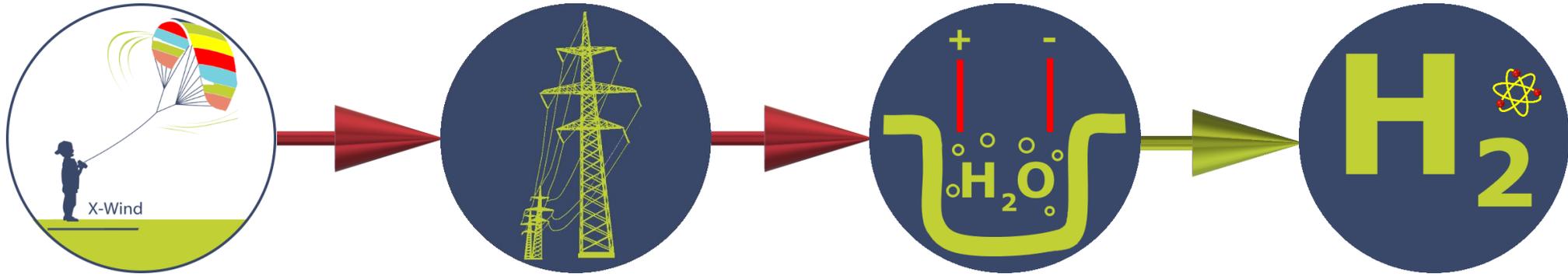




Das Wasser ist die Kohle der Zukunft (Jules Verne 1870)



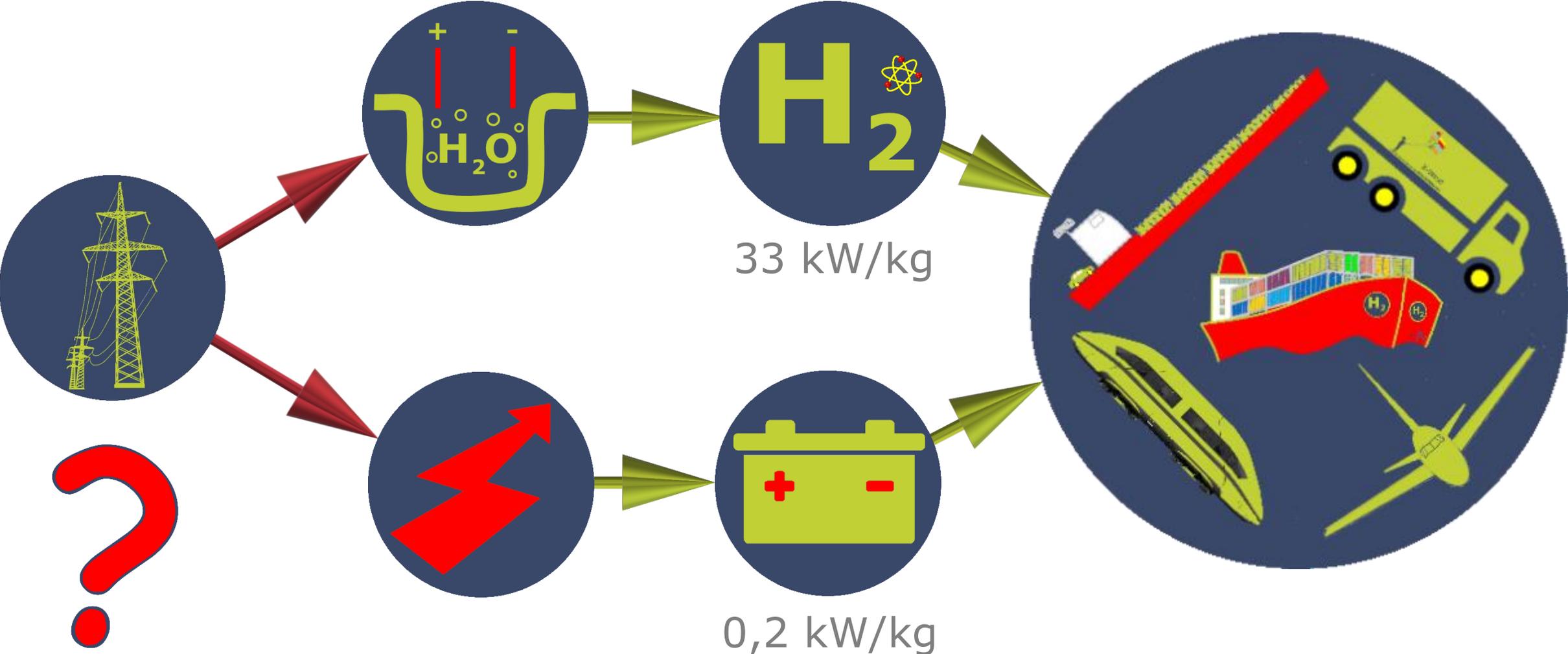
Kombinierter Verkehr braucht
dezentrale **grüne** Energie

Höhenwind erzeugt
den billigsten und volllastfähigen
grünen Strom

Wettbewerbsfähiger **grüner Wasserstoff**
benötigt kontinuierlich produzierten **grünen Strom**

Stefan Krahn, Baumüller
Uwe Ahrens, X-Wind

QUO VADIS KOMBINIERTER VERKEHR



Wo soll der Strom herkommen ?

Der Energiegehalt des Windes
nimmt bis rund
500 m Höhe
überproportional zu



Windenergiedichte (W/m^2)

1200

800

400

0

30

60

90

120

180

240

300

500

Höhe (m)

30 kw
Wind
Turbine

3 MW
Wind
Turbine

Höchste
Wind
Turbine

Shanghai
Tower
632 m

?

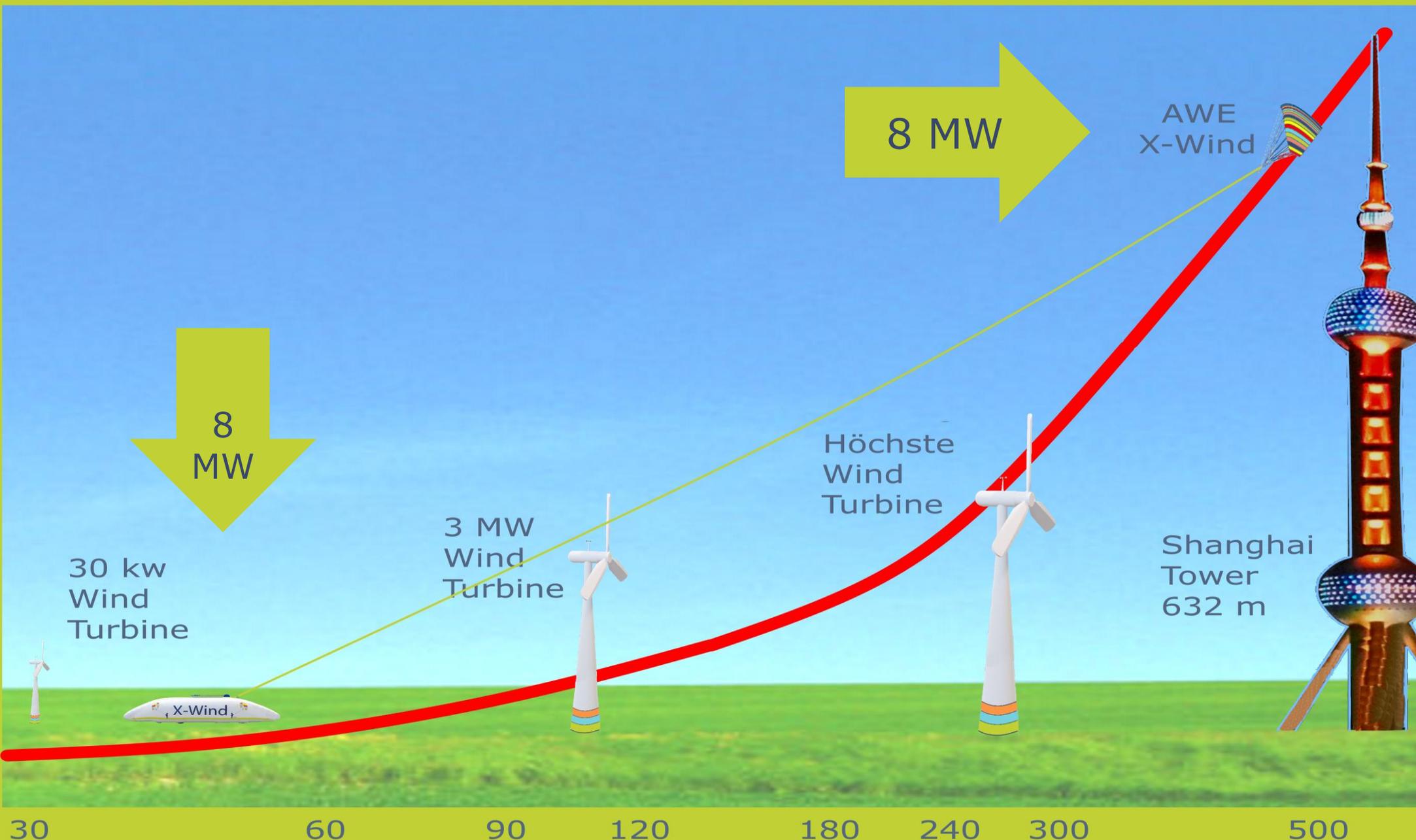
Missing
link

?

Missing
link

Windenergiedichte (W/m^2)

1200
800
400
0



8 MW

8 MW

30 kw
Wind
Turbine

X-Wind

3 MW
Wind
Turbine

Höchste
Wind
Turbine

AWE
X-Wind

Shanghai
Tower
632 m

Höhe (m)

Quelle: <https://sites.google.com/site/alternativewindtech/high-altitude-winds>

X-Wind basiert auf zwei bewährten Technologien

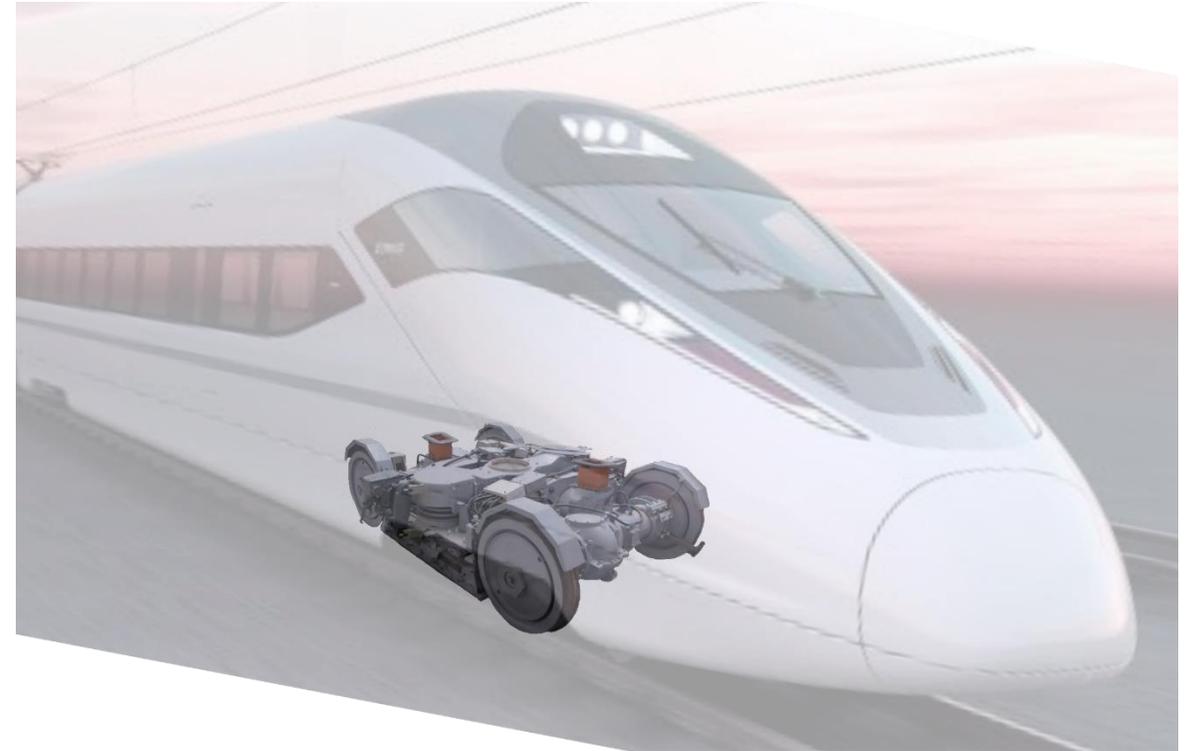
Lenkdrachen werden bereits verwendet, um Schiffe zu ziehen



Triebdrehgestelle erzeugen Strom und können auch von Lenkdrachen gezogen werden



Quelle: Airseas





Funktionsprinzip X-Wind (AWE)

Vollautomatischer Lenkdrachenantrieb zur Stromerzeugung

1-8 MW, 6,6-52,5 GWh/a je Einheit

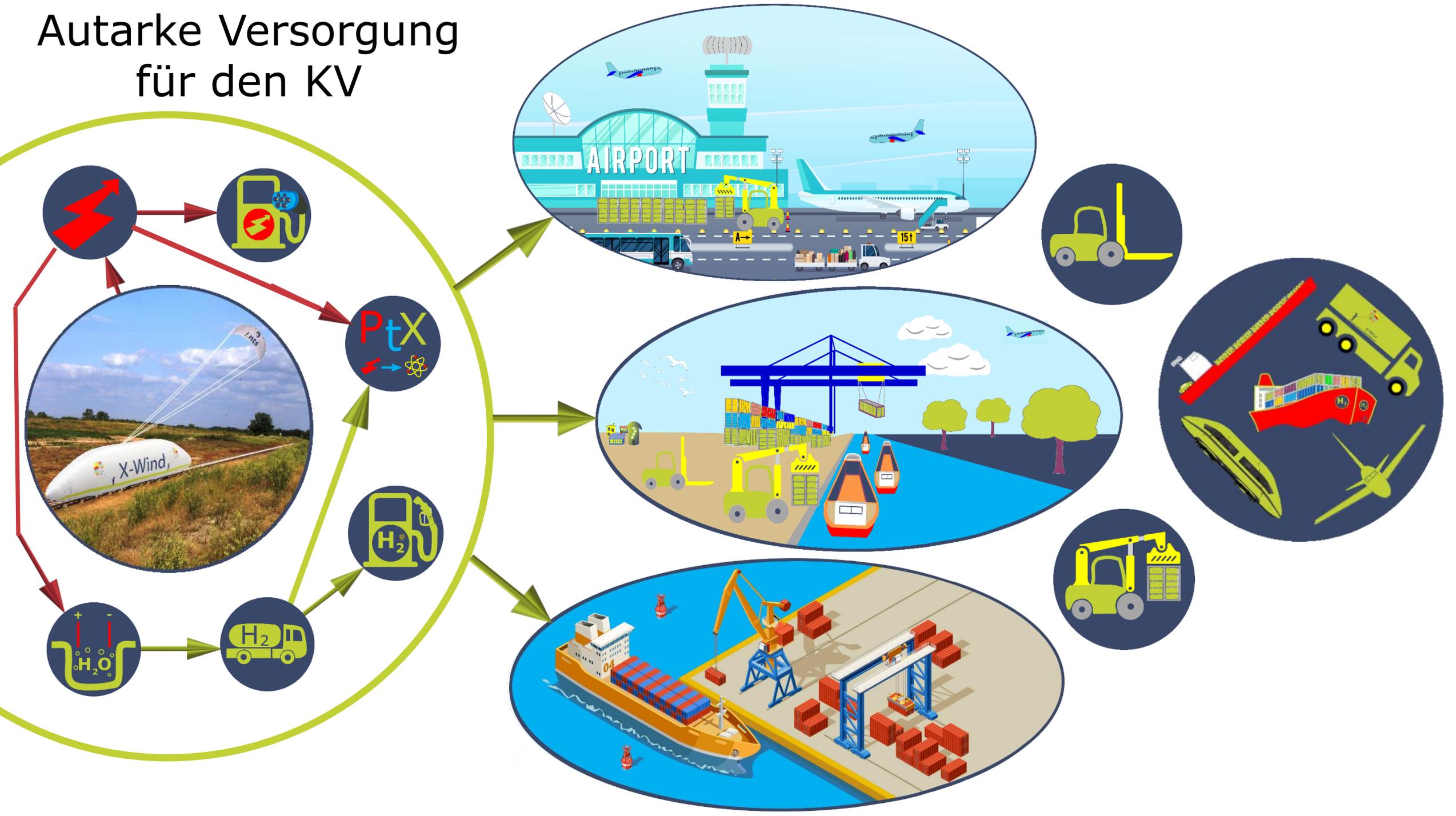


Die kleine eingezeichnete Anlage (Durchmesser 800m) könnte 315 GWh/Jahr produzieren. Genug Strom für rund 80 mio. km (8 kg/100km).**

AWE X-Wind steht für Airborne Windenergy mit Cross-Wind Technologie. ** Eine Powerunit mit der X-Wind Technologie hat eine Leistung von 8 MW und produziert mit einem von der TU Berlin berichteten Kapazitätsfaktor von 75% ca. 52 GWh/Jahr.



Autarke Versorgung für den KV





Folgen für den kombinierten Verkehr

Herstellkosten je 100 km fossil oder mit X-Wind



2021

CO₂ frei



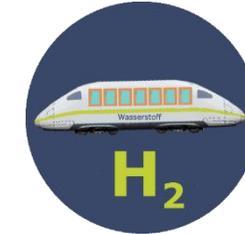
~ 2470 €¹⁾ =>

460 €²⁾



~ 77 €³⁾ =>

19,50 €⁴⁾



~ 18,5 €⁵⁾ =>

8,00 €⁶⁾



~ 1,6 €⁷⁾ =>

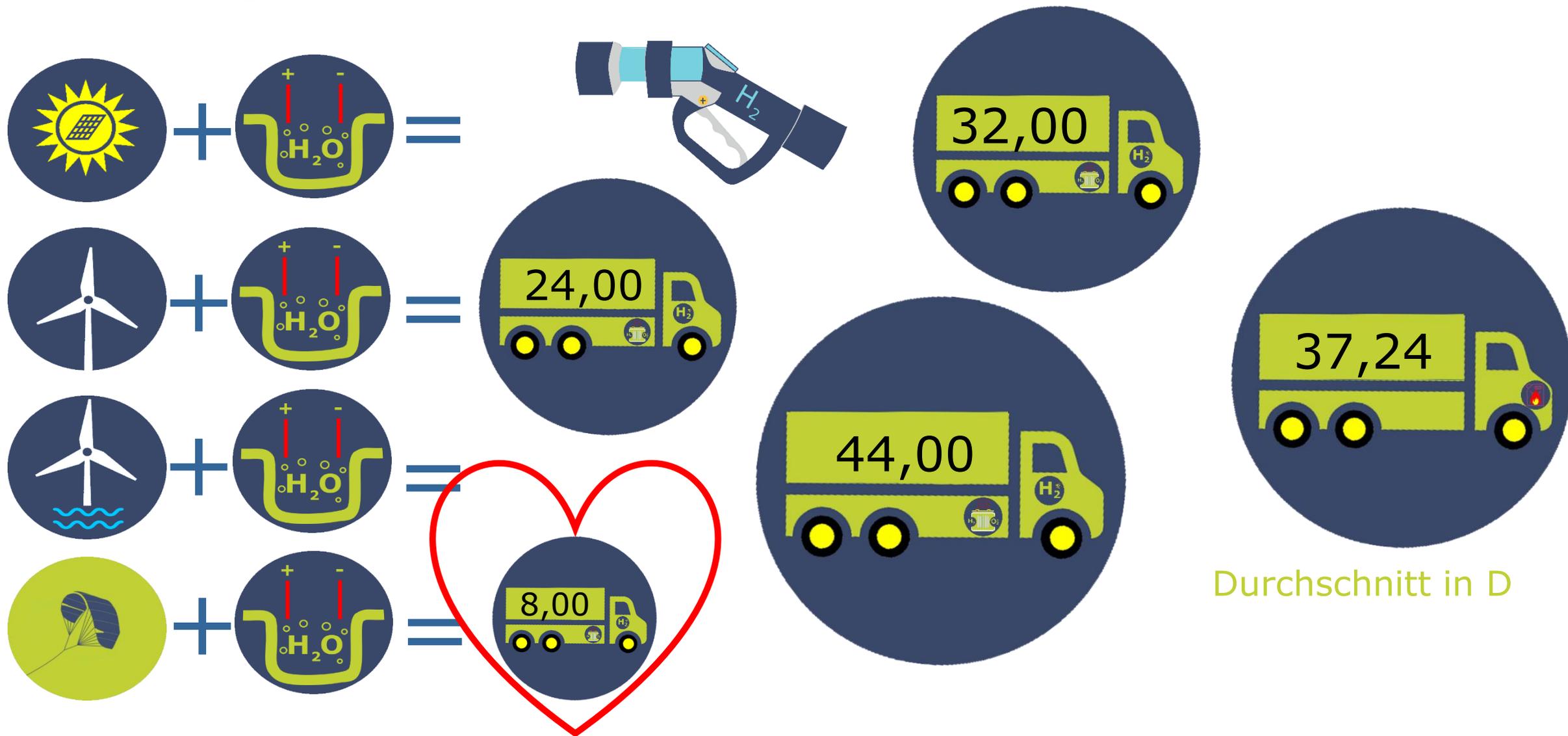
0,75 €⁸⁾



Quelle: 1) https://www.t-online.de/finanzen/news/unternehmen-verbraucher/id_42212706/si_3/die-groessten-maschinen-der-welt.html (80 MW), https://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rtsil%C3%A4_RT-flex96C Verbrauch auf 100 km bei 13 ct/ L Schweröl; 2) X-Wind 1 kg Wasserstoff LCOH = 0,75 €; 3) 26 kg Wasserstoff auf 100 km = 117 L Diesel (search: coradia ilint verbrauch); 4) X-Wind 1 kg Wasserstoff LCOH = 0,75 €; 5) <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/803/umfrage/zusammensetzung---verbraucherpreis-fuer-diesel/>; 6) Graforce; 7) Mittelwert der erneuerbaren Energie mit 8 ct/kWh lt. Fraunhofer ISE Studie ; 8) X-Wind 1 kg Wasserstoff LCOH = 0,75 € und 1 kg H₂ / 100 km;



Energiekosten für 100 km LKW-fahrt (Euro) im Vergleich zu Wasserstoff Brennstoffzellen Antrieb



Kalkuliert mit den Mittelwerten der aktuellen Gestehungskosten Strom Fraunhofer ISE und einem Durchschnittsverbrauch von 28 L/ 100 km Diesel- LKW bzw. einem Verbrauch von 8 kg H₂ auf 100km und 50 kWh zur Elektrolyse je kg H₂



Der Trend der Schiffe bis zum H₂ Antrieb

Hybrid – Elektrisch

+ Effizient zum Direktantrieb



Voll – Elektrisch

+ Ladeinfrastruktur



Wasserstoff – Elektrisch mit Wasserstoffspeicher (inkl. Stütz- & Versorgungs-Batterie)

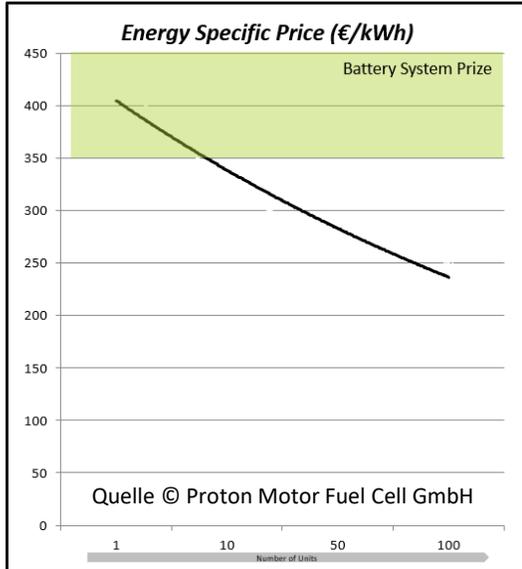
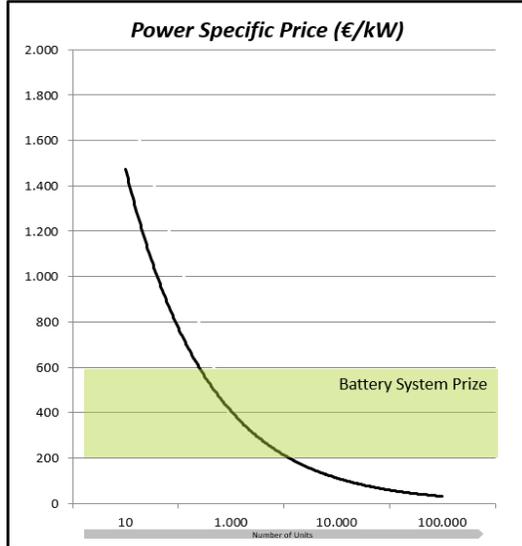
+ Wasserstoff Hybrid mit Brennstoffzelle oder Wasserstoffverbrenner



Quelle © Proton Motor



Der Trend der elektrischen LKW Traktion bis zum Wasserstoff



Lebenszykluskostenreduktion im elektrischen Verteilerverkehr durch individuell adaptierbaren Antriebsstrang

- **Anwendungsszenario:** Verteilerverkehr
- **Fahrzeuggewicht:** 7,5t – 18t
- **Umfang:** Batterieelektrischer LKW
Brennstoffzellen LKW
Pantographen LKW



Powertrain: 280KW
 Batterie: ca. 200kWh
 Reichweite: ca. 200km pro Ladung

NEU:
 Powertrain: 280KW
 Batterie: ca. 100kWh
 Brennstoffzelle: ca. 80KW

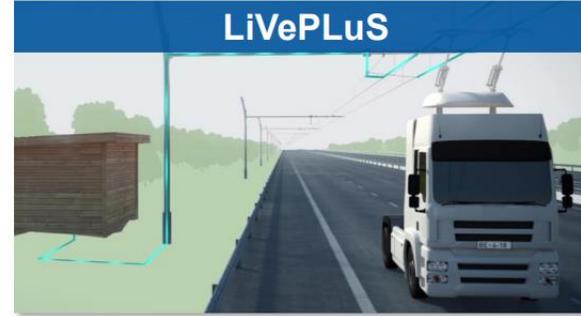


Image source: Siemens

Lebenszykluskostenreduktion im elektrischen Verteilerverkehr durch pantographenbasierte Baukastensysteme für Lastkraftwagen und Sattelzugmaschinen

- **Anwendungsszenario:** Langstreckenverkehr
- **Fahrzeuggewicht:** 40t
- **Umfang:** 2 Pantographen LKW



Powertrain: ca. 380KW Hybrid
 Batterie: ca. 80kWh
 Reichweite: Je nach Oberleitungslänge

Der Preis für ein Kilogramm Wasserstoff beträgt an allen öffentlichen H2-Tankstellen in Deutschland 9,50€ (brutto). Auf 100 km verbraucht ein Brennstoffzellenfahrzeug ca. ein Kilogramm Wasserstoff, erzeugt also Kraftstoffkosten von 9,50€. Damit sind die Kraftstoffkosten vergleichbar mit denen für einen durchschnittlichen Benziner mit einem Verbrauch von sieben Litern.

Prognose der Elektrolyseur Hersteller der „Preis von grünem Wasserstoff wird unter 4 Euro/kg liegen“



Quelle © RWTH Aachen

Schwere Lastkraftwagen für die emissionsfreie Logistik im Schwerlastverkehr mittels Elektrifizierungsbaukasten und wirtschaftlichem Produktionssystem

- **Anwendungsszenario:** Langstreckenverkehr
- **Fahrzeuggewicht:** 40t
- **Umfang:** 3 Brennstoffzellen LKW



Powertrain: bis 400 KW
 Batterie: ca. 200 kWh
 Brennstoffzelle: ca. 160 KW



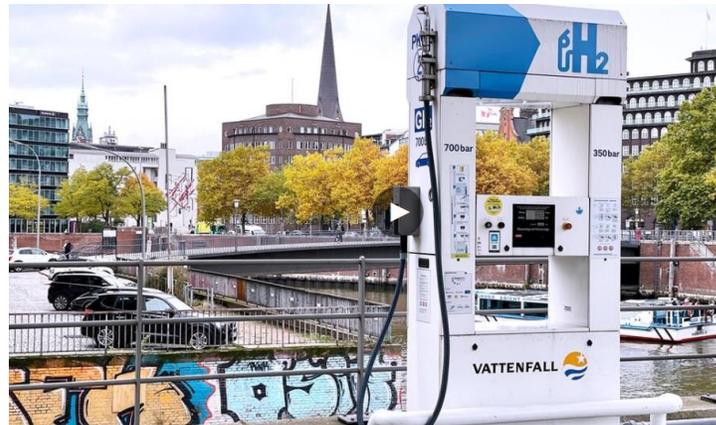
Wasserstoff und Strom Tanken aus X-Wind für den KV



OFF und ON Grid möglich

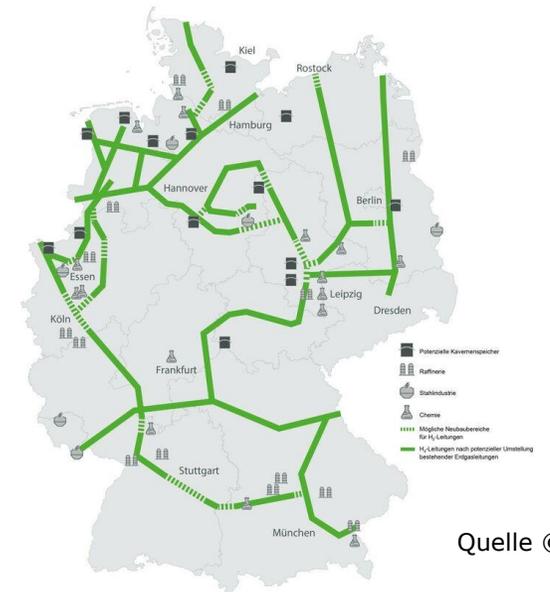
Strom Ladestelle 2MW

H₂ 700 bar Tankstelle



Quelle © Vattenfall

Einspeisung in das Wasserstoffnetz



Quelle © FNB Gas



Wissenschaftliche Grundlagen, Filme und weiterführende Literatur:



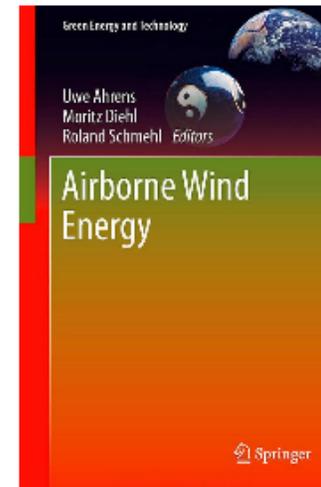
https://www.youtube.com/watch?annotation_id=annotation_3302915765&feature=iv&src_vid=swr-Nq7S3KU&v=pRRFaf2GiuU (Deutsche Version)

<https://www.youtube.com/watch?v=9D0JIB6hYc4> (German Television News)

https://www.youtube.com/watch?annotation_id=annotation_3883640407&feature=iv&src_vid=pRRFaf2GiuU&v=swr-Nq7S3KU (English Version)

- ↪ Loyd Miles, 1980 Crosswind Kite Power
- ↪ Adams, 2010 Fluidmechanik
- ↪ Gambier et al, 2012 IWES Fraunhofer
Tagungsband 1 and 2
- ↪ Ahrens, Diehl, Schmehl
2013, Airborne Wind Energy (ISSN 1865-3529)
- ↪ Schmehl 2018, Airborne Wind Energy (ISBN 978-981-10-1947-0)

Windenergie in der Luft
Von Uwe Ahrens , Moritz Diehl , Roland Schmehl



[Wir sind sehr glücklich. Unser Buch über Höhenwindtechnologie hat es unter den „100 Best Renewable Energy Books of All Time“ auf Platz 10 geschafft](#)



Folien für Nachfragen

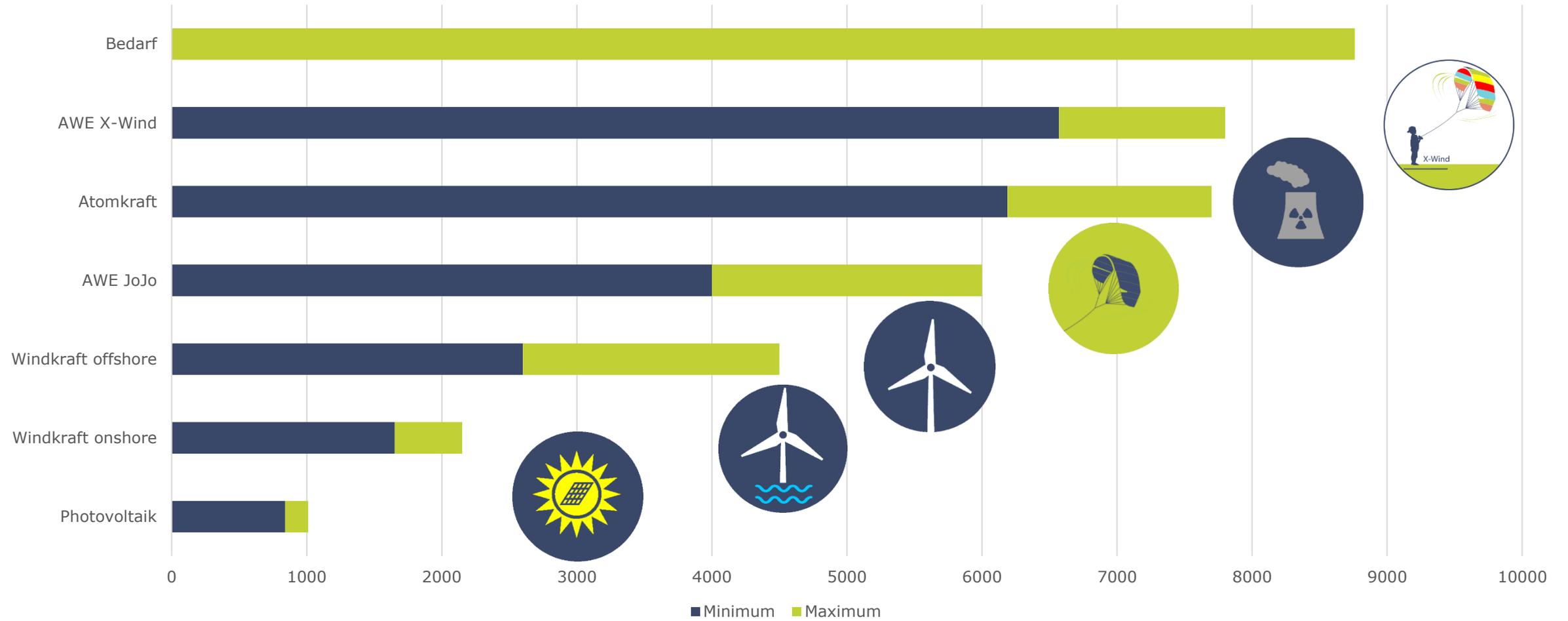




Lieferzeiten CO₂ freie Stromproduktion

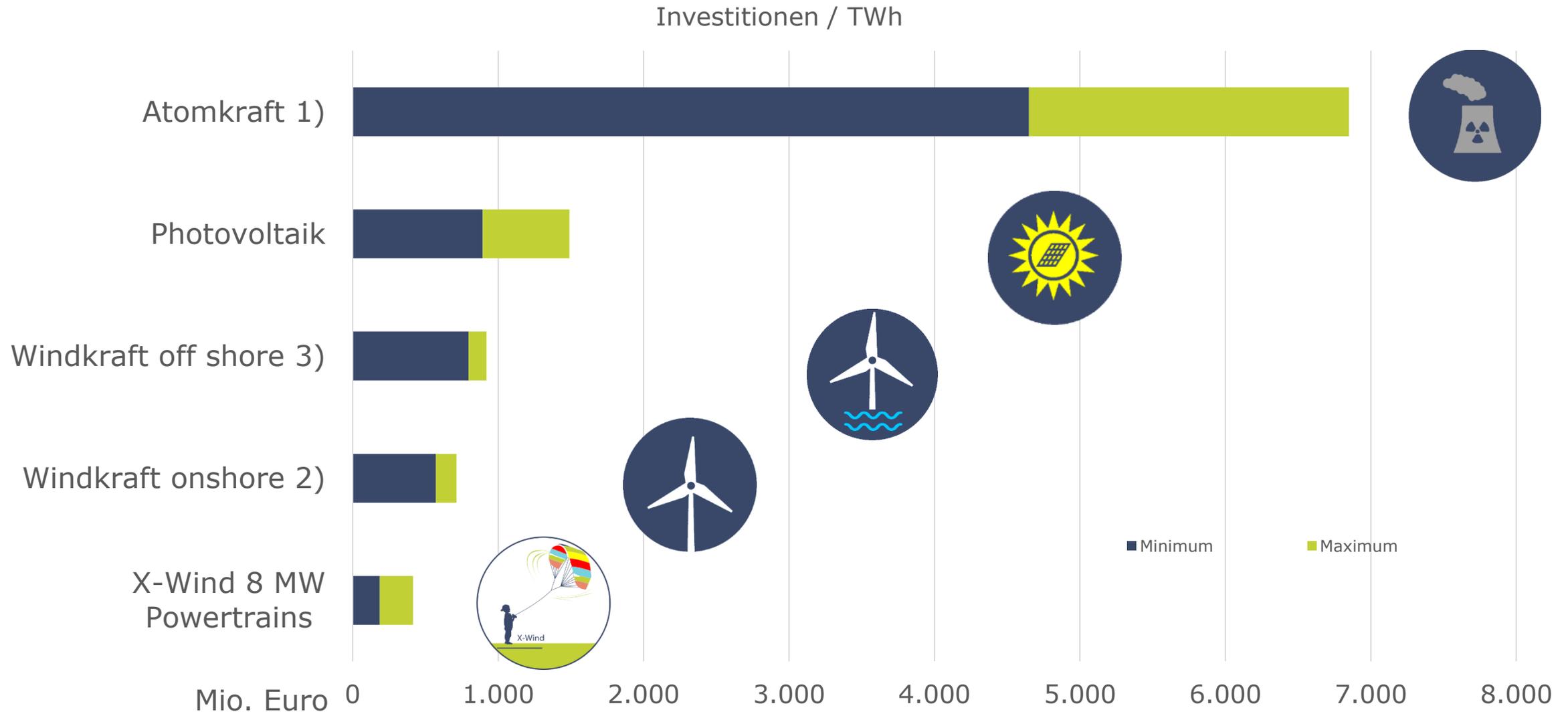


Lieferzeiten (Volllaststundenzahlen)





Vergleich der Investitionskosten



Investitions- und Speichertechnologieaufwand bei 100% Versorgung je nach Quelle¹⁾



9 fache Überkapazität



5 fache Überkapazität



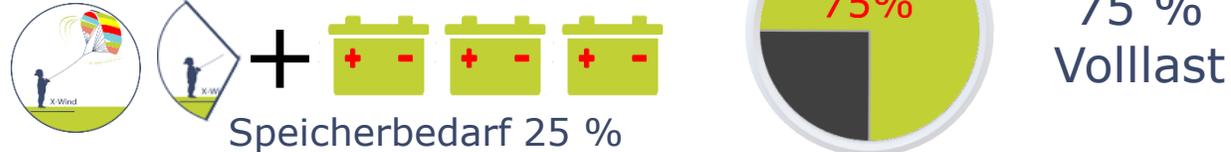
2,5 fache Überkapazität



1,4 fache Überkapazität



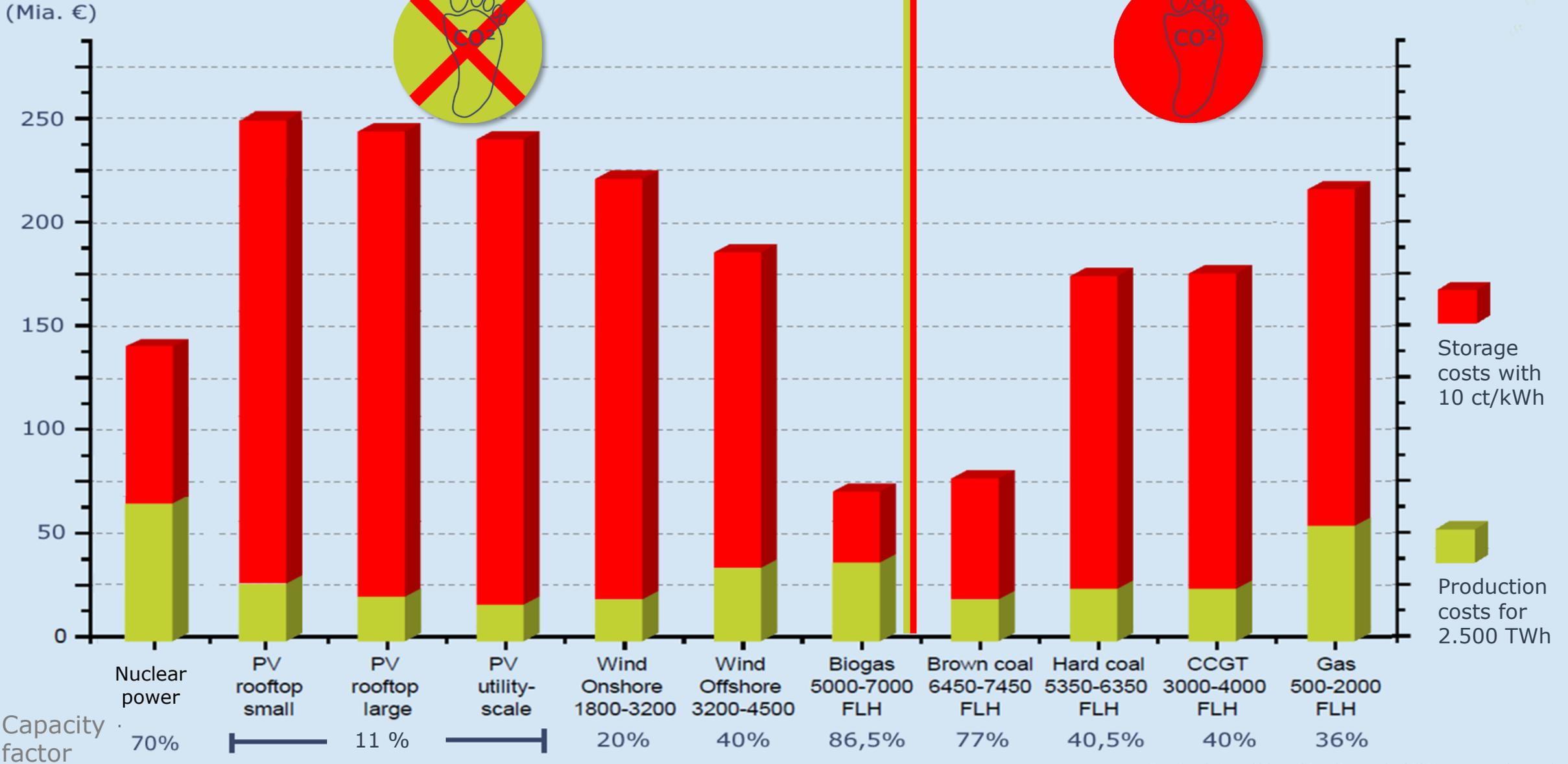
1,3 fache Überkapazität



1) Biogas-Anlagen sind aufgrund der negativen Auswirkungen von Monokulturen und des hohen Flächenbedarfs ungeeignet für eine Gesamtversorgung



Der Kostentreiber für eine CO2-freie Energieversorgung sind die Speicherkosten





Das zusätzliche Flächenpotenzial durch Höhenwindnutzung

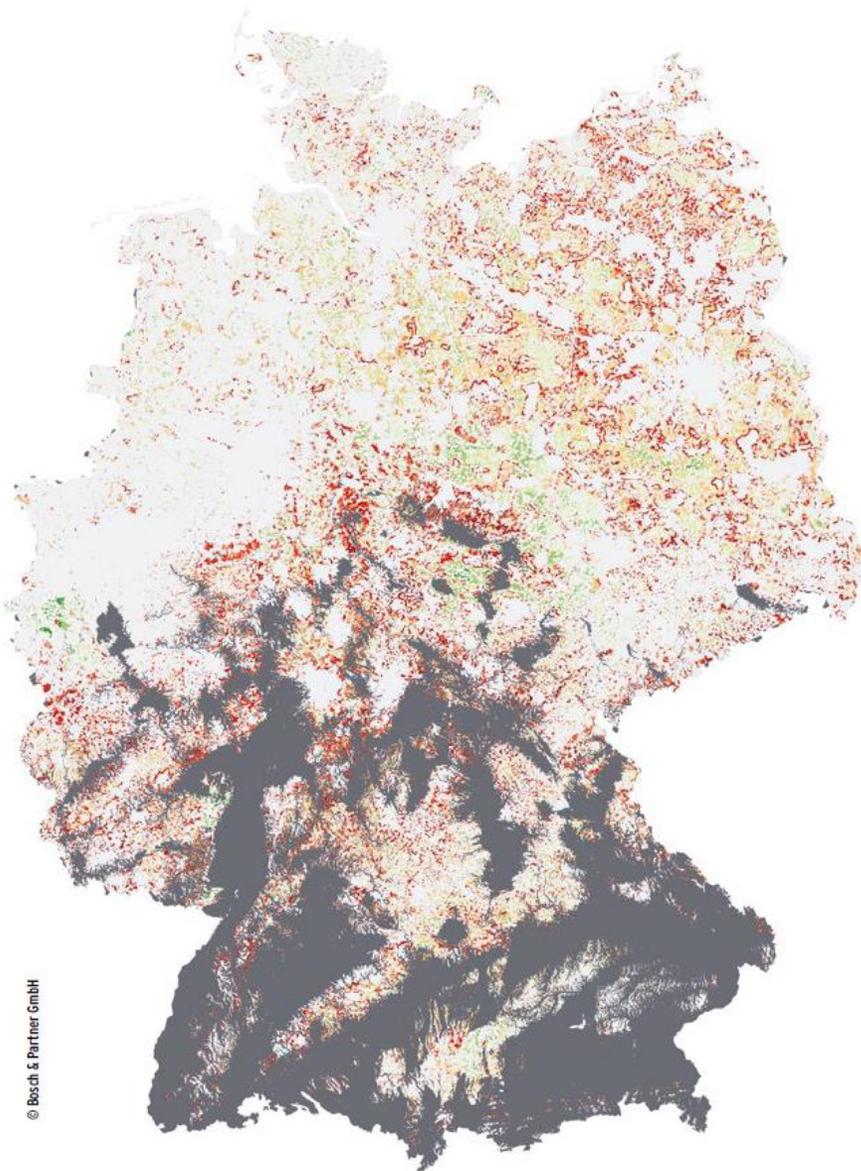


Abbildung 1: Konfliktrisiken des Ausbaus der Windenergienutzung mit Belangen von Naturschutz und Landschaftspflege

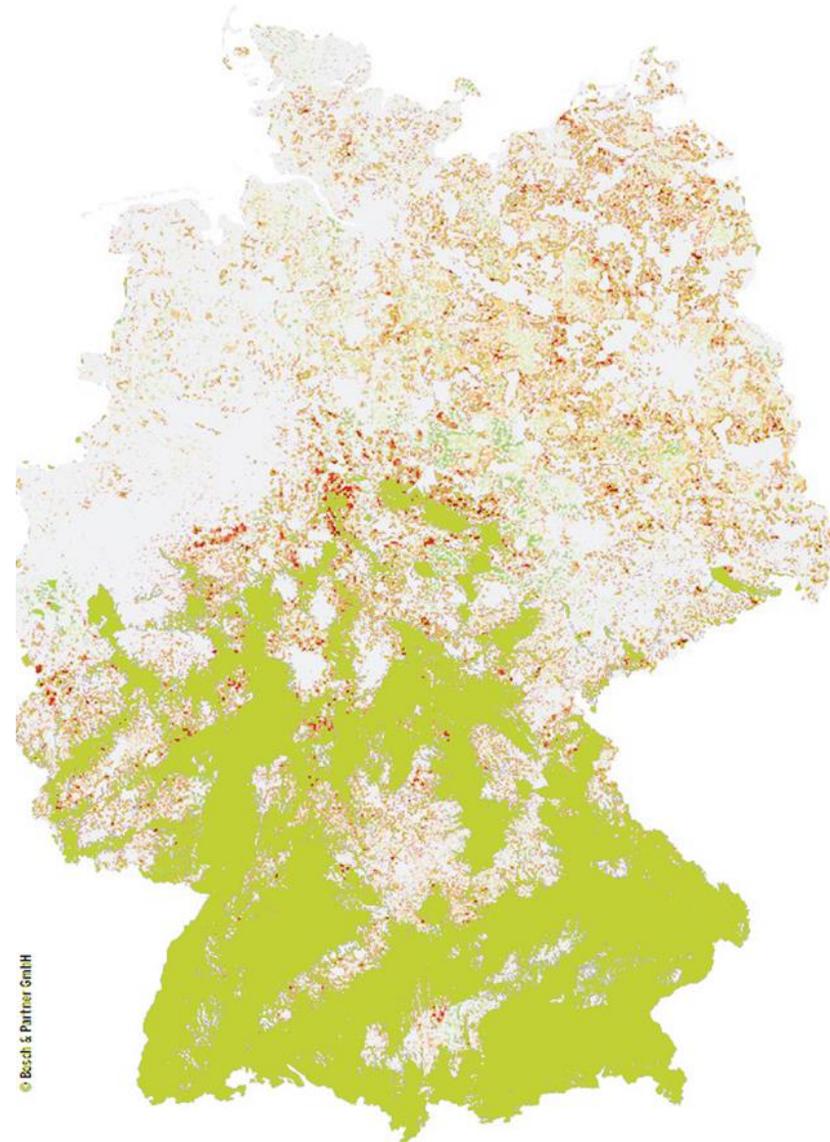
Ausschlussflächen:

- Ausschluss durch Windhöffigkeit <7m/s
- technischer und/oder rechtlicher Ausschluss

Konfliktrisikoklassen (KRK):

- 1: sehr geringes Konfliktrisiko
- 2: geringes Konfliktrisiko
- 3: mittleres Konfliktrisiko
- 4: hohes Konfliktrisiko
- 5: sehr hohes Konfliktrisiko
- 6: sehr hohe, sich überlagernde Konfliktrisiken

© Bosch & Partner GmbH



■ **Zusätzliche Flächen** die mit Höhenwind-technologie nutzbar werden.

Konfliktrisikoklassen (KRK):

- 1: sehr geringes Konfliktrisiko
- 2: geringes Konfliktrisiko
- 3: mittleres Konfliktrisiko
- 4: hohes Konfliktrisiko
- 5: sehr hohes Konfliktrisiko
- 6: sehr hohe, sich überlagernde Konfliktrisiken

© Bosch & Partner GmbH

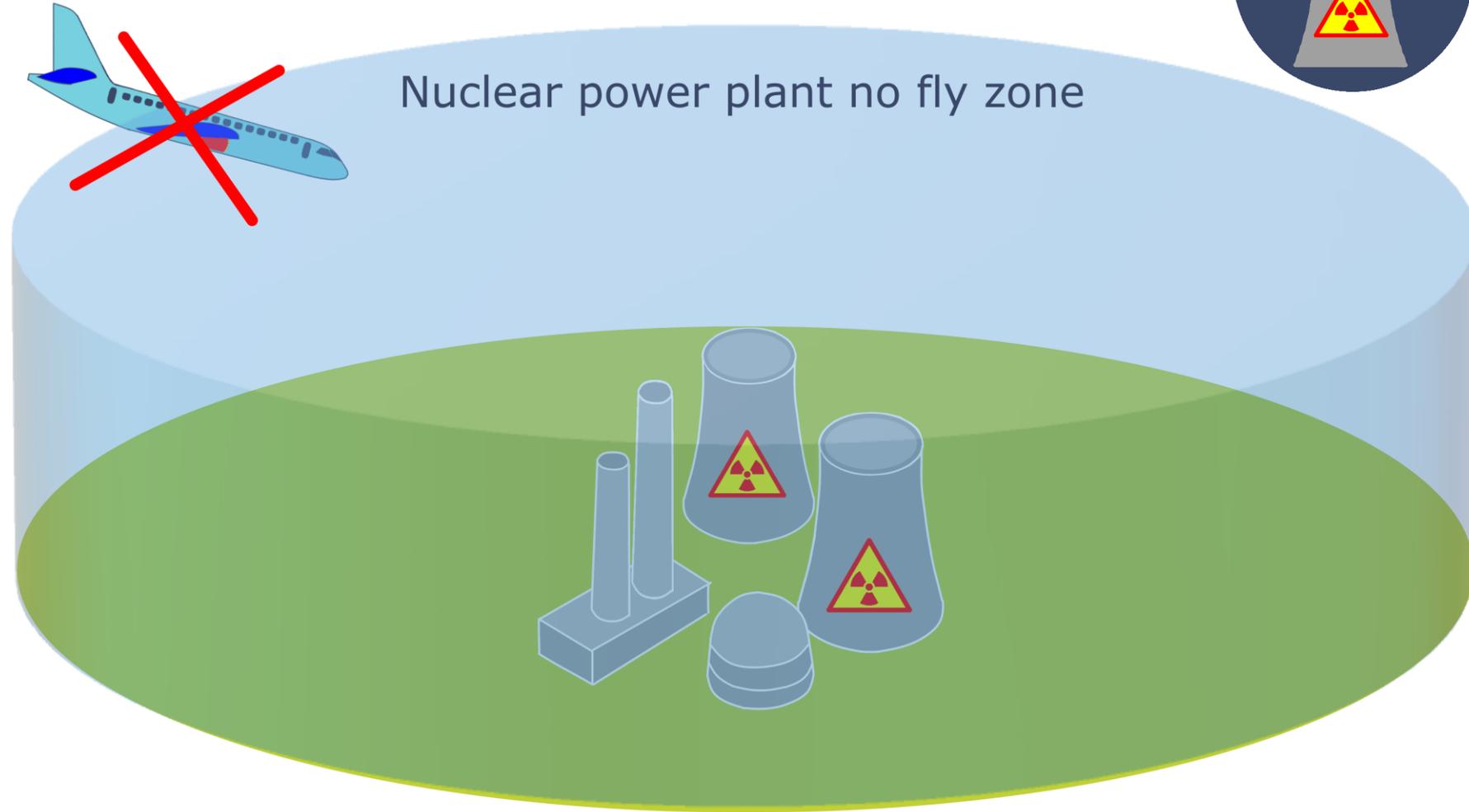


X-Wind, ist leistungsfähiger als ein Kernkraftwerk



Flugverbotszone für ein Kernkraftwerk (Beispiel: Grohnde, 10,5 TWh Stromproduktion)¹⁾

Flächenpotenzial für 4 X-Windturbinen (236 Kraftwerksblöcke mit je 8 MW Leistung = 1.888 MW entsprechend 12,4 TWh Stromproduktion)



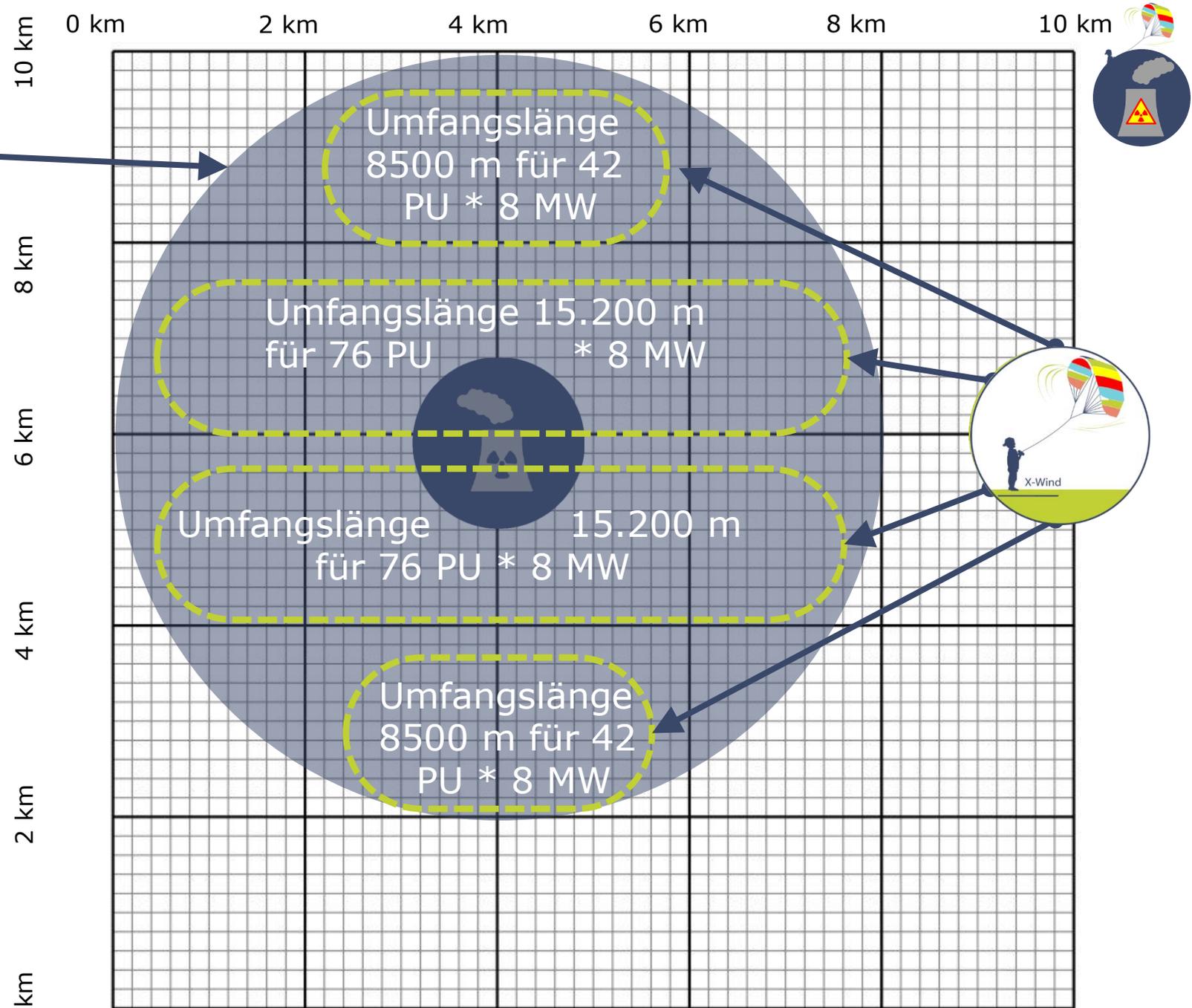
Seit 1968 gab es 42 Flugzeugentführungen. Was wäre wenn....²⁾



Flugverbotszone für ein Kernkraftwerk

(Bsp.: Grohnde 10,5 TWh Stromproduktion)¹⁾

Flächenpotenzial für 4 X-Windanlagen (236 Powerunits mit jeweils 8 MW Leistung = 1.888 MW entsprechend 12,4 TWh Stromproduktion)



Quelle: 1) https://de.wikipedia.org/wiki/Kernkraftwerk_Grohnde



Die Antriebskraft für X-Wind (auf hoher See erprobt)



1 MW



2 MW



4 MW



8 MW

Quellen: www.energy-transition-institute.com/Insights/Wind.html;
<https://de.wikipedia.org/wiki/Volllaststunde>; X-Wind

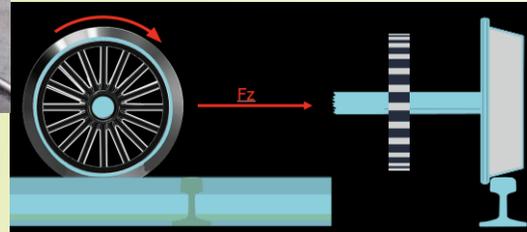


X-Wind Technologie – Stromerzeugung und Netzeinspeisung

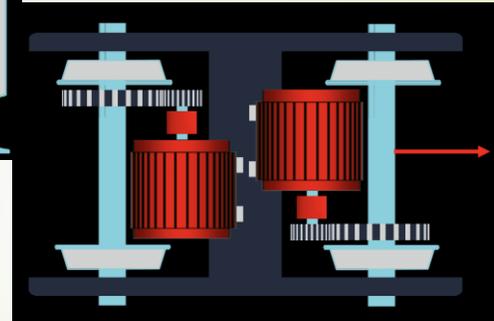


X-Wind verwendet für seine Powerunits konventionelle Zugdrehgestelle

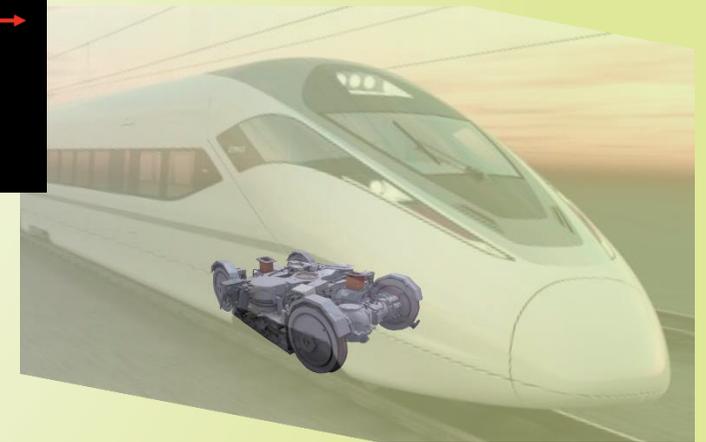
Traktions- und Automationlösungen Fa. Baumüller
<https://www.baumueller.com/de/branchen/e-mobilitaet>



Wenn Triebdrehgestelle gezogen werden, wird die Zugkraft in Drehmoment umgewandelt



Das Drehmoment wird in Strom umgewandelt. Der Strom wird über die Verbundschienen in das Netz eingespeist.



Der Strom wird über Stromschienen in das Netz eingespeist



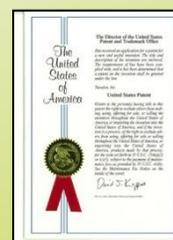
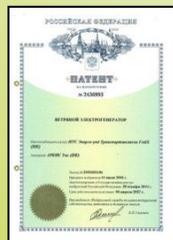
Business – Baumüller und X-Wind Technologie Patente



Die wichtigsten Weltmärkte in unserer Hand!
Die X-Wind-Technologie ist für 80% der Weltmärkte patentiert



USA
 China
 Russland
 Europe
 Türkei
 Indonesien
 Südafrika
 Indien
 Australien
 Marokko



Unsere Technologie hilft bei 5 Zielen zu einer nachhaltigen Entwicklung beizutragen



Customer journey





Erfunden, entwickelt und produziert:





Faktensammlung



- Gesamtfahrleistung 755 Mia. Kilometer, Anteile: PKW 85,4%, LKW 11,6%, Sonstige 3%¹⁾
- Durchschnittsverbrauch PKW 7,4 L Benzin (Anteil 65,5 %) und 7 L Diesel (32,9 %), LKW Mittelwert 28 L /100 km ^{2) 3)}
- Fahrzeugbestand PKW 48,2 Mio., LKW 3,4 Mio.⁴⁾
- Dieserverbrauch PKW rund 20 Mia. L, Benzin PKW rund 27 Mia. Liter, LKW rund 20 Mia. L⁵⁾
- Energiegehalt 1 L Diesel = 9,79 kWh, 1 l Benzin = 8,67 kWh, 1 L Kerosin = 9,5 kWh, Energiegehalt 1 kg Wasserstoff = 33,3 kWh ⁶⁾
- Energieaufwand zur Produktion von 1 kg H₂ = 43 kWh⁷⁾
- Durchschnittsverbrauch auf 100 km E-PKW 18 kWh, H₂-LKW 8 kg Wasserstoff/100 km entsprechend 266 kWh/100km ⁸⁾
- Kosten 1L Benzin = 1,60 €; 1 L PKW Diesel = 1,46; 1 L LKW Diesel = 1,33 € ⁹⁾; Herstellkosten 1L Benzin = 0,65, 1 L Diesel = 0,66, 1 L Schweröl = 0,13 €



Faktensammlung



- Schiffsdieselvebrauch 171 g/kWh (80 MW Maschine) = 16.600 kg/h = 19.000 L/h, Geschwindigkeit = 46,3 km/h entspricht 42.000 l/100 km¹⁾ =
- Durchschnittsverbrauch H₂ PKW mit 104 kW verbraucht 0,9 kg/100 km (bei 40 km/h)²⁾ entspricht 615 kg auf 100 km bei 80.000 kW. Kosten für 100 km = 460 €³⁾