



EIFER

EUROPÄISCHES INSTITUT FÜR ENERGIEFORSCHUNG
INSTITUT EUROPEEN DE RECHERCHE SUR L'ENERGIE
EUROPEAN INSTITUTE FOR ENERGY RESEARCH

Ressourcen ?
Ideen ?

KIT Karlsruhe



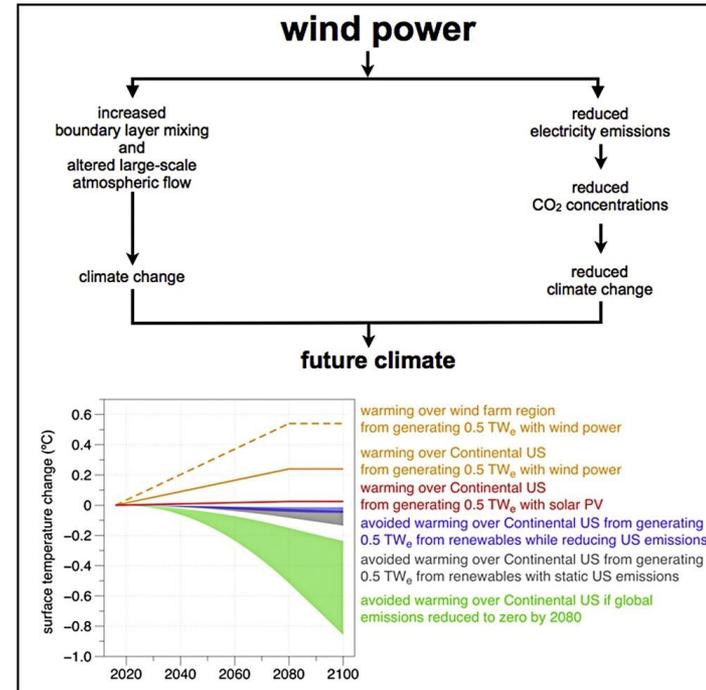


- **Klima**
 - Klimabeeinflussung
- **Ressourceneffizienz**
 - Energetische Amortisation
- **Ressourcen**
 - Endlichkeit & Bedingungen
- **Supergrids**
 - Desertec 3.0

Klimawandel durch Windkraft ?

Ein Artikel und seine Wellen 🌊🤔🤔

- Es liegen verschiedene Luftschichten übereinander mit ihren eigenen Temperaturen und Winden (Geschwindigkeit & Richtung).
- An der Oberfläche entstehen Turbulenzen, wenn die Strömung am Boden „hängen“ bleibt.
- Dadurch entsteht ein vertikaler Geschwindigkeitsgradient, sodass sich die Luft am Boden langsamer bewegt als weit oben.
- Dadurch kommt es zu einer Durchmischung der Luft am Boden mit oberen Luftschichten.
- Die Luft der oberen Schichten ist nachts meist wärmer, als die am Boden.
- Windräder sowie alle anderen Hindernisse stellen jetzt so eine Art "Aufrauhung" (Rauhigkeitslänge) des Bodens dar, welche den Wind stärker abbremst.
- Damit verstärkt sich der vertikale Geschwindigkeitsgradient und es kommt hinter dem Hindernis zu einer stärkeren Durchmischung der vertikalen Luftschichten.
- Dadurch steigt die Temperatur in Bodennähe während sie in den höheren Luftschichten sinkt.
- Effekt 10 mal größer als bei PV.



Macht die Windkraft die USA wärmer?

14.11.2018 – James Temple

Climate Change / Clean Energy

Wide-scale US wind power could cause significant warming

A Harvard study raises questions about just how much wind should be part of a climate solution.

by James Temple

Oct 4, 2018

Klimawandel durch Windkraft ?

Wissenschaftlicher Einspruch 🌍🤔🤔

- Die Harvard-Forscher haben sich jetzt angeschaut, wie sich die Temperatur in Bodennähe auf dem Gebiet der USA ändern würde, wenn man die USA so mit Windkraftanlagen zupflastern würde, dass der gesamte Jahresenergieverbrauch nur aus Windkraft gewonnen wird.
- Dabei haben sie kein einziges Windrad in ihre Rechnungen aufgenommen, sondern die Rauigkeit des Bodens erhöht.
- Die Stanford-Forscher kritisieren nun, dass man den Einfluss von Windrädern nicht einfach über einen Rauigkeitskoeffizienten modellieren darf.
- Die Harvard-Forscher konnten die von ihnen vorhergesagten Effekte jedoch an real existierenden Windparks in den USA messen.

+0,24° C

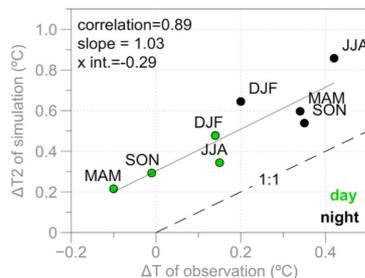


Figure 4. Comparison of Observations and Simulations for the Texas Location (Table 1) We compare day and night response over four seasons. Observations are surface (skin) temperature differences. Simulation is differences in 2-m air temperatures between the benchmark scenario (0.5 MW km⁻²) and control. Note that while correlation over eight points is high, the simulated response is larger, likely due to the much larger perturbed area and the difference between skin and 2 m air temperature.

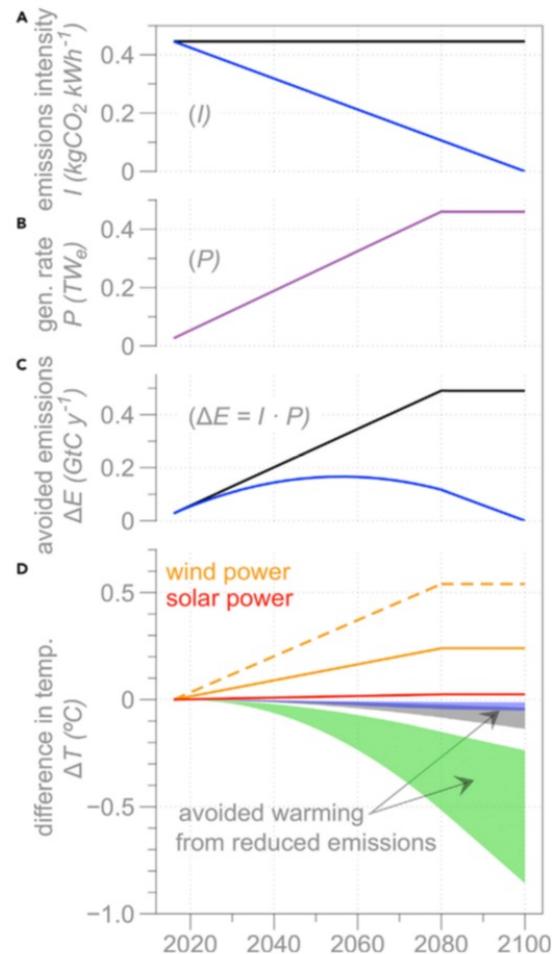


Figure 5. Climate Warming Impacts Compared to Climate Benefits of Reduced Emissions



Klimawandel durch Windkraft ?

Effekt existiert tatsächlich 🤔🤔

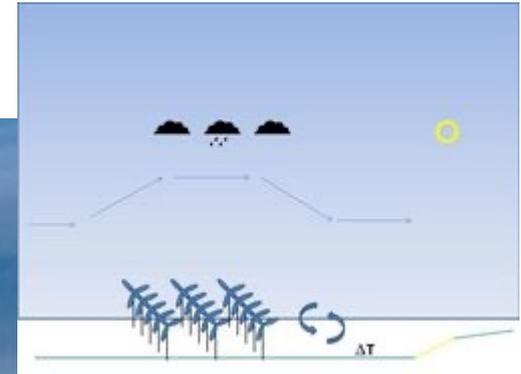


*Bis zu 100 Kilometer lange Wirbel: Windräder bei Marsberg im Sauerland Bild: Imago/Hans Blossey
<https://www.preussische-allgemeine.de/nachrichten/artikel/wie-umweltschaedlich-ist-windkraft-wirklich.html>*



Offshore und die Wolken

near shore ? Oder doch nicht ?



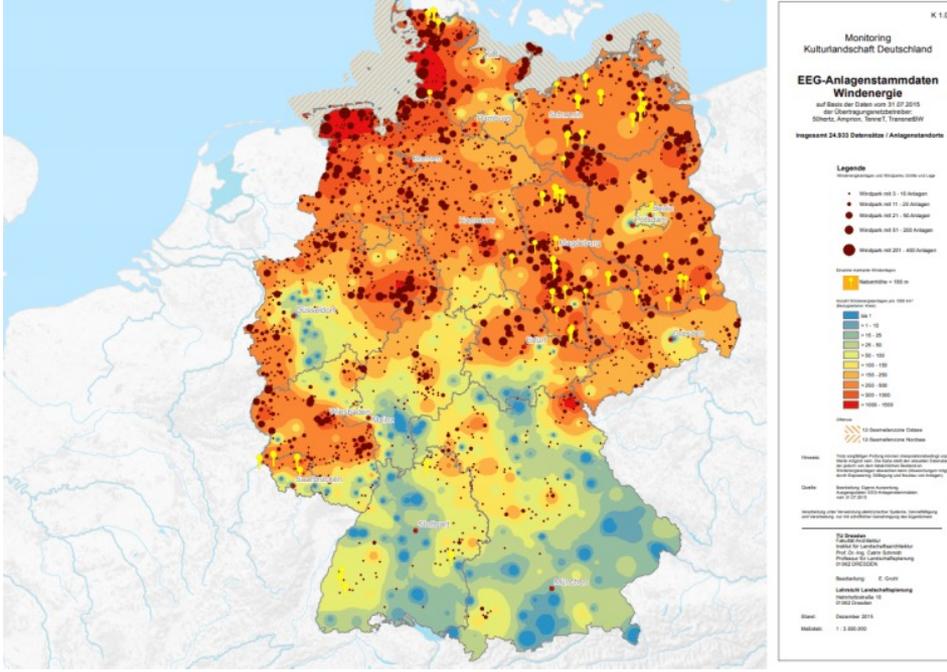
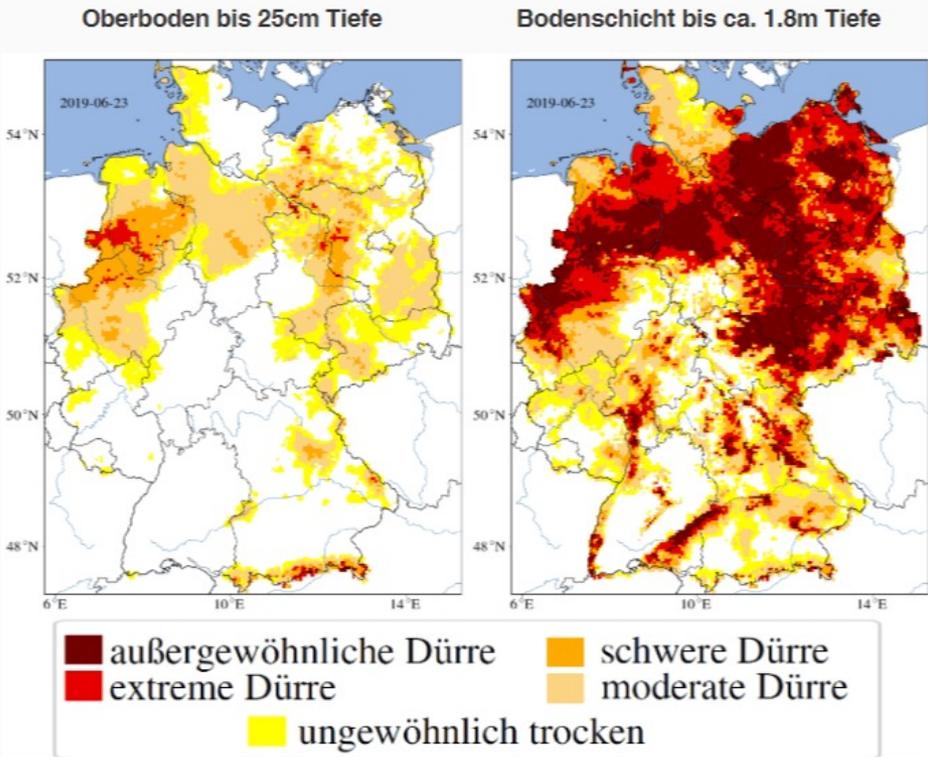
WIPAFF (Windpark-Fernfeld)
IMK-IFU & KIT (Garmisch)

Photo: Christian Steiness, (c) ict-aeolus.eu

Es wurde im Winter 2008 vor der dänischen Nordseeküste südwestlich von Blåvandshuk aufgenommen.
Der Windpark "Horns Rev 1" trägt den Namen der dortigen Sandbank *Horns Rev* und liegt 14 bis 20 Kilometer vor der Küste.

WKA gemachte Dürre ?

Sciencefiles.org ... Zufall ? Oder ?



https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/daten_fakten/Dokumente/II_4_3_21_Verteilung_Elektrizitaetsgew_Wind.pdf
Bundesamt für Naturschutz.

<https://www.ufz.de/index.php?de=37937>
Helmholtzzentrum für Umweltforschung.



<https://sciencefiles.org/2019/06/25/windkraft-und-trockene-boden-kommt-zusammen-was-zusammengehor/>

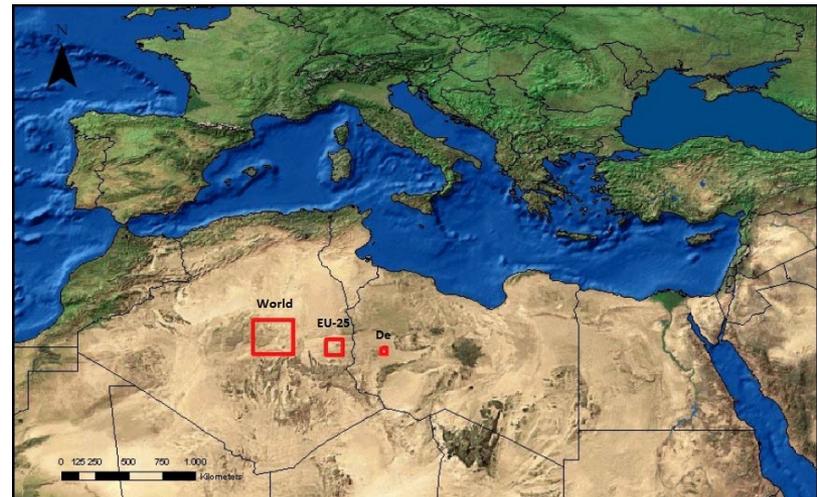
Endlich Regen für die Sahelzone ?



- Modellrechnung der *University of Maryland* für die Sahara
 - 3 Modelle
 - 20% Bedeckung mit Solar
 - WKA in 5-fachen Rotorradius
 - WKA 3TW + Solar 79 TW
 - „Geringer“ Temperaturanstieg
 - Erhebliche Zunahme der Niederschläge
 - Identischer Effekt wie eingangs beschrieben
 - Positive Rückkopplung ab erster Begrünung
 - 10-15% begrünt im Vollausbau
 - 80% der Niederschläge aus Begrünung heraus
 - Temperaturanstieg 2,5° Sahara
- Monsun in der Nordsahara vor tausenden von Jahren ...



Modellwindpark im marokkanischen Tanger (Desertec Foundation).



Desertec – Flächenbedarf Solarthermie zur Stromerzeugung.

Energetische Amortisation

Produktlebensweg - Bestandteile

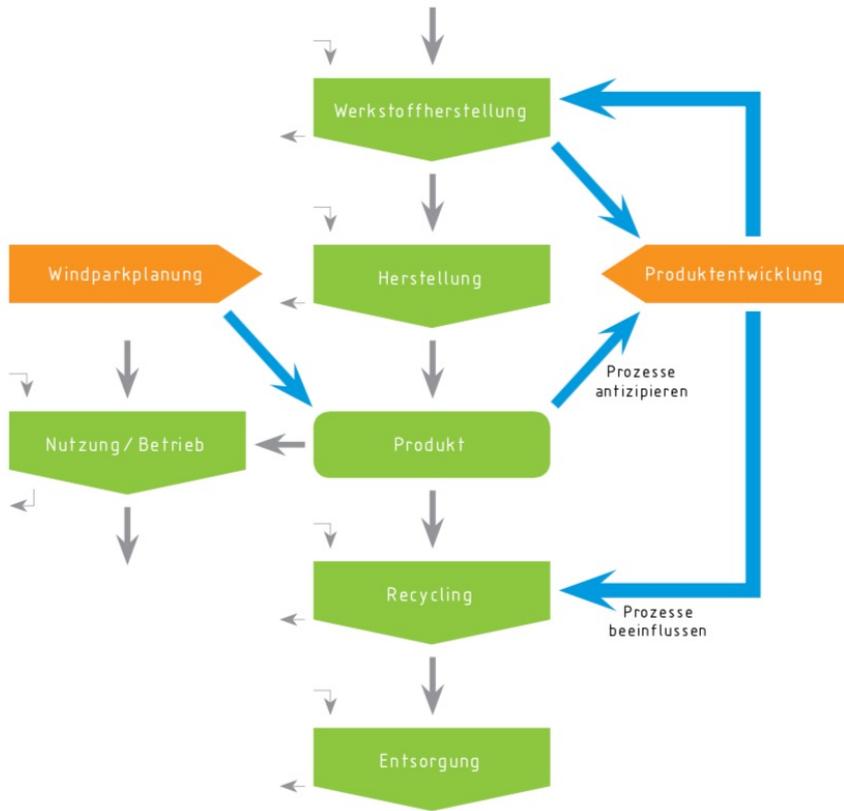


Abb. 1: Produktlebensweg eines Windparkprojekts²

² Diagramm in Anlehnung an: Abele, E.; Anderl, R.; Birkhofer, H.: Environmentally-Friendly Product Development Methods and Tools. Springer Verlag, London [u. a.] . ISBN 978-185-23390-3-6, (2005)

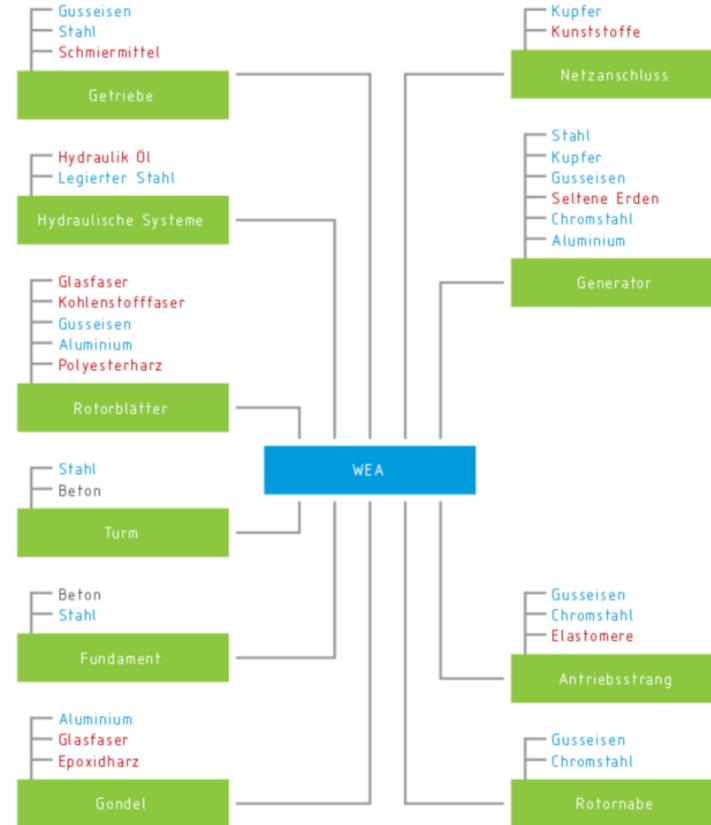


Abb. 3: Verwendete Materialien für Hauptkomponenten einer Windenergieanlage²⁷

²⁷ nach Zimmermann, T.; Rehberger, M.; Gößling-Reisemann, S. (2013): Material Flows Resulting from Large Scale Deployment of Wind Energy in Germany. Resources 2013, 2, 303 - 334

Energetische Amortisation

Alpha Ventus

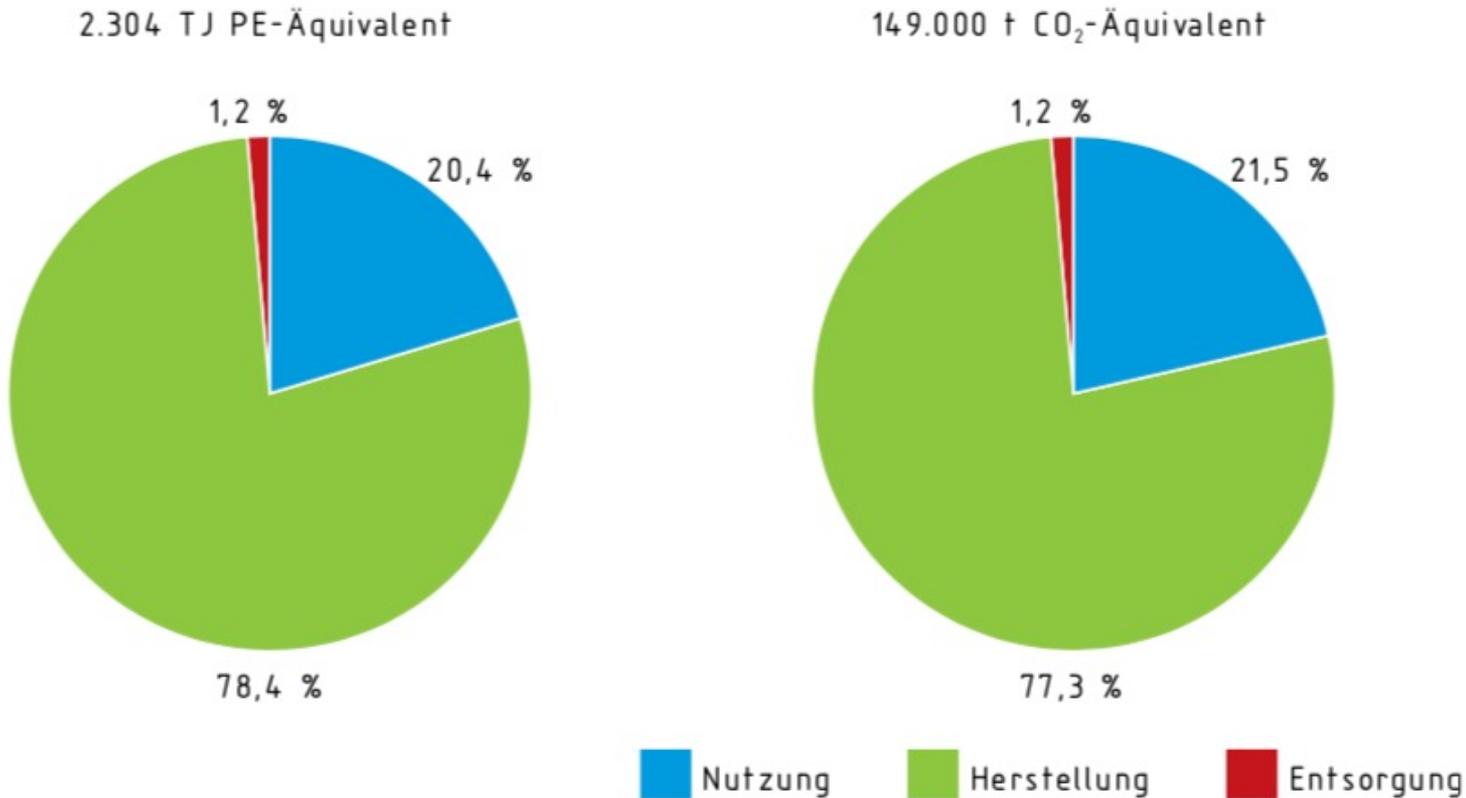


Abb. 7: Kumulierter Energieaufwand (KEA) und CO₂-Äquivalent des gesamten Windparks alpha ventus, aufgeteilt nach den Lebenszyklusphasen¹²⁰

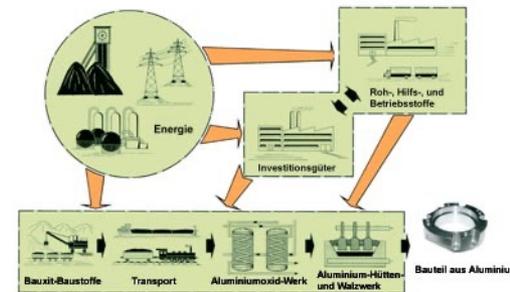
Energetische Amortisationszeit

LCA – Alpha Ventus (Life Cycle Analysis)

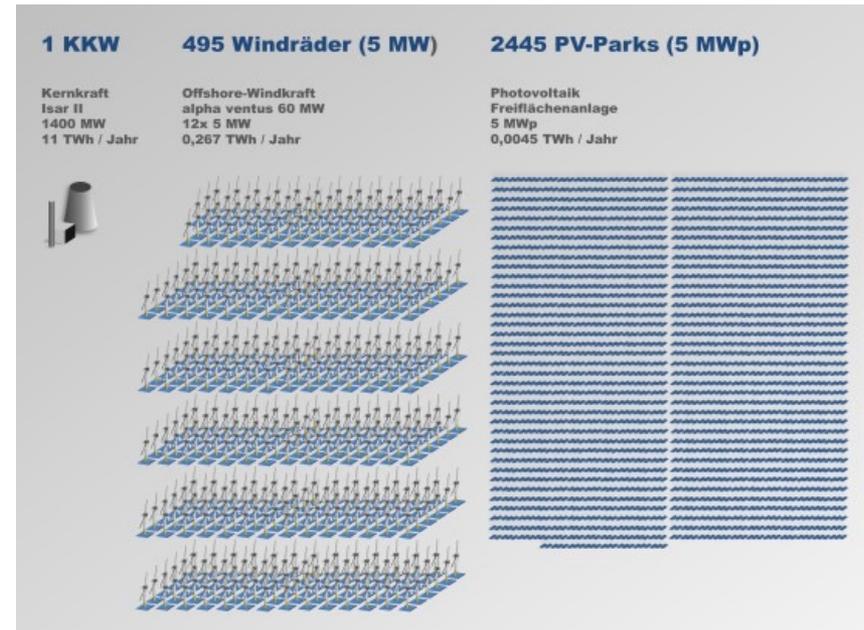
- 6,1 – 11,8 Monate
 - Windenergieanlagen
 - Gründungsstrukturen
 - Verkabelung innerhalb des Windparks
 - Off-shore-Umspannwerk
 - Seekabel
 - Umspannwerk an Land
 - Ökobilanzierung aus 2010 !
 - Aktuell Onshore 3-6 Monate
 - Aktuell Offshore 6-8 Monate

- Einige Zahlen (2010)
 - Offshore 82% Stahl
 - 5 MW OffS ca. 30 t Kupfer
 - 5 MW OnS ca. 8 t Kupfer
 - 10 % Kupferverbrauch D für WKA

Ein auffälliges, anscheinend negatives Ergebnis der Ökobilanzierung von alpha ventus zeigt sich in einem schlechten Abschneiden bei der Betrachtung des humantoxikologischen Potenzials (HTP) anhand von 1,4 Dichlorbenzol-Äquivalenzen. Die Ermittlung des HTP wird in der DIN EN ISO 14044 vorgeschrieben. Die Ursache für dieses schlechte Abschneiden liegt in dem hohen Anteil an Stahl, der in WEA verbaut wird, da in der Stahlproduktion eine große Menge an humantoxischen Substanzen anfällt. Berücksichtigt werden muss dabei allerdings, dass es sich bei alpha ventus um eine Prototypanlage handelt und aus den Erfahrungen her- aus zukünftig damit zu rechnen ist, dass vergleichbare Anteile weniger Stahl benötigen, bis hin zu der Frage, ob die Tragstrukturen im Wasser nicht Betonmaste sein werden.



- Zahlen aus 2009 WKA gesamt
 - 14,5 Mio t gesamt
 - 9,9 Mio t Beton
 - 3,6 Mio t Stahl
 - 0,37 Mio t GFK
 - 0,36 Mio t Gusseisen
 - 28,5% energieintensives Metall
 - Wesentlich mehr als andere E-Anlagen
- Vergleich mit Kohle 2012
 - 17 Mio t gesamt
 - 14,5 Mio t Beton
 - Ohne Brennstoffbedarf (Kohle)
 - Aber ca. 3 mal soviel MWh ...
- Kernkraft
 - 12,6 Mio t
 - Ohne Uran und „Endlager“ ...

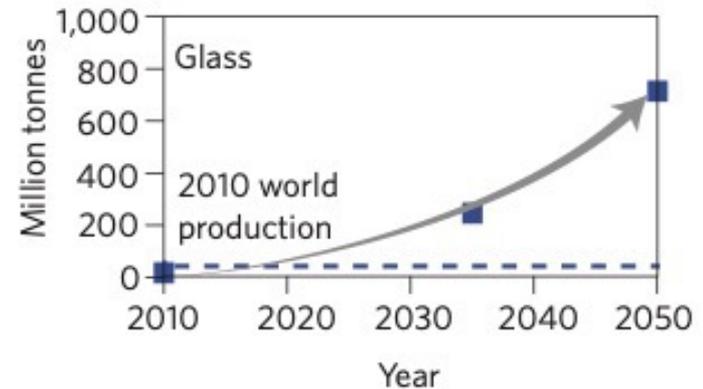
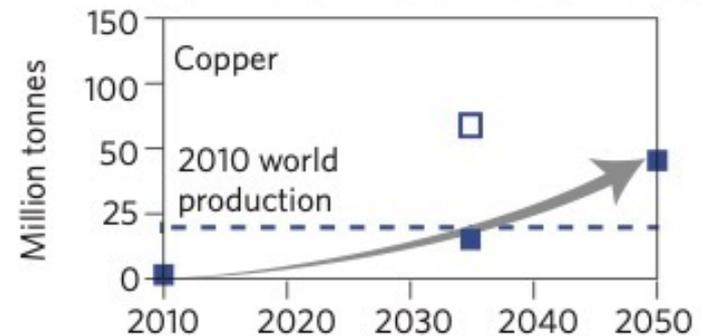
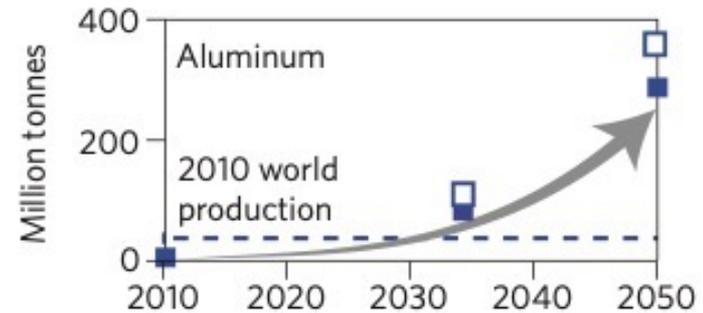
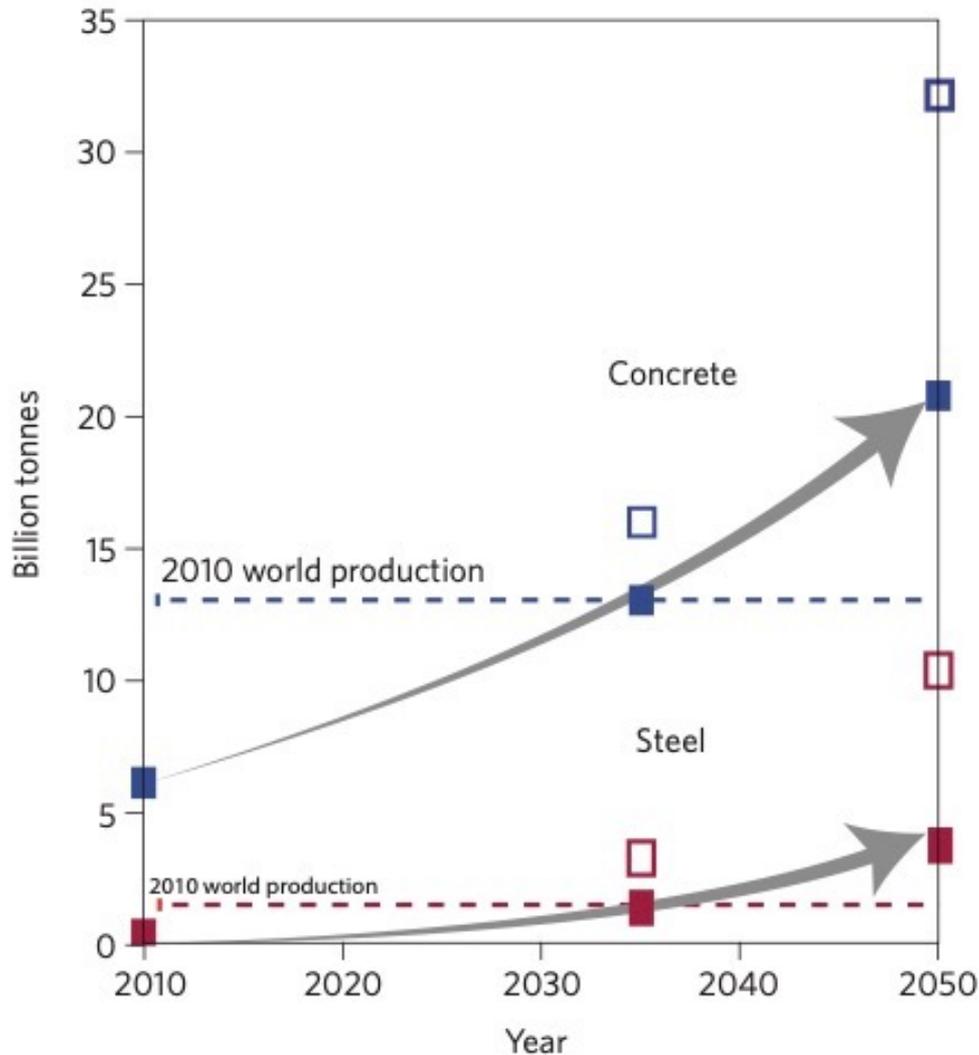


- 42 mal Alpha Ventus
- 2.445 2,5 MW Onshore (1.800 VLh)
- 2,5 Mio 5 kW_p Dachanlagen PV
- Backup ?
- Speicher ?
- Aufwand KKW Neubau ?
 - Olkiluoto
 - Flamanville
- Endlager ?
- Risiko ?
- Fusion ??? Vor 30 Jahren waren es 30 Jahre ...



Ressourcen

25.000 TWh in 2050 aus Erneuerbaren ...





Ressourcen

25.000 TWh in 2050 aus Erneuerbaren ... (Zahlen mit Vorsicht genießen !)

- 3,2 Milliarden Tonnen Stahl
 - 500.000 Eifeltürme
 - 2,8 Mrd t/a
 - 170 Mrd t
 - 60 a (statisch)
- 310 Millionen Tonnen Aluminium
 - 40 Mio t/a
 - 140 Mrd t Reserven
 - 3.500 a (statisch)
- 40 Millionen Tonnen Kupfer
 - 16 Mio t/a
 - 500 Mio t Reserven
 - 30 Jahre (statisch)
 - Recycling
- Die gesamte Fördermenge mehrerer Jahre müsste in die globale Energiewende gesteckt werden ...
- Oft dieselben Probleme wie die fossilen Energieträger. Steigende Preise, Umweltbelastung und die geopolitische Abhängigkeit von Krisenregionen, in denen diese Rohstoffe besonders häufig vorkommen.



- Der Umbau von fossilen Energieträgern hin zu erneuerbaren Energien tauscht die Rohstoffe Öl, Gas und Kohle gegen Metalle und Mineralien ein.
 - *A shift to renewable energy will replace one non-renewable resource (fossil fuel) with another (metals and minerals).*
 - Rohstoffe, die zum Bau von Photovoltaik-, Wind-, und Wasserkraftanlagen benötigt werden, sind genauso endlich wie Gas, Öl oder Kohle.
- Studie
 - Lokale Gewinnung
 - Seltener Erden sind weder selten noch Erden ...
 - Recycling
 - Lebensdauer ?
 - Kreislaufwirtschaft
 - LCA

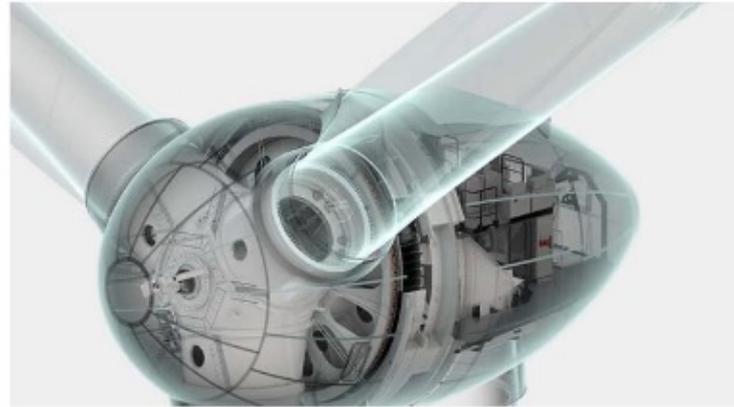
Kein Ausbau ohne mineralische Rohstoffe

Modere WKA benötigen mineralische Rohstoffe – „viel(e) davon“

- **Kupfer** für Leitungen und Spule
- **Seltene Erden** in Hochleistungs-Permanentmagnete der Generatoren

Aber auch:

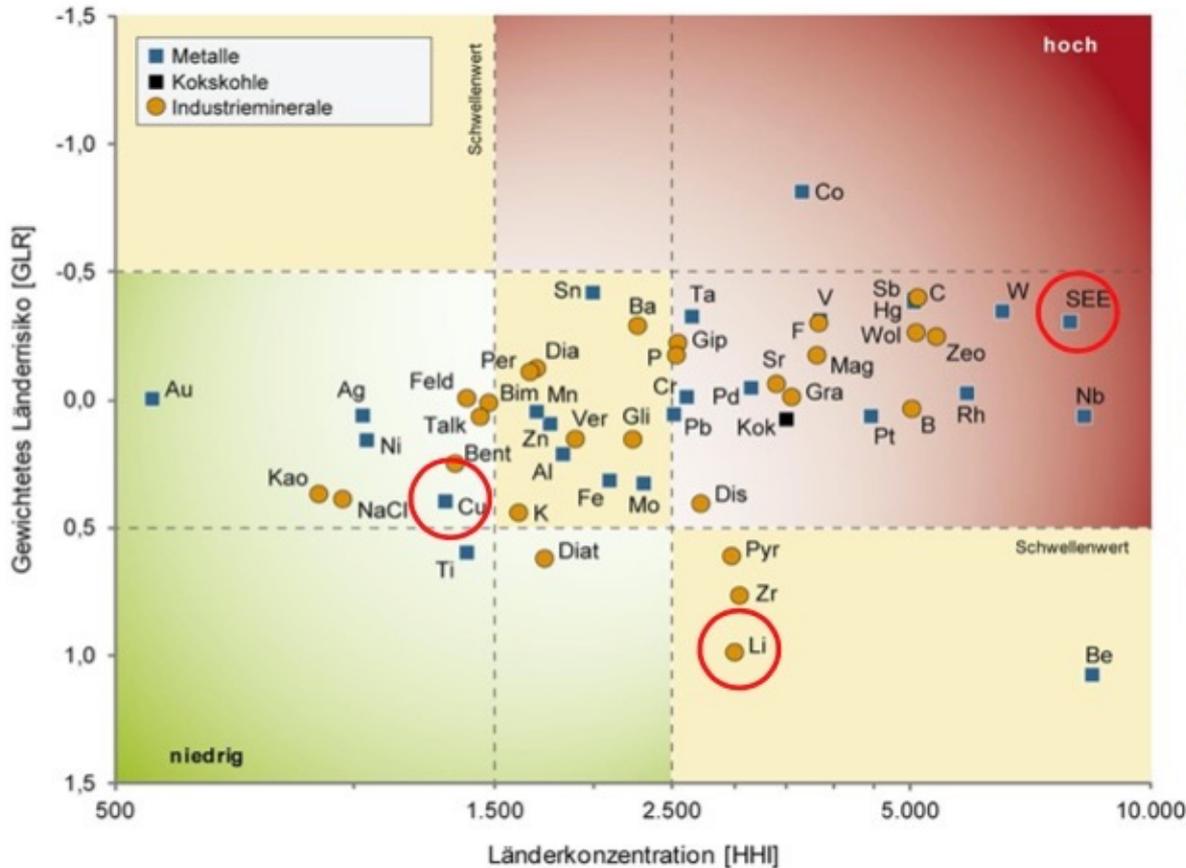
- **Zink und Molybdän** gegen Korrosion
- **Nickel** für Temperaturbeständigkeit
- **Verbundwerkstoffe** für Rotoren



Quelle: Enercon

1 Windrad Offshore braucht bis zu **30 t** Kupfer und bis zu **1 t** Seltene Erden

DERA-Rohstoffliste: Ergebnisse



Seltene Erden

Bergwerksförderung:
China 90 %, Australien
6 %

Kupfer

Bergwerksförderung:
Chile 30%, China 9%,
Peru 9%

Lithium

Bergwerksförderung:
Australien 40%,
Chile 36%

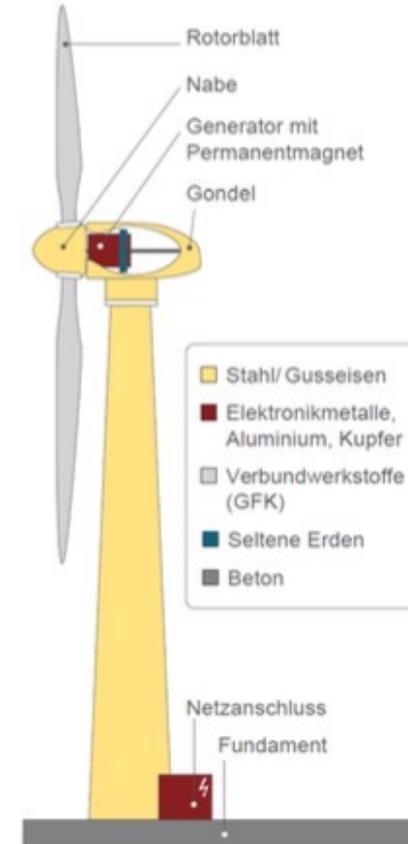
Heimische mineralische Rohstoffe

Deutschland kann einen Großteil der benötigten Rohstoffe selber gewinnen.
Auch für die Energiewende!



Heimische Rohstoffe für Schlüsseltechnologien

- **Rotorblätter (30 % Quarz):**
Glasfaserverstärkte Kunststoffe:
u.a. Quarzsand, Kalkstein, Dolomit, Feldspat,
Kaolin, Soda
- **Permanentmagnete:** Seltene Erden
- **Turm, Gondel:** u.a. Stahl, Kupfer
- **Fundament:** Sand und Kies (Beton)



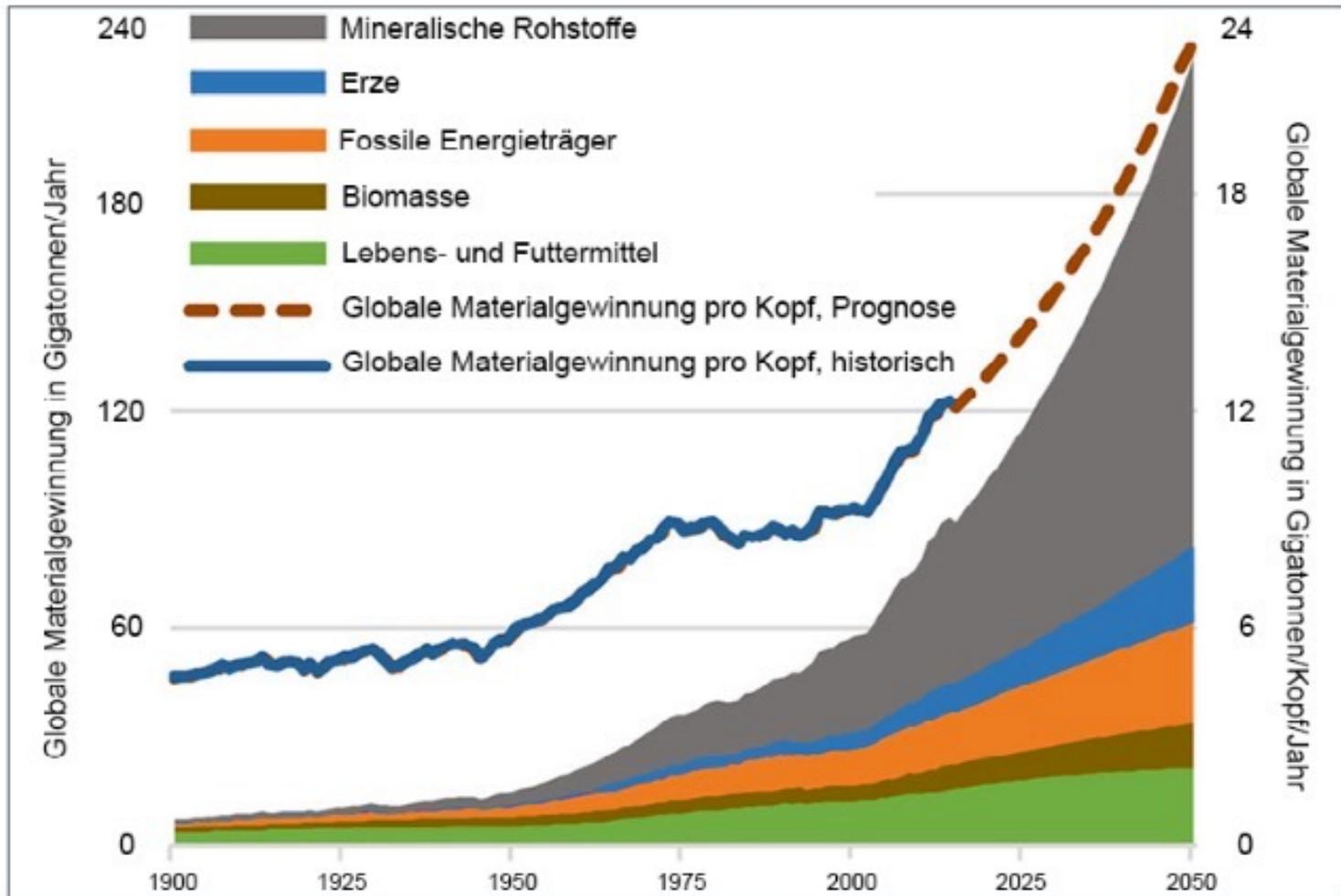


Abbildung 5: Materialverbrauch in Gigatonnen im Zeitraum 1900 bis 2010 mit einem Szenario bis 2050².

Ressourcen

Sand ... und der Rest ...

- Schon jetzt gibt es beim Sand ein doppeltes Problem: Zum einen wird der Nachschub immer knapper. Viele einst reichhaltigen Vorkommen sind bereits ausgebeutet oder übernutzt – auch **weil nicht jeder Sand für die Nutzung geeignet ist**. Gleichzeitig führen die immer dichtere Besiedlung der Küstenregionen, der steigende Meeresspiegel und die zunehmende Erosion dazu, dass viele Sandvorkommen verschwinden oder zugebaut werden und damit nicht mehr zugänglich sind.
- Die Folge: Knappheit und hohe Profite führen schon jetzt immer häufiger zu politischen Konflikten, Kriminalität und Gewalt. „In Indien gilt die Sand-Mafia schon jetzt als eine der mächtigsten und gewalttätigsten Gruppen des organisierten Verbrechens – hundert von Menschen sind bereits in ‚Sandkriegen getötet worden‘ ...“



Laos. Seitenfluss des Mekong.

- Eisenerz
- Aluminium
- Kupfer
- Kobalt
- Lithium
- Seltene Erden
- ...

Ressourcen

Recycling ? Kreislaufwirtschaft ...

- „Recycling“
 - Beton – Straßenbau ?
 - Stahl, Kupfer nahezu 100%
 - Seltene Erden 100%
 - Neodym, Dysprosium
 - Neodym-Eisen-Bohr Magneten
 - Teilweise Rückkehr zu ASG
 - Recycling in WKA unkritisch wegen der Größe
 - GFK/CFK (Rotorblätter) schwierig
 - Teuer ...
 - So teuer, dass Rotorblätter teilweise gelagert werden in der Hoffnung auf günstigeres Recycling
 - Problem ist die Faserstruktur bei der Verbrennung
 - Für GFK existieren Lösungen (Zementwerk)
 - Für CFK aktuell noch keine Lösung in Sicht ...
 - UBA bis zu 70.000 t/a ab 2024
 - UBA Finanzierungslücke für Rückbau beträgt 2038 geschätzte 300 Mio €
 - Fundamente (verbleiben teilweise im Boden)
 - Rotorblätter (GFK/CFK Problematik)

2014-Kurzanalyse-VDI-ZRE-09-Ressourceneffizienz-Windenergieanlagen.pdf

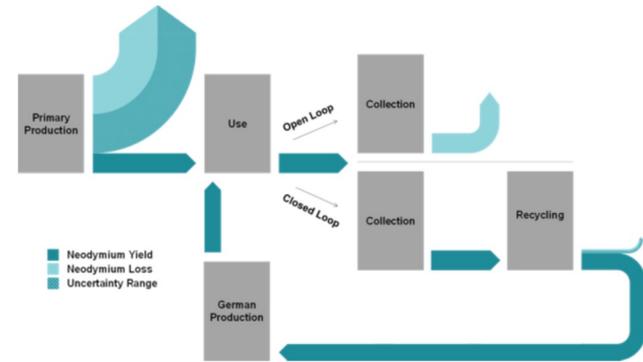
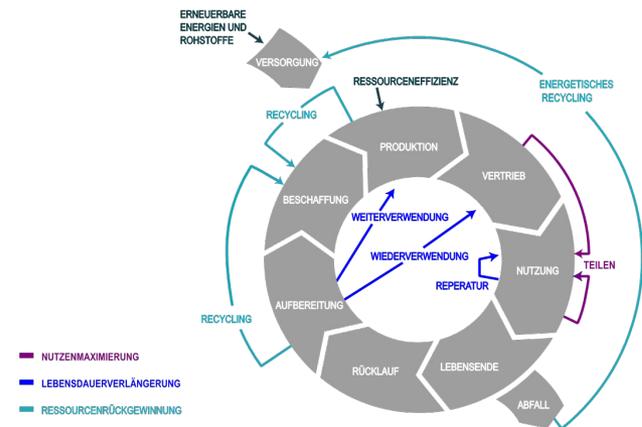


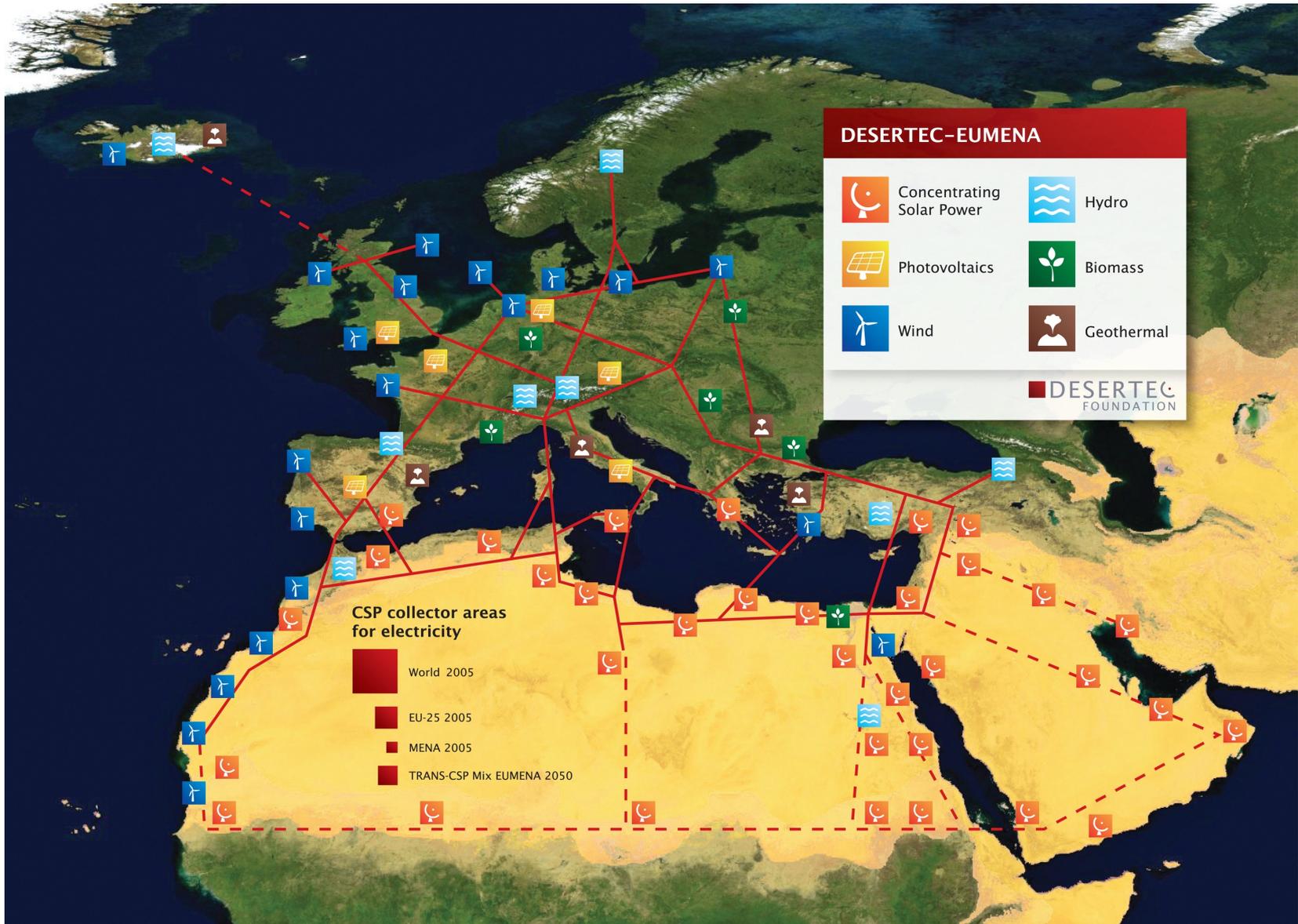
Abbildung: Neodym-Fluss entlang des Lebenszyklus von Permanentmagneten





Desertec

Desertec 1.0 – TREC

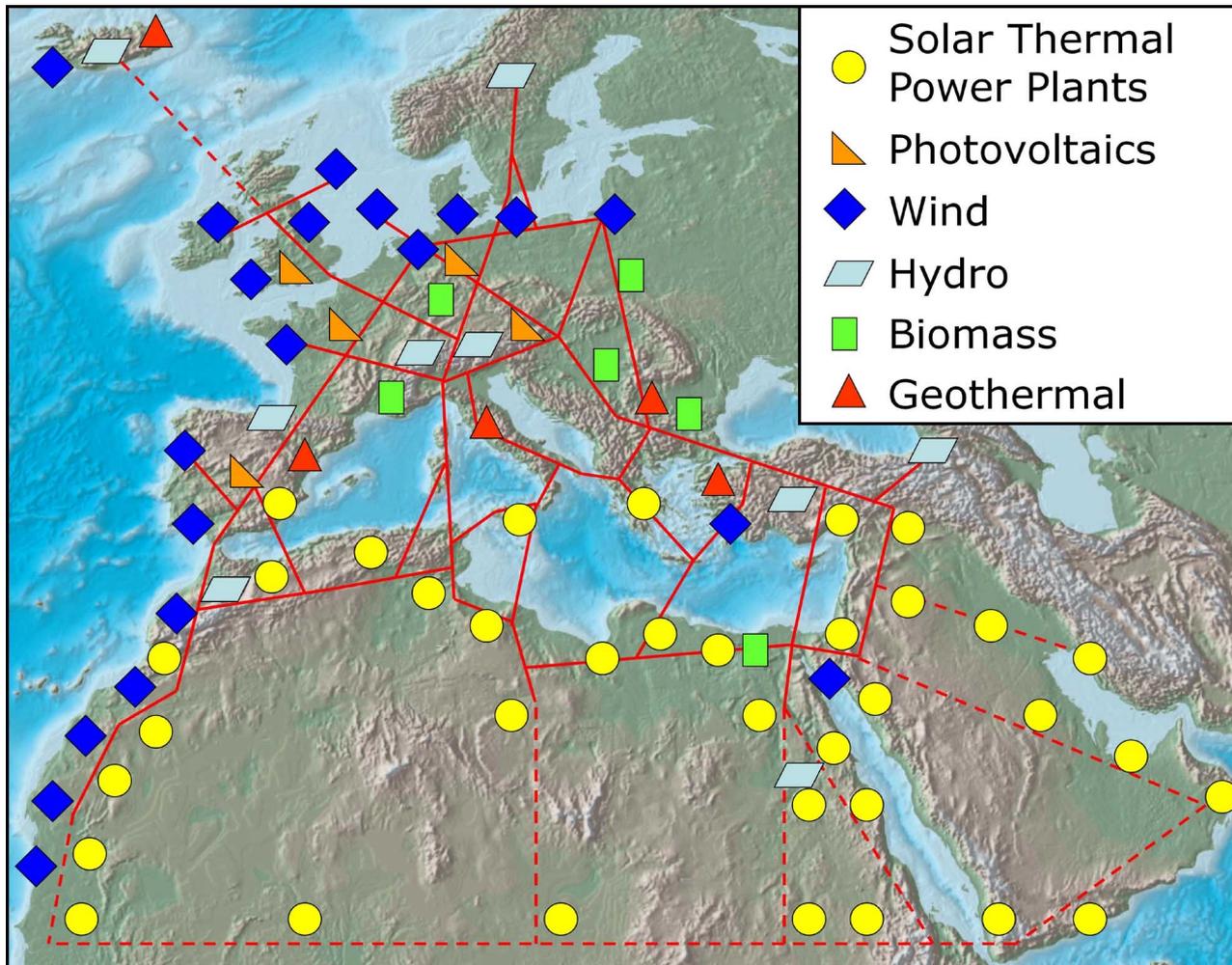




EIFER

Desertec

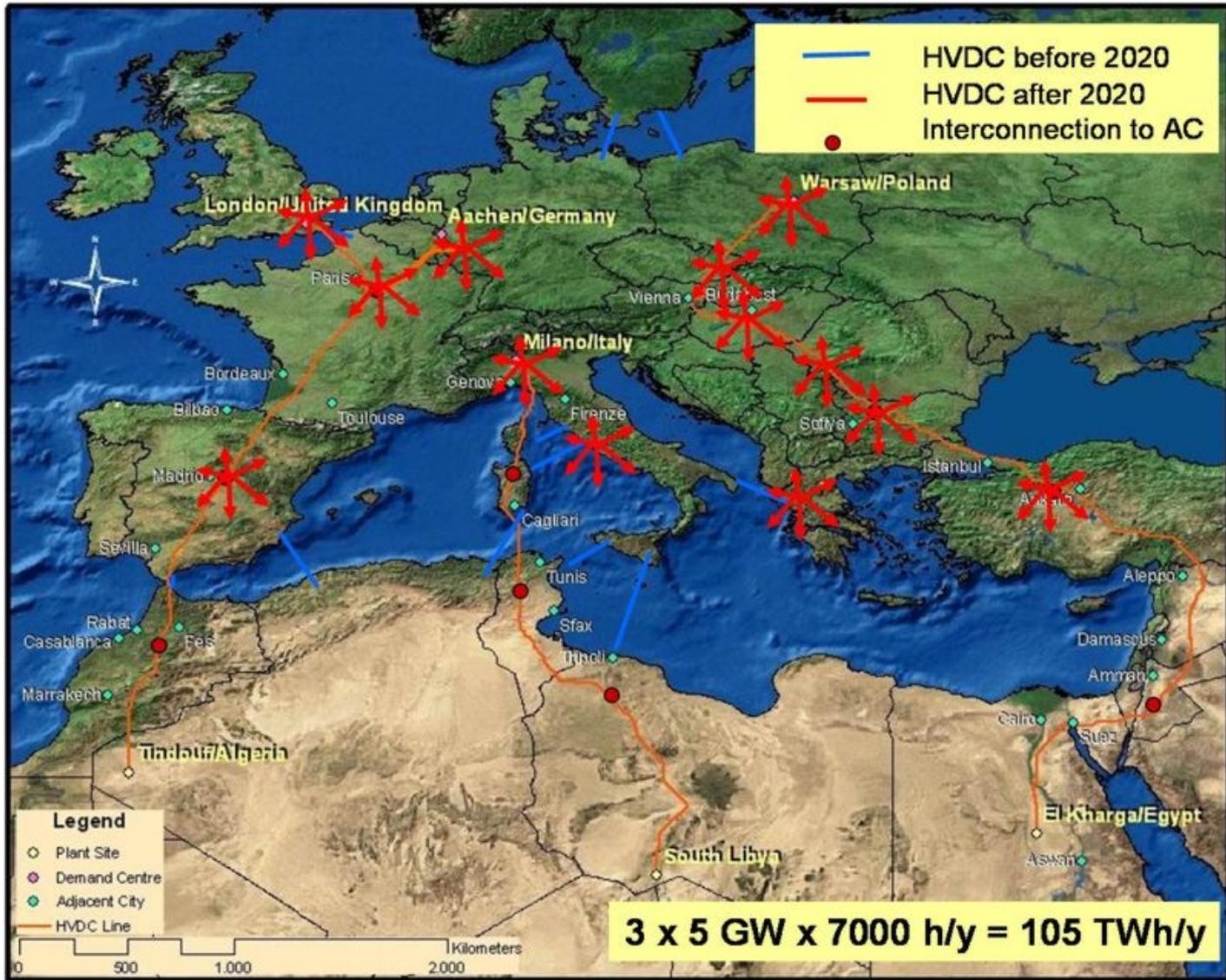
Desertec 1.0



By Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation - www.DESERTEC.org, CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5443148>



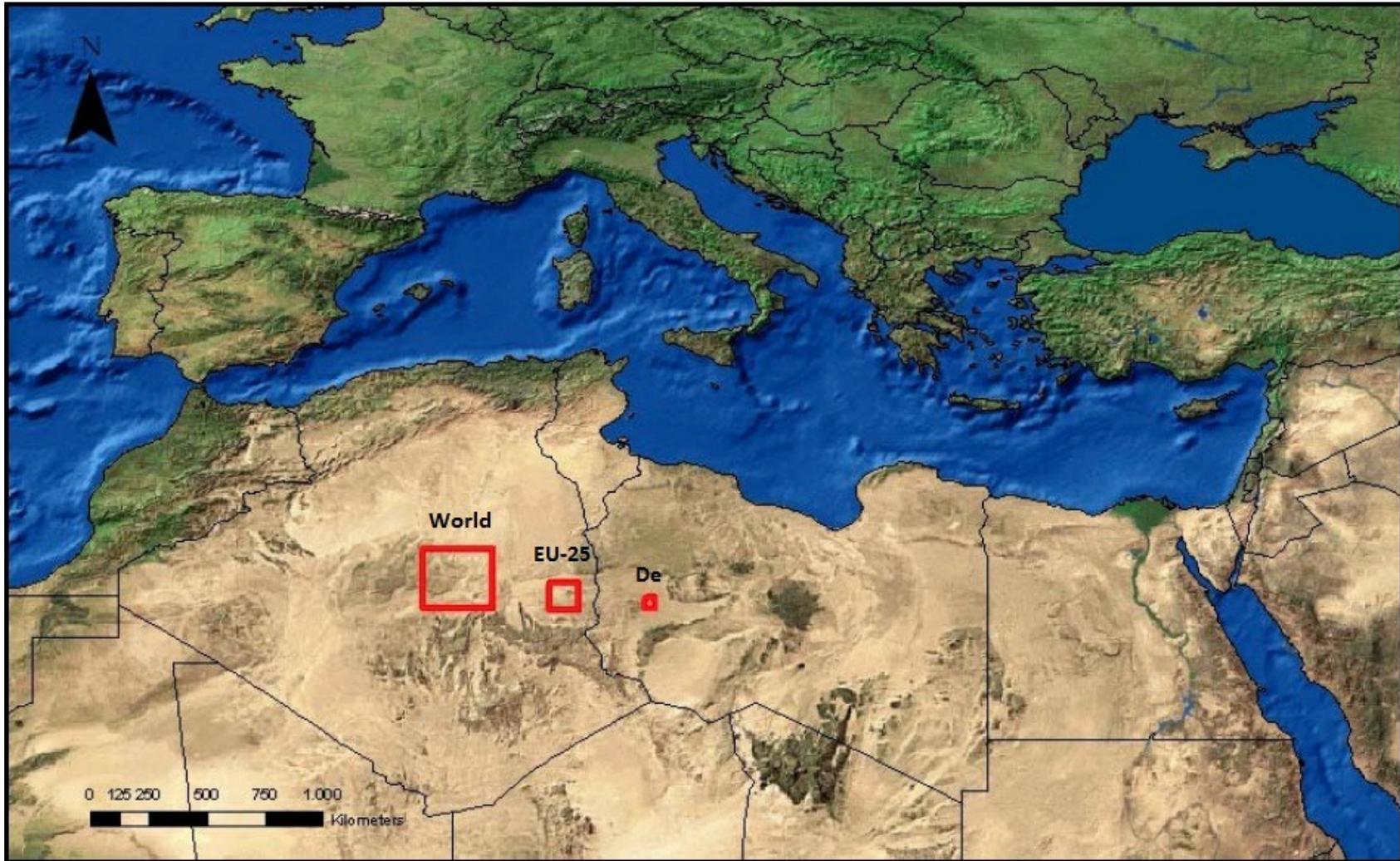
Desertec HVDC Connections





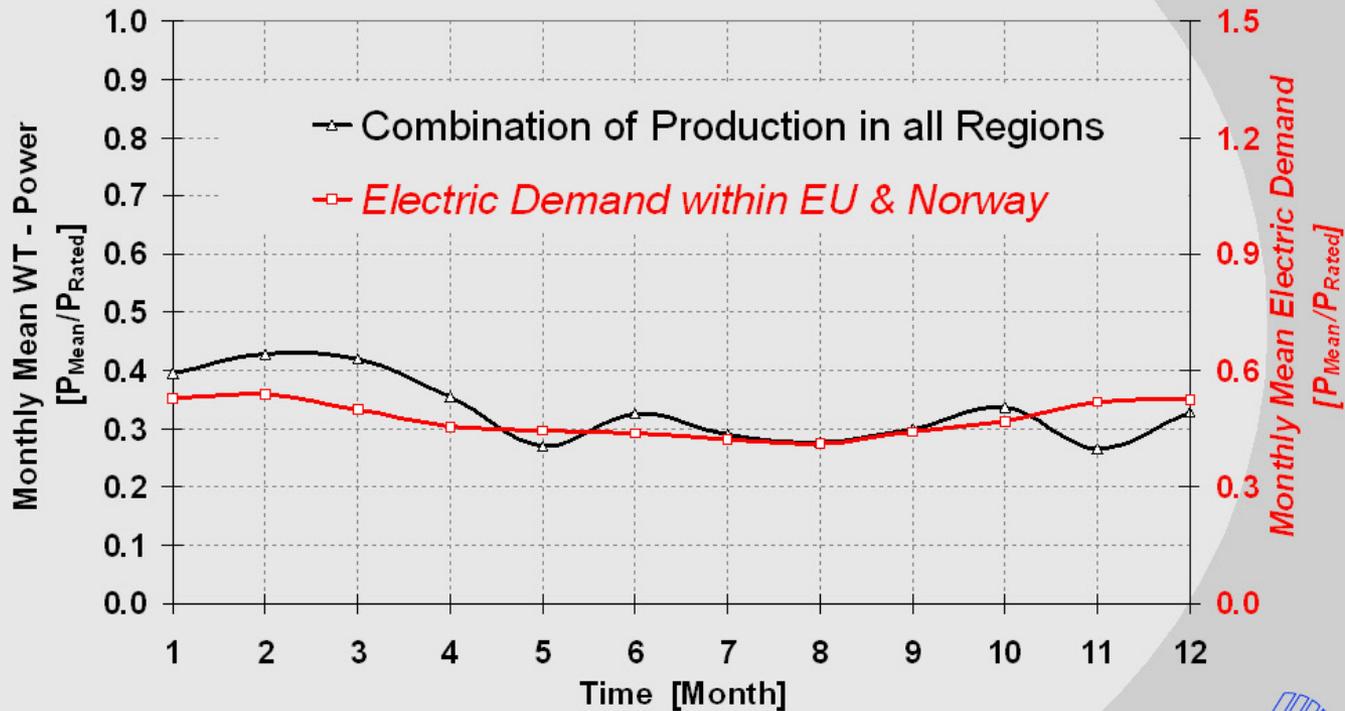
Desertec

Theoretischer Bedarf an Solarkollektoren für Strombedarf (17% WEB)



Von Nadine May - Diploma Thesis of Nadine May: www.dlr.de/.../Ecobalance_of_a_Solar_Electricity_Transmission.pdf, page 26
Technical University of Braunschweig, Faculty for Physics and Geological Sciences, in collaboration with the Institute of Technical Thermodynamics at the DLR, Stuttgart, Germany, CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=609570>

Monthly Mean Electricity Production of Wind Power within Selected Favourable Regions at Land Sites and Electricity Demand



Meteorological data: ECMWF, ERA-15, 1990

G. Czisch 2000

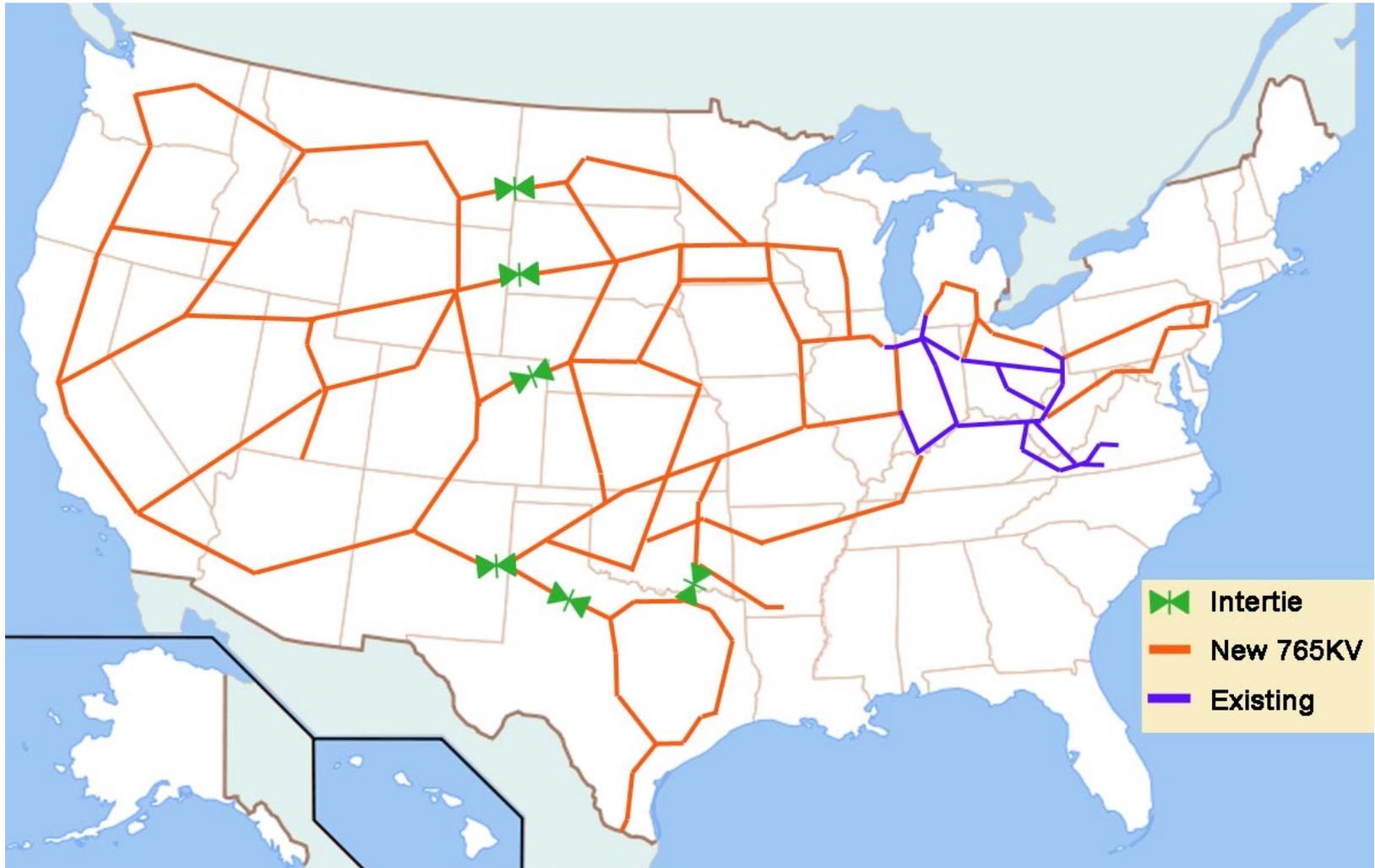




EIFER

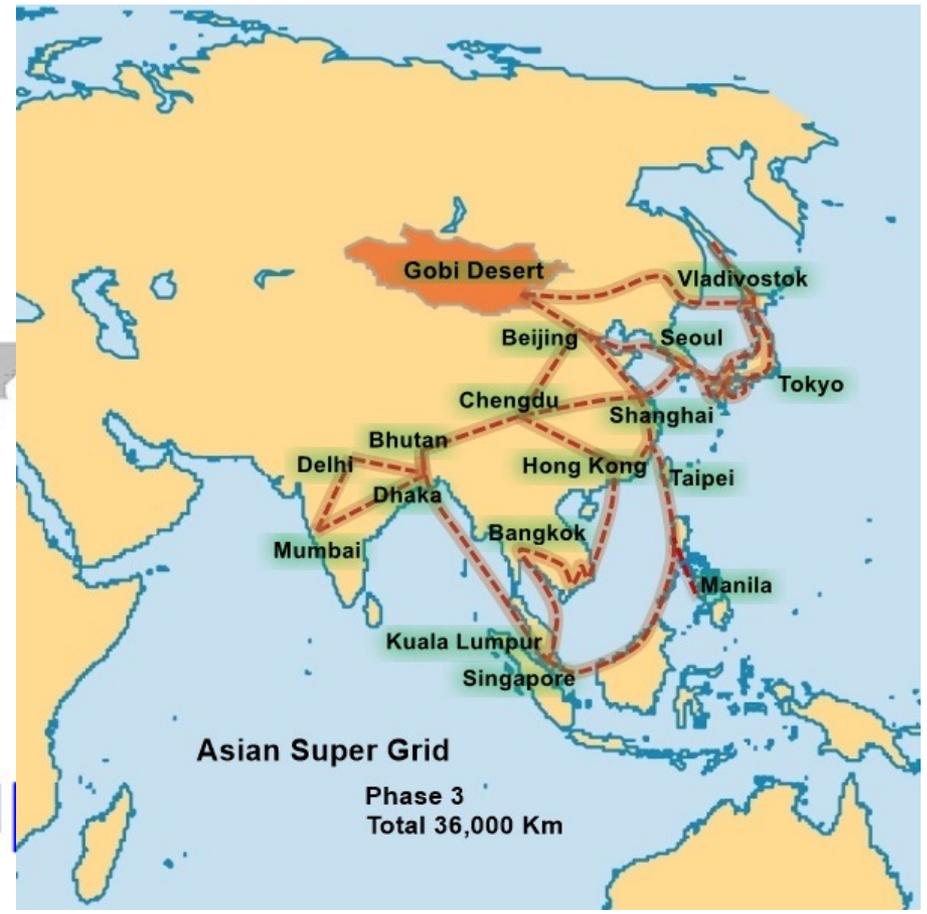
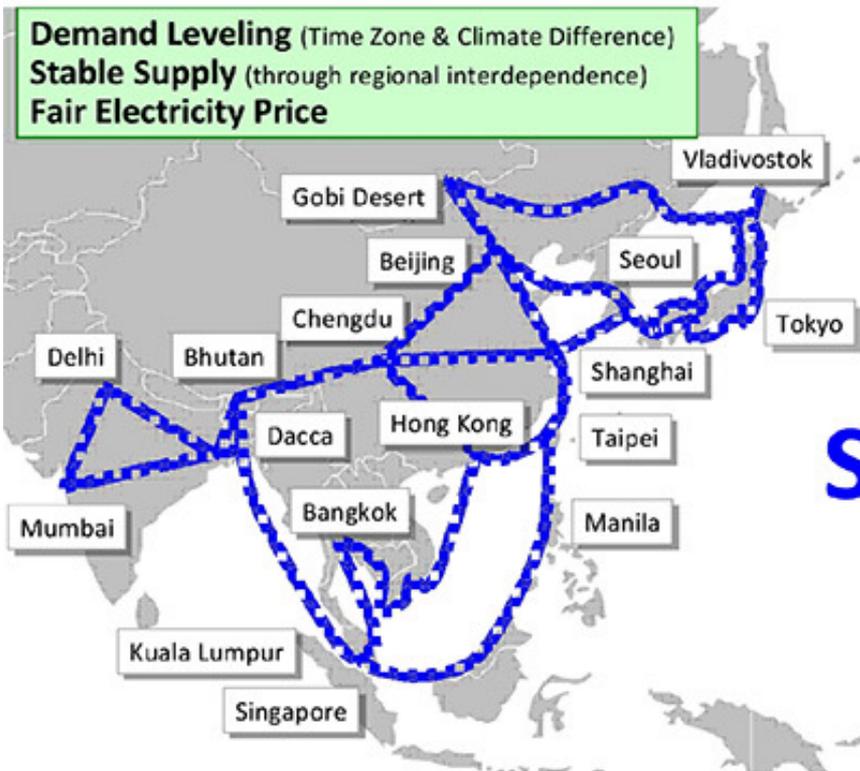
Desertec

North America Supergrid



By Original author User:Wapcaplet, modified by Angr, modified by JMesslerly –
Modified from Image:Map of USA without state names.svg, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5460326>

Desertec Asia Supergrid



Su

Total 36,000km

Desertec

Desertec 3.0 oder reloaded – ok 2.0 fehlt noch ...

- Desertec 2.0 DII
 - „Kleine Projekte“
- Desertec 3.0
 - Wasserstoff P2X
 - Pilotanlagen existieren bereits
 - Transport von H2 ist günstiger als Stromtrassen mit HGÜ
 - Globaler Markt
 - Name : Desert to Power
 - AfDB, China, SA, D ...
 - Innogy
 - Solaranlagen ohne Subventionen aktuell
 - PV – 2 ct/kWh
 - Ziel Sahel
 - 10 GW
 - 250 Mio Menschen
 - Davon 90 Mio ohne Strom aktuell





Mine in Zambia

Abbau von Rohstoffen für unser gutes Gewissen



<https://koboldmetals.com> (Founded by : Bill Gates ... Investors : Jeff Bezos, Richard Branson)

<https://www.reuters.com/world/africa/billionaire-backed-kobold-metals-invest-zambia-copper-mine-2022-12-14/>

<https://twitter.com/MrJonasDanner/status/1625813420632317954>