



■ Potenzial kleiner Windenergieanlagen: Märkte, Kosten, Umwelt

Dr. Martin Pehnt

**Institut für Energie- und Umweltforschung
Heidelberg**

martin.pehnt@ifeu.de www.ifeu.de



Akzeptanz vertikaler Windenergieanlagen

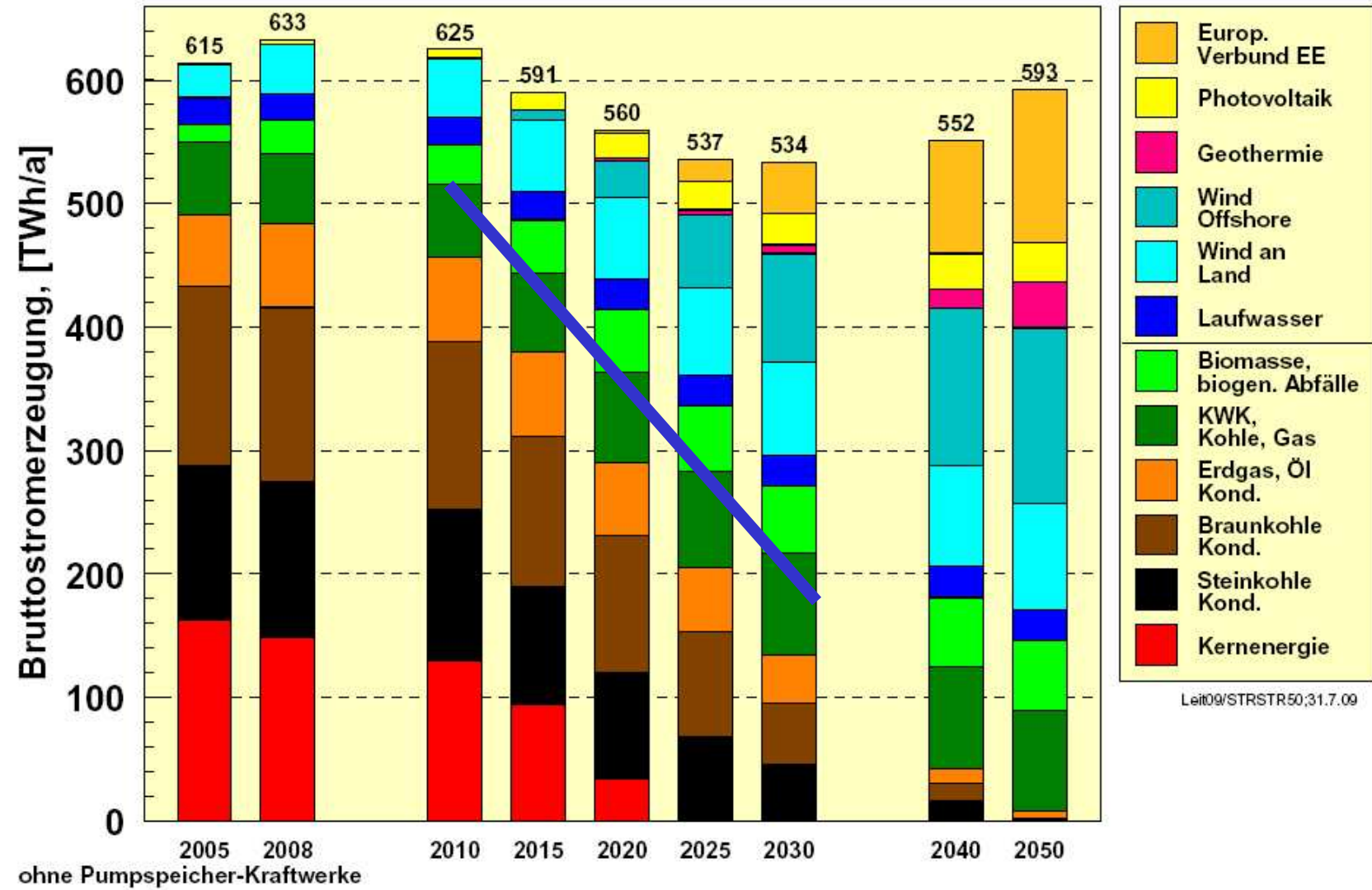
- **IFEU: zahlreiche Aktivitäten im Umfeld erneuerbarer Stromerzeugung im Auftrag des BMU**
 - ▶ EEG-Erfahrungsbericht/Novelle
 - ▶ Grundsatz/Strategiestudien
 - ▶ Systemintegration, Speicher, Elektromobilität
 - ▶ Ökologische Bewertung

BMU-gefördertes Projekt zur Akzeptanz und Bewertung vertikaler Windenergieanlagen

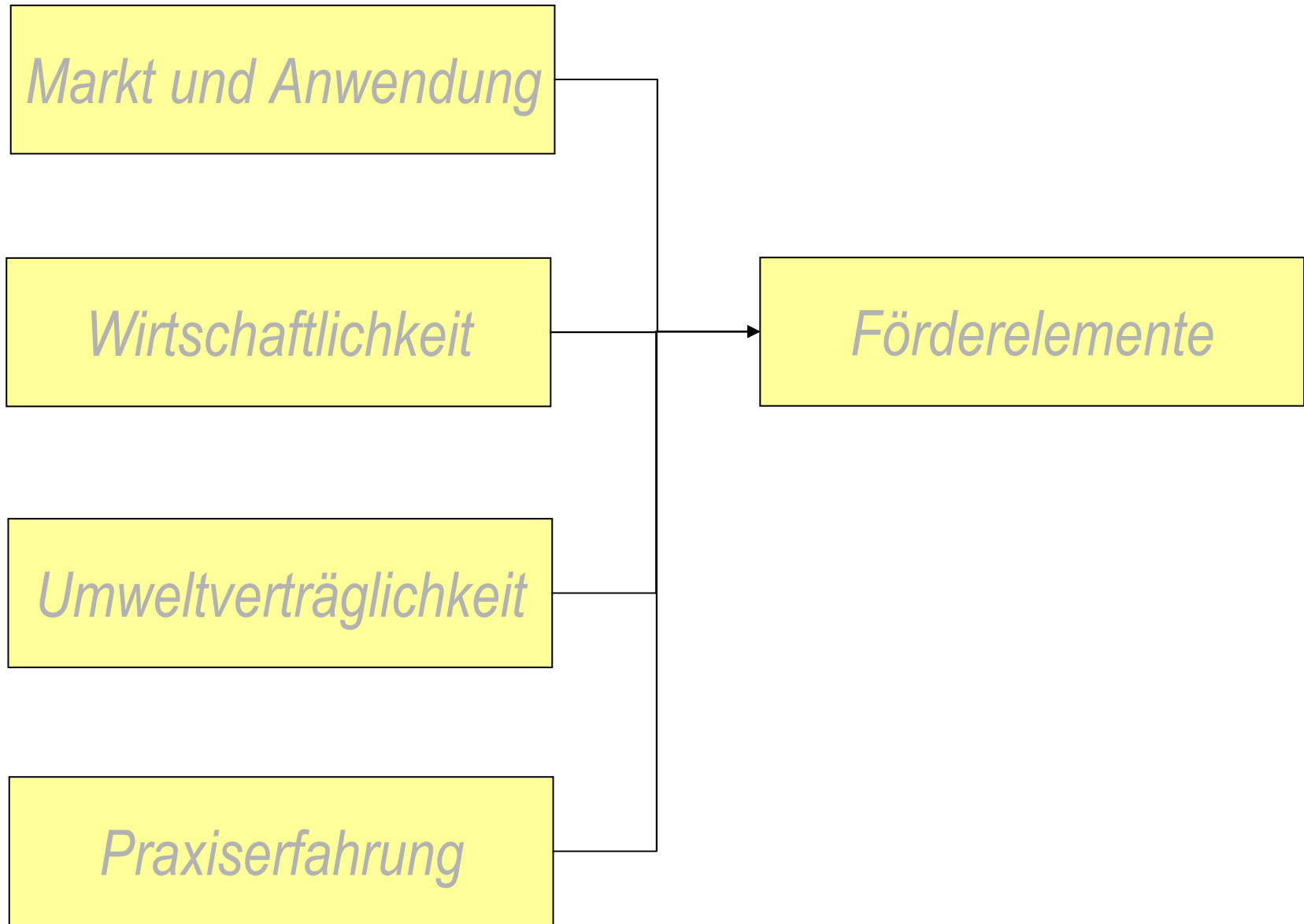
- ▶ Projektkoordination und umweltpsycholog. Untersuchungen: Uni Halle
- ▶ Partner: TU Clausthal, PSE, TASSA, IFEU, UFZ
 - außerdem: rechtl. Rahmenbedingungen, Exportpotenziale
- ▶ Abschluss Oktober 2009



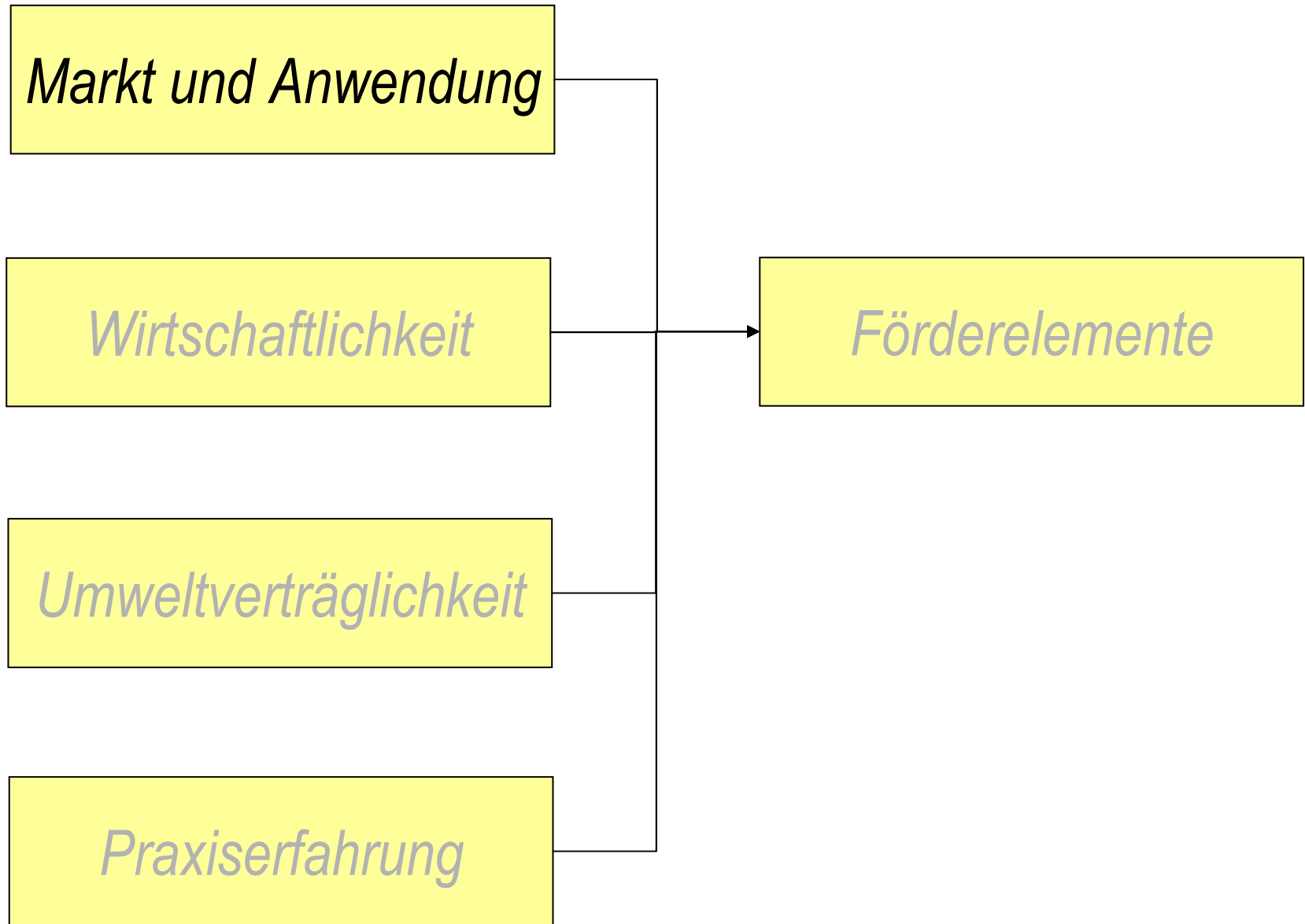
Leitszenario 2009



Inhalt



Inhalt



Beispiele von Anlagen

Übersicht der Kleinwindkraftanlagen

Die technischen Daten der hier aufgeführten Anlagen sowie Unternehmenskontakte finden Sie im Internet-Portal www.wind-energy-market.com



S&W2000
Nennleistung: 2,0 kW
Rotordurchmesser: 3,0 m



HEOS H50
Nennleistung: 50,0 kW
Rotordurchmesser: 12,0 m



BWC Excel
Nennleistung: 10,0 kW
Rotordurchmesser: 7,0 m



EasyWind 6 AC
Nennleistung: 1,5 / 6,0 kW
Rotordurchmesser: 6,0 m



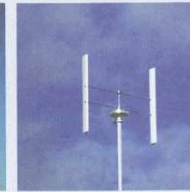
WESpe
Nennleistung: 5,0 kW
Rotordurchmesser: 4,5 m



Passaat
Nennleistung: 1,40 kW
Rotordurchmesser: 3,12 m



40 kW Anlage
Nennleistung: 40,0 kW
Rotordurchmesser: 12,0 m



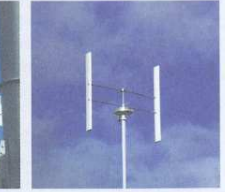
10 kW Anlage
Nennleistung: 10,0 kW
Rotordurchmesser: 6,0 m



INCLIN 6000 neo
Nennleistung: 6,0 kW
Rotordurchmesser: 3,7 m



ANTARIS 3,6 kW
Nennleistung: 3,6 kW
Rotordurchmesser: 3,5 m



1 kW Anlage
Nennleistung: 1,0 kW
Rotordurchmesser: 2,0 m



20 kW Anlage
Nennleistung: 20,0 kW
Rotordurchmesser: 6,0 m



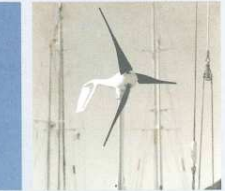
AIRCON 10 S
Nennleistung: 9,8 kW
Rotordurchmesser: 7,13 m



Montana
Nennleistung: 5,6 kW
Rotordurchmesser: 5,0 m



Pawicon 2500
Nennleistung: 2,5 kW
Rotordurchmesser: 3,5 m



AIR
Nennleistung: 0,4 kW
Rotordurchmesser: 1,15 m



Alize
Nennleistung: 10,0 kW
Rotordurchmesser: 7,0 m



EasyWind 6 DC
Nennleistung: 7,5 kW
Rotordurchmesser: 6,0 m



5 kW Anlage
Nennleistung: 5,0 kW
Rotordurchmesser: 5,2 m



EW Elisa 2,5
Nennleistung: 2,5 kW
Rotordurchmesser: 3,6 m



Superwind 350
Nennleistung: 0,350 kW
Rotordurchmesser: 1,22 m

Stadtwerke fördern kleine Windkraftanlagen

Der Energieversorger will die Krummhörner Produktions-

☎ 0 49 21 / 89 00 415

Emden. Haus-Windkraftanlagen sind zurzeit noch etwas für Idealisten. Sie dürfen in Niedersachsen nicht ohne Baugenehmigung montiert werden, aber wenn es nach den Stadtwerken Emden (SWE) geht, werden die Anlagen in den kommenden Jahren massentauglich. Deshalb unterstützt der Energieversorger eine in Greetsiel ansässige Herstellerfirma – die WIPO Wind Power GmbH.

Überzeugende Idee

„Wir sind von der Idee überzeugt und wollen diese Initiative unterstützen“, sagte SWE-Geschäftsführer Remmer Edzards gestern in einem Pressegespräch. Die erste Anlage mit dem Typnamen „Windcore“ auf deutschem Boden hat in dieser Woche auf dem SWE-Gelände in der Martin-Faber-Straße die Stromproduktion aufgenommen – ein weiterer wird zurzeit im Gewerbegebiet Pewsurn bei Stahlbau Sanders errichtet. „Wir wollen die Anlage testen, sie muss sich noch beweisen“, sagte Thomas Brede, bei den Stadtwerken für die Energiedienstleistungen verantwortlich.

Der Emdener Energieversorger will nun ein Jahr lang unter anderem netztechnische Messungen vornehmen und die Geräuschentwicklung sowie den Energie-Ertrag beobachten. „Und wir wollen den Hersteller dabei unterstützen, dass



Präsentierten die in Greetsiel montierte Haus-Windkraftanlage auf dem SWE-Gelände: Gerd Rosendahl und Wen Zhang von WIPO und SWE-Geschäftsführer Remmer Edzards. EZ-Bilder: Wilken

sein Produkt als förderwürdig anerkannt wird“, sagte Brede. Zurzeit werden Haus-Windkraftanlagen nicht im Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) berücksichtig – was nach Ansicht von Remmer Edzards durchaus wünschenswert wäre.

So lange es noch keine finanzielle Unterstützung gibt, kann der Käufer noch nicht mit einer schnellen Amortisierung der Anlagen rechnen, wurde im Pressegespräch deutlich. Die „Windcore“ kostet inklusive Installation rund

10 000 Euro, sagte Gerd Rosendahl, bei WIPO für den Vertrieb verantwortlich. Ein Vier-Personen-Haushalt könne voraussichtlich rund 50 Prozent seines Stromverbrauchs über eine solche Anlage decken.

Im Gegensatz zu Bayern oder Schleswig-Holstein ist das Errichten der Anlagen in Niedersachsen nur mit einer baurechtlichen Genehmigung möglich. Die Vereinfachung des Verfahrens wollen die Stadtwerke durch ihre Unterstützung ebenfalls fördern.

Testfeld in Emden

Befürchtungen, Privatkunden zu verlieren, weil sie sich durch ihre eigene Stromproduktion unabhängig machen könnten, besteht bei den Stadtwerken nicht. Vielmehr sieht die SWE durch die Unterstützung solcher Projekte die Chance, ihre Kunden zu halten. Dass es dem lokalen Energieversorger ernst ist mit dem Thema, machte Edzards deutlich, als er ein Testfeld mit den Anlagen kündigte. „Wir haben ein 2000 Quadratmeter großes Gelände am ehemaligen Schlachthof im Larreher Polder im Auge, wo wir etwa zehn Anlagen prüfen wollen.“

Nach Angaben von WIPO sind die Haus-Windkraftanlagen vor allem in Bayern und in Österreich bereits stark nachgefragt. „Der Vorteil ist, dass es keinen Schattenwurf gibt und keine Pfeifgeräusche“, sagte Gerd Rosendahl. Die in Greetsiel gemietete Halle, in der die „Windcore“ montiert wird, sei inzwischen zu klein. Es gebe großes Interesse, nach Emden umzusiedeln.

► Wer sich die Haus-Windkraftanlage auf dem SWE-Gelände ansehen möchte, kann sich an der Pforte in der Martin-Faber-Straße 11 melden. Dort gibt es ein Informationsblatt mit den technischen Daten der „Windcore“.

Anlage „Windcore“

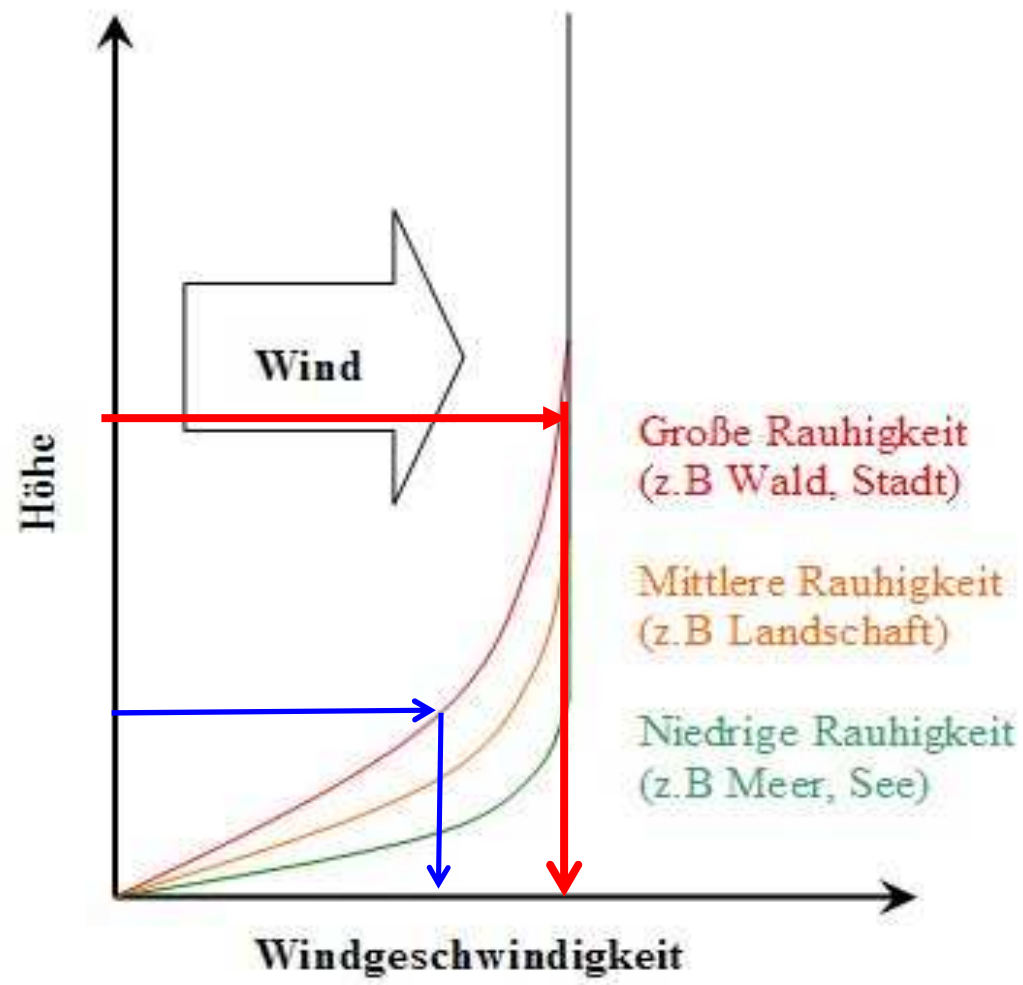


Verfügt über acht Rotorblätter: die Anlage „Windcore“.

Die Haus-Windkraftanlage „Windcore“ der Firma WIPO Wind Power GmbH wird zurzeit in Greetsiel montiert. Die Komponenten kommen in erster Linie aus China und zum Teil aus Deutschland und der Schweiz. Die Idee ist nach Angaben von Wen Zhang, die bei WIPO für das internationale Marketing zuständig ist, von einem Chinesen in Deutschland entwickelt worden. Dieser habe an der Universität in Oldenburg studiert und viele Jahre beim TÜV gearbeitet. In Deutschland fand er keine Investoren für seine Idee und realisierte sie in China.

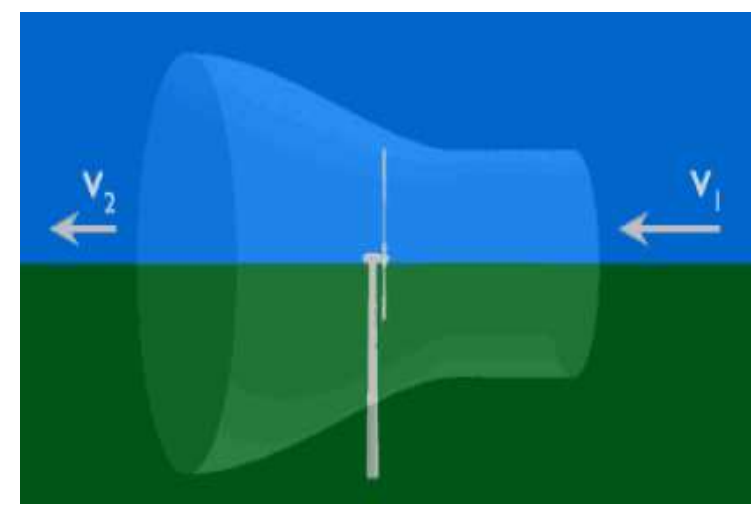
Der Durchmesser der „Windcore“, die über acht Rotorblätter verfügt, beträgt 1,89 Meter. Die Geräuschemission wird mit weniger als 35 Dezibel angegeben. Wie ein Wetterhahn dreht sie sich flexibel. So kann der Wind auch bei wechselnden Richtungen ausgenutzt werden. Den Energie-Ertrag gibt WIPO mit 2000 bis 4000 Kilowattstunden pro Jahr an.

Physik



- Leistung Windrad

$$P = \frac{1}{2} \rho_L \cdot A (v_1 - v_2)^3$$



Vertikale Windenergieanlagen oder horizontale Anlagen?



- **Vorteile Vertikal:**
 - ▶ Keine Windrichtungsnachführung nötig
→ Gut geeignet für turbulente Gebiete (Städte)
 - ▶ Leiser (i. d. R. kleinere Blattspitzengeschwindigkeiten)
 - ▶ Weniger Verschattung
 - ▶ Schwere Komponenten in Mast integrierbar
- **Nachteile Vertikal:**
 - ▶ Geringerer Wirkungsgrad
 - ▶ Dynamische Belastungen (stark fluktuierende Flügelbelastungen, Mastresonanzen)
 - ▶ Höheres Gewicht
 - ▶ Typischerweise geringere Bauhöhe
 - ▶ Flächenbedarf

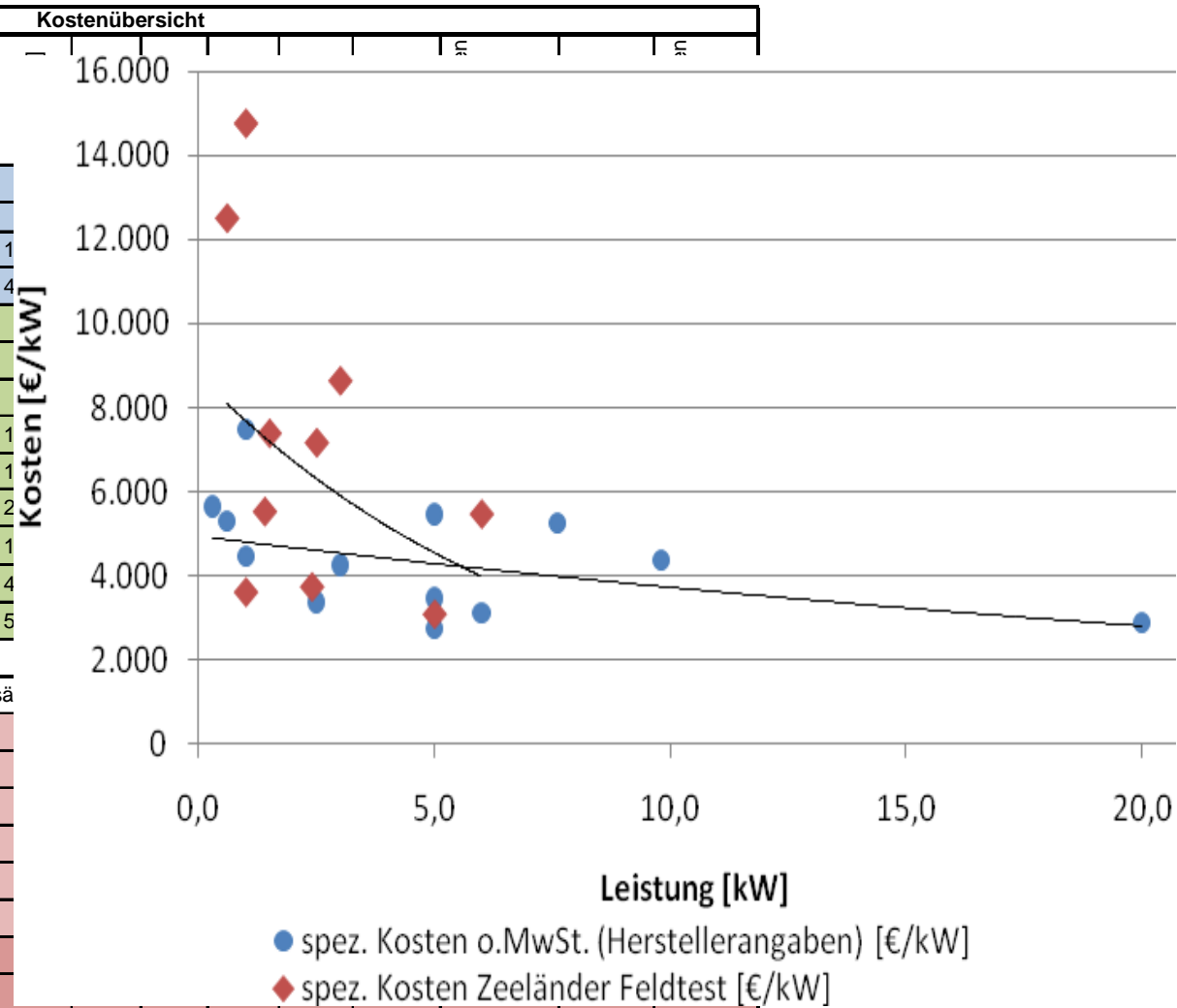
Markt

- **Kleine bis sehr kleine Unternehmen**
- **Insb. deutsche Unternehmen: sehr kleine Stückzahlen**

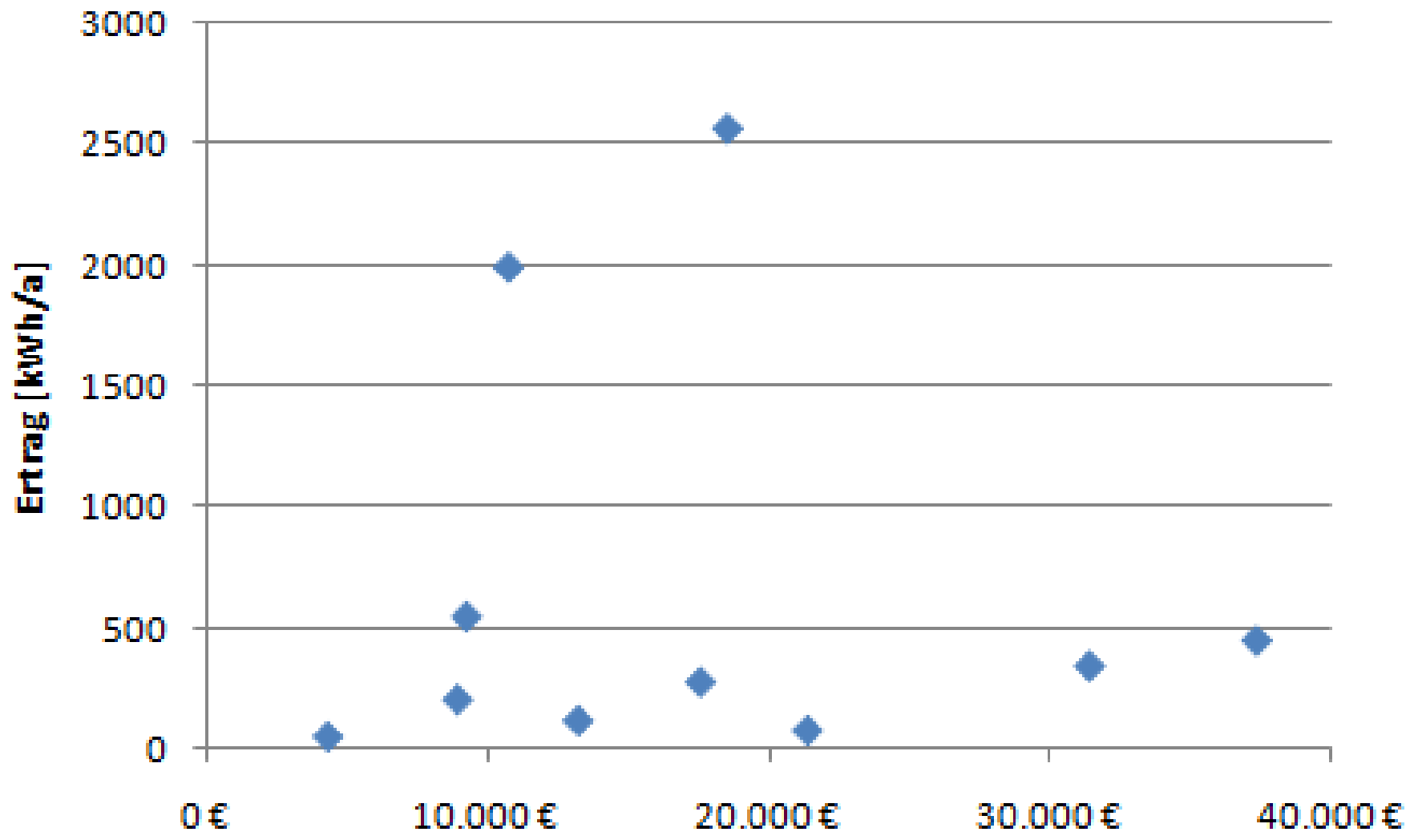


Investitionskosten

Kostenübersicht			
Turbinenart	Name	Modell	Leistung
h	Ampair	Ampair 600 x 1,7 (230V)	0,6
h	Partzsch	Pawicon 2500	2,5
h	WES Energy	WESpe	5,0
h	Aircon	Aircon 10	9,8
v	winDual	A300	0,3
v	winDual	A1K	1,0
v	VENCO	Twister-1000-T	1,0
v	Ropatec	WRE 030	3,0
v	winDual	A5K	5,0
v	TASSA GmbH	TASSA WEA 5kW	5,0
v	Ropatec	WRE 060	6,0
v	Name dem IFEU bekannt		7,6
v	Ropatec	WRE 200	20,0
Durchschnittliche spezifische Kosten:			
Bei den folgenden Anlagen handelt es sich um die tatsächlichen Kosten:			
h	Southwest	Skystream	2,4
h	Zephyr	Air Dolphin	1,0
h	Renew. Dev.	Swift	1,5
h	Fortis	Passat	1,4
h	Fortis	Montana	5,0
h	Ampair	Ampair 600 x 1,7 (230V)	0,6
v	Turby	Turby	2,5
v	Energy Ball	Energy Ball	1,0
v	Ropatec	WRE 030	3,0
v	Ropatec	WRE 060	6,0
Durchschnittliche spezifische Kosten:			

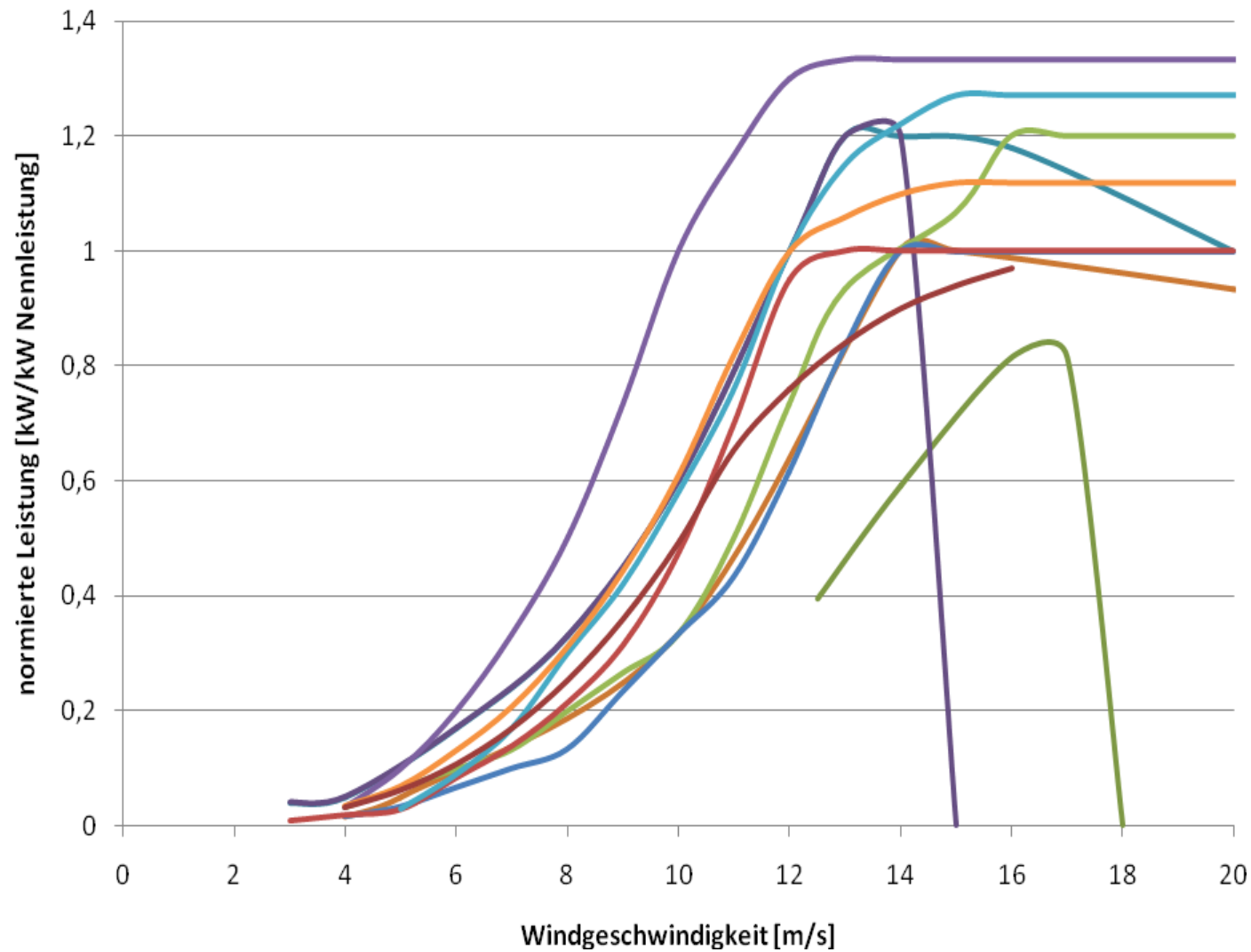


Investitionskosten



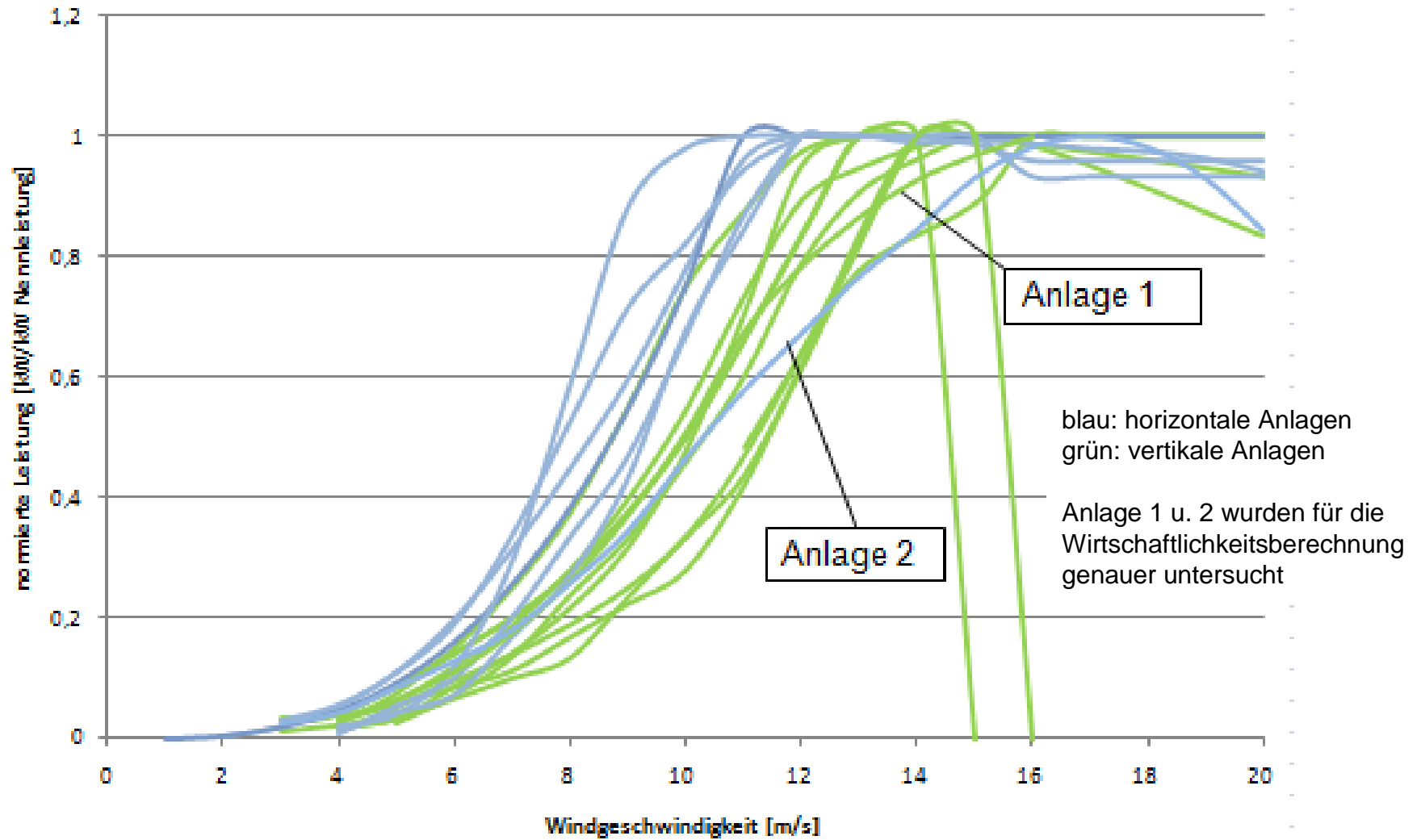
Quelle: Feldtest Zeeland

Performance: Leistungskennlinie



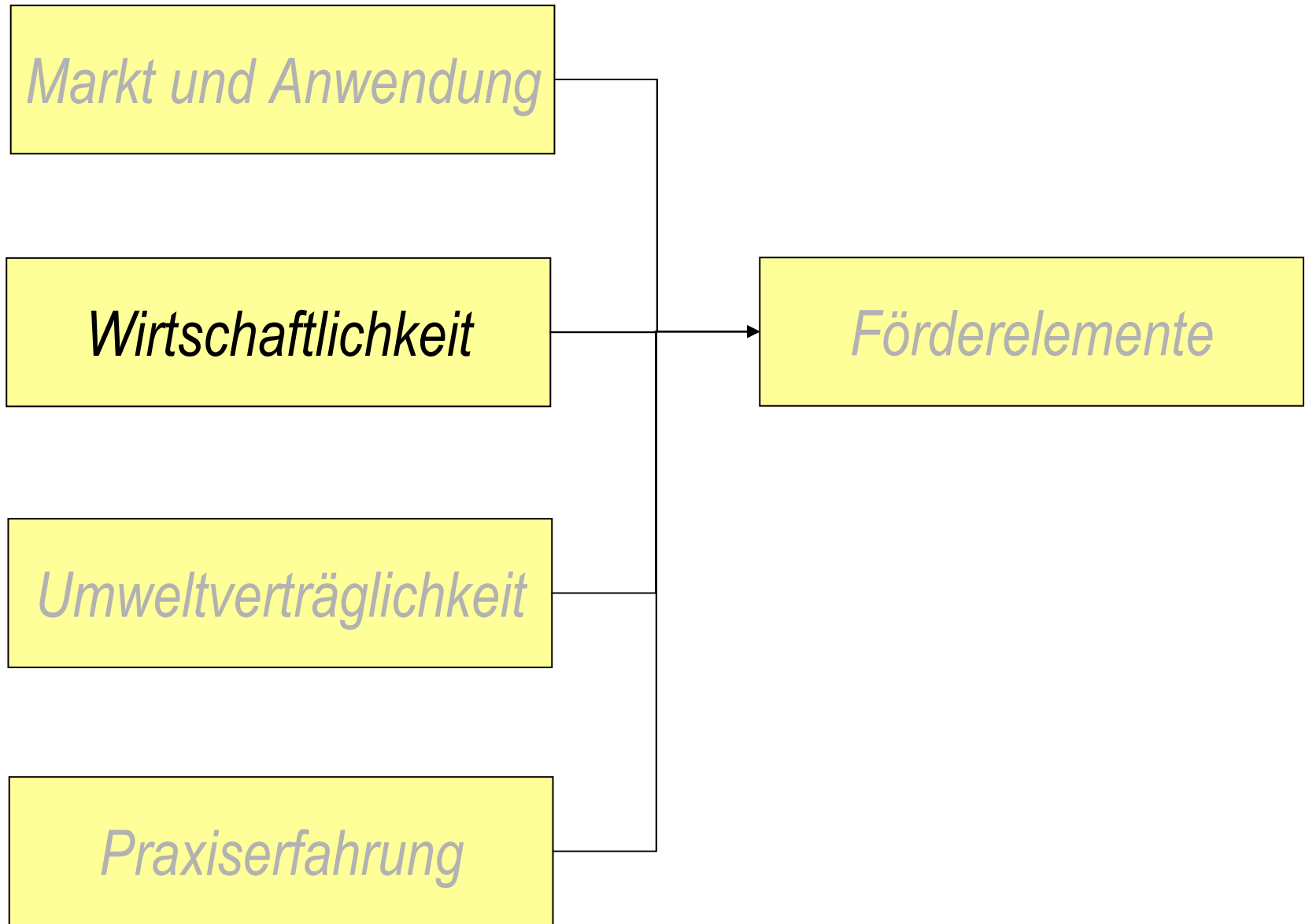
Quelle: Feldtest Zeeland

Performance: Normierte Leistungskennlinie



Quelle: Feldtest Zeeland

Inhalt



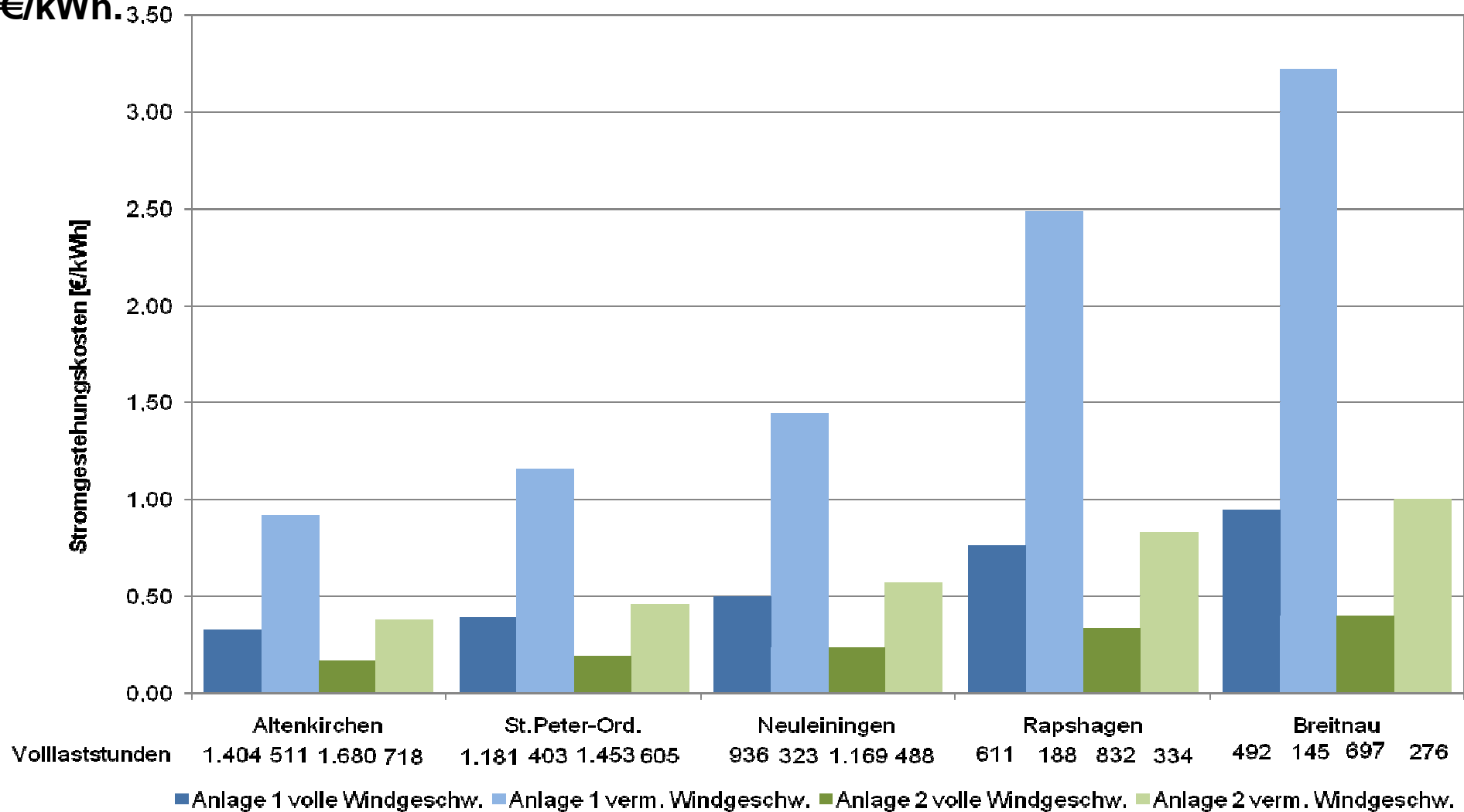
Wirtschaftlichkeitsanalyse

- Berechnung der Stromgestehungskosten für zwei unterschiedliche Anlagen, basierend auf realen Angeboten
- Berechnung für fünf unbebaute Standorte in Deutschland (von Breitenau im Schwarzwald $\bar{v}=3,9$ m/s bis Altenkirchen auf Rügen, $\bar{v}=5,64$ m/s) auf Basis Weibull-Verteilung
 - ▶ sowie mit 30 % verminderter Windgeschwindigkeit als Sensitivität

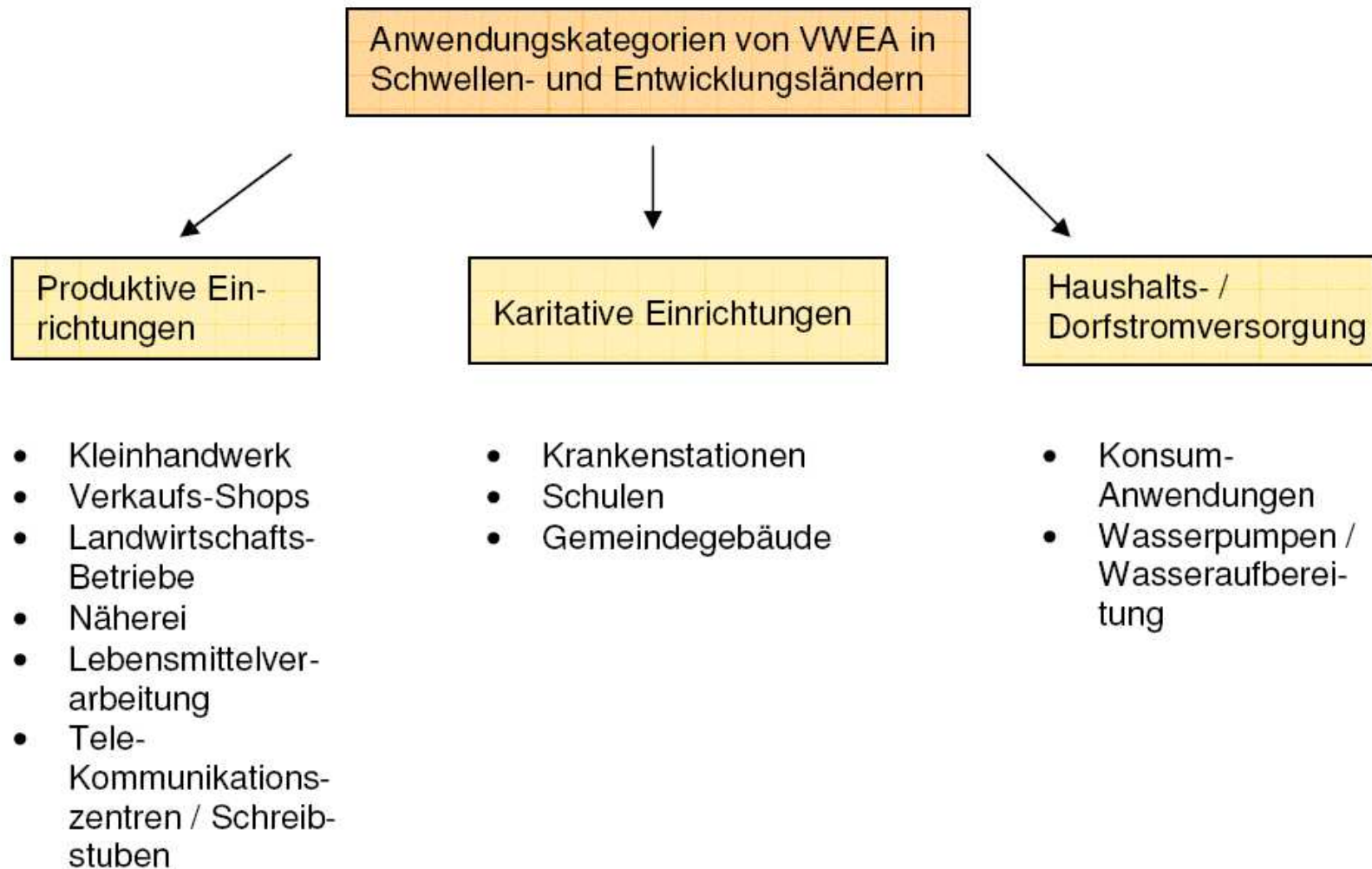
	vertikale kWEA	horizontale kWEA
	Anlage 1	Anlage 2
Elektr. Leistung	5 kW	5 kW
Investitionskosten	27.370 € bzw. 5.474 €/kW	15.530 € bzw. 3.110 €/kW
Nutzungsdauer	20 Jahre	20 Jahre
Nominaler Zinssatz	5.0 %	5.0 %
jährl. Strompreissteigerung	+ 3.0 %	+ 3.0 %

Stromgestehungskosten (€/kWh)

Die Stromgestehungskosten liegen je nach Standort zwischen 0,19 €/kWh und 3,20 €/kWh.



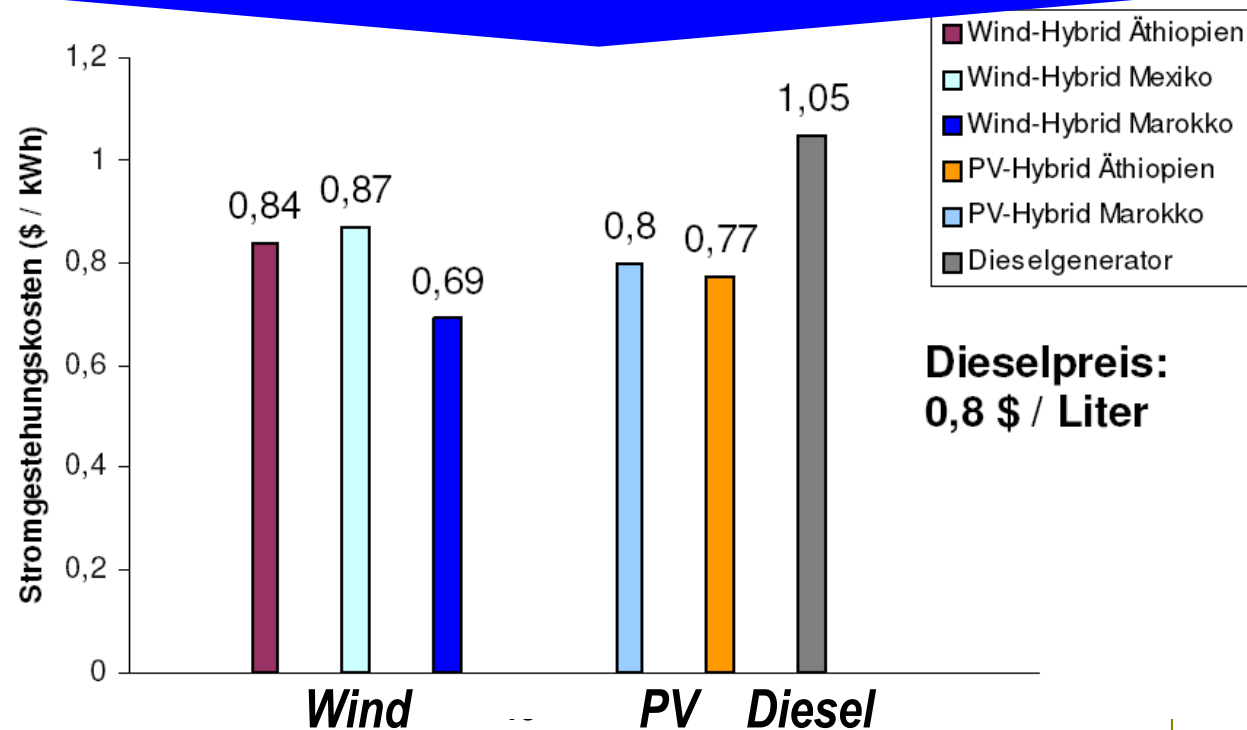
Einsatz in Entwicklungsländern



Einsatz in Entwicklungsländern

	Investitionskosten	Wartung	Dimensionierung	Technische Kennwerte
VWEA	22300 \$	150 \$ / a	5 kW	Kennlinie (P(v)),...
Batterie	48 Zellen: 7200 \$	644 \$ / a	29 kWh	div. Kennwerte
Dieselegenerator	4500 \$	590 \$ / a	5 kW	Lebensdauer, Wirkungsgrad,...
Wechselrichter	4925 \$	254 \$ / a	5 kW	Lebensdauer, Wirkungsgrad,...
PV-Generator	6000 \$ / kW _p	200 \$ / a	4 kW	Temperaturkoeff., Wirkungsgrad,...

	Äthiopien	Marokko	Mexiko
Dieselpreis	0,61 \$ / Liter Variation: 0,8 \$ / Liter	0,84 \$ / Liter	0,60 \$ / Liter Variation: 0,8 \$ / Liter
Winddaten	Ø (Jahr): 5,7 m/s	Ø (Jahr): 6,6 m/s	Ø (Jahr): 5,2 m/s
(Durchschnittl. jährl. solare Einstrahlung)	2122 kWh / m ²	1783 kWh / m ²	2007 kWh / m ²

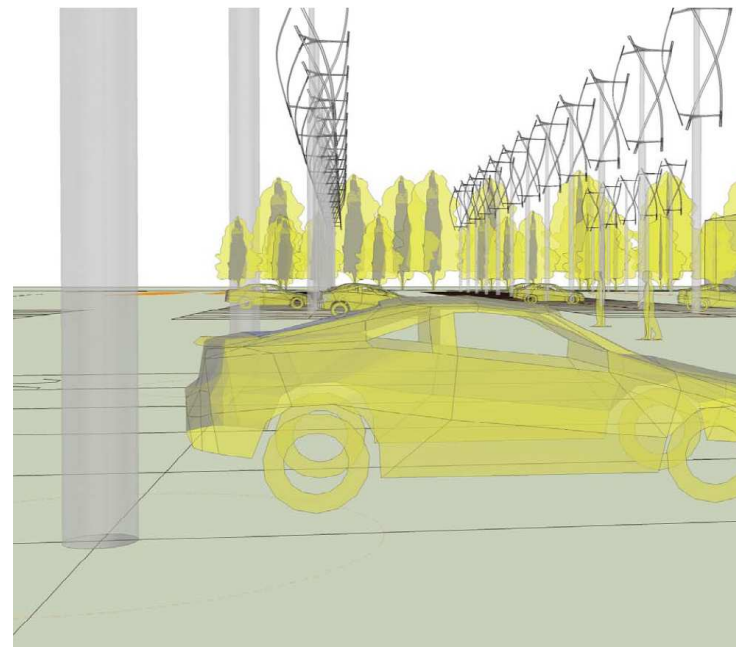


PSE

Resümee Wirtschaftlichkeit

- **An durchschnittlichen Orten ist ein wirtschaftlich sinnvoller Betrieb einer KWEA derzeit nicht gegeben, ausschlaggebend hierfür sind:**
 - ▶ **Windverhältnisse in Deutschland (insbes. in bebauten Gebieten)**
 - ▶ **Hohe Anlagenkosten**
 - ▶ **Geringe Förderungsmöglichkeiten bzw. Vergütung**

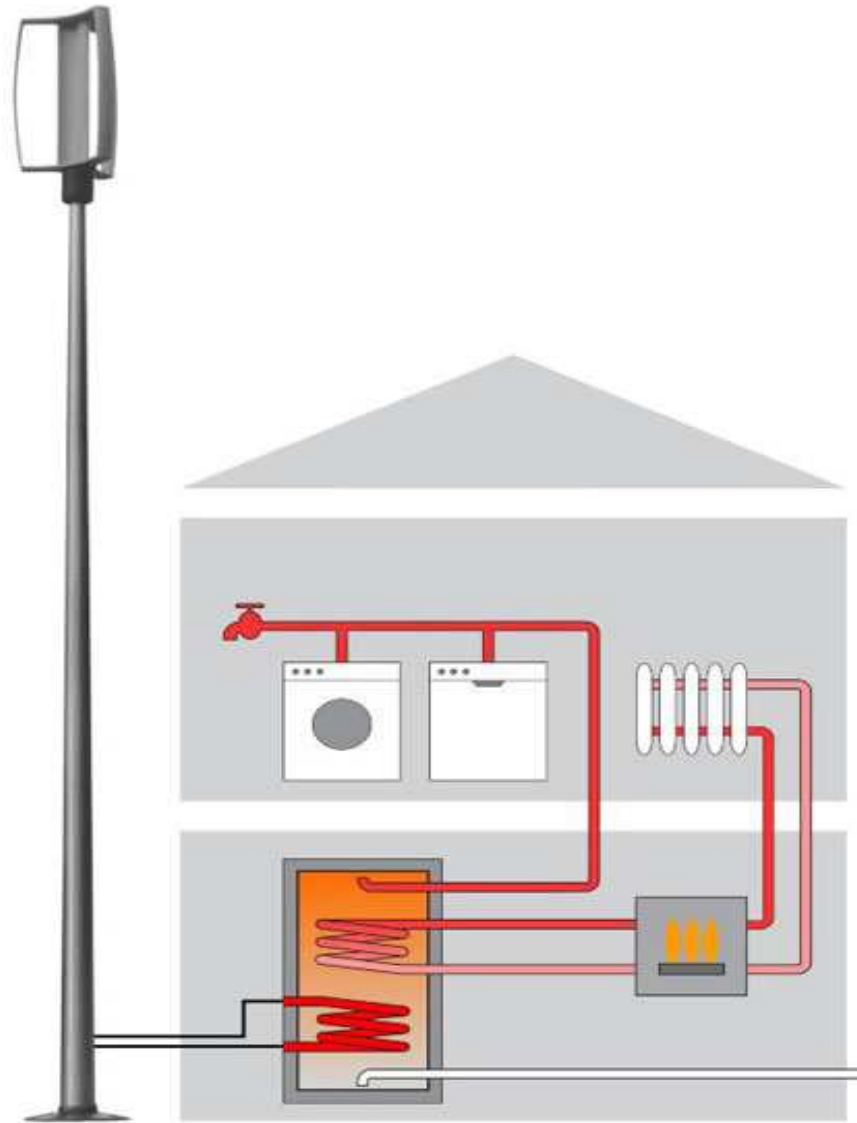
- **Alternativer Einsatz:**
 - **Netzferne Regionen (Hybridsysteme)**
 - **großes Autarkiebedürfnis**
 - **Image und Werbezwecke**
 - **Nischenmärkte (Campingplätze, Extremstandorte, ...)**
 - **Windheizung?**



**Windkraft-Anlage.
Umbau des Mercator Center
Duisburg 2010**

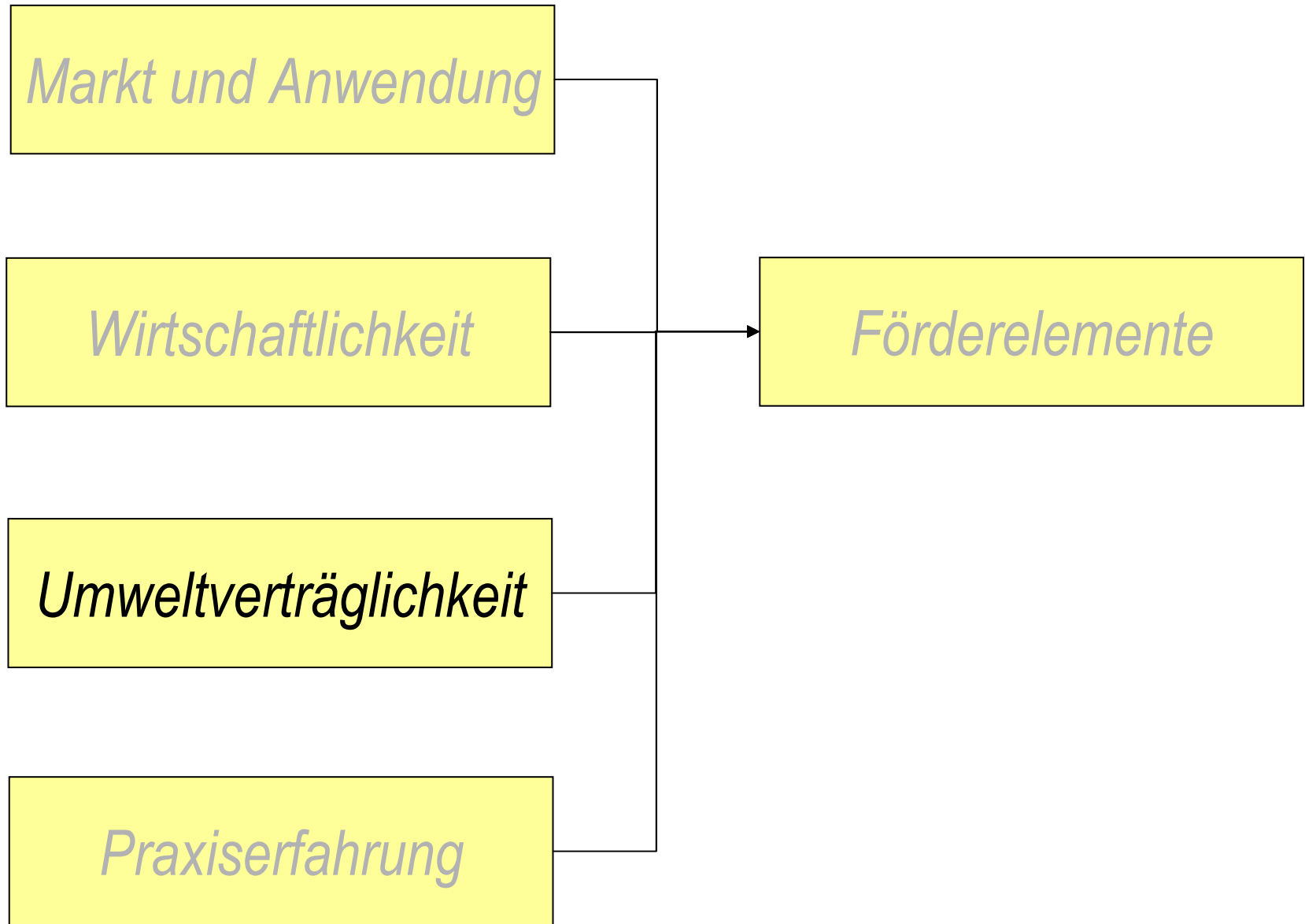
- ▣ Zweierlei Anlagen : 20 Turbinen je 10 000 kWh/a
- ▣ Neues Lichtkonzept zur Senkung der Verbräuche (LED)
- ▣ Pilotprojekt mit Philips und RWE Innogy

Anwendungsgebiete: Windstromheizung

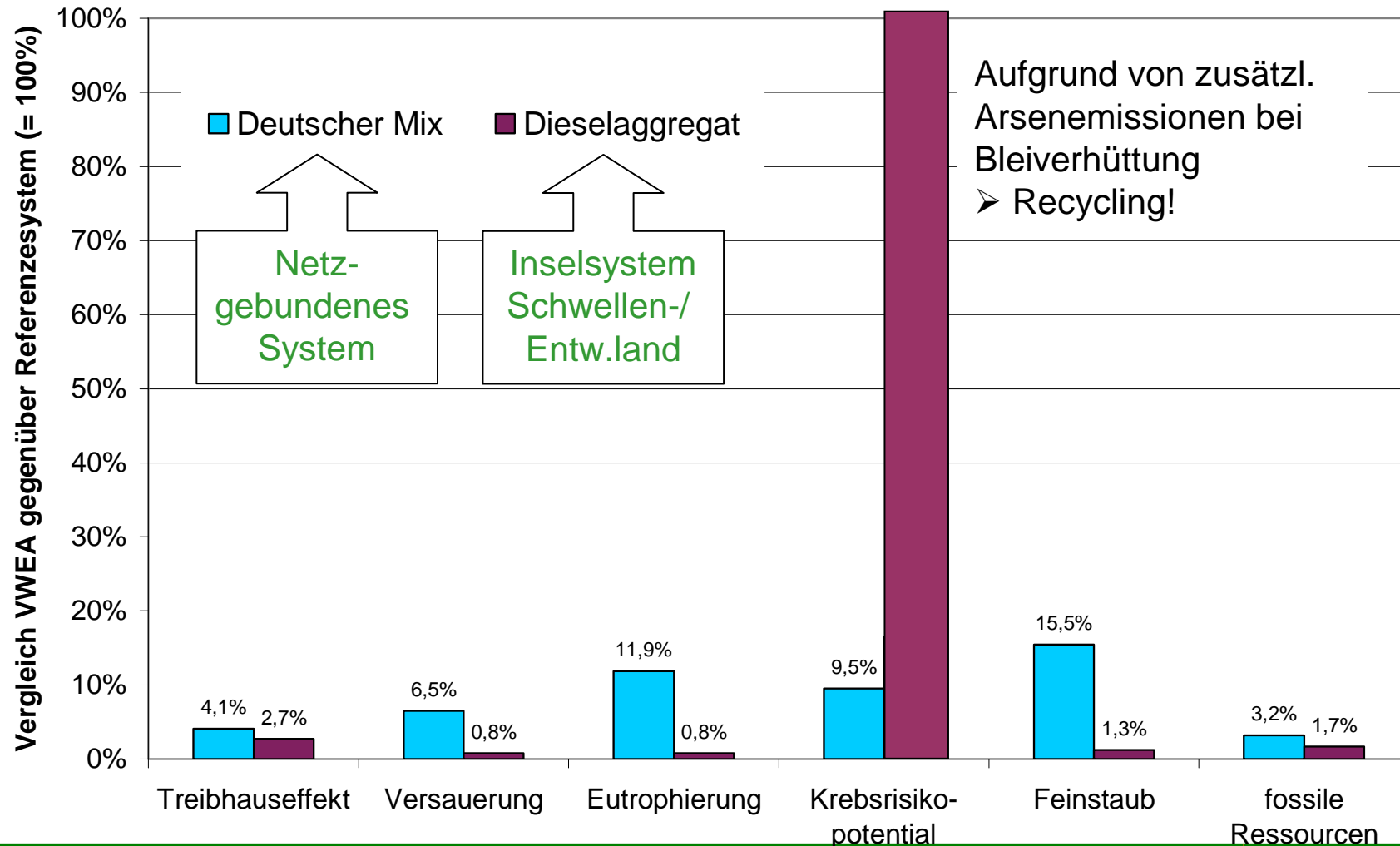


- Elektr. Direktheizung oder Wärmepumpe?
- Direkte Stromnutzung zur Wärmebereitstellung ökologisch nicht sinnvoll, da CO₂-Einsparungspotenzial bei Stromsubstitution in Deutschland deutlich größer ist
- Als alleinige Versorgungsvariante nicht geeignet
- Technische Realisierung schwieriger als allgemein angenommen (besonders in Kombination mit Einspeisung)
- Mögliche Rebounds
 - ▶ Deckung des Restwärmebedarfs aus Strom oder Heizöl?

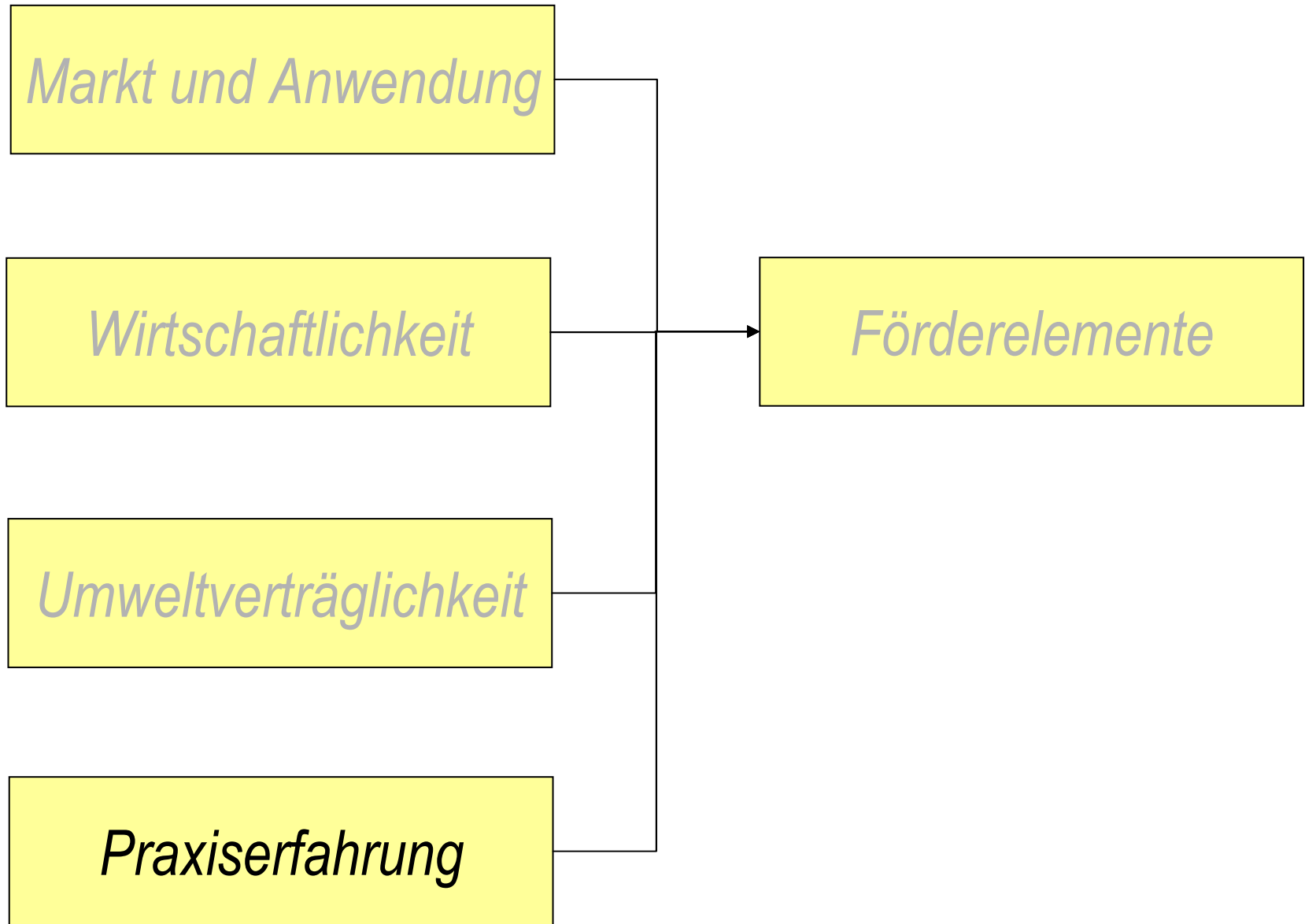
Inhalt



Wirkungsabschätzung Vergleich mit Referenzsystemen



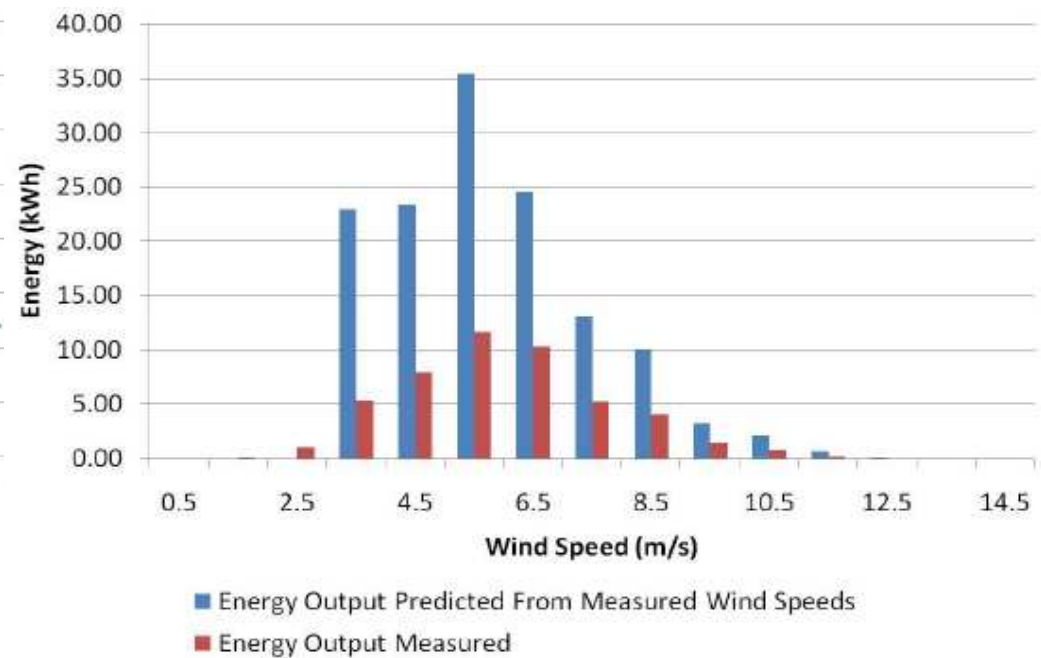
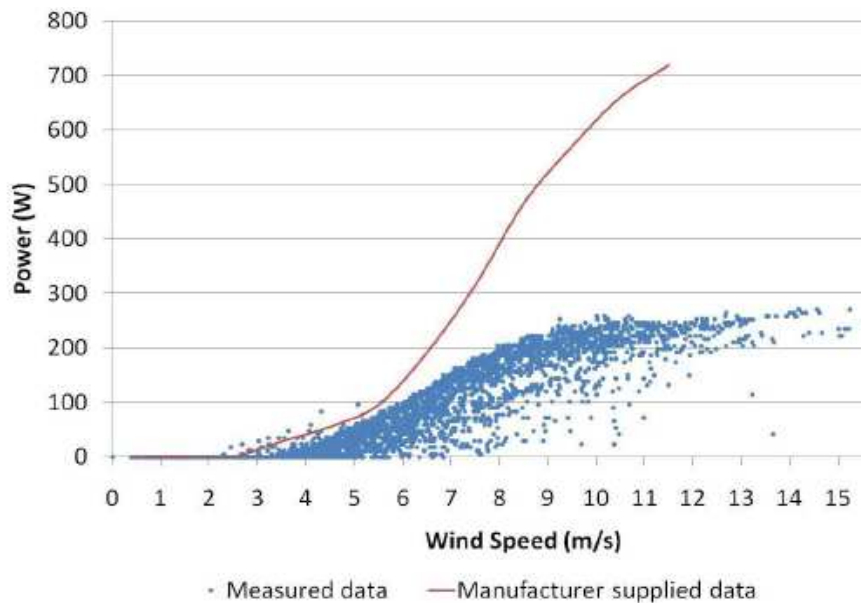
Inhalt



Praxiserfahrung: Warwicker Feldtest

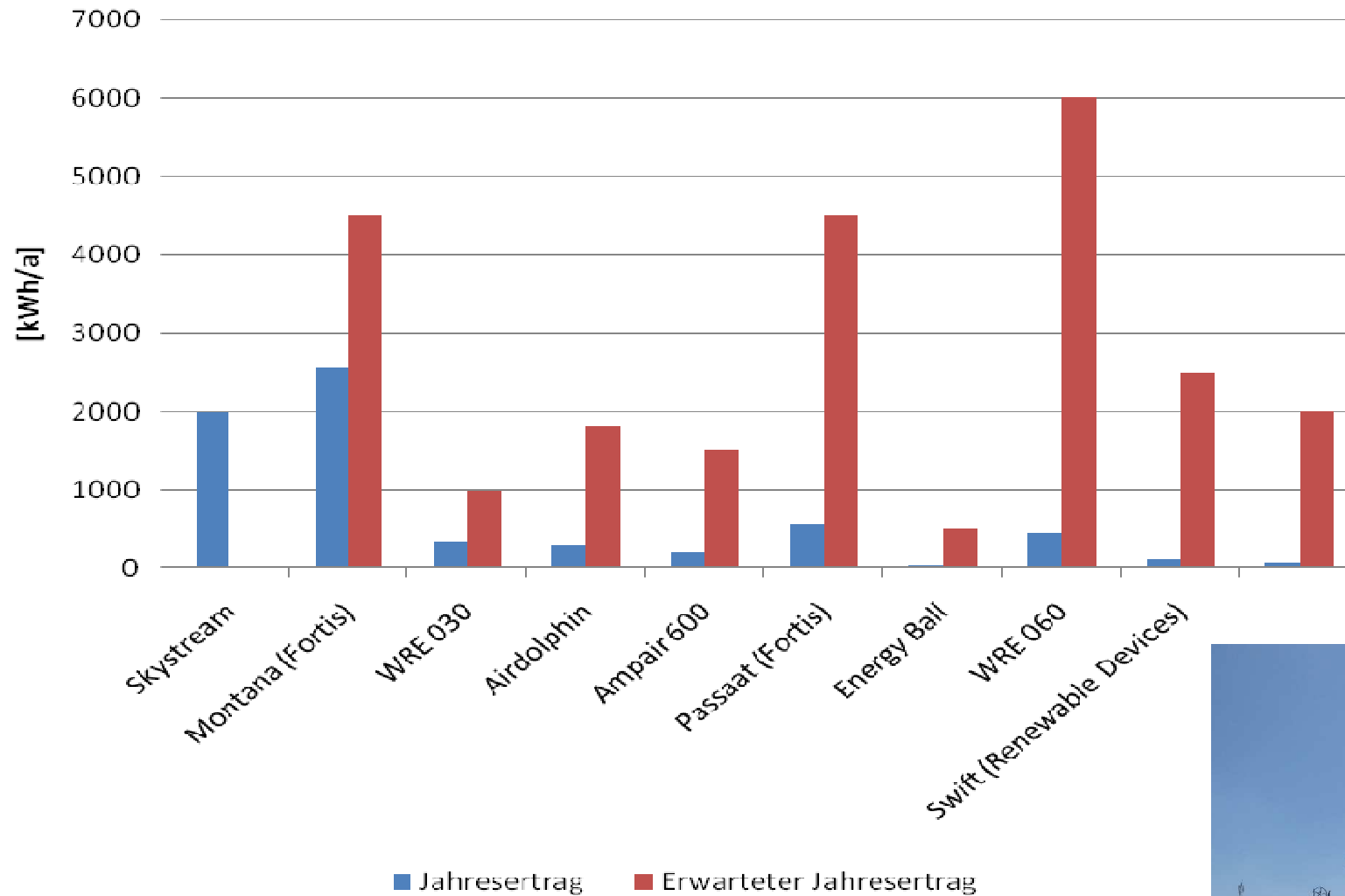
Vergleich der Leistungskurven nach Herstellerangaben mit gemessenen Werten

Vergleich errechneter und tatsächlicher Erträge



Praxiserfahrung: Feldtest Zeeland

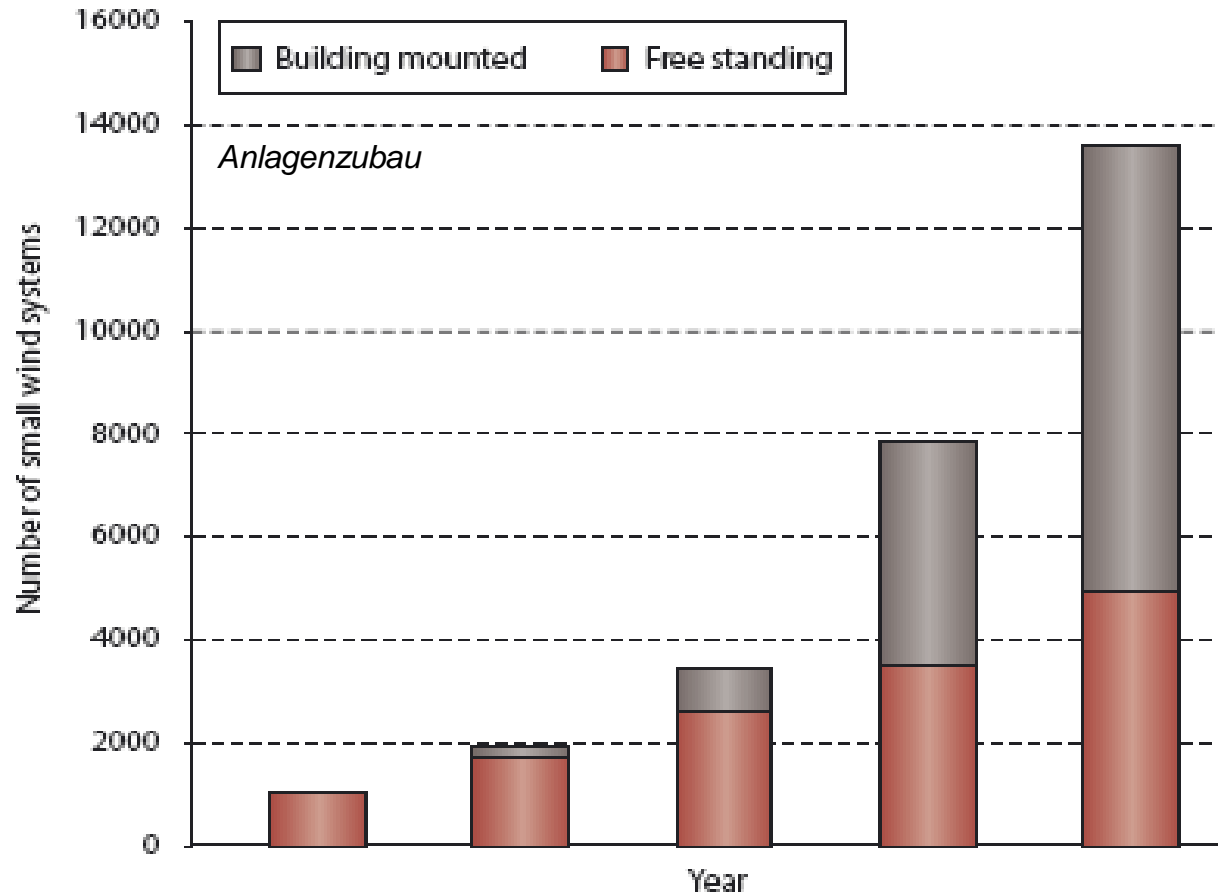
Vergleich von angegebenen und tatsächlichen Jahresertrag



Kleine Windkraft: Beispiel Großbritannien

Zuschuss im „Low Carbon Buildings Programme“

Zuschuss ca. 2700 € pro HH
Homepage mit Disclaimer und
Verlinkung auf Installateure etc.



	2005	2006	2007	2008	2009
■ Building mounted	2	223	881	4316	8643
■ Free standing	1031	1696	2578	3528	4968

Wind turbines

Modern wind turbines use the wind's lift forces to turn aerodynamic blades that turn a rotor which creates electricity.

Wind energy

In the UK we have 40% of Europe's total wind energy. But it's still largely untapped and only 0.5% of our electricity requirements are currently generated by wind power.

Wind power is proportional to the cube of the wind's speed, so relatively minor increases in speed result in large changes in potential output. Individual turbines vary in size and power output from a few hundred watts to two or three megawatts (as a guide, a typical domestic system would be 2.5 - 6 kilowatts, depending on the location and size of the home).

Uses range from very small turbines supplying energy for battery charging systems (e.g. on boats or in homes), to turbines grouped on wind farms supplying electricity to the grid.

Small scale wind and your home

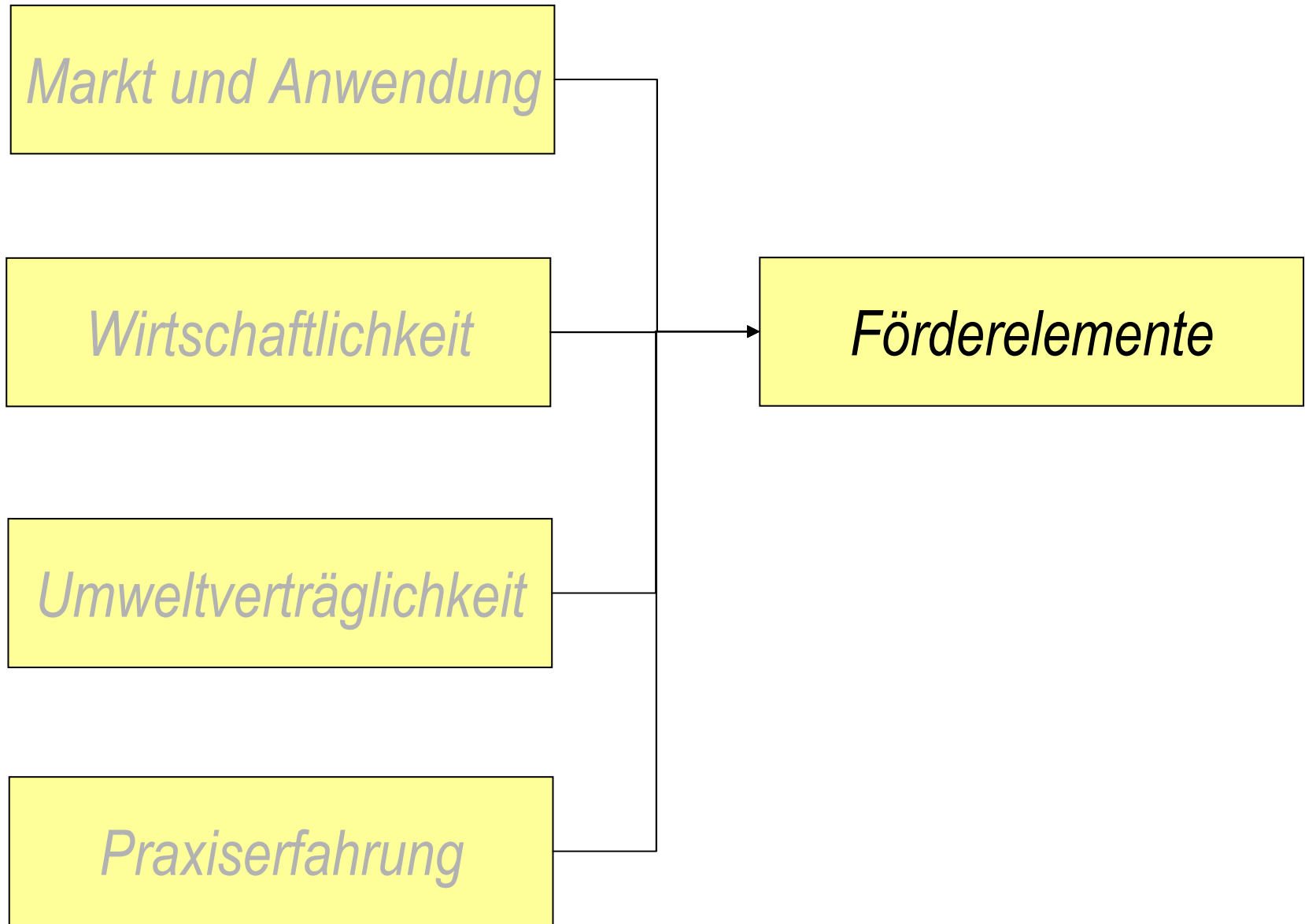
Wind speed increases with height so it's best to have the turbine high on a mast or tower. Generally speaking the ideal siting is a smooth-top hill with a flat, clear exposure, free from excessive turbulence and obstructions such as large trees, houses or other buildings.

Please note that the electricity generated at any one time by a wind turbine is highly dependent on the speed and direction of the wind. The windspeed itself is dependent on a number of factors, such as location within the UK, height of the turbine above ground level and nearby obstructions. Ideally, you should undertake a professional assessment of the local windspeed for a full year at the exact location where you plan to install a turbine before proceeding. In practice, this may be difficult, expensive and time consuming to undertake. Therefore we recommend that, if you are considering a domestic building mounted installation and electricity generation is your main motivation, then you only consider a wind turbine under the following circumstances:

- The local annual average windspeed is 6 m/s or more. An approximate figure for your location can be checked on [BERR website](#).
- There are no significant nearby obstacles such as buildings, trees or hills that are likely to reduce the windspeed or increase turbulence

If you are in any doubt, please consult a suitably qualified professional.

Inhalt



Förderempfehlung: Ausgangspunkt

- **ausgezeichnete Umweltbilanz.**
- noch **nicht wirtschaftlich**
- Feldtests: **technische Probleme** bezüglich Standfestigkeit und Kombination der notwendigen Komponenten (Windrad, Generator, Netzkopplung).
- Viele Hersteller **neu am Markt**
- **Hohe Fluktuation** am Markt (Übernahmen, „Neuentwicklungen“, Einstellungseinstellungen, etc.)
- Keine einheitlichen Angaben (Leistungskurve, Zertifikate, etc.) und dadurch **fehlende Transparenz** am Markt
- Der **Standort** ist von großer Bedeutung für den Stromertrag der Anlage. Angesichts der nicht zumutbaren Aufwendungen für detaillierte Standortanalysen ist die Vorhersage der Performance und die Entwicklung von Skalierungsfaktoren des Ertrags in Abhängigkeit vom Standort und den Anlagenspezifikationen von großer Bedeutung.
- Die Feldtests zeigen, dass die tatsächlich realisierten Erträge zum Teil erheblich **unter den vorhergesagten Erträgen** liegen.
- Das **Interesse** an der kleinen Windkraft ist gleichwohl **groß** ist und die Branche beginnt, sich zu organisieren.

Förderempfehlung: Ausgangspunkt

- Vorteil des EEG: kWh-Vergütung → gute Anlagen an gutem Standort werden bevorzugt
- Forderungen reichen von 20 Ct/kWh bis Gleichstellung mit PV

Probleme:

- Kleine Anlagen speisen oft nicht ins Netz ein; bei EEG-Vergütung < Haushalts-Strompreis besteht noch weniger Anreiz für Einspeisung
- EEG-Novelle und weitere Verkomplizierung?
- Markt noch unreif. Aufnahme ins EEG sendet Signal.

→ Erst Qualitäts- und Transparenz-Offensive, dann Massenmarkt

Förderempfehlung

1. Vereinfachung der Genehmigungspraxis

2. Erhöhung der Anlagen- und Anbietertransparenz durch:

- Erstellung von Qualitätsstandards, Zertifikaten und Labeln
- Feldtest (siehe unten) mit Auswertung und Testfeld („Warentest“)
- Einheitliche Kosten-/Leistungsangabe
- Standardisierte Standortbewertung
- Neutrale Internetseite

3. Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und Erreichen der Serienreife und Dauertauglichkeit durch:

- gezielte Förderung eines x00 Windräder-Programms (analog 250 MW Wind)
- anschließende Förderung qualitätsgeprüfter Produkte

4. Mittelfristiges Ziel: Aufnahme in das EEG

Alles weitere....

- www.ifeu.de
- **Abschlussberichte:**
<http://mmvr.burg-halle.de/~schikora/workshop/>