

# Mehr Ertrag im Windpark – das eno up.site-Prinzip

Martin Hörenz



## Inhalt

1. Die eno energy Gruppe
2. Ertrag im Windpark
3. Die neue eno 3,5 MW-Plattform
4. Das eno up.site-Prinzip
5. Wirtschaftliche Vorteile
6. Fazit & Ausblick

## Überblick

- **Gründung:** 1999
- **Struktur:** inhabergeführt
- **Mitarbeiter:** ca. 180
- **Standorte:** Deutschland, Frankreich, Schweden
- **Geschäftsbereiche:** Windenergieanlagenherstellung,  
Standortevaluierung, Windparkdesign,  
Finanzierung & Vertrieb,  
Betriebsführung / Service & Wartung

- flexible, auftragsbezogene Fertigung
- aktuelle Kapazität von 80 WEA pro Jahr
- Lieferzeit: 9 Monate
- Erweiterung der Fertigungskapazitäten



## Anlagen im Windparkverbund

- Wert eines Windparks
  - abhängig von der Anlagenanzahl
  - abhängig von den Erträgen der WEA
- Anlagenanzahl im Windpark
  - abhängig von der Größe des Flurstückes
  - technische Mindestabstände zwischen den Anlagen
- Ertrag einer WEA
  - abhängig vom Standort (mittlere Windgeschwindigkeit)
  - abhängig von Rotorgröße
  - abhängig von Generatorleistung



## Anlagen im Windparkverbund



- bisherige Auslegung einer WEA
  - maximaler Ertrag als einzelne Anlage
  - Optimierung der Leistungskennlinie
  - Kostendruck
  
- wichtige Faktoren vernachlässigt
  - maximale Anlagenverfügbarkeit (Zuverlässigkeit, Netzanschluss & -verträglichkeit, ...)
  - Zusammenspiel der Anlagen im Windpark (Parkwirkungsgrad)

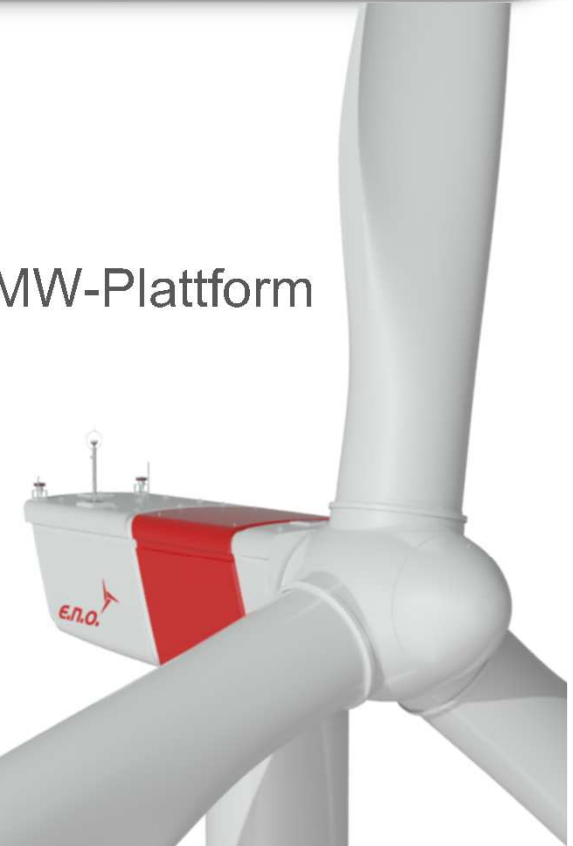
## Plattform-Entwicklung

- Fokus auf maximalen Ertrag im Windparkverbund
- Basis
  - eigenes Know-how aus der Entwicklung der 2 MW-Plattform
  - eigenes Know-how bei Windpark-Planung
  - Netzwerk mit externen Beratern, Banken, Versicherern, Lieferanten, ...
- zwei Versionen mit unterschiedlichen Rotoren

**ENO 114**

**ENO 126**

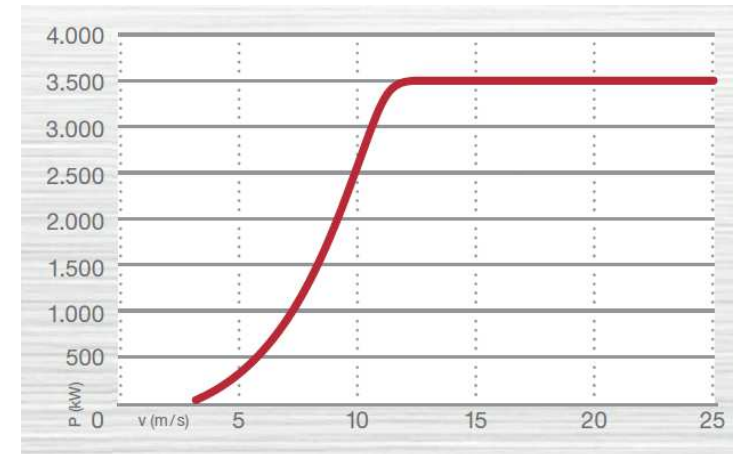
- ❑ bisher 196 Errichtungen von Fremdanlagen (316 MW)
- ❑ bisher 41 Errichtungen von eigenen Anlagen der 2 MW-Plattform (85 MW)
- ❑ HUSUM Wind 2012: Maschinenhaus der 3,5 MW-Plattform ausgestellt
- ❑ Dezember 2013: Errichtung Prototyp eno 114



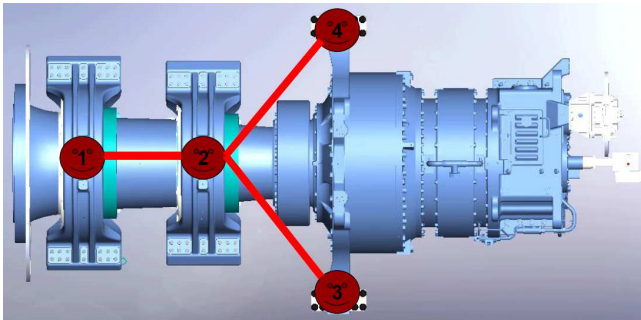
## Kenndaten der Plattform

- Rotordurchmesser: 114,9 m
- Nennleistung: 3,5 MW
- Nennwindgeschwindigkeit: 13 m/s
- Schalleistungspegel: < 105 dB(A)
- Nabhöhen
  - 92 m (Stahlrohrturm)
  - 128 m (Stahlrohrturm)
  - 142 m (Hybridturm)
- Windklasse/-zone (142 m Nabenhöhe)
  - bis 8,5 m/s (nach IEC II)
  - bis 8,8 m/s (nach DIBt WZ III)

Leistungskennlinie **ENO 114**



## Triebstrang



### ➤ Rotorlagerung

- Vierpunktlagerung
- keine Übertragung rotorlastbedingter Momente und Stützkräfte ins Getriebe
- Minimierung der Belastungen

### ➤ robustes Getriebe

- dreistufiges Planeten-Stirnradgetriebe, Übersetzung 1:119
- zwangsfreie hydraulische Lagerung, keine Biegemomente
- getriebeentlastende Drehmomentensteuerung (aktive Triebstrangdämpfung)
- serienmäßiges Condition Monitoring System (CMS)

## Elektrisches System

- elektrisch erregter Synchrongenerator (d.h. ohne Permanentmagneten)
- Vollumrichter
  - störungsarmes Wechselrichtersystem
  - sechs entkoppelte Stränge, d.h. Weiterbetrieb der Anlage auch bei Ausfall eines Umrichters möglich
- großzügige Auslegung
  - Wirk- und Blindleistungsregelung, hohe Blindleistungsreserven, keine zusätzlichen Kompensationseinrichtungen notwendig
  - SDL-Fähigkeit: Erfüllung aller Anschlussanforderungen und -richtlinien



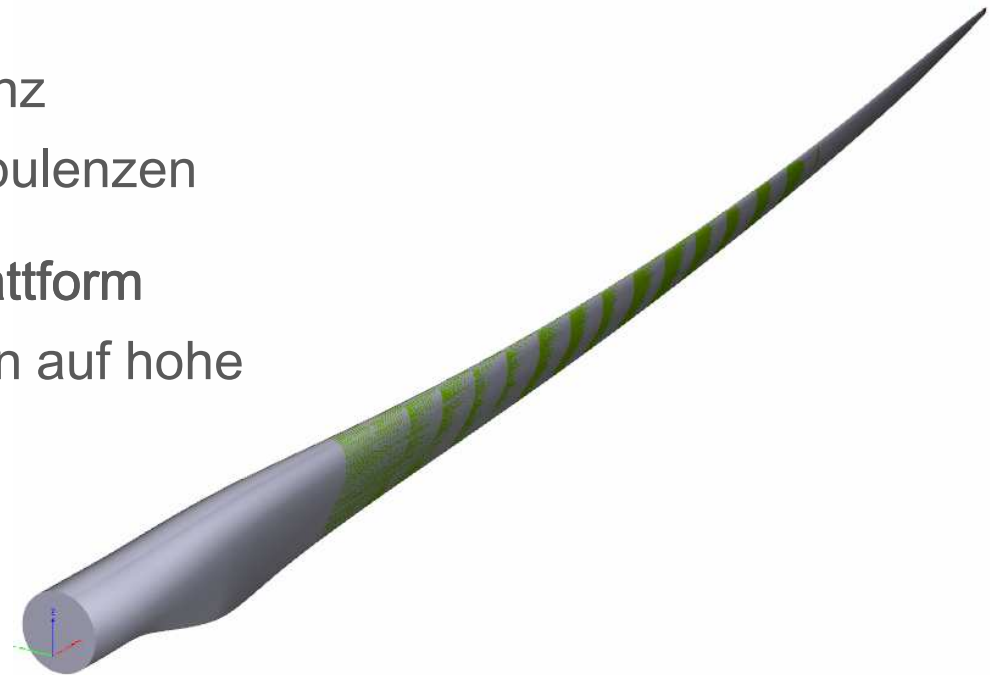
## Verbesserung des Zusammenspiels von Anlagen im Windpark

### ➤ Grundprinzipien

- Auslegung für hohe Turbulenz
- Minimierung induzierter Turbulenzen

### ➤ hohe Turbulenzfestigkeit der Plattform

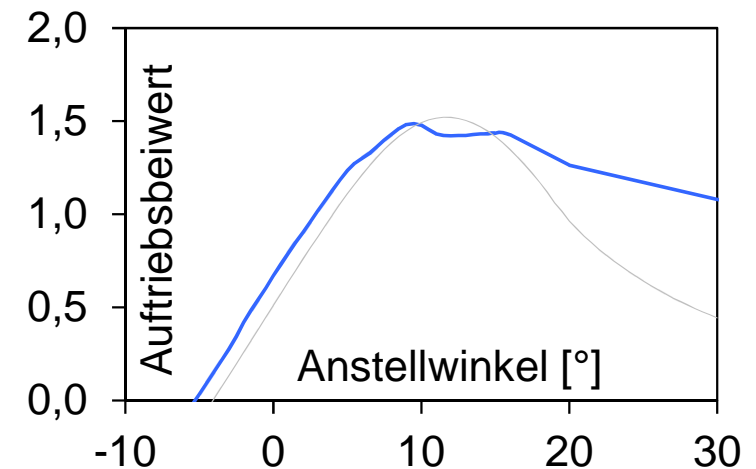
- Auslegung der Komponenten auf hohe Wechsellastfestigkeit
  - Rotor
  - Tragstruktur
  - Triebstrang
- Norm: Auslegung auf Turbulenzfestigkeit nach IEC 61400-1, ed.3
  - übliche Auslegung: Turbulenzintensität Kat. A: 16%
  - eno 3,5 MW-Plattform: Turbulenzintensität Kat. S: 18%



## Verbesserung des Zusammenspiels von Anlagen im Windpark

### ➤ Neuentwicklung von Rotorblättern

- klassischer Aufbau der Rotorblätter, Basis: GFK (eno 114: kein CFK)
- Außenbereich: eigene Profilgeometrie
  - großer Anstellwinkelbereich mit positiven aerodynamischen Eigenschaften
  - geringer Widerstandsbeiwert, damit geringere Turbulenz im Nachlauf
- höherer Ertrag im turbulenten Wind möglich!



eno up.site = hohe Turbulenzfestigkeit & -verträglichkeit  
+ Reduktion anlageninduzierter Turbulenzen

## Höhere Anlagendichte im Windpark



*schematische Darstellung!*

- Erhöhung der Anlagendichte im Windpark möglich
  - höhere Flächenwirtschaftlichkeit
  - höherer Kapitaldienstdeckungsgrad (DSCR)
- nahezu keine Veränderung der Parkwirkungsgrade bei kompakterem Windpark-Layout
- keine turbulenzbedingten Abschaltverluste
- Möglichkeiten für Lückenbebauung oder Repowering-Vorhaben

## Flächenwirtschaftlichkeit

- Ertrag eines Projektes (bei gegebener Fläche)

### Flächenwirtschaftlichkeit [€]

$$= (\text{spez. Verkaufspreis [€/kWh]} - \text{spez. Investitionskosten [€/kWh]}) \times \text{Ertrag [kWh]}$$



#### Verkaufspreis

- feste Annahme



#### Investitionskosten

- Anlagenanzahl
- Anlagenkosten



#### Ertrag

- Ertragsberechnung, Berücksichtigung v. Parkwirkungsgraden
- 10% Abschlag

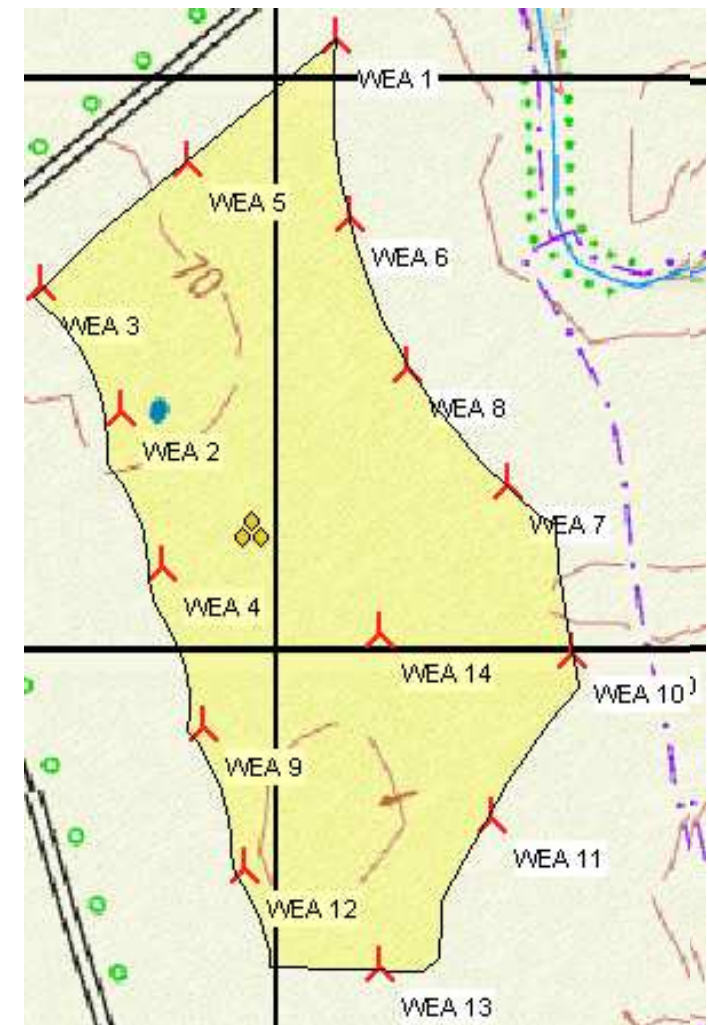
## Beispielwindpark: Übersicht

### ➤ Windpark

- geeignete Fläche: 117 ha
- mittlere Windgeschwindigkeit: 7,4 m/s
- Umgebungsturbulenz: ca. 11%
- Höhenlimitierung: 200 m
- nahestehende Bestandsanlagen
- keine turbulenzbedingte Abschaltung

### ➤ Vergleich verschiedener Windpark-Layouts

- 3.X MW-Leistungsklasse
- Rotordurchmesser 100 ... 120 m
- Fremdhersteller:
  - 9 ... 13 Anlagen
- eno energy systems:
  - 9 bzw. 14 Anlagen (eno 114)



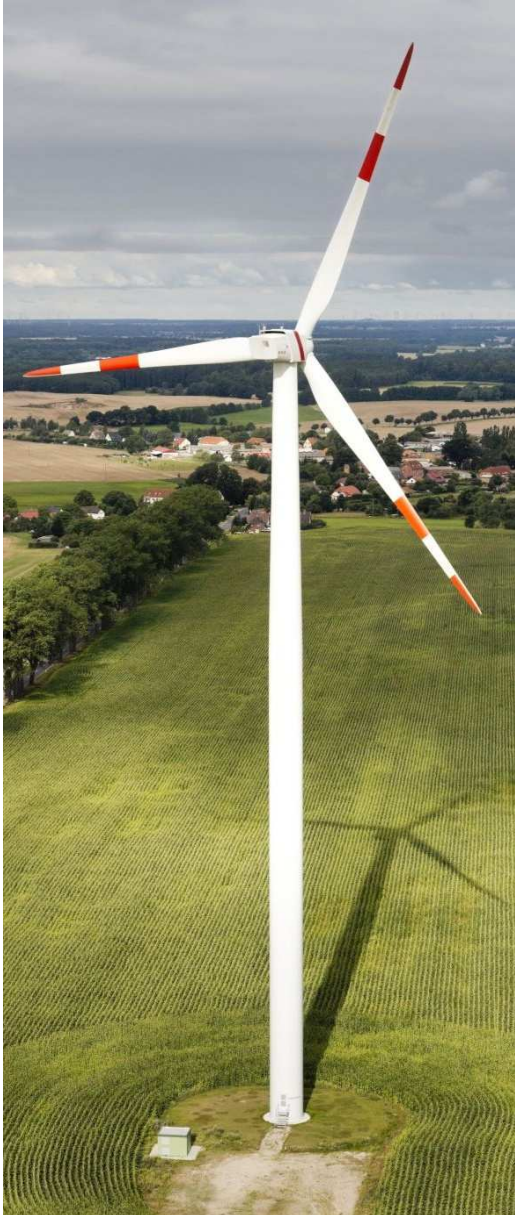
## Beispielwindpark: Vergleich der Flächenwirtschaftlichkeit

Parameter	eno 114	WEA 1	WEA 2	WEA 3
Anlagenanzahl	9			
Parkwirkungsgrad	88%	87%	88%	86%
Jahresertrag [GWh]	85	78	83	70
spez. Investitionskosten [€/kWh]	XXX			
spez. Verkaufspreis [€/kWh]	XXX			
Flächenwirtschaftlichkeit [€]	21,5 Mio.	21,1 Mio.	21,1 Mio.	14,3 Mio.
Flächenwirtschaftlichkeit	Referenz	98%	98%	66%
Vorteil	Referenz	-2%	-2%	-34%

## Beispielwindpark: Vergleich der Flächenwirtschaftlichkeit

Parameter	eno 114	WEA 1	WEA 2	WEA 3
Anlagenanzahl	14	13	12	9
Parkwirkungsgrad	82%	82%	84%	86%
Jahresertrag [GWh]	123	107	105	70
Flächenwirtschaftlichkeit [€]	27,4 Mio.	25,7 Mio.	24,3 Mio.	14,3 Mio.
Flächenwirtschaftlichkeit	Referenz	94%	89%	52%
Vorteil gesamt	Referenz	-6%	-11%	-48%
davon eno up.site-Effekt	Referenz	-4%	-9%	-14%

## Beispielwindpark: Resultate



- höherer Gesamtertrag durch höhere Anlagendichte
  - höhere Flächenwirtschaftlichkeit
  - gleichbleibend guter oder besserer DSCR
- Anlagenbetreiber:  
Steigerung des absoluten Gewinns
- Finanzinstitute:  
gleiche / kleinere Kreditausfallwahrscheinlichkeit
- Volkswirtschaft:  
geringerer Standortverbrauch
- praktische Umsetzung: eno up.site
  - stark von Standort abhängig
  - Vorteil bis 15%, bei kleinen Flächen evtl. mehr

## Fazit

- Entwicklung der 3,5 MW-Plattform auf Basis der 2 MW-Plattform
  - 2 MW-Plattform seit 2008 zuverlässig im Einsatz  
(keine ernsten Schäden, Typenzertifikat vorhanden)
  - 2 MW-Plattform bisher eno 82 und eno 92; neu seit 2013: eno 100
- Die neue 3,5 MW-Plattform
  - hohe Turbulenzfestigkeit und -verträglichkeit
  - Reduktion anlageninduzierter Turbulenzen
  - mehr Ertrag im Windpark / höhere Flächenrentabilität

Parameter	eno 82	eno 92	eno 100	eno 114	eno 126
Nennleistung [MW]	2,05	2,2	2,2	3,5	3,5
Rotor [m]	82,4	92,8	100,5	114,9	126,0
IEC-Windklasse	IIA	IIIA	IIIA	IIS	IIIS

## Vielen Dank!

- Weiterentwicklung der Anlagen durch die eno-Forschungsabteilung
  - Firmenphilosophie: „mehr Ertrag im Windpark“
  - verbesserte Turmkonzepte
  - zukünftige Netzanschlussanforderungen, Speicherung
  - Anmeldung eigener Patente und Gebrauchsmuster



**eno energy GmbH**

**eno energy systems GmbH**

Am Strande 2 e

18055 Rostock

Germany

Telefon +49 (0)381 . 203792 - 100

Fax +49 (0)381 . 203792 - 101

[info@eno-energy.com](mailto:info@eno-energy.com)

[www.eno-energy.com](http://www.eno-energy.com)