

Lebenszyklusanalyse von Multimegawatt Windenergieanlagen für den Offshore-Einsatz

Dipl.-Ing. Rodoula Tryfonidou

www.lee.rub.de

Übersicht

Teil 1

- Historie der Windenergienutzung
- Aktueller Stand der Windenergienutzung
- Offshore Windenergienutzung: Besonderheiten, Technik

Teil 2

- Methodik der energetischen Bewertung von Windenergieanlagen
- Vergleichende Ergebnisse: Offshore WEA – Onshore WEA
- Zusammenfassung

Historie der Windkraftnutzung



Ägypten 2000 v. Chr.



14. Jh. Windwagen



16. Jh. Holland



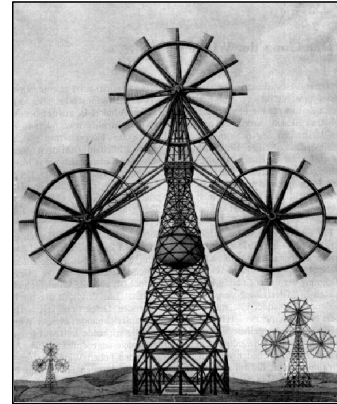
1900 „western mills“

Quelle: <http://www.ifb.uni-stuttgart.de/~doerner/windenergie.html>

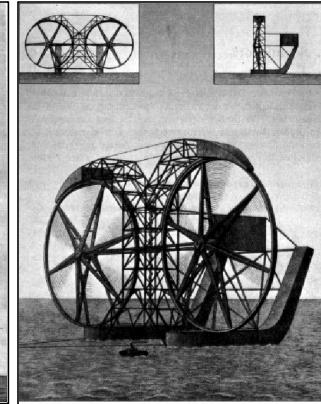
Historie der Windkraftnutzung



1891 Poul la Cour
Weltweit erste WEA
zur Stromerzeugung



1957 StGW 34



1932 H. Honeff
Entwürfe

1926 Albert Betz

„Wind-Energie und ihre Aus-
nutzung durch Windmühlen“

1942 Ulrich Hütter

„Beitrag zur Schaffung von
Gestaltungsgrundlagen für die
Windkraftwerke,“



1983 Growian

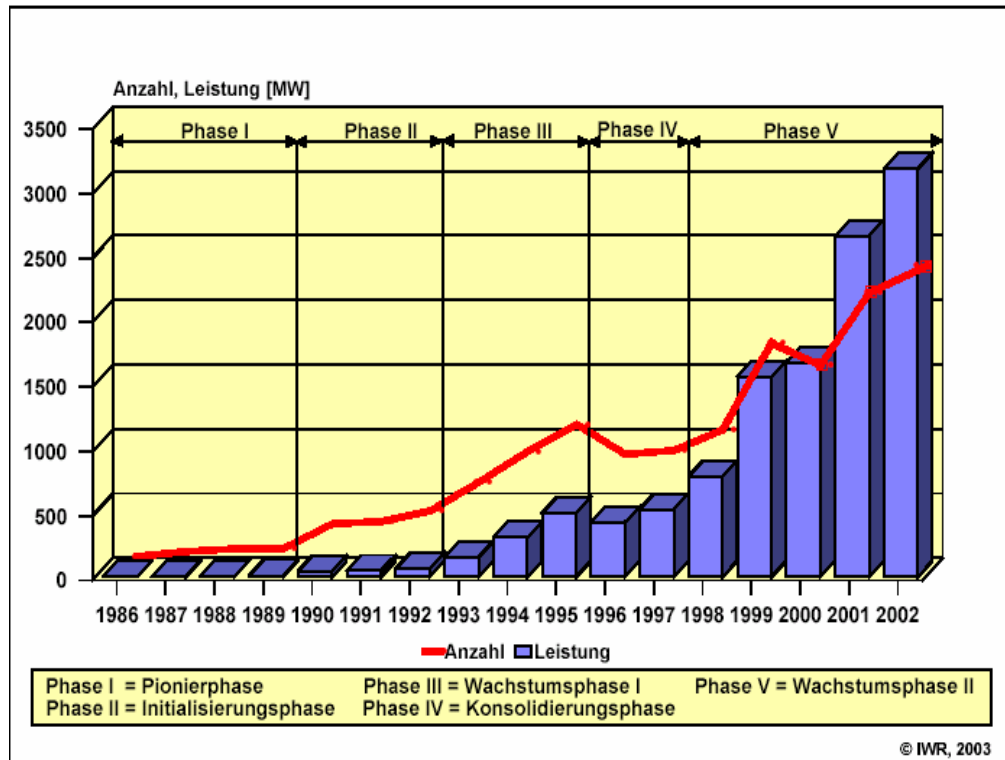
Quelle: <http://www.ifb.uni-stuttgart.de/~doerner/windenergie.html>

Windenergienutzung weltweit

Land	Gesamtinstallierte Leistung in MW bis Ende 2002* (2001**)
<i>Welt</i>	30.000 (24.927)
Deutschland	12.001 (8.734)
Spanien	4.830 (3.550)
USA	4.685 (4.245)
Dänemark	2.889 (2.456)
Indien	1.702 (1.456)
Italien	785 (700)
Niederlande	688 (523)

* Wind Service Holland, 'Windenergy Statistics World-Wide', 2003 ** DEWI, 'International Development of Wind Energy Use', 2003

Windenergienutzung in Deutschland



Stand Ende März 2003*:

- 13.990 WEA
- 12.359 MW

Ausbaukapazität begrenzt

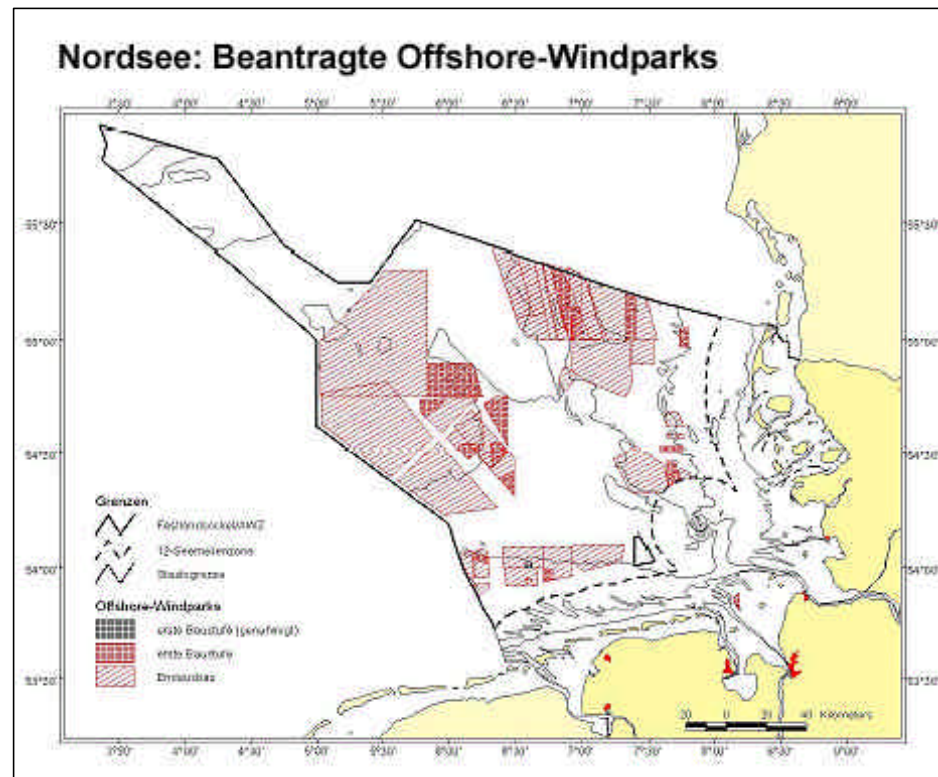
Nächster Schritt:

Repowering

Offshore-Nutzung

*Verband Windenergie e.V.

Offshore Windenergienutzung in Deutschland



- 30 beantragte Projekte in der AWZ (24 Nordsee, 6 Ostsee)
- 2 genehmigte Projekte
Inbetriebnahme: Ende 2004
- 45 - 120 km vor der Küste
- 30 - 40 m Wassertiefe
- bis zu 1.000 MW je Windpark
- Entwicklung von 5 MW-WEA

Besonderheiten der Offshore Windenergienutzung

- ☑ Optimale Windverhältnisse
- ☑ Ca. 4.400 Volllaststunden
- ☑ Multimegawatt WEA
- ☑ Höhere Erträge
- ☑ EEG (ca. 7 € Cent/kWh für 20 a)

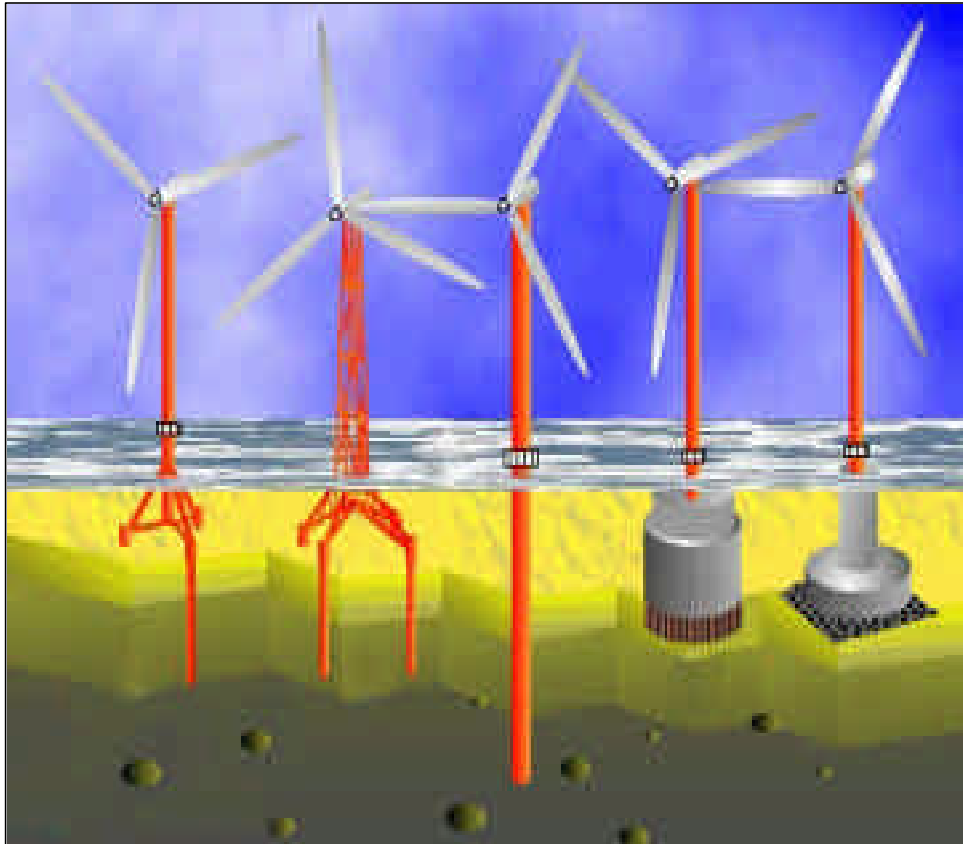
- ✘ Genehmigungsverfahren
(konkurrierende Nutzungen)
- ✘ Höhere Investitions- und Betriebskosten
- ✘ Gründungskonzept
- ✘ Netzanbindung, Netzkapazitäten
(Genehmigung, Technik, Kosten)

Multimegawatt Offshore Windenergieanlagen



- **Antriebsleistung:** 3,6 - 5 MW
- **Rotor:** Ø 100 - 125 m
ca. 50 t
- **Nabenhöhe:** 80 - 90 m
- **Gondel:** ca. 300 t
- **Volllaststunden:** 4.400 h/a
- **Nettoenergieertrag:** 13 - 18 GWh/a
- **Lebensdauer:** WEA ca. 20 a
Fundament ca. 50 a

Gründungsvarianten



Monopile

- bis 20 m Wassertiefe
- Stahl- oder Betonkonstruktion
- Utgrunden, S

Gravitationsfundament

- bis zu 10 m Wassertiefe
- Stahl- oder Betonkonstruktion
- Mittelgrunden , DK

Tripod, Jacket

- ab 20 m Wassertiefe
- Stahlkonstruktion
- konventioneller Offshore-Bereich

Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment)

■ „von der Wiege bis zur Bahre“

Erfassung der Umweltauswirkungen eines Produktes von der Herstellung über die Nutzung bis zur Entsorgung

■ Methodik (nach ISO 14040 ff)

- Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens
- Sachbilanz
- Wirkungsabschätzung
- Auswertung

■ Ergebnis: Vergleich verschiedener Optionen

■ Interessensgruppen: Politik, Wirtschaft, Forschung

Kumulierter Energieaufwand (KEA)

■ Eine Kennzahl als Maß für die gesamte Umwelteinflüsse eines Gutes

■ VDI-Richtlinie 4600

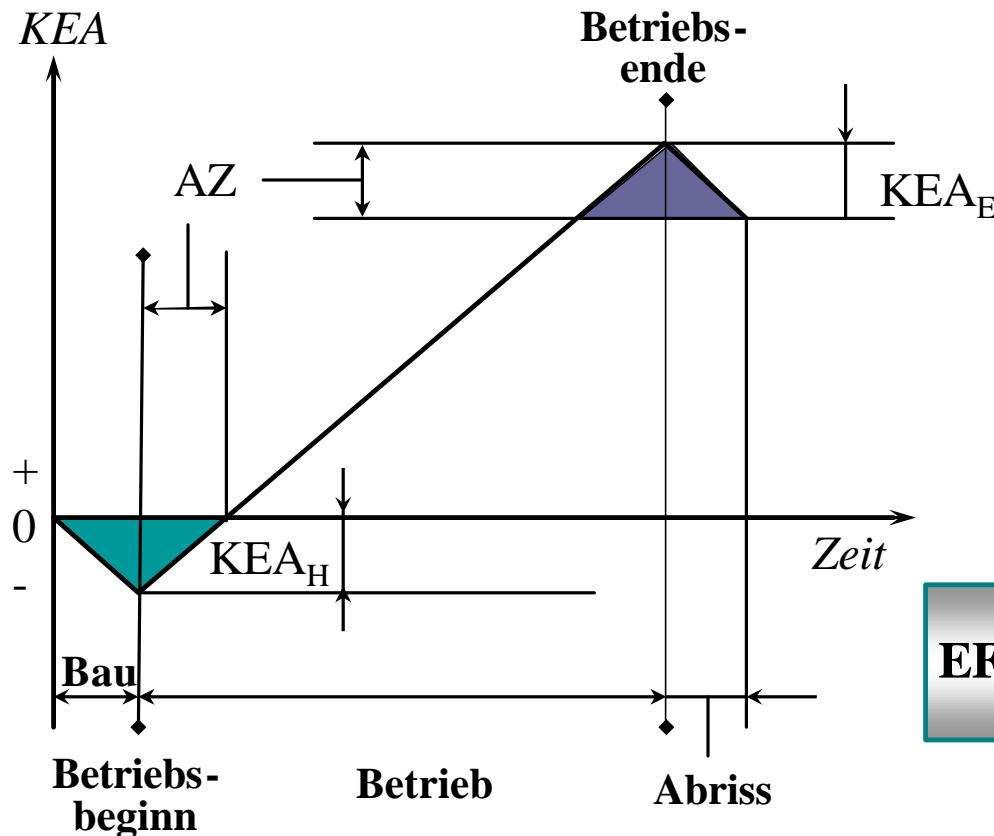
Summe aller Energieaufwendungen (in Primärenergieäquivalenten) über alle „Lebensphasen“ eines Produktes

$$\text{KEA} = \text{KEA}_{\text{Herstellung}} + \text{KEA}_{\text{Nutzung}} + \text{KEA}_{\text{Entsorgung}}$$

- direkte Energieeinsätze
- Energieaufwendungen zur Gewinnung, Verarbeitung, Herstellung und Entsorgung der Fertigungs-, Hilfs- und Betriebsstoffe
- Transportaufwendungen

Energetische Amortisationszeit AZ

Erntefaktor EF

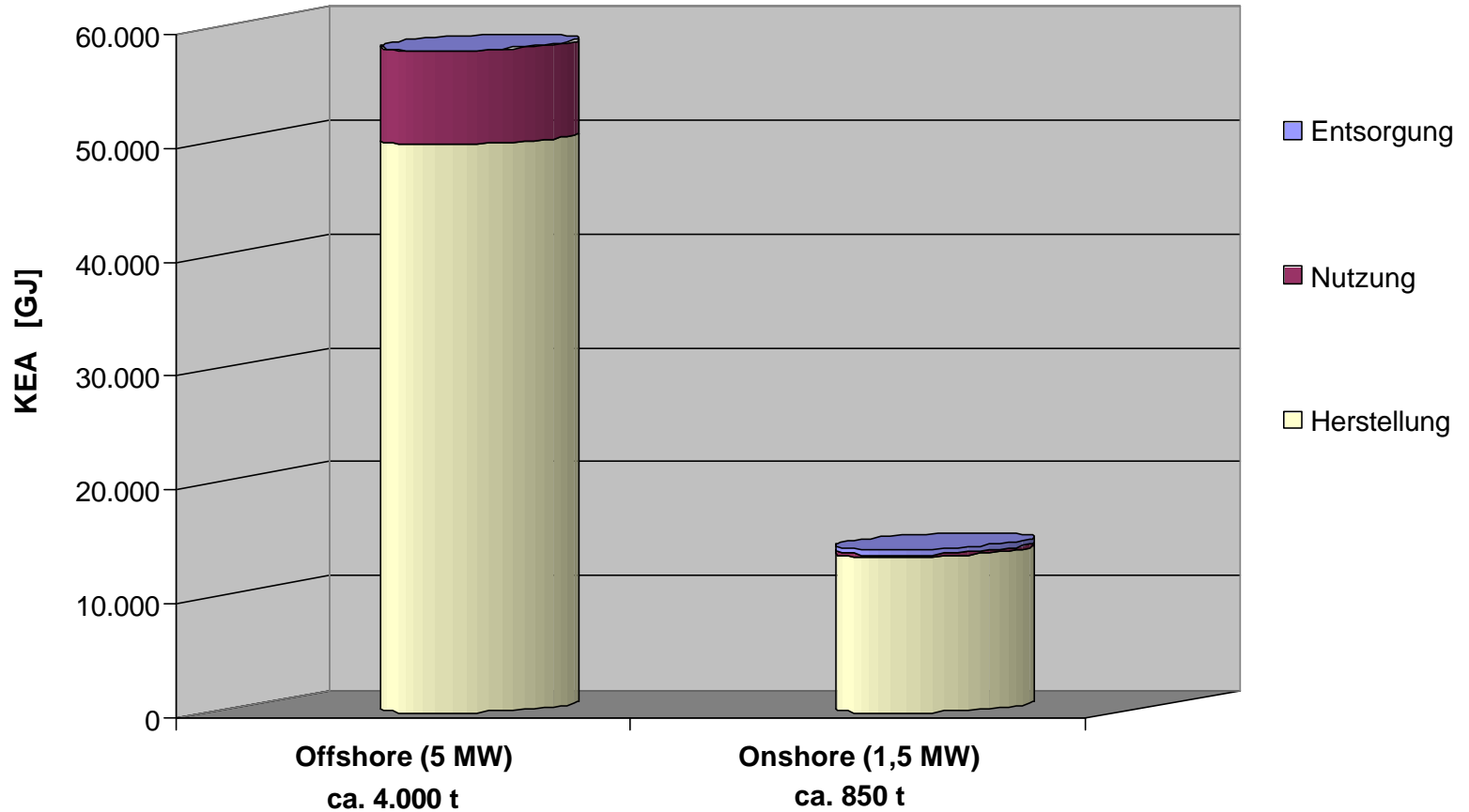


$$AZ = \frac{KEA_H + KEA_E}{(W_{\text{netto, prim.}} - KEA_N)}$$

$$EF = \frac{W_{\text{netto, prim.}}}{(KEA_H + KEA_N + KEA_E)}$$

Offshore-/Onshore-WEA

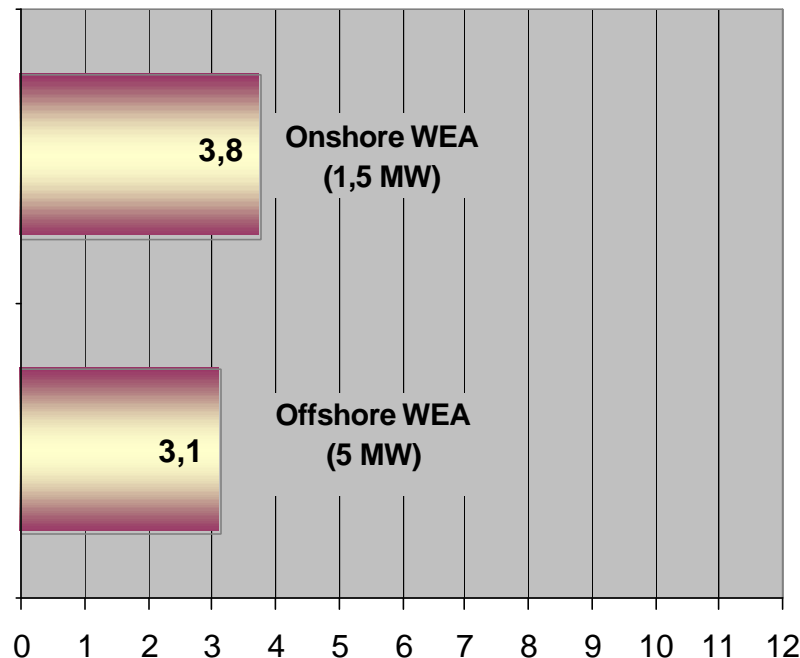
KEA



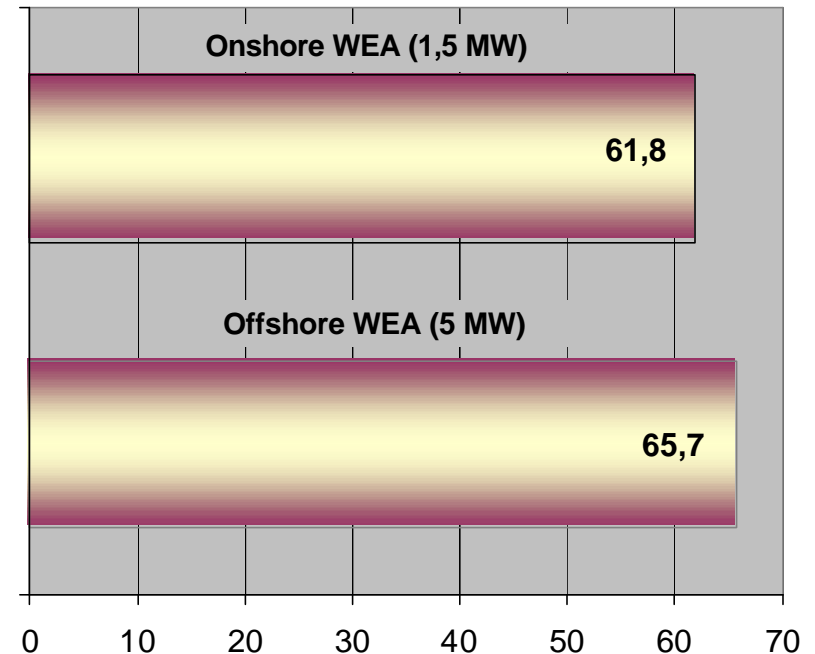
Offshore-/Onshore-WEA

energ. Amortisationszeit und Erntefaktor

Energetische Amortisationszeit
[Monate]



Erntefaktor



Zusammenfassung

- Rasanter Verlauf der Windenergienutzung in Deutschland
- Zielrichtung: Erschließung der Offshore – Standorte
- Hohe Erwartungen an die Offshore -Potentiale
- Große technische und finanzielle Herausforderungen
- Positive Energiebilanz der Multimegawatt WEA im Offshore Einsatz