

Universität  
Rostock



Traditio et Innovatio



# Windturbinen und alternative Energiequellen

Prof. Dr.-Ing. Hendrik Wurm  
Lehrstuhl für Strömungsmaschinen



- Einführung / industrieller Hintergrund (Vorlesung 1)
- Energieinhalt im Wind und Aufbau von Windkraftanlagen (Vorlesung 2)
- Grundlagen der Aerodynamik (Vorlesung 3)
- Windentstehung und Messung der Windgeschwindigkeit (Vorlesung 4)
- Grundlagen für den Rotorentwurf (Vorlesung 5)

- Entwurf und aerodynamische Optimierung des Rotors (Vorlesung 5,6)
- Anpassung an veränderte Windverhältnisse und Verluste (Vorlesung 7)
- Grundlagen der Aeroelastik, Fluid-Struktur-Wechselwirkungen (Vorlesung 8,9)
- Schallquellen an Windkraftanlagen und Maßnahmen zur Reduzierung der Schallabstrahlung (Vorlesung 10)



- **spezielle Herausforderungen an offshore-Windparks (Vorlesung 11)**
- Gezeitenturbinen (Vorlesung 12)
- Solarthermie und Photovoltaik (Vorlesung 13)
- Geothermie (Vorlesung 14)
- Zusammenfassung (Vorlesung 14)

Energie des Windes

$$E = \frac{1}{2} mc_1^2 \quad (1)$$

Leistung  $P = \frac{1}{2} \dot{m} c_1^2$      $\dot{m} = \rho \cdot A \cdot c_1$      $A = \text{Querschnittsfläche}$     (2)

es folgt:  $P = \frac{\rho}{2} \cdot c_1^3 \cdot A$     (3)

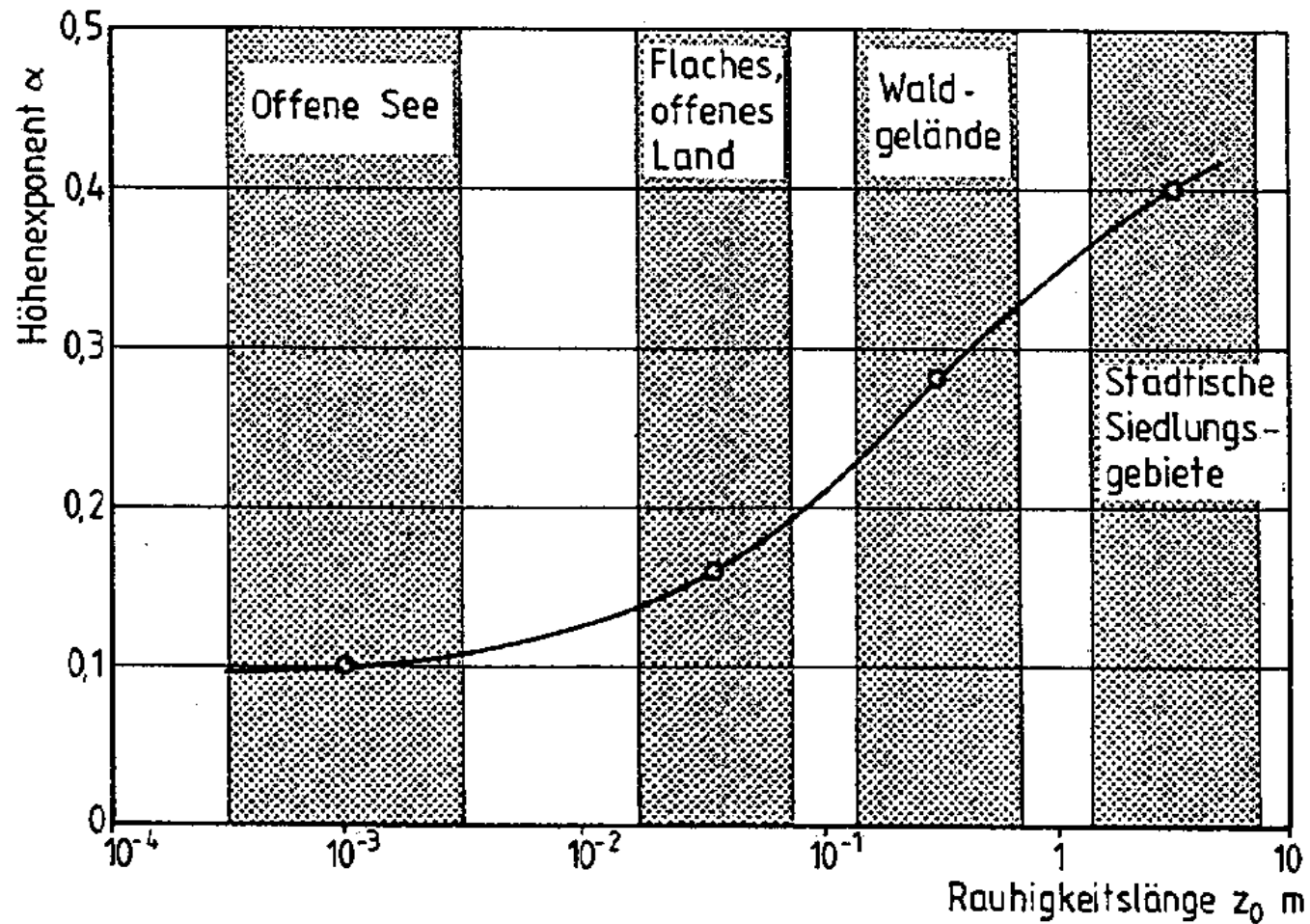
Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe

Potenzansatz von Hellmann

$$v_H = v^* \cdot \left( \frac{H}{H^*} \right)^a$$

- $v_H$  = mittlere Windgeschwindigkeit
- $v^*$  = Bezugsgeschwindigkeit in einer Referenzhöhe
- $H^*$  = Referenzhöhe (i.d.R. 10 m)
- $a$  = Höhenwindexponent

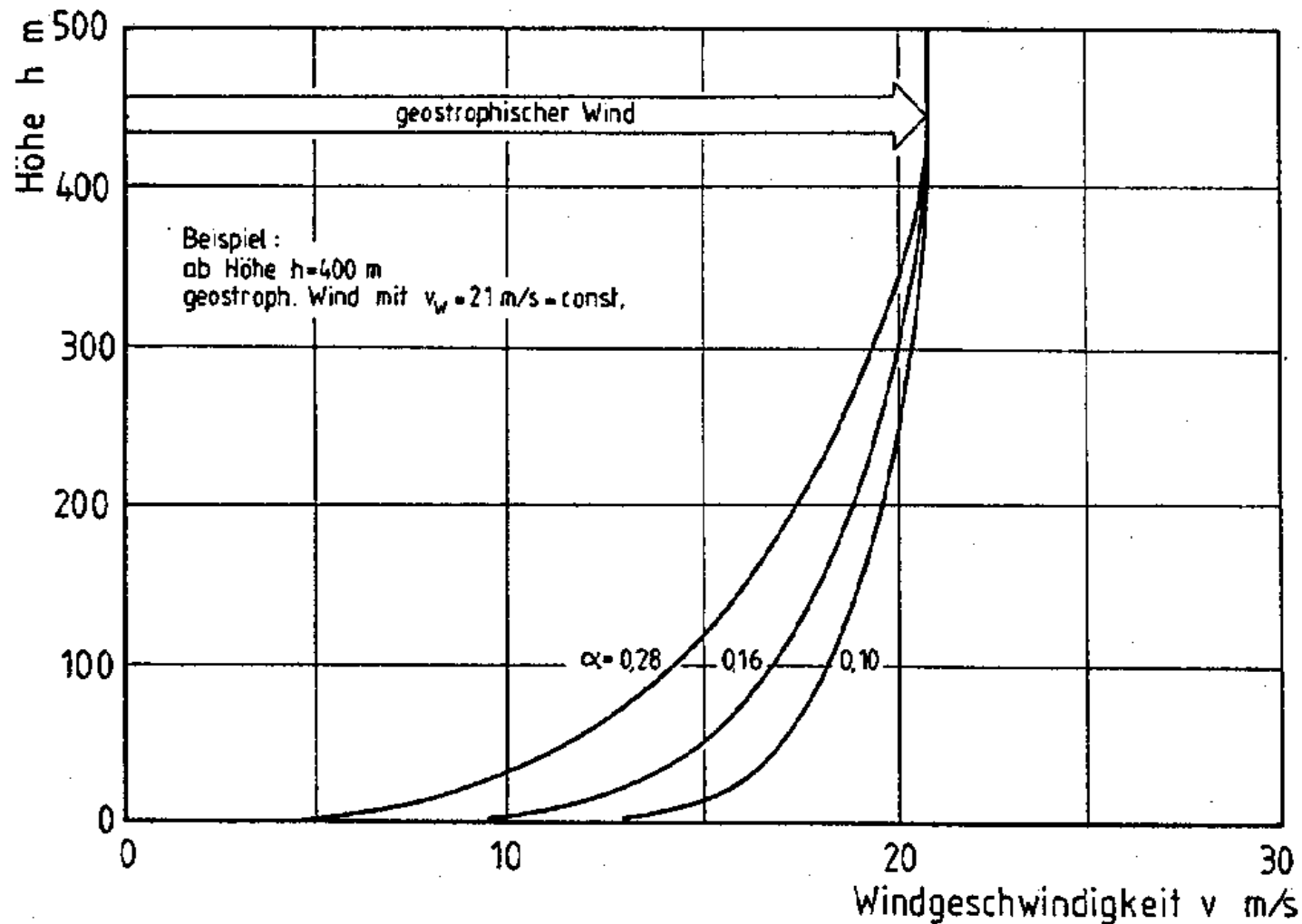
# höhenabhängiges Windangebot



Hellmann-Exponent für unterschiedliche Geländeformen

Quelle: Windkraftanlagen, Erich Hau, Springer-Verlag

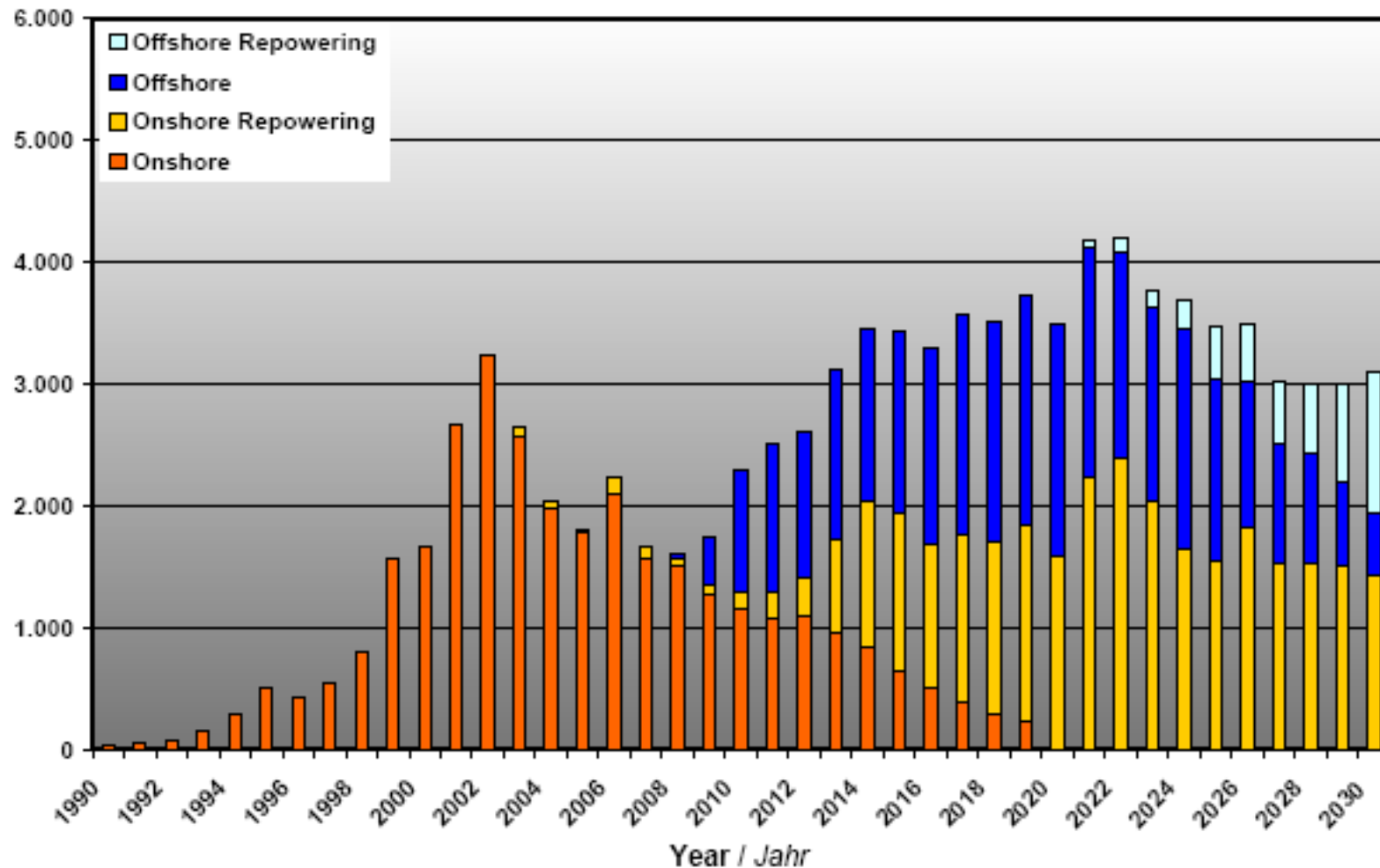
# höhenabhängiges Windangebot



Statisches Höhenprofil der Windgeschwindigkeit, gerechnet mit unterschiedlichen Hellmann-Exponenten

Quelle: Windkraftanlagen, Erich Hau, Springer-Verlag

Installed Capacity per Year / Installierte Leistung pro Jahr  
( Germany / Deutschland )



entnommen aus Wikipedia

- Ende 2009 Testfeld alpha ventus (45 km vor Borkum, 12 WKA der 5 MW-Klasse)
- 2010: „Baltic 1“ in der Ostsee mit 21 WKA es folgt „Bard offshore I“ in der Nordsee mit 80 WKA

- 21 Siemens SWT-2,3-90/2300 kW
- 16 km von der Küste (Ostsee), 16 m -19 m Wassertiefe
- Gesamtleistung: 48,3 MW
- jährl. Ertrag: 185 GWh/a

- 80 Bard 5.0
- 90 km vor Borkum, ca. 40 m Wassertiefe
- Gesamtleistung: 400 MW (geplant ab 2013)
- jährl. Ertrag: 1.600 GWh/a



- Borkum Riffgat seit Sommer 2013 fertiggestellt, seit Feb. 2014 in Betrieb
- Global Tech 1 im Bau, Inbetriebnahme Mitte 2014 geplant, verschoben auf 2015
- 5 weitere offshore-Windparks im Bau
- für mehr als 20 weitere Windparks liegt die Genehmigung vor, die Realisierung ist unklar – unklare politische Rahmenbedingungen

- 2011: 4000 MW = 0,4% des EU- Strombedarfs (2,8 Mrd. Invest)
- geplant für 2020: 40 GW = 14% des EU Strombedarfs  
460.000 Beschäftigte (gesamt) und davon  
40% offshore

FIGURE 1.7 PROJECTED CUMULATIVE OFFSHORE WIND CAPACITY (EWEA AND NATIONAL RENEWABLE ENERGY ACTION PLANS)



FIGURE 1.9 OFFSHORE WIND POWER ANNUAL (LEFT) AND CUMULATIVE (RIGHT) INSTALLATIONS 2010-2020

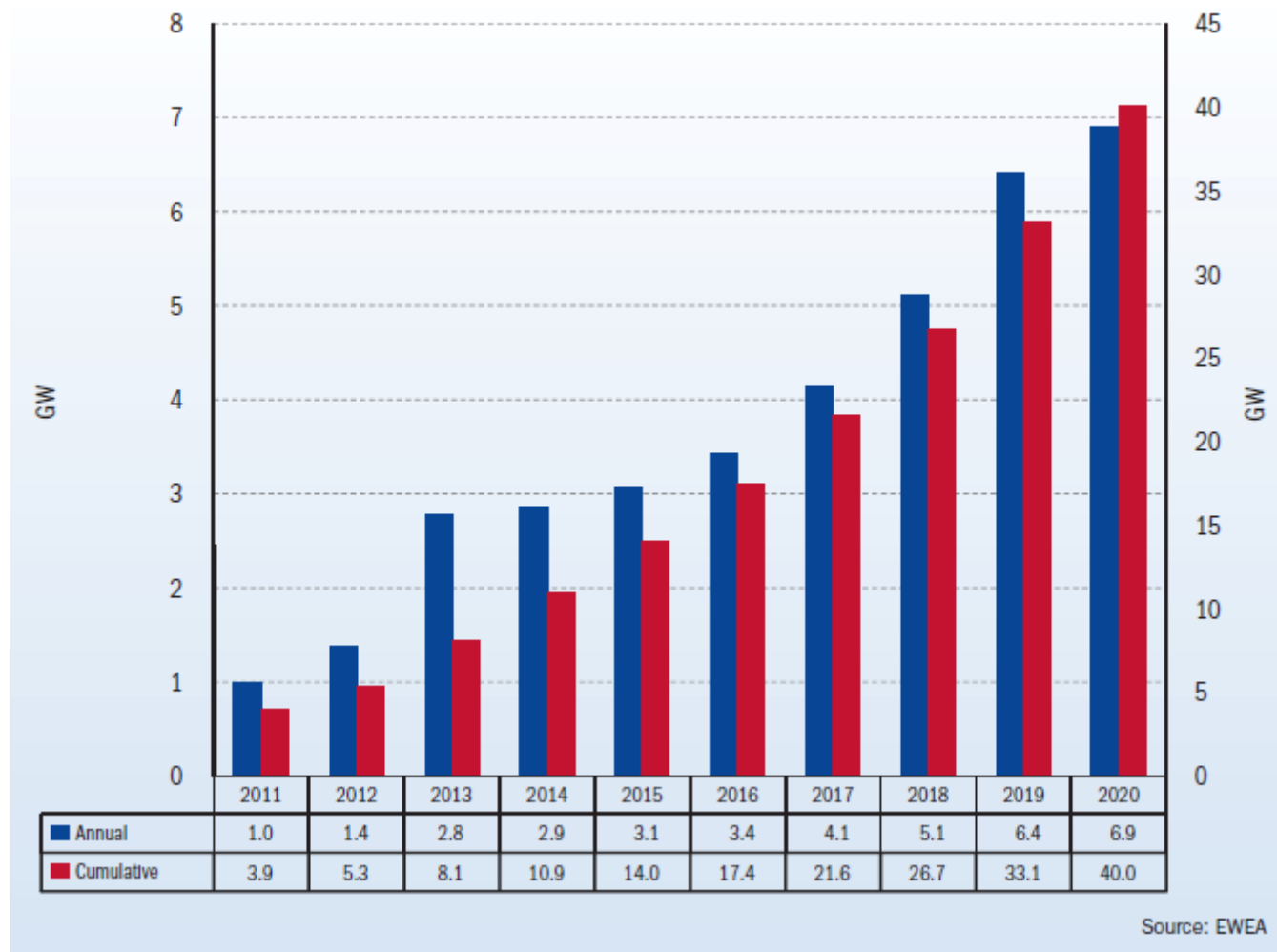
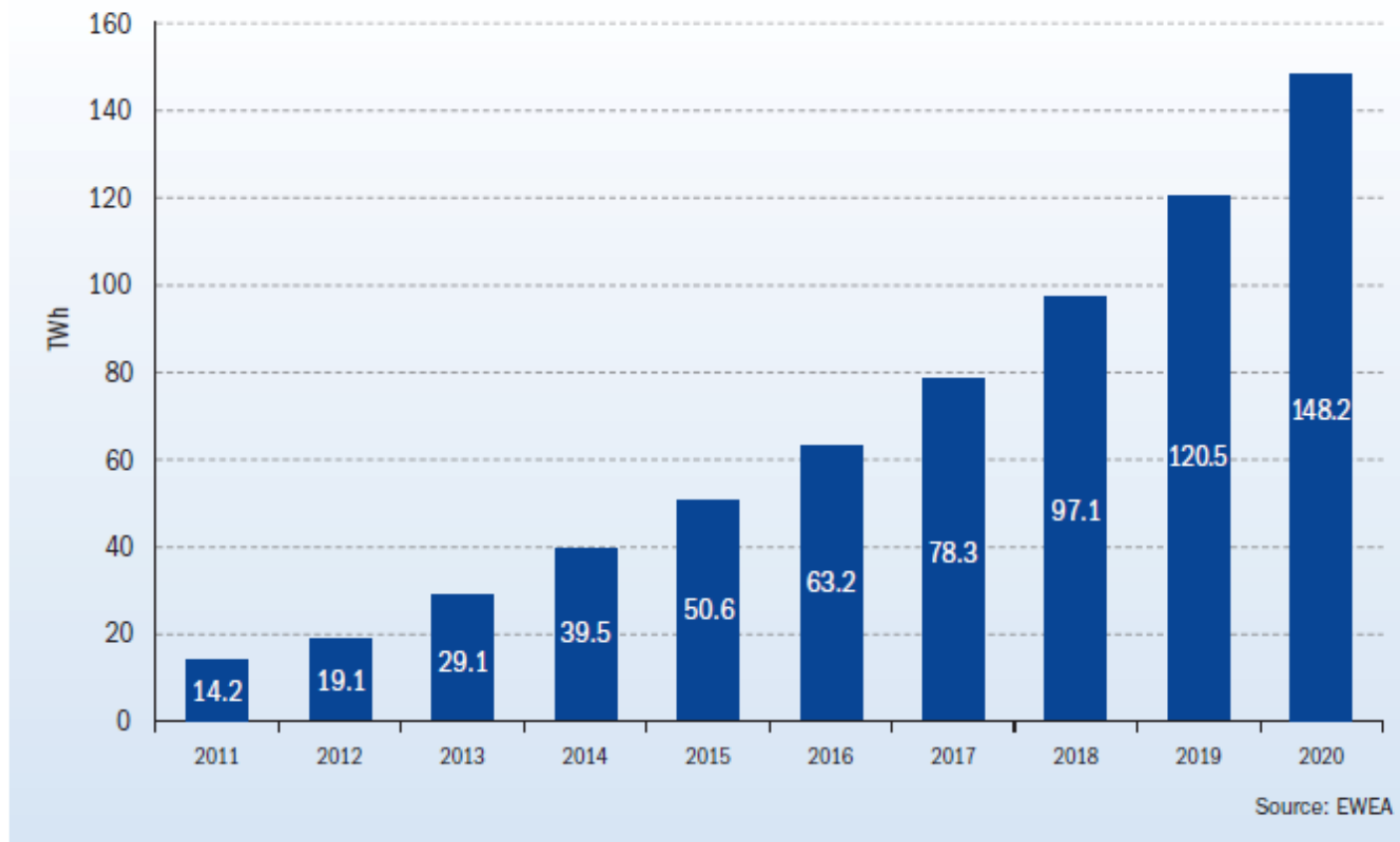


FIGURE 1.10 OFFSHORE WIND ELECTRICITY PRODUCTION 2010-2020



- hohe Bau- und Betriebskosten
- hoher Aufwand zur Sicherstellung der Zuverlässigkeit (Garantie für 25 Jahre)
- ökologische Auswirkungen (wie bei allen Kraftwerkstypen)
- Einbindung in das elektrische Netz

- Wellenlasten
- hoher Salzgehalt der Luft - Korrosion
- Meeresströmung
- Eis

# Offshore Windenergienutzung

## Clustering nach Entfernung und Tiefe

- bis 20 km Entfernung von der Küste und 20 m Wassertiefe
- bis 60 km / 60 m
- größer 60 km / 60 m
- bis 60 km / größer 60 m

FIGURE 1.17 DISTANCE AND DEPTH OF ONLINE, CONSENTED AND UNDER CONSTRUCTION OFFSHORE WIND FARMS

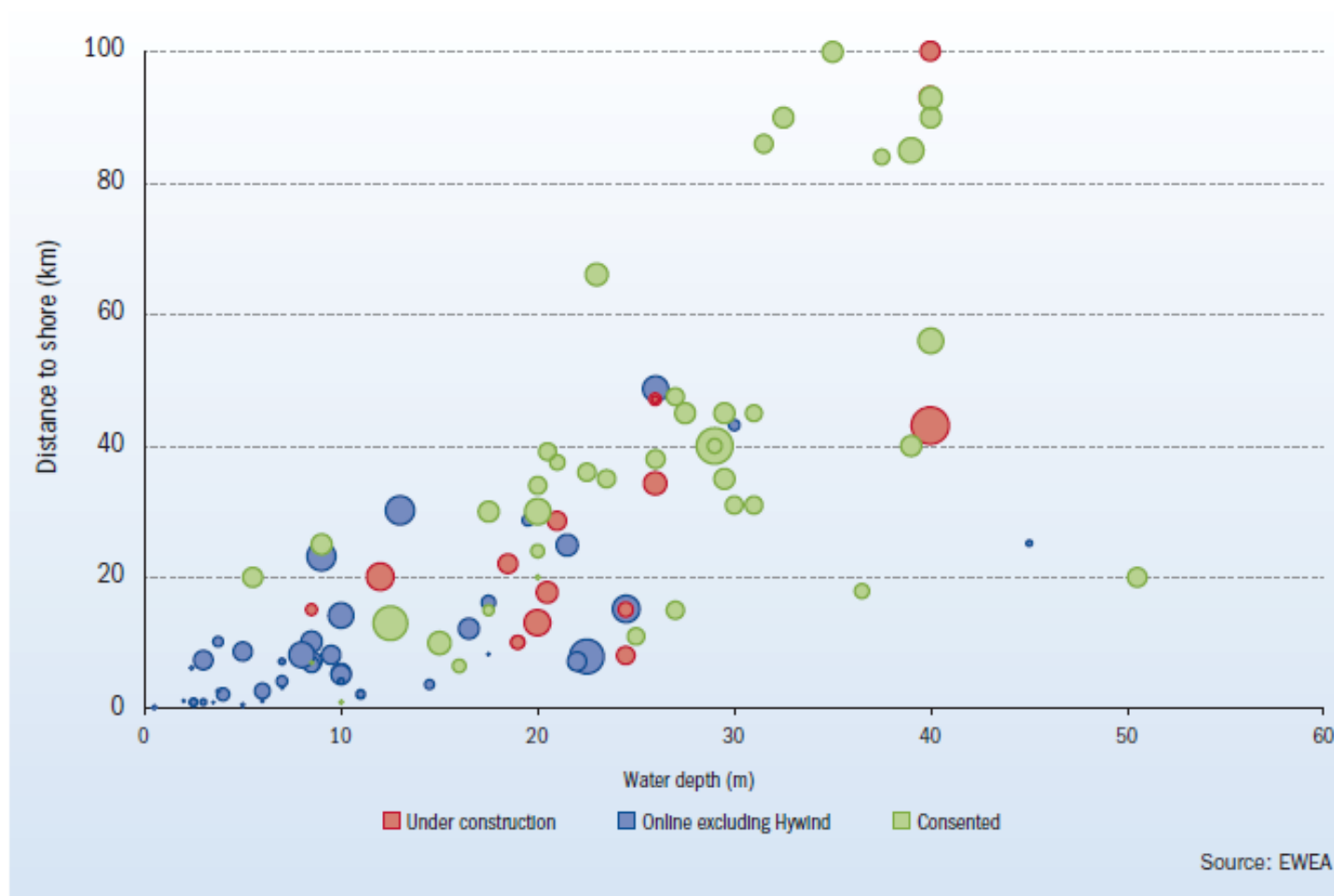
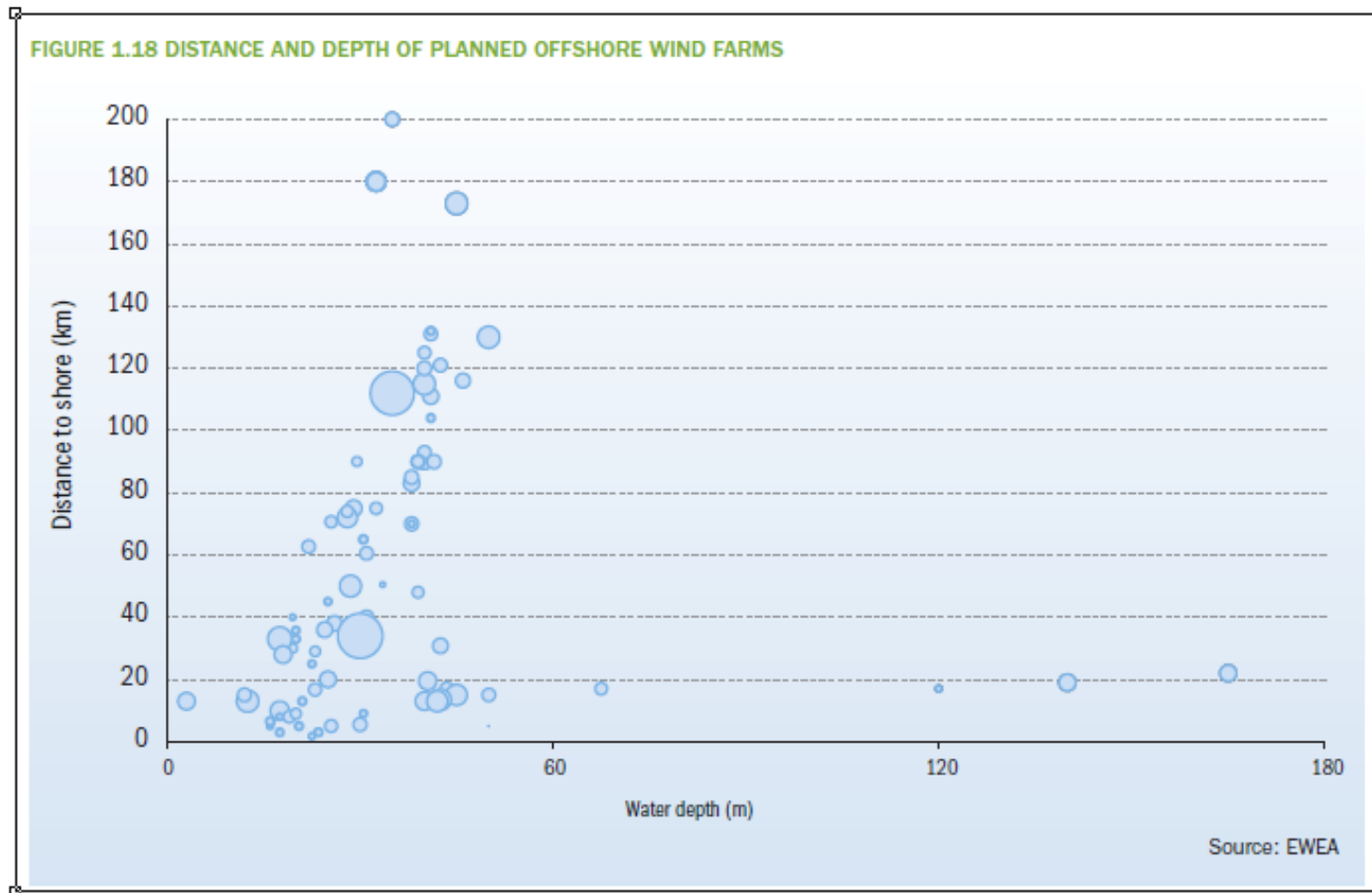


FIGURE 1.18 DISTANCE AND DEPTH OF PLANNED OFFSHORE WIND FARMS





- Gründung
- Transport
- Montage
- Einbindung in das elektrische Netz



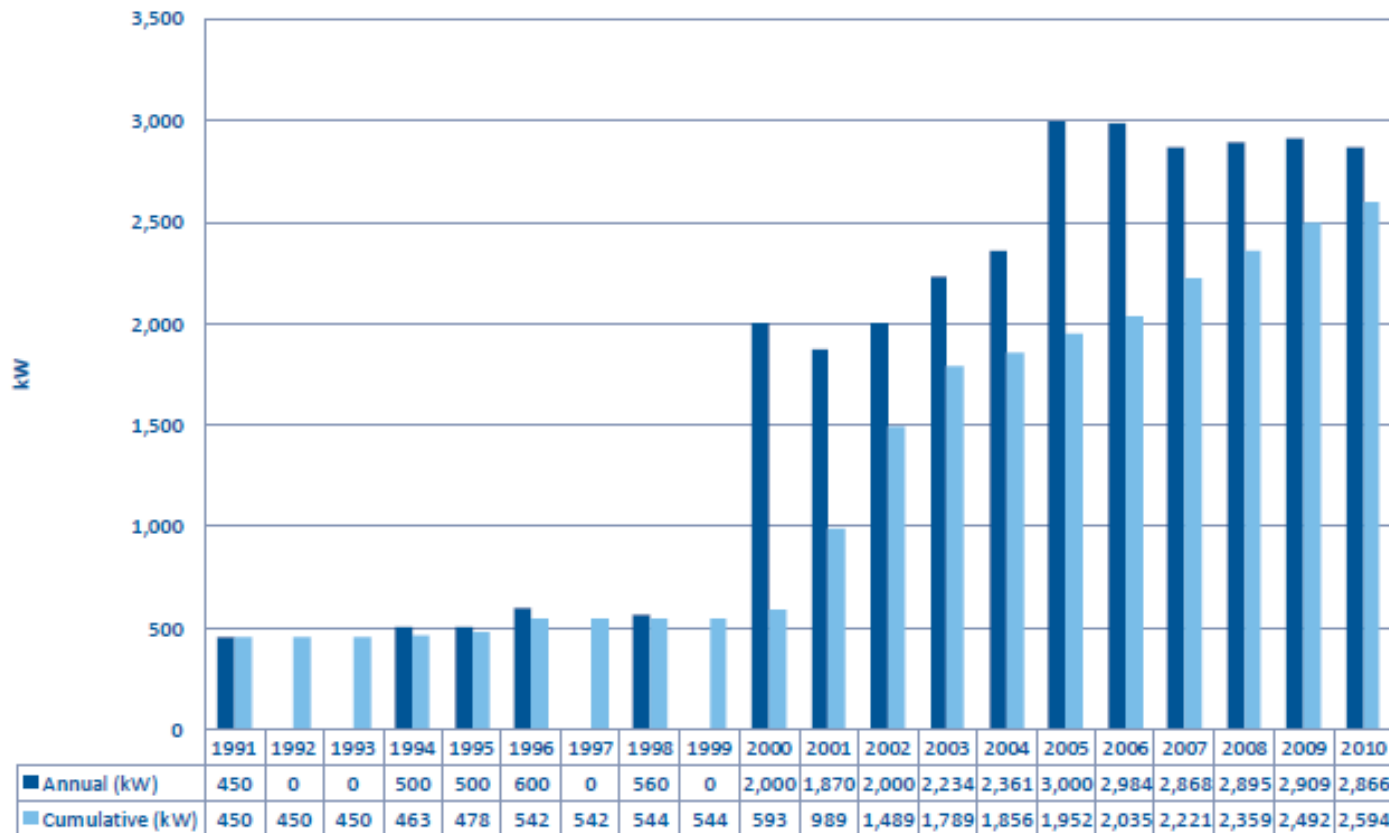
- Schwerkraftgründung
- Monopile-Gründung
- Tripod-Gründung
- Jackets
- schwimmende Strukturen

Tafelbild

- Energieversorger
- Hersteller Windturbinen und andere Maschinenbaukomponenten
- Hersteller der Struktur
- Hersteller der Elektrik
- Hersteller der Kabel
- Kabelverleger
- Schiffseigner
- Häfen

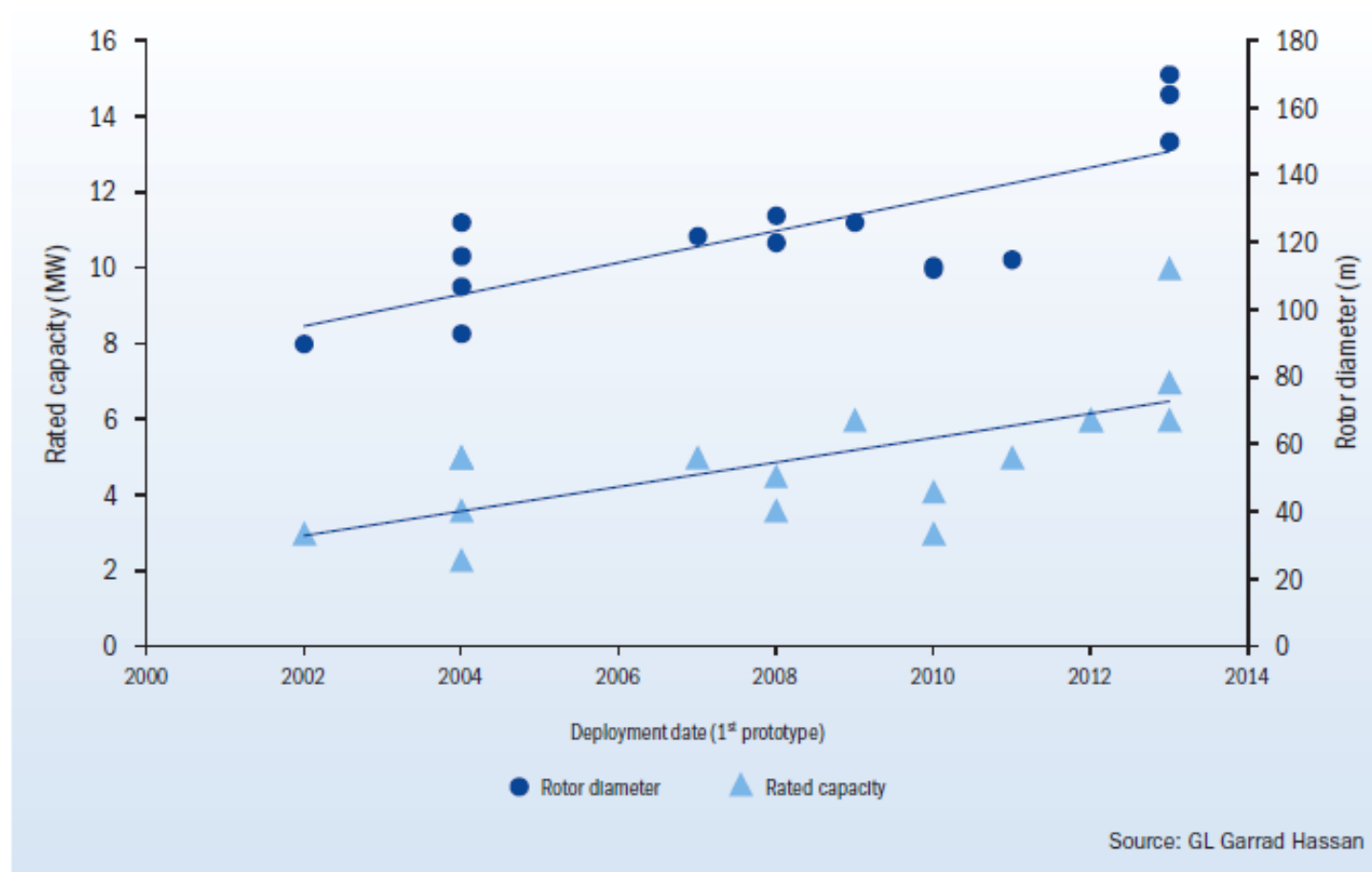


Average size of offshore wind turbines



Quelle: A. Athanasia: Offshore wind supply chain. EWEA offshore 2011

FIGURE 3.5 GROWTH TRENDS - RATED CAPACITY AND ROTOR DIAMETER FOR OFFSHORE WIND TURBINE PRODUCTS



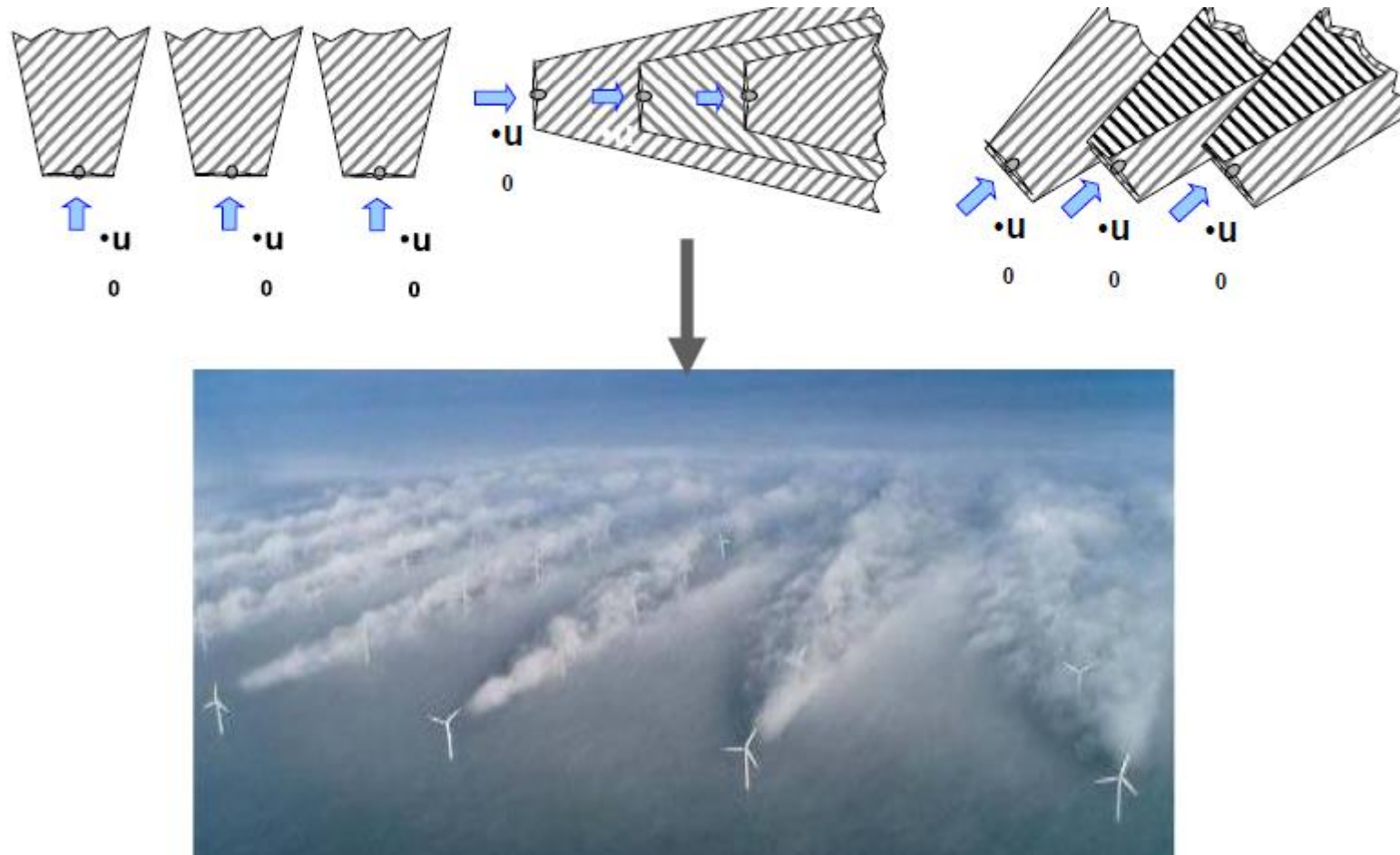
## 2 vs. 3 Flügel

- pro 2 Flügel: Kosten  
hohe Schnelllaufzahl
- con 2 Flügel: Akustik – offshore sekundär  
Dynamik

- GE 4.1-113: Rotordurchmesser 113 m; Leistung 4,1 MW;  
Windgeschwindigkeit: ein: 3,5 m/s; aus: 25 m/s; design: 14 m/s
- Areva M5000-135: Rotordurchmesser 135 m; Leistung 5,0 MW;  
Windgeschwindigkeit: ein: 3,5 m/s; aus: 25 m/s; design: 11,4 m/s;  
Generator: synchron mit Permanentmagneten



Quelle: J. Beurskens: The fundamentals of offshore wind energy. EWEA offshore 2011



Quelle: J. Beurskens: The fundamentals of offshore wind energy. EWEA offshore 2011



- 3D- Simulationen der Parkströmung
- empirische Korrekturfaktoren
- Modelle auf der Basis der Ähnlichkeitstheorie



Towed "dumb" barge with crane



Shearleg Crane-barge



Semi-submersible/heavy-lift vessel



DP2 Heavy-Lift Cargo Vessel



Leg-stabilised crane vessel



Self-Propelled Jack-up

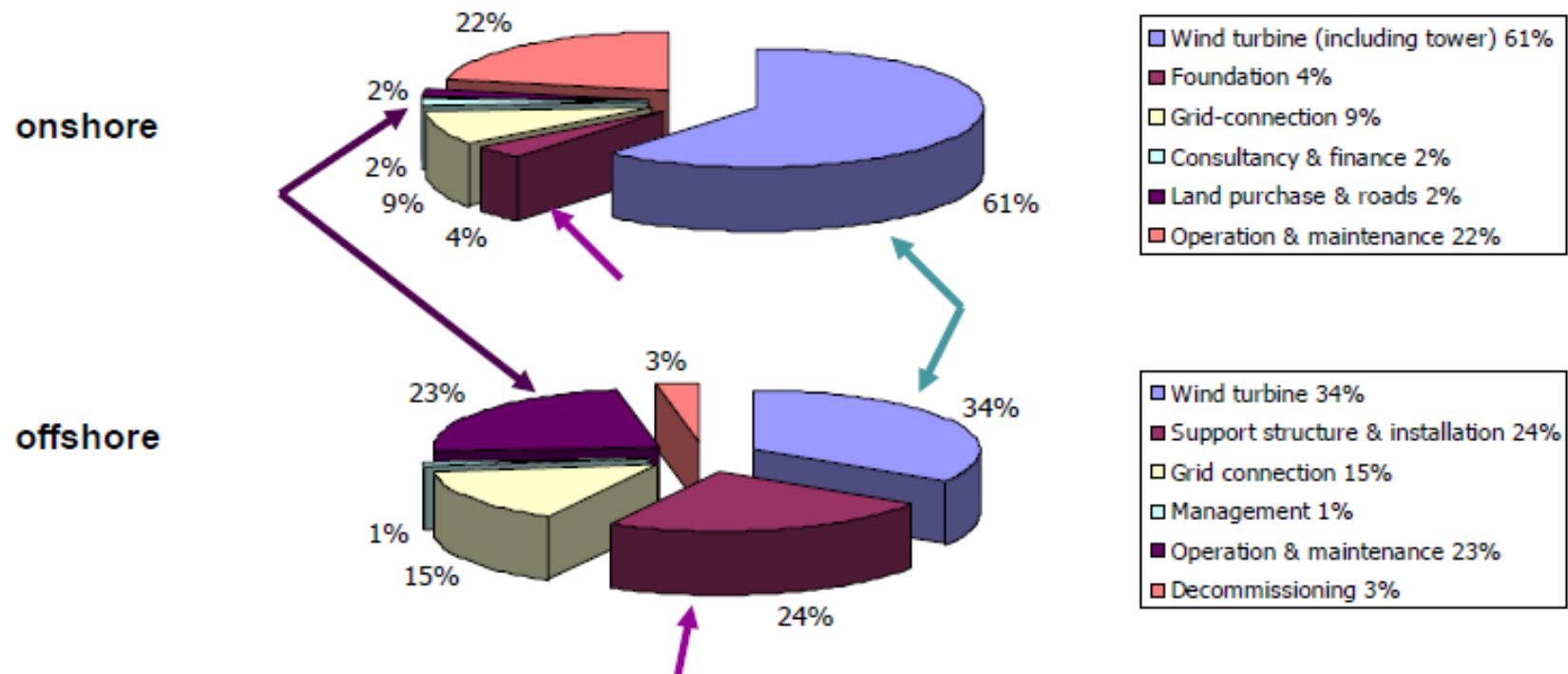
Quelle: E. ter Horst: Ports&Vessels. EWEA offshore 2011



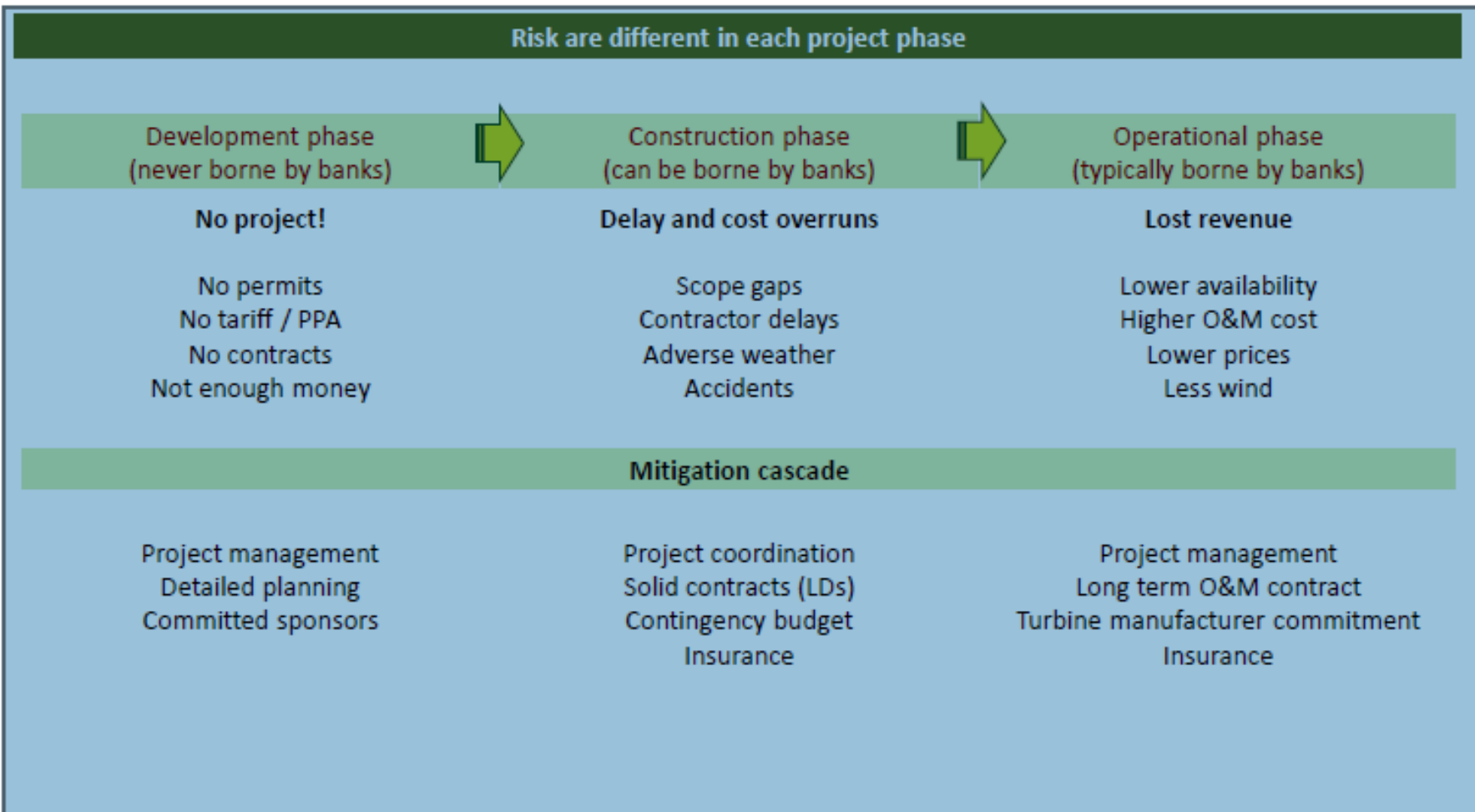
Quelle: E. ter Horst: Ports&Vessels. EWEA offshore 2011

- Seevögel (Kollisionsrisiko, andere Störungen)
- Meerestiere (Lärm, Orientierungsstörungen, anderes)
- Optische Beeinträchtigung
- mögliche Schiffskollisionen





Quelle: J. Beurskens: The fundamentals of offshore wind energy. EWEA offshore 2011



### There is enough money for good projects

- Non recourse finance requires a specific discipline and approach to project risks
- Sponsors which cannot or *do not want to* follow that discipline will not raise non recourse debt

Quelle: J. Guillet: Wind energy-the facts:offshore . EWEA offshore 2011