Unterschiedliche Curtailments pro Tageszeit, Windgeschwindigkeit, Windrichtung
- ◆ Manuell nur schwer möglich
- ◆ Dauert lang, Optimum ist schwer zu erreichen

# Wie?

- ◆ Live-Demo in windPRO

- ◆ Crashkurs Französische Schallregeln (stark vereinfacht):

- ◆ Vor der Prognose: Messung Umgebungsgeräusch an jedem IP
- ◆ An jedem Immissionsort für jede relevante Windgeschwindigkeit:

Umgebungs- + WEA-Geräusch  $\leq$  Umgebungsgeräusch + 3 dB(A)<sup>\*)</sup> : **OK!**

\*) 3 dB(A) für Nachts; Tags sind es 5 dB(A)

# Schallmatrix-Analyzer

windPRO 4.0 - [Curtailment Optimizer Windenergieanlage Demo.w40p]

Datei Definitionen Geo-Daten Klima Energie Lasten & Betrieb Umwelt & Visualisierung Solar Systemintegration Werkzeuge Einstellungen & Hilfe Favoriten

OPTIMIZE PARK **Schallmatrix-Analyzer** LOSS & UNCERTAINTY AEP Einzelposition Model: Flow-Request Export WASP-CFD WEA-Katalog

Schallmatrix-Analyzer

Berechnung

Name

- Site center
- Site data
- LT wind data
- WTG+NSA
- FR Tag/Nacht

WEA (6) [Systemkennung]

- WEA 1 [193]
- WEA 2 [194]
- WEA 3 [195]
- WEA 4 [196]
- WEA 5 [197]
- WEA 6 [198]

Klassen definieren Datenbanken anlegen Datenbanken löschen Schallmodi entfernen Import Export

Schallmodi für gewählte Zellen wählen:  PowerMatrix  LK-/Schall-Paare

Power & noise pair: Standard pairing Noise modes: Noise Mode 0 Anwend. Filterbedingungen

Spalten: Wind direction [deg] Zurücksetzen Zeitraum: Night

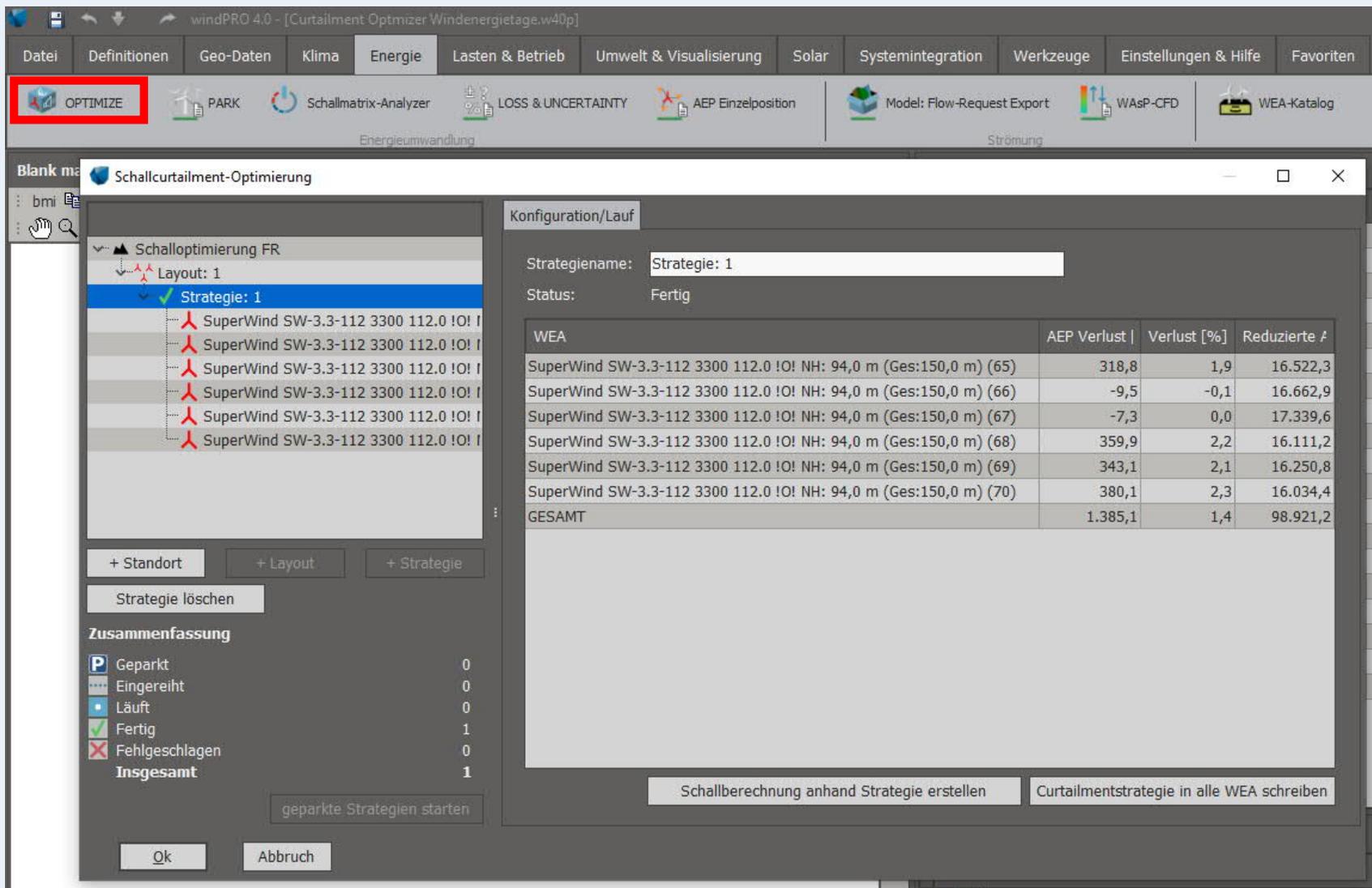
Reihen: Wind speed [m/s] Windgeschwindigkeiten sind für Nabenhöhe angegeben

	0	30	60	90	120	150	180	210	240
4 (offen)	Noise Mode 0								
5									
6	Noise Mode 3	Abschaltung							
7	Noise Mode 1	Noise Mode 2							
8	Noise Mode 3			Noise Mode 4					Noise Mode 3
9	Noise Mode 4								
10	Noise Mode 3								
11	Noise Mode 2								
12 (offen)	Noise Mode 1								

Ok Abbruch



# OPTIMIZE / Schall-Curtailments



The screenshot displays the 'Schallcurtailment-Optimierung' (Sound Curtailment Optimization) window in windPRO 4.0. The window is titled 'Schallcurtailment-Optimierung' and is currently in the 'Konfiguration/Lauf' (Configuration/Run) tab. The 'OPTIMIZE' button in the top toolbar is highlighted with a red box.

The main area of the window shows a tree view of the optimization process:

- Schalloptimierung FR
  - Layout: 1
    - Strategie: 1 (checked)
    - SuperWind SW-3.3-112 3300 112.0 !O! I
    - SuperWind SW-3.3-112 3300 112.0 !O! I

Below the tree view, there are buttons for '+ Standort', '+ Layout', '+ Strategie', and 'Strategie löschen'. A 'Zusammenfassung' (Summary) section shows the following status:

Geparkt	0
Eingereiht	0
Läuft	0
Fertig	1
Fehlgeschlagen	0
<b>Insgesamt</b>	<b>1</b>

At the bottom of the dialog, there are buttons for 'Ok', 'Abbruch', and 'geparkte Strategien starten'.

The 'Konfiguration/Lauf' tab shows the following configuration:

- Strategienname: Strategie: 1
- Status: Fertig

A table displays the results for various WEA (Wind Energy Areas):

WEA	AEP Verlust	Verlust [%]	Reduzierte #
SuperWind SW-3.3-112 3300 112.0 !O! NH: 94,0 m (Ges:150,0 m) (65)	318,8	1,9	16.522,3
SuperWind SW-3.3-112 3300 112.0 !O! NH: 94,0 m (Ges:150,0 m) (66)	-9,5	-0,1	16.662,9
SuperWind SW-3.3-112 3300 112.0 !O! NH: 94,0 m (Ges:150,0 m) (67)	-7,3	0,0	17.339,6
SuperWind SW-3.3-112 3300 112.0 !O! NH: 94,0 m (Ges:150,0 m) (68)	359,9	2,2	16.111,2
SuperWind SW-3.3-112 3300 112.0 !O! NH: 94,0 m (Ges:150,0 m) (69)	343,1	2,1	16.250,8
SuperWind SW-3.3-112 3300 112.0 !O! NH: 94,0 m (Ges:150,0 m) (70)	380,1	2,3	16.034,4
<b>GESAMT</b>	<b>1.385,1</b>	<b>1,4</b>	<b>98.921,2</b>

At the bottom of the dialog, there are two buttons: 'Schallberechnung anhand Strategie erstellen' and 'Curtailmentstrategie in alle WEA schreiben'.



# Überblick

## ◆ Optimierung von Schall-Curtailments in windPRO

Warum?

Wie?

## ◆ Schalloptimierung im Ländervergleich

Immissionsrichtwerte nach Gebietstyp (z.B. DE)  
vs. Immissionsrichtwerte nach Umgebungsgeräusch (z.B. FR)

# Vorbemerkung für die folgenden Vergleiche

- Der untersuchte Standort liegt weder in DE noch in FR.
- Die Umgebungsgeräusche wurden nicht am Standort vermessen.
- Es wurde angenommen, dass die WEA technisch in der Lage sind, die Reduktionen und Abschaltungen korrekt umzusetzen.

# Deutschland

- Feste Immissionsrichtwerte für Tag/Nacht
- Es werden nur die Emissionen für den lautesten Zustand des Parks berechnet
- Sind diese unter dem Immissionsrichtwert, ist alles ok
  
- Typische Abschaltung für eine kritische WEA:

Tag	Nacht
0	3

0

Mode 0 – Leistungsoptimiert

3

Mode 3 – Schalloptimiert (Hier: Stufe 3 von 5)

# Frankreich

- Zulässiger WEA-Lärm richtet sich nach gemessenem Umgebungsgeräusch an jedem Immissionsort
- Viele Freiheiten bei der Wahl und Ausgestaltung des Schallmodells, hier:
  - ISO 9613-2
  - Betrachtung der WG 4 – 12 m/s (auch für Umgebungsgeräusch!)
  - Sektorweise Betrachtung der Schallausbreitung
  - Umgebungs- + WEA-Geräusch  $\leq$  Umgebungsgeräusch + 3 dB(A)<sup>\*)</sup> : **Ok!**    <sup>\*)</sup>Tags +5 dB(A)

- Typische Abschaltung für eine kritische WEA:

Tag

Windgeschwindigkeit [m/s]	WR [°]											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
4,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10,0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
11,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nacht

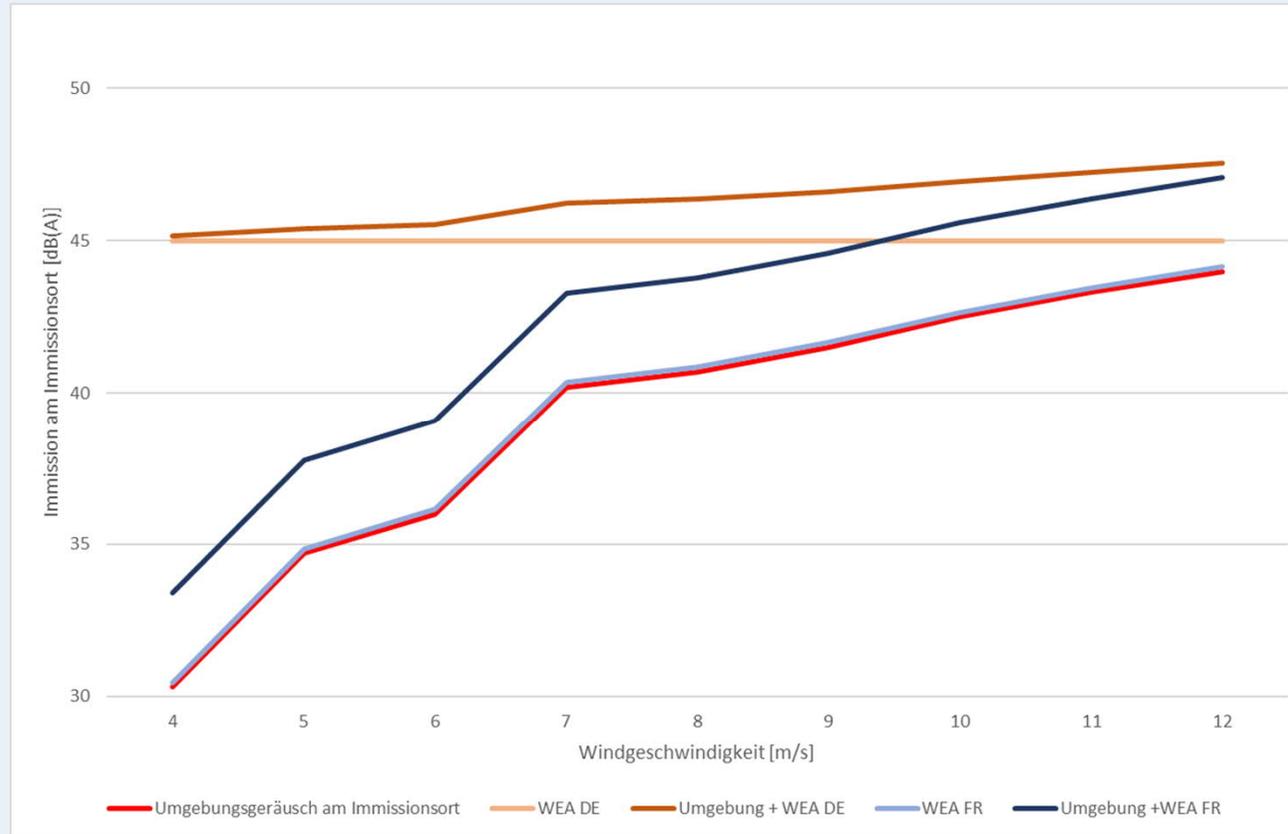
Windgeschwindigkeit [m/s]	WR [°]											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
4,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
8,0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
9,0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
10,0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
11,0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
12,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1



# Immissionsrichtwerte nach Gebietstyp vs. Immissionsrichtwerte nach Umgebungsgeräusch

Warum ist der Ländervergleich interessant?

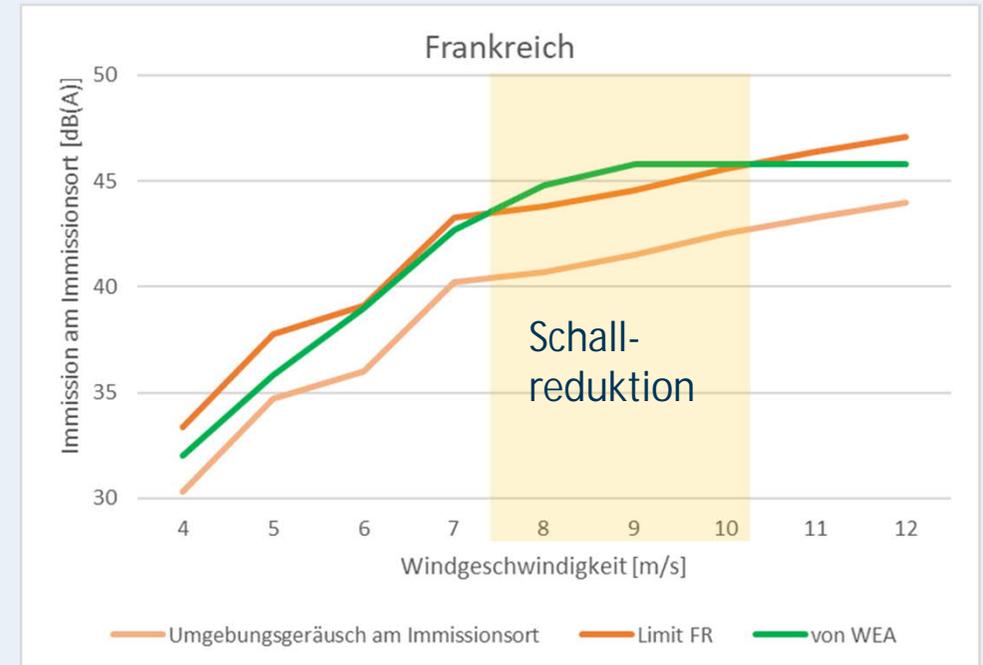
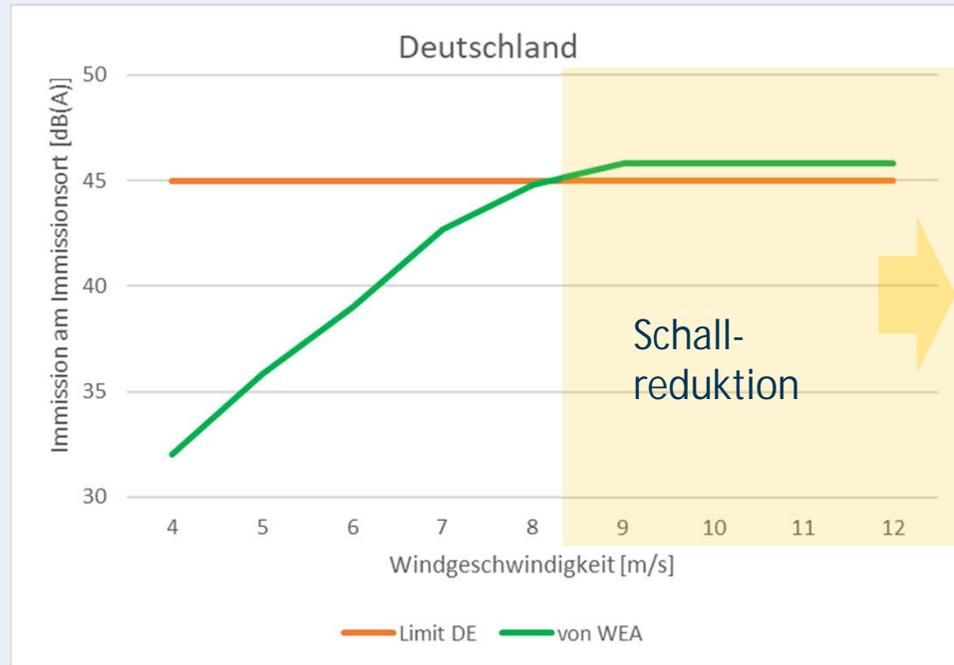
A. Anwohnerperspektive



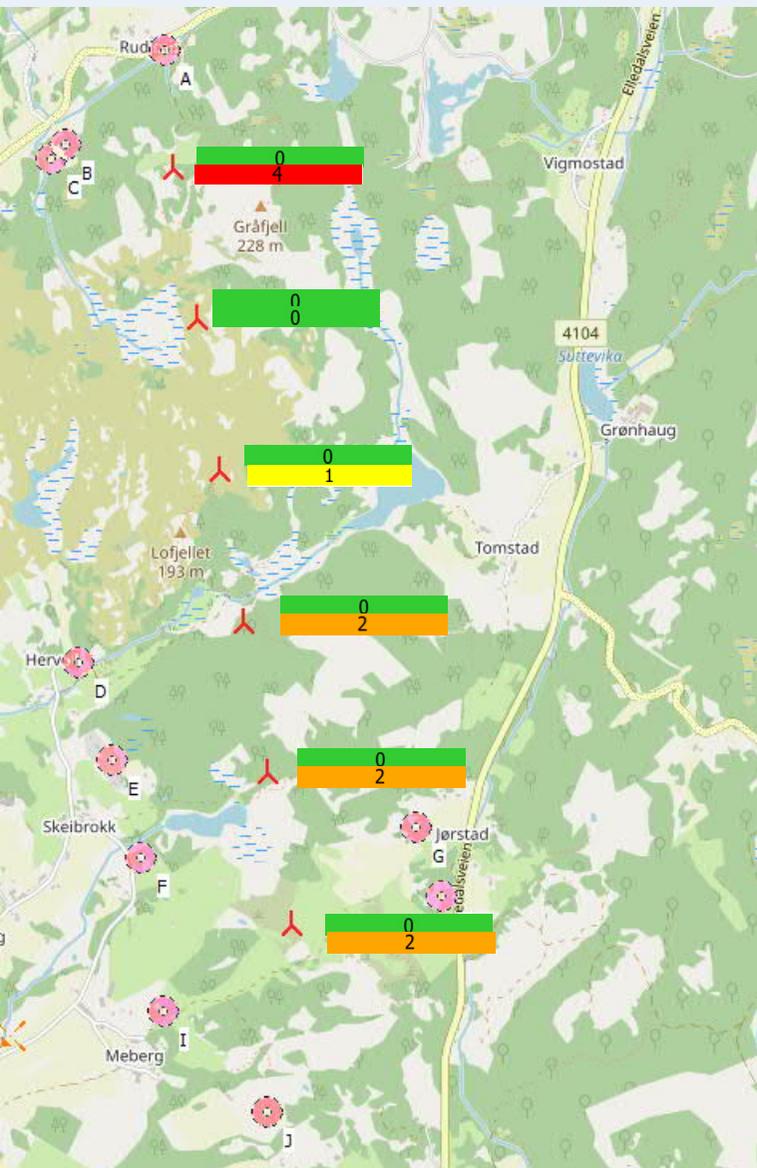
# Immissionsrichtwerte nach Gebietstyp vs. Immissionsrichtwerte nach Umgebungsgeräusch

Warum ist der Ländervergleich interessant?

**B. Betreiberperspektive**



Wie wirken sich die beiden Reduktionsstrategien  
auf den Ertrag aus?

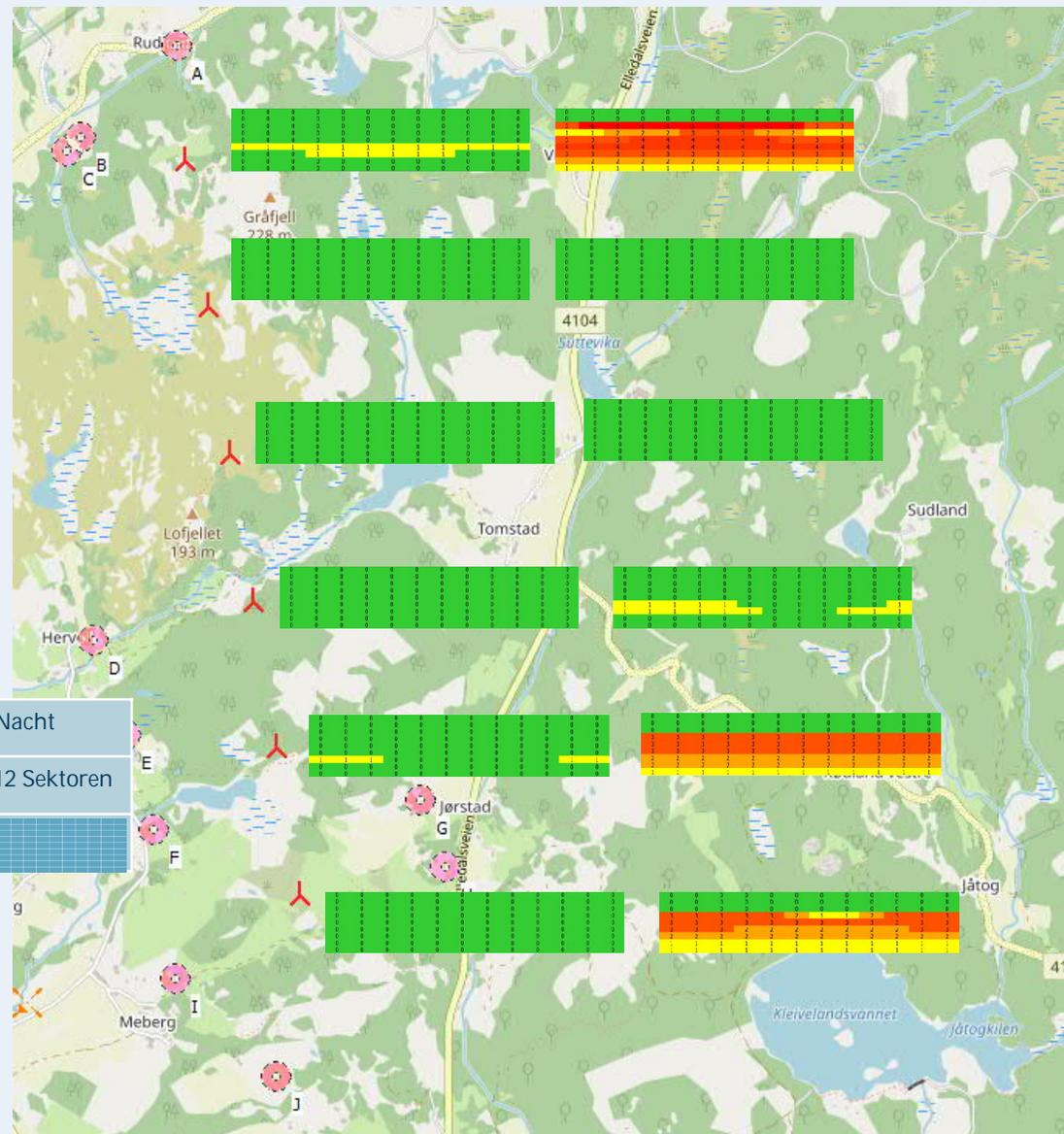


← DE

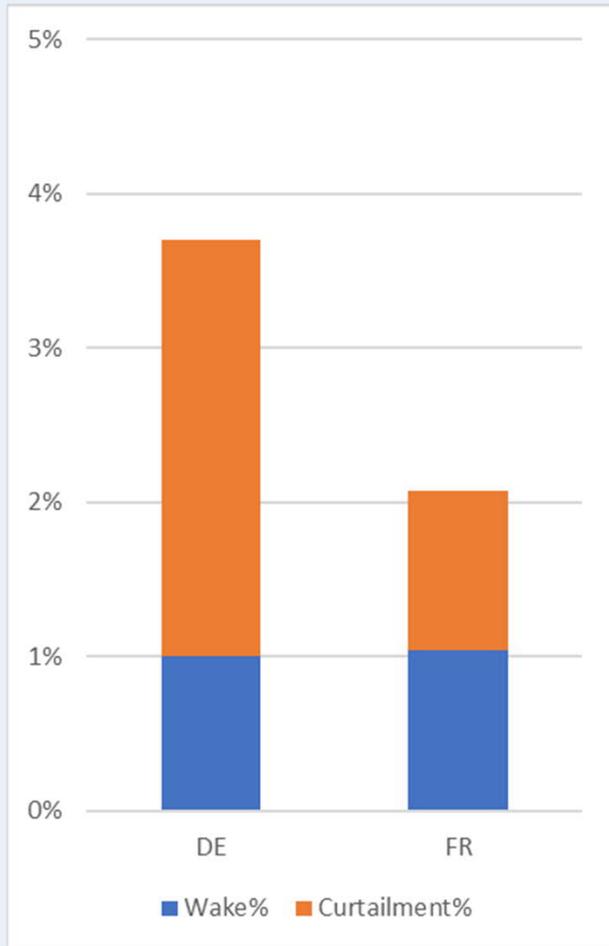
Tag
Nacht

FR →

	Tag	Nacht
	12 Sektoren	12 Sektoren
9 WG		



# Ergebnisse Produktionsberechnung inkl. Schall-Curtailments



	Deutschland		Frankreich	
	MWh/a	%	MWh/a	%
Wakeverluste:	989,0	1,0	1019,5	1,0
Verluste Schallcurtailment:	2648,5	2,7	1019,3	1,0
Ertrag:	94666,0	95,8	96283,7	97,9

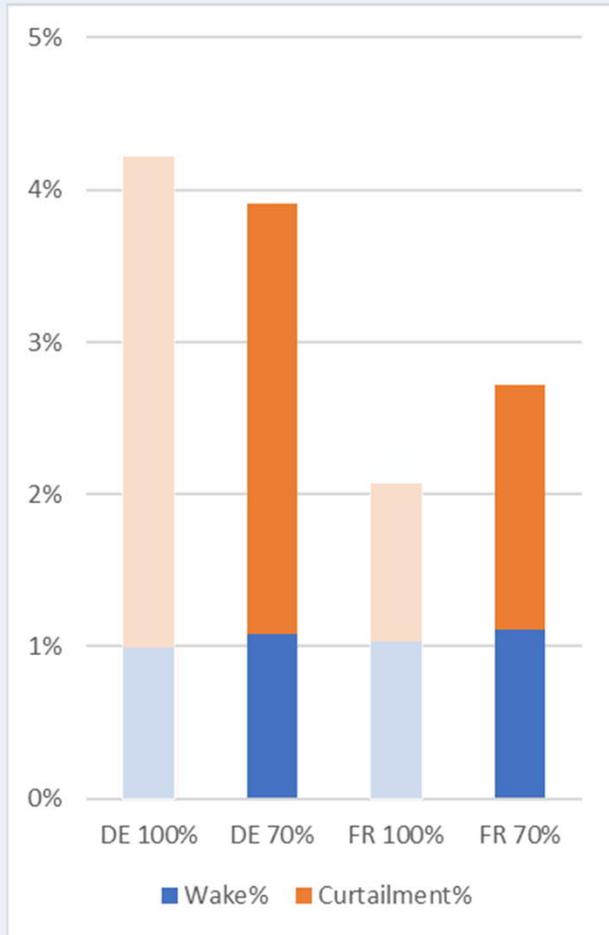
Grundlage der Berechnung:

$$V_{\text{mean, NH}} = 9,5 \text{ m/s}$$

Wie wäre es in (für uns) realistische(re)n  
Windverhältnissen?



# Ergebnisse Produktionsberechnung inkl. Schall-Curtailments. Reduzierte WG



	Deutschland		Frankreich	
	MWh/a	%	MWh/a	%
Wakeverluste:	632,2	1,1	643,2	1,1
Verluste Schallcurtailment:	1420,3	2,4	934,3	1,6
Ertrag:	56009,9	96,1	56491,5	97,3

Grundlage der Berechnung:

auf 70% reduzierte WG

$$V_{\text{mean, NH}} = 6,6 \text{ m/s}$$

→ Die Curtailment-Verluste nähern sich einander an



# Können wir in Deutschland noch was rausholen?

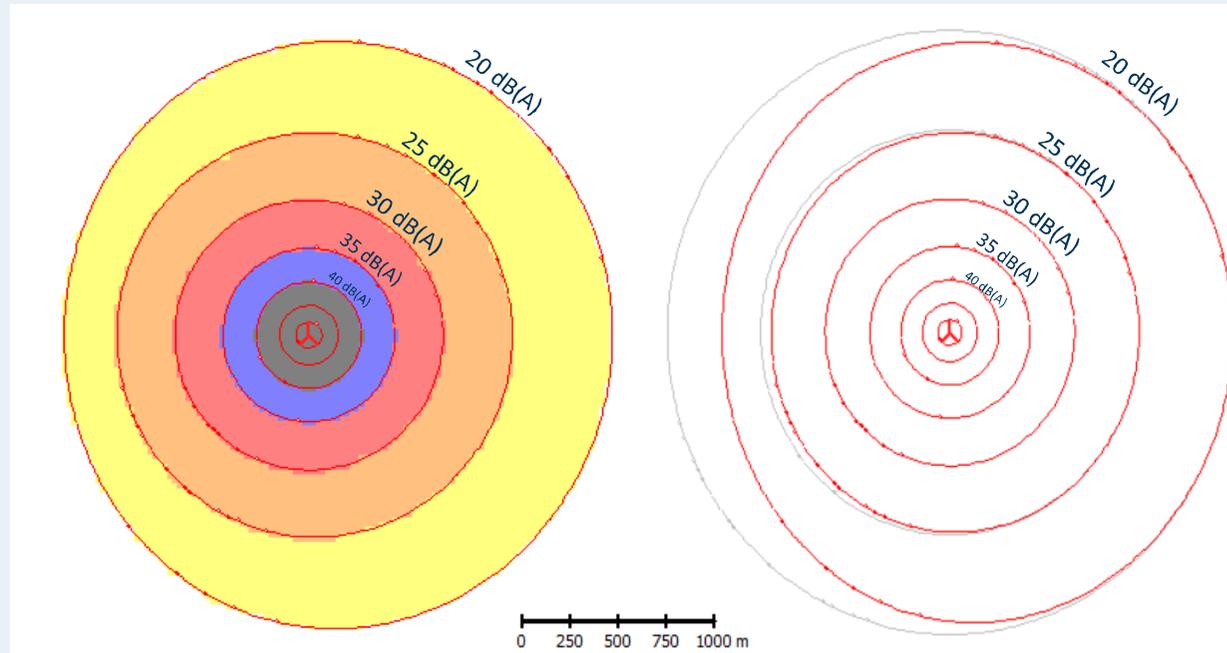


# Können wir in Deutschland noch was rausholen?

- Wie in Frankreich Umgebungsgeräusche (z.B. Vegetation) einbeziehen?
  - Sehr aufwändig, aber wäre lohnenswert
  - Erfordert einen Paradigmenwechsel – politisch nicht durchsetzbar

# Können wir in Deutschland noch was rausholen?

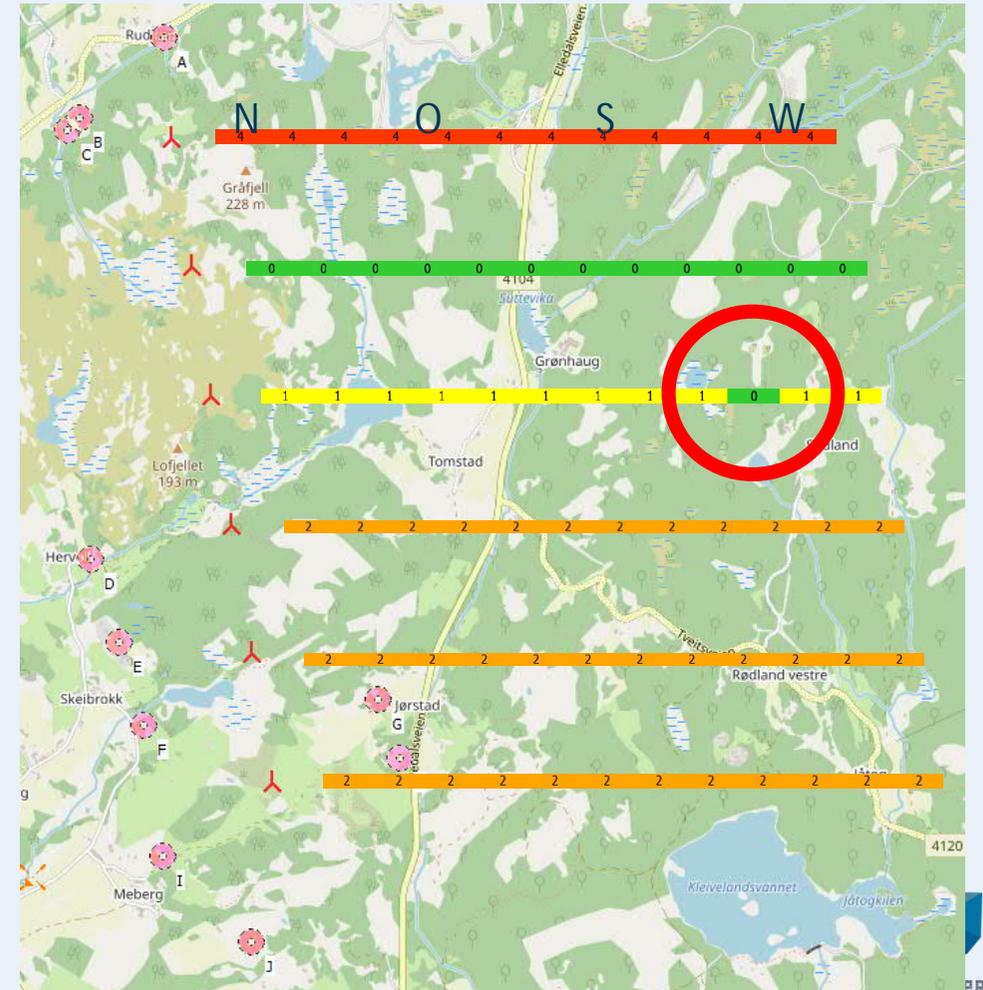
- ◆ Berücksichtigung der Windrichtung? (hier: WR = 270°)
- ◆  $C_0$ -Anpassung (abgewandelte Methode nach [1]) (rot)
- ◆ ohne Berücksichtigung Windrichtung (grau)



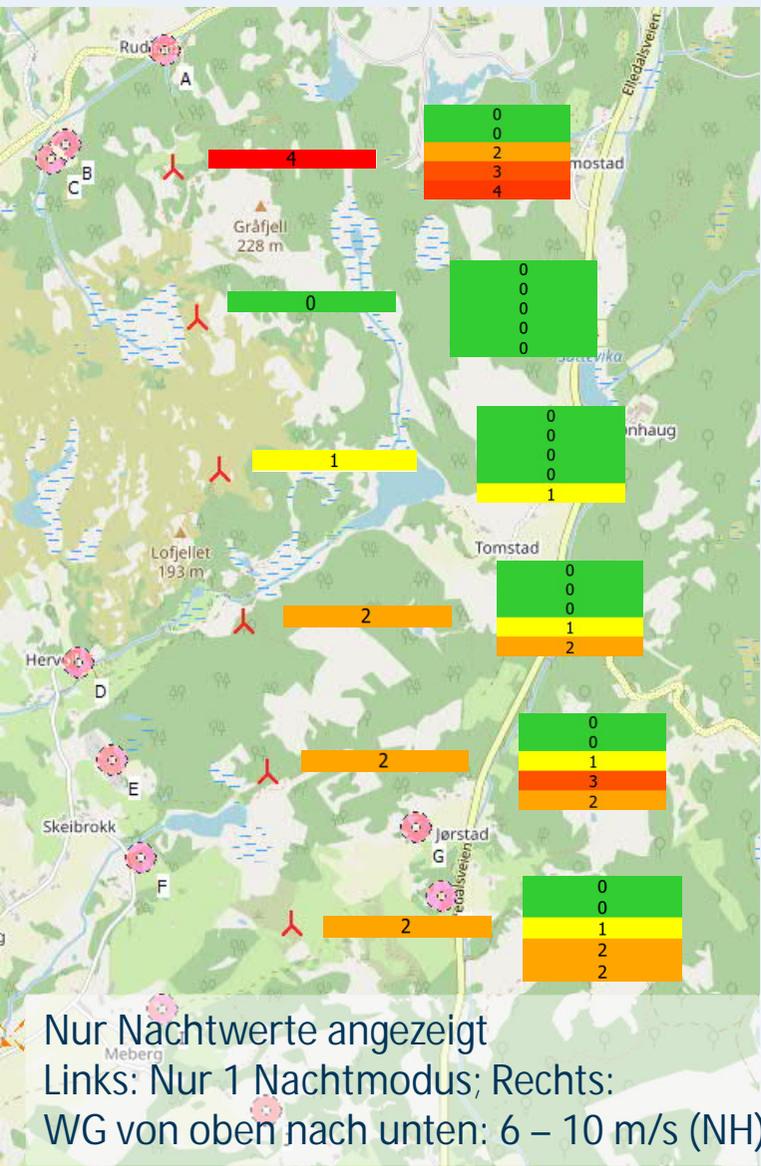
[1] LANUV 2012: Empfehlungen zur Bestimmung der meteorologischen Dämpfung  $C_{met}$  gemäß DIN ISO 9613-2

# Berücksichtigung der Windrichtung in windPRO DECIBEL

- ◆ Wirkt erst ab ca. 10 x NH
- ◆ In diesen Entfernungen ist...
  - ◆ Schall häufig schon irrelevant lt. TA Lärm (Abs. 2.2, Auslegung abhängig von Bundesland)
  - ◆ Wenn nicht irrelevant lt. TA Lärm, dann zumindest sehr leise → auch irrelevant
- ◆ Im Beispielprojekt:
  - ◆ EIN Sektor, in dem eine WEA lauter laufen kann
  - ◆ Ertragsgewinn: 7,3 MWh/Jahr



# Können wir in Deutschland noch was rausholen?



- Betrachtung abhängig von der Windgeschwindigkeit?
  - Nicht grundsätzlich ausgeschlossen
  - Erfordert aber Abstimmung mit Behörden
- Eigene Schallstrategie pro WG-Klasse (Abhängig von Auswirkungen auf den Ertrag)
- Viel grün (Mode 0) – sieht gut aus, aber täuscht: in diesen WG würden auch höhere Schallmodi denselben Ertrag bringen
- In Testprojekt: 0,2% weniger Verlust durch Curtailments, ca. 120 MW/Jahr mehr Ertrag

→ Hier nicht toll, aber kann etwas bringen



# Fazit

- Sowohl unter einfachen (DE) als auch unter komplizierten (FR) Berechnungsbedingungen lassen sich Schall-Curtailments mit OPTIMIZE schnell und einfach optimieren
- Eine Umgebungsgeräusch-abhängige Immissionsbetrachtung würde verbessern:
  - sowohl den Ertrag
  - als auch (vermutlich) die Zufriedenheit der Nachbarn
- Richtungsabhängige Schallbetrachtung lohnt sich nicht
- Windgeschwindigkeitsabhängige Schallbetrachtung kann sich lohnen



Fragen?

·  
·  
·

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



**EMD Deutschland GbR**

[www.emd.dk](http://www.emd.dk)



**WINDENERGIETAGE 2023**  
**BROT UND SPIELE**  
**08. - 10. November 2023 in Potsdam**

**Stand Nr.:**  
**102**