

Bildquelle: Fotolia

HIF Resource Talk „Rohstoffe: So gelingt die Energiewende“

Freiberg, 5.12.2017

## Auswirkungen der Energiewende auf den zukünftigen Rohstoffbedarf

Dr. Volker Steinbach, Dr. Torsten Brandenburg  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe ist eine technisch-wissenschaftliche Oberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi).



Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

GEOZENTRUM HANNOVER

# BGR: von der Rohstoffforschung zur Politikberatung



Ziel: Beitrag zur Sicherung der langfristigen Rohstoff- und Energieversorgung Deutschlands und zur Verbesserung der nachhaltigen Nutzung von Rohstoffen

Beratung (Politik, Wirtschaft, Öffentlichkeit)

Phase der Bewertung und Empfehlungen  
(Marktanalysen, Potenzialbewertungen, ...)

langjährige lückenlose Datenbanken

Anwendung von geowissenschaftlichen Methoden  
(Explorationsmethoden, Geophysik, Geochemie, ...)

Angewandte Forschung (Zweck- und Vorlaufforschung)

DERA



Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

GEOZENTRUM HANNOVER



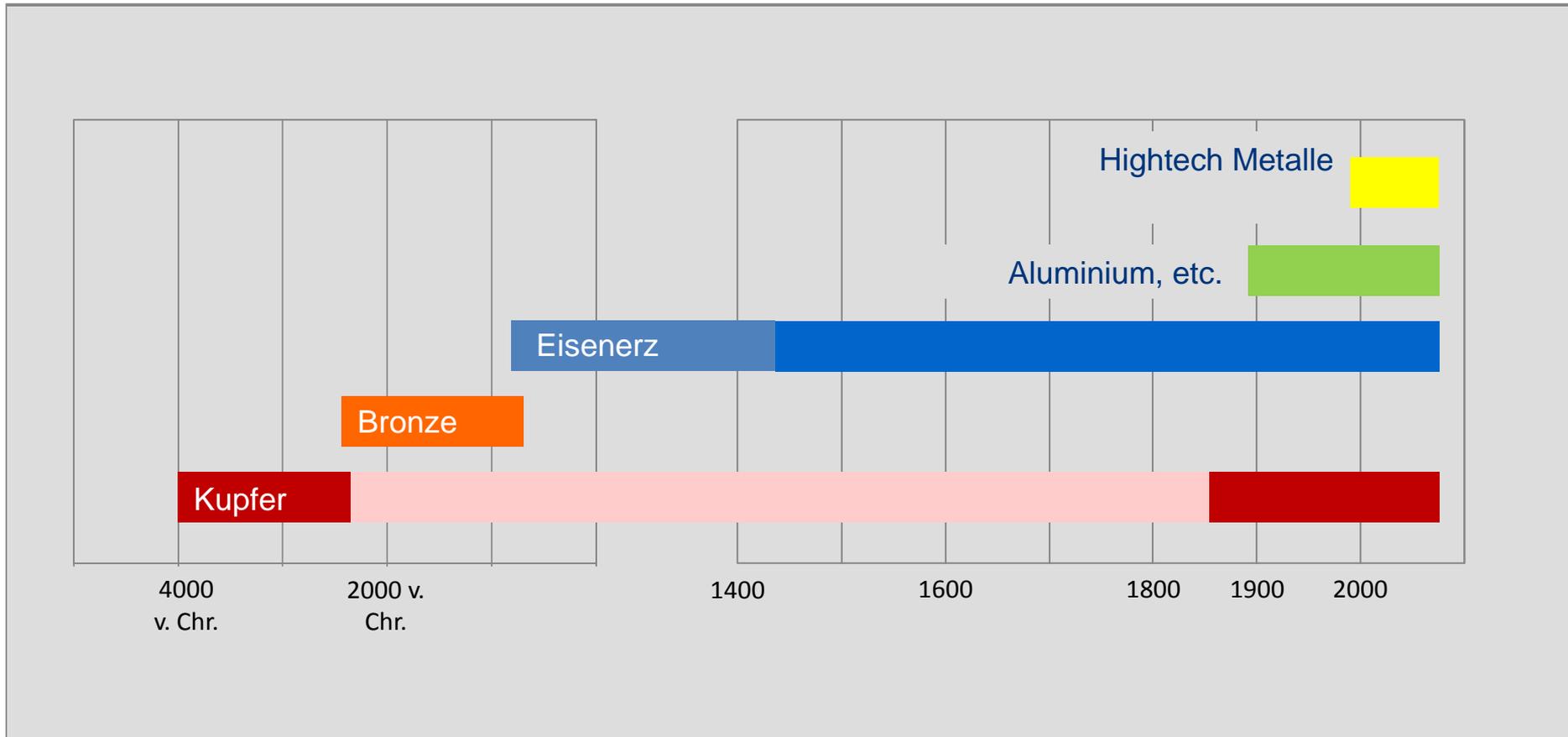
Markt für Erneuerbare Energien wächst global

Keine Energiewende ohne mineralische Rohstoffe

DERA-Rohstoffmonitoring zu kritischen Rohstoffen

Heimische Rohstoffe für die Energiewende

# Historische Nutzung von Metallen

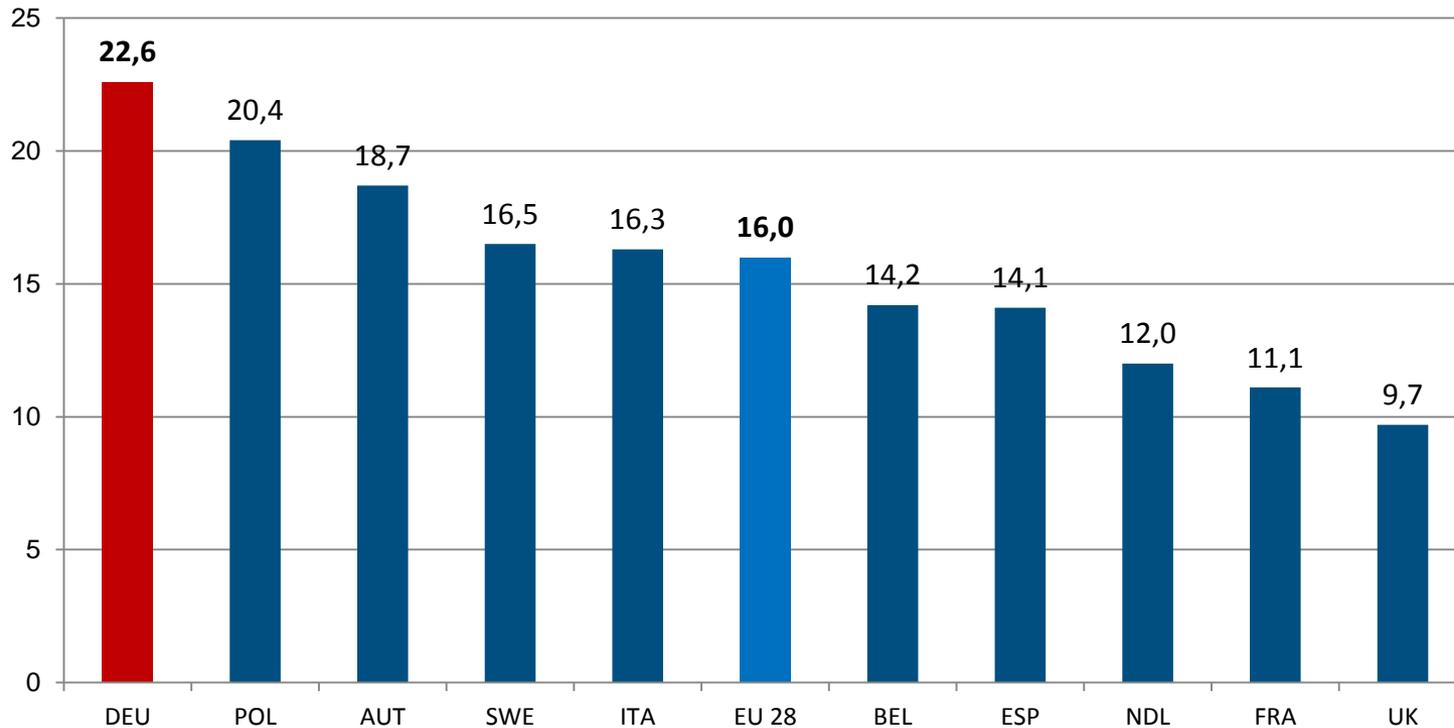




Bildquelle: Fotolia

# Bedeutung der Industrie

**Anteil des Verarbeitenden Gewerbes an der Bruttowertschöpfung in % (2016) in den 10 größten Volkswirtschaften der EU**



Quelle: Eurostat

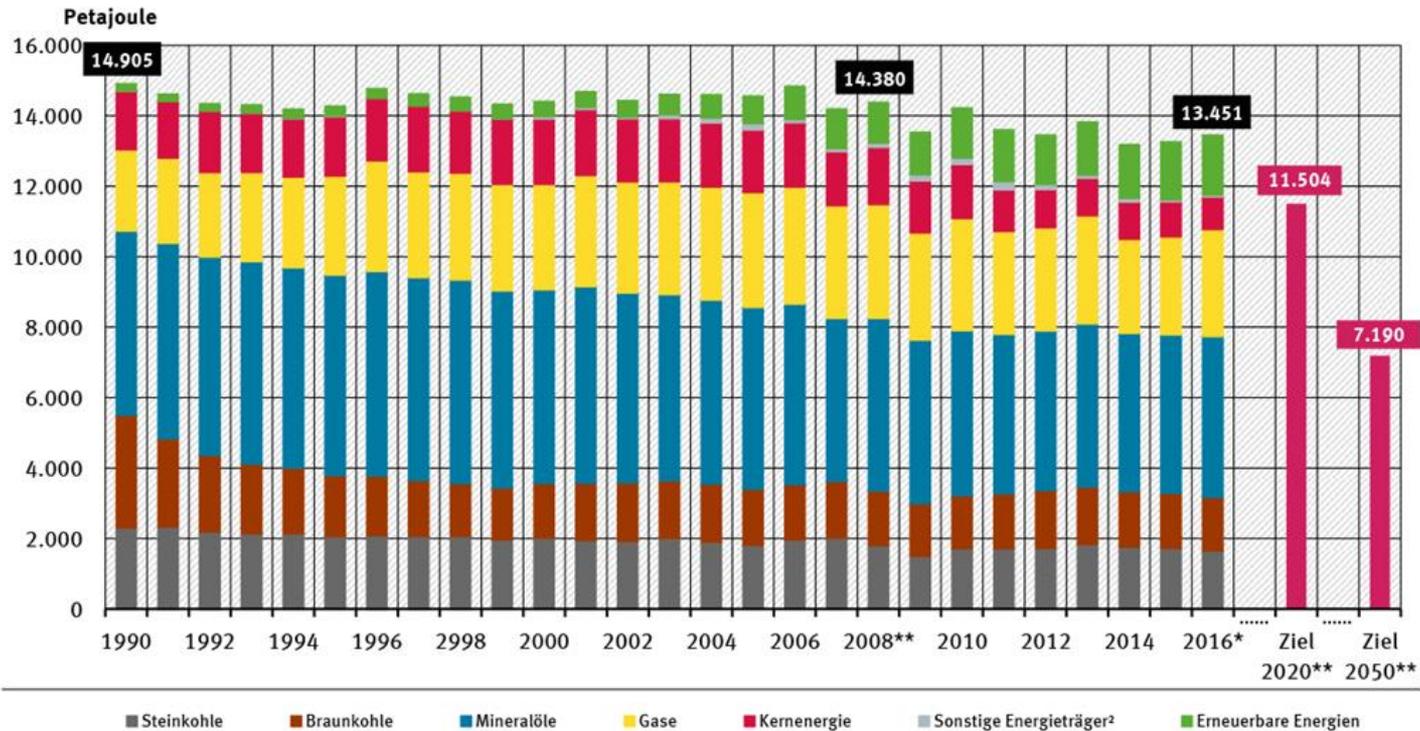


Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

GEOZENTRUM HANNOVER

## Klimaschutz- und Energiewendeziele

Entwicklung des Primärenergieverbrauchs<sup>1</sup> nach Energieträgern mit politischen Zielen



<sup>1</sup> Berechnungen auf der Basis des Wirkungsgradansatzes

<sup>2</sup> Sonstige Energieträger: Grubengas, Nichterneuerbare Abfälle und Abwärme sowie der Stromaustauschsaldo

\* vorläufige Angaben

\*\* Ziele des Energiekonzeptes und der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung: Senkung des Primärenergieverbrauchs bis 2020 um 20 % und bis 2050 um 50 % (Basisjahr 2008)

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB), Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2016, Stand 09/2017

# Vier Ziele der deutschen Energiewende

40 - 45 

Prozent Anteil  
der erneuerbaren Energien am  
Stromverbrauch bis 2025

2022 

Abschaltung der letzten  
Kernkraftwerke

40 

Prozent weniger  
Treibhausgasemissionen  
bis 2020 gegenüber 1990

20 

Prozent weniger  
Primärenergieverbrauch  
bis 2020 gegenüber 2008

Quelle: BMWi, 2017

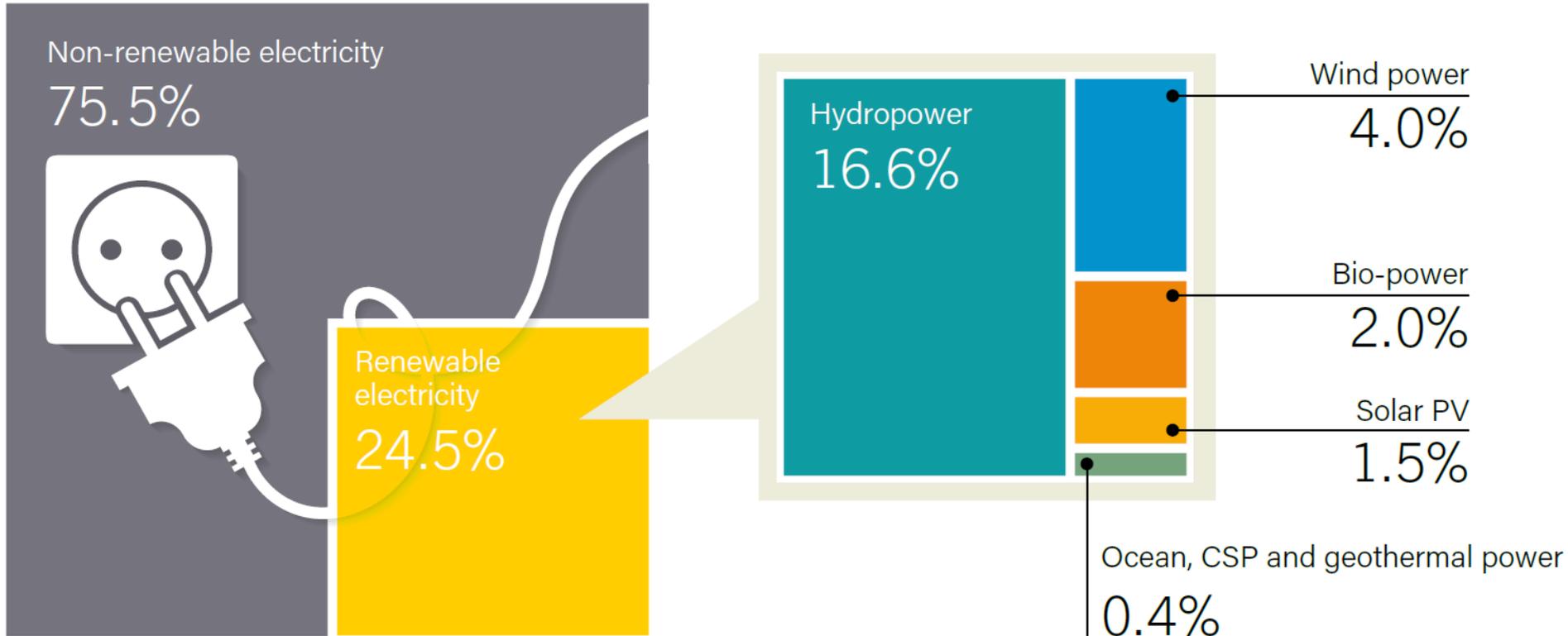


Der Ausbau der  
Erneuerbare Energien ist  
die zentrale Säule der  
deutschen Energiewende



# Globaler Siegeszug der Erneuerbaren Energien

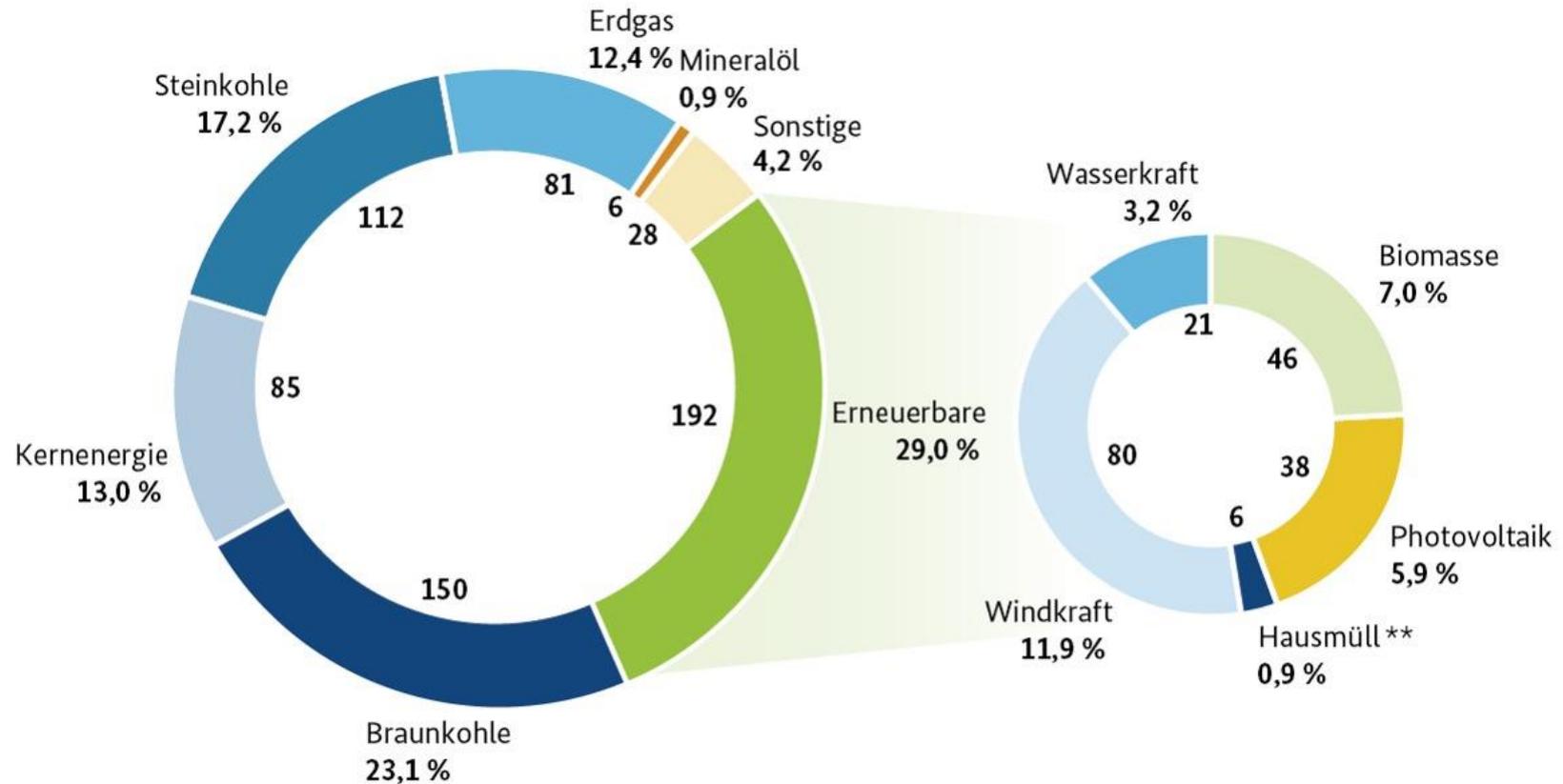
Anteil Erneuerbaren an der Globalen Stromproduktion, 2016



Quelle: REN21

# Auch deutsche Stromversorgung wird immer „grüner“

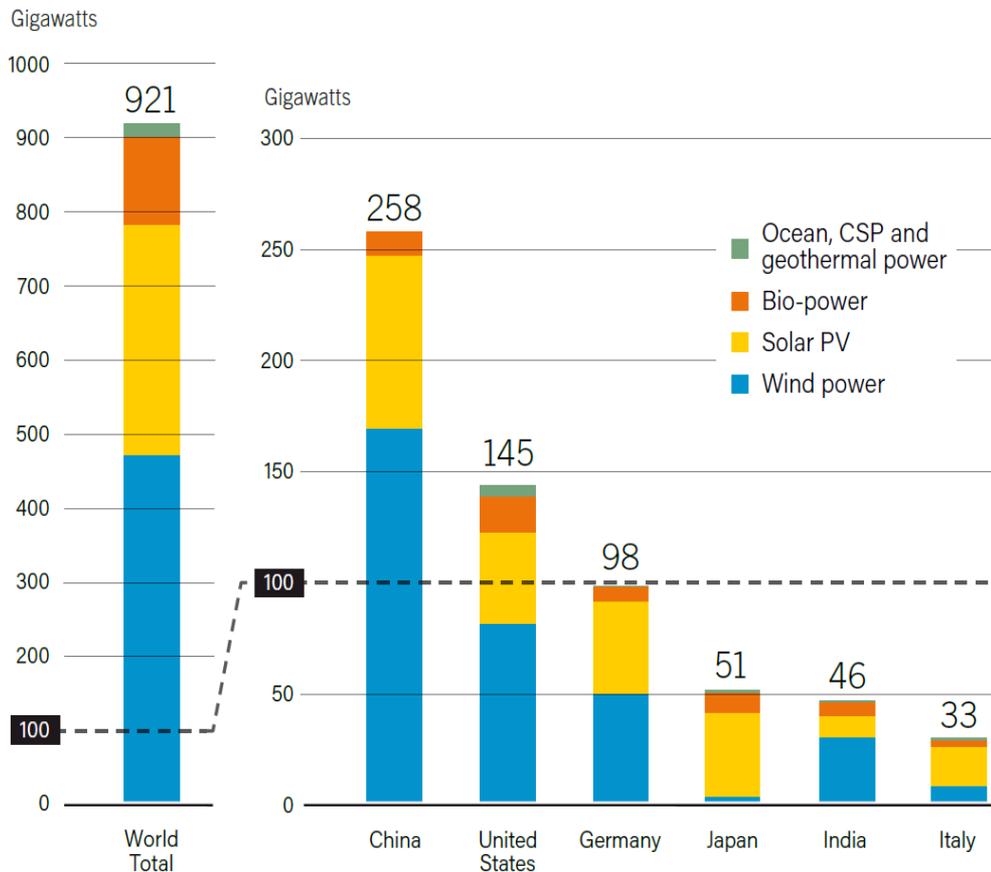
## Deutsche Bruttostromerzeugung, 2016 in TWh



Quelle: BMWi

# China führend beim Ausbau der „Erneuerbaren“

## Global installierte Leistung der Erneuerbaren Energien, 2016

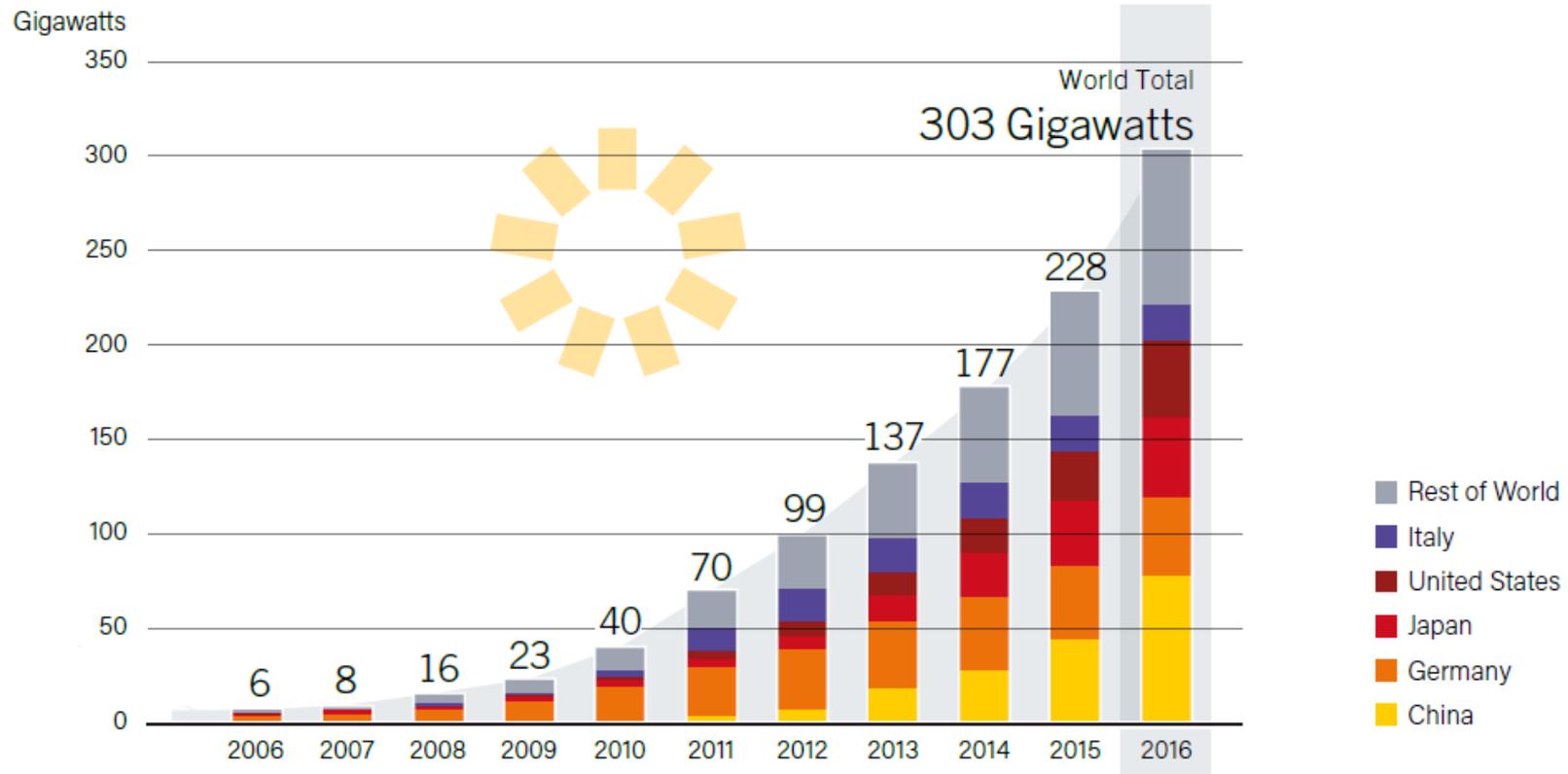


- Wind und Solar die Treiber
- China, USA und D ~ 50% der global installierten Leistungen
- Hohes Wachstum derzeit v. a. in China

Quelle: REN21

# Photovoltaik: Deutschland stagniert, China boomt

Hohes Wachstum zuletzt auch in USA und Japan

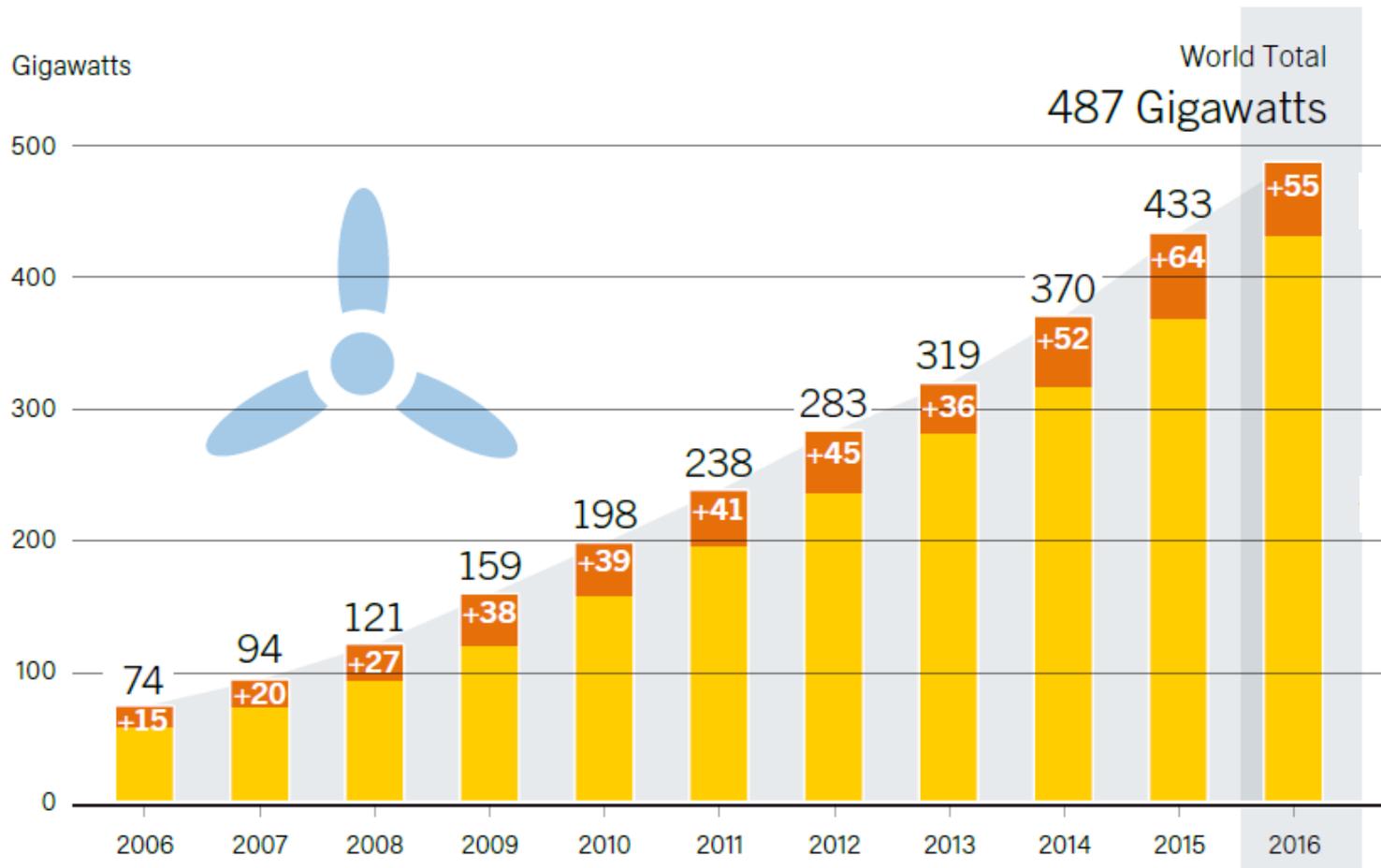


Quelle: REN21



Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

# Windenergie: globales Wachstum, China boomt



Quelle: REN21

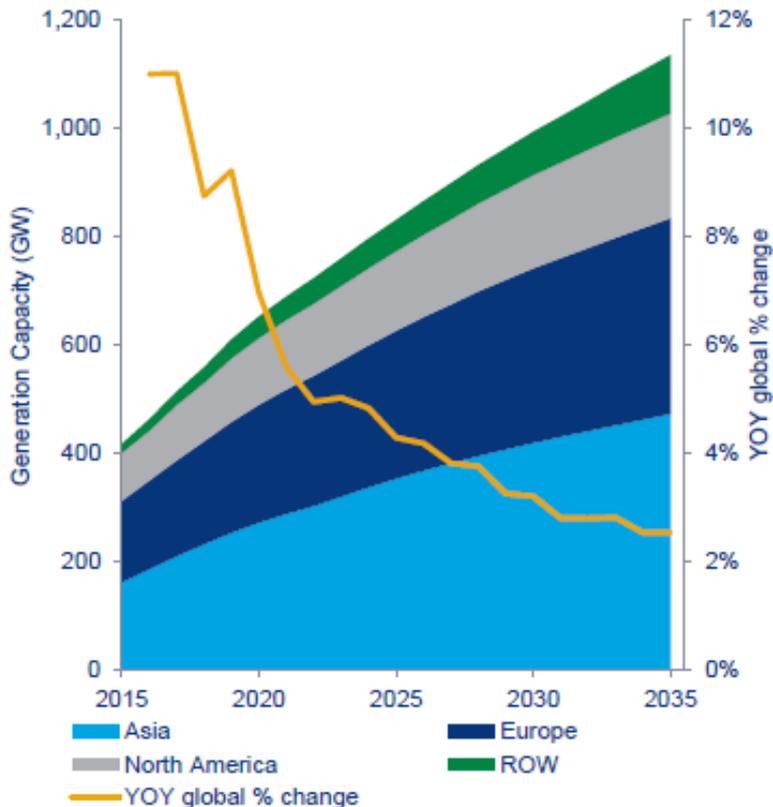


Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

GEOZENTRUM HANNOVER

# Globaler Ausbau der „Erneuerbaren“ wird sich fortsetzen

## Kapazitäten der Windenergie



Quelle: WoodMac 2017

- Kapazitäten könnten sich von derzeit 480 um 620 auf über 1.100 GW bis 2035 verdoppeln (*konservatives Szenario*)
- Hohes Wachstum, v. a. in China
- *Szenarien für D: Verdoppelung der Leistung bis 2035*
- *Für die 2 Grad Ziele der COP: noch deutlich höhere Nachfrage möglich*

# 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



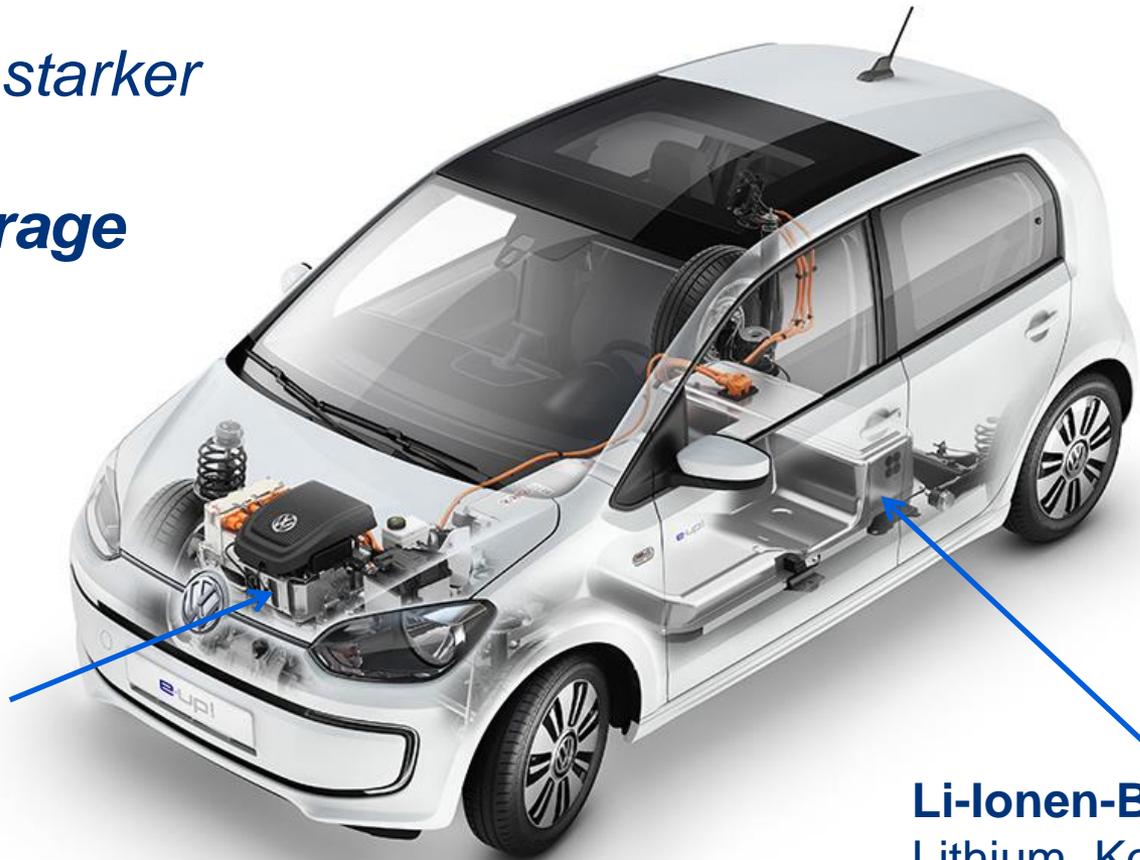
Quelle: Enercon

## *Photovoltaik benötigt viele Hochtechnologiemetalle – „weniger ist mehr“*

- Amorphes und kristallines **Silizium**
- **Galliumarsenid**
- **Cadmium-Tellurium** Zellen
- **Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid** (CIGS-Zelle)



## *E-Mobilität als starker Treiber der Rohstoffnachfrage*



Quelle: Volkswagen AG

**Elektromotor:**  
Kupfer, Seltene  
Erden

**Li-Ionen-Batterie:**  
Lithium, Kobalt, Nickel,  
Graphit, Mangan

# Energiespeicher für Energiespitzen



Quelle: Fotolia

*Wetter richtet sich  
nicht nach unserer  
Energienachfrage:*

*Wind bläst, Sonne  
scheint nicht auf  
Kommando!*

Speichermedien spielen bei der Energiewende eine entscheidende Rolle zur Erhöhung der Effizienz, z. B. durch Bereitstellung von Solarstrom in der Nacht.

# Beispiel Stationäre Energiespeicher

Rascher Markthochlauf von  
Energiespeichersystemen erwartet



Quelle: Wikipedia

Redox-Flow-  
Batterie: **Vanadium**

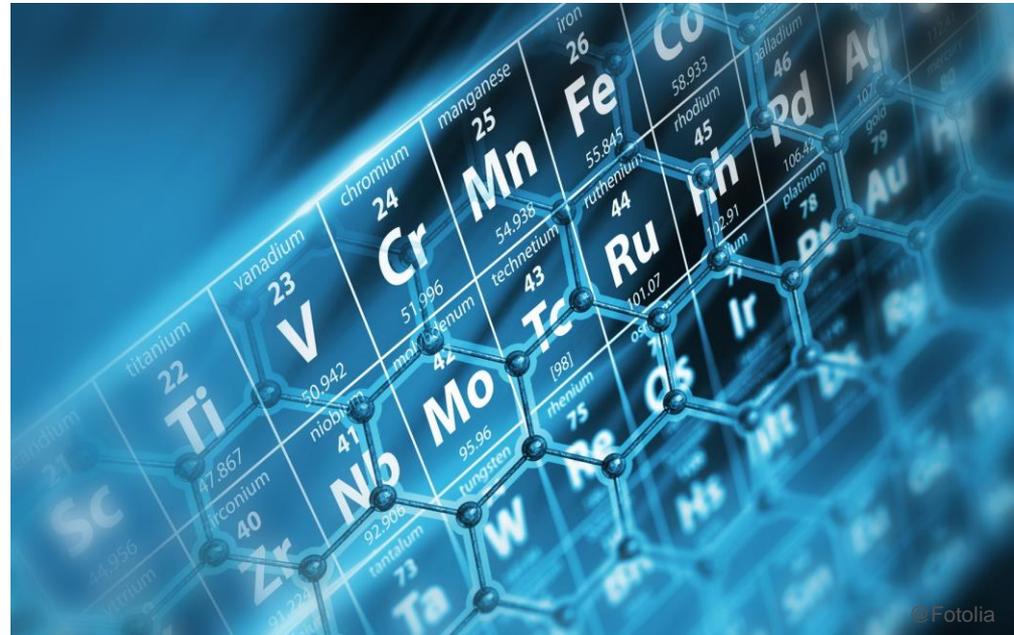


Quelle: SMA

Stationäre  
Lithium-Ionen  
Batterien:  
**Lithium, Kobalt,  
Nickel, Graphit,  
(Mangan)**

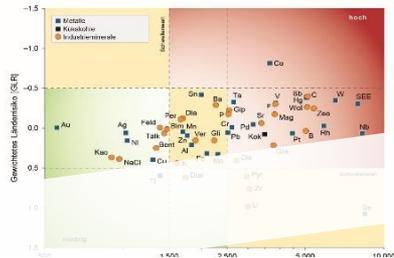
# Rohstoffe sind unverzichtbar für die Energiewende

*Rohstoffmonitoring der DERA im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums um **regelmäßig** über die **Verfügbarkeit** der für die deutsche Wirtschaft kritischen Rohstoffe zu berichten*



# DERA-Rohstoffmonitoring

## Angebot



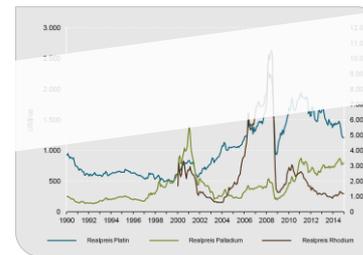
- Schwachstellen in der Lieferkette
- Betrachtung der Wertschöpfung

## Nachfrage



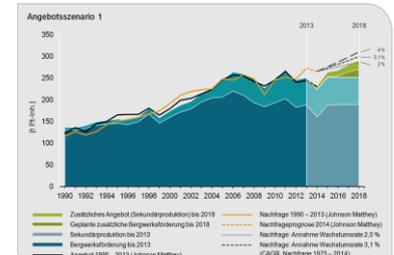
- Technologische Entwicklung
- Wirtschaftliche Entwicklung

## Preise



- Preisbildung
- Preisentwicklung

## Risikoberichte



- Fachexpertise
- Zukünftige Marktdeckung
- Bewertung durch Indikatoren

*Beratungsleistungen der DERA zur nachhaltigen und sicheren Rohstoffversorgung*

# Screening der Angebotskonzentration

- Identifikation von „Schwachstellen“ in der Rohstoffversorgung
- „Screening“ der globalen Angebotskonzentration und des Länderrisikos bei Metallen, Industriemineralen und Handelsprodukten

DERA-Rohstoffliste  
2016



Bildquelle: BGR

53 Rohstoffe



Bildquelle: BGR

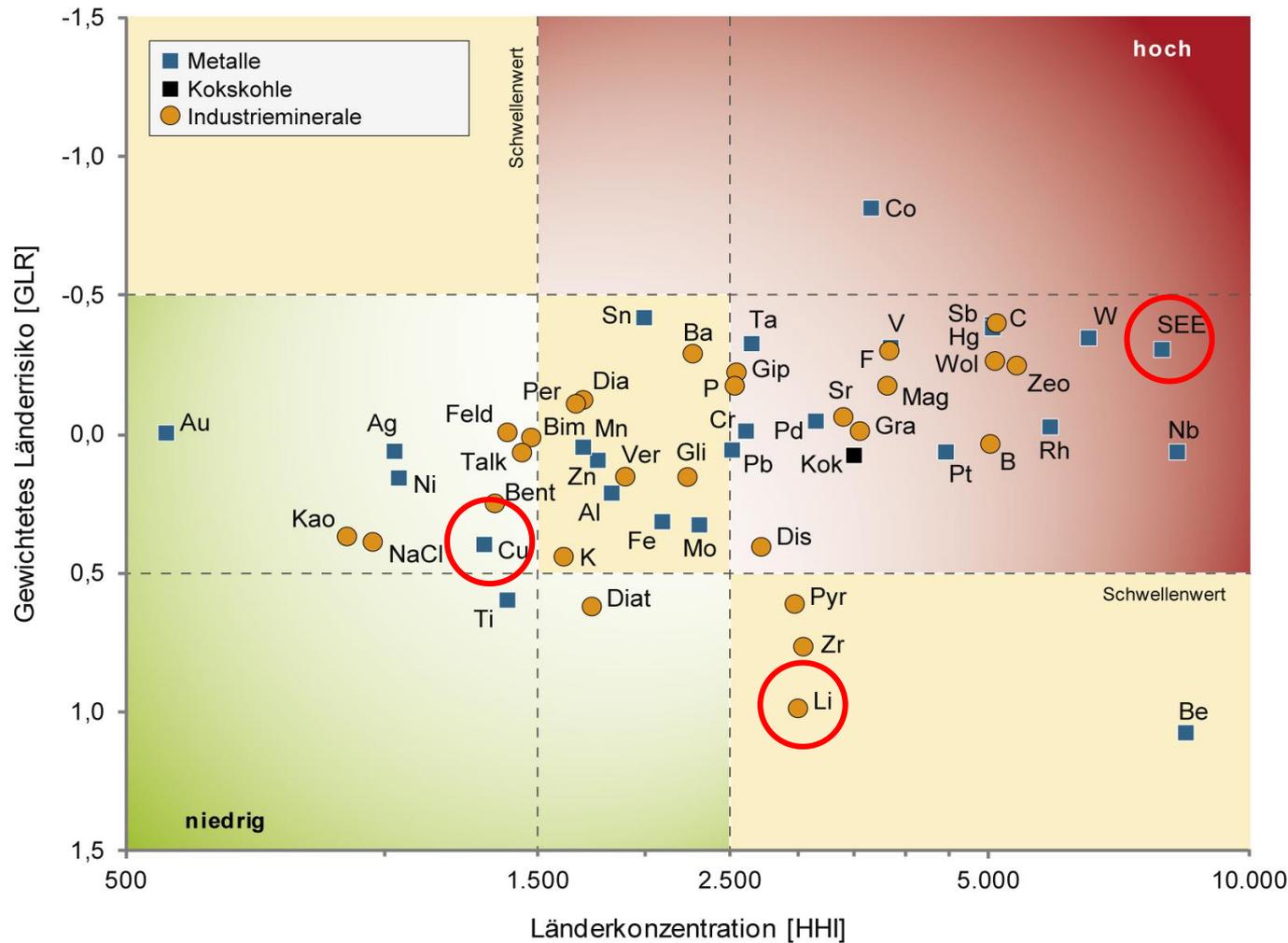
26 Produkte



Bildquelle: Fotolia

213 Produkte

# DERA-Rohstoffliste: Ergebnisse



## Seltene Erden

**Bergwerksförderung:**  
 China 90 %, Australien  
 6 %

## Kupfer

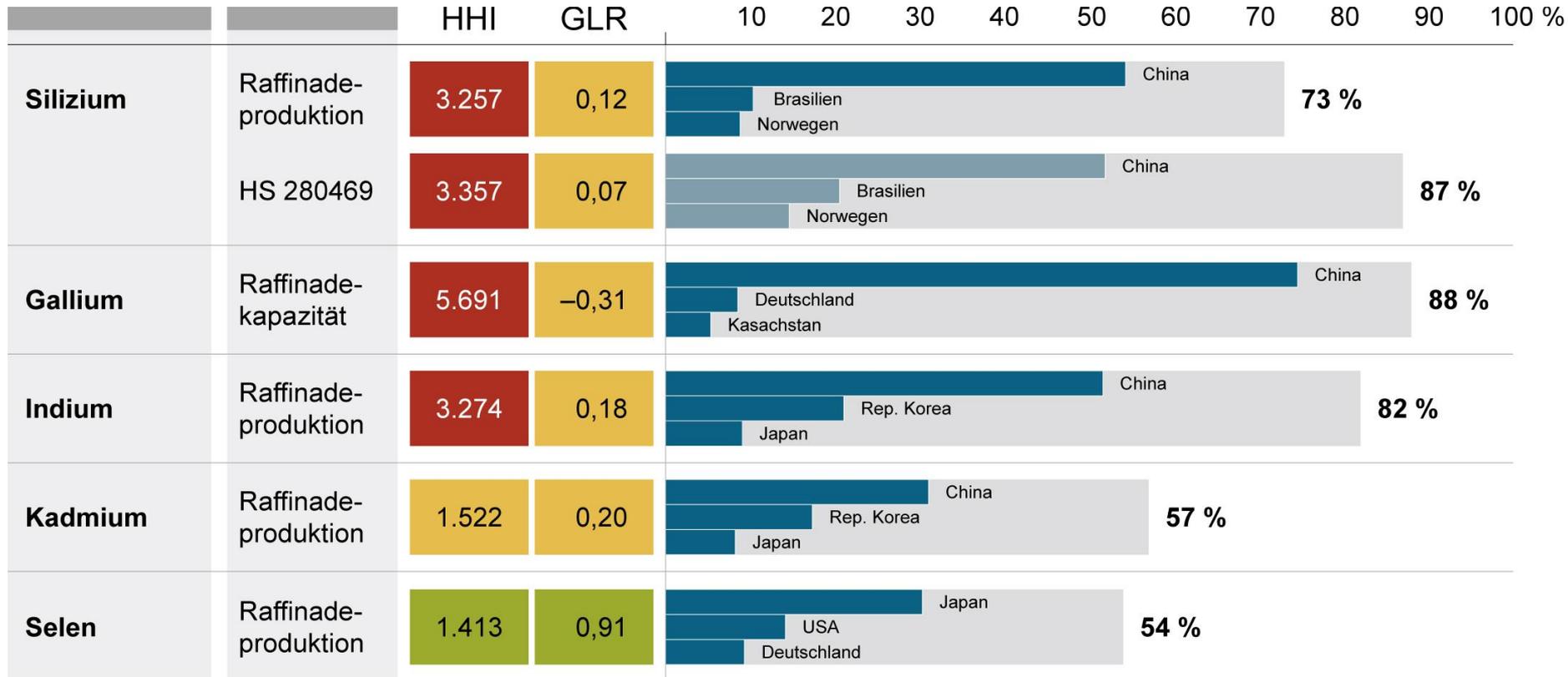
**Bergwerksförderung:**  
 Chile 30%, China 9%,  
 Peru 9%

## Lithium

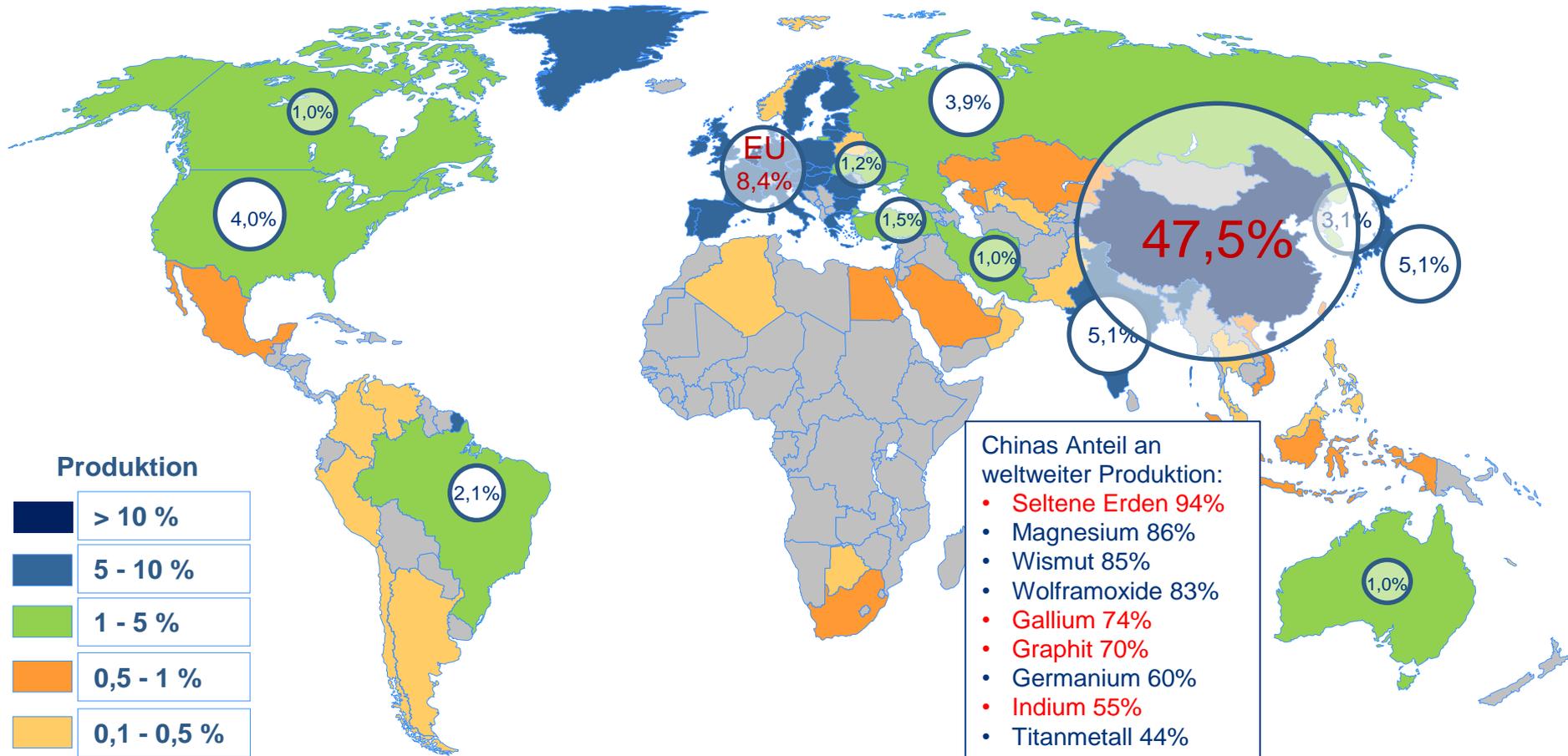
**Bergwerksförderung:**  
 Australien 40%,  
 Chile 36%

# Hochtechnologiemetalle für die Photovoltaik

Kleine, z.T. hoch konzentrierte Märkte



# Rohstoffe für Zukunftstechnologien: Angebot



Weltweite Raffinadeproduktion von Metallen, Ferrolegierungen.....  
(Quelle: BGR Datenbank)

# Screening der Rohstoffnachfrage

## Studie „Rohstoffe für Zukunftstechnologien“

- Screening von über 160 Zukunftstechnologien
- Bearbeitung von 42 **Technologiesynopsen**
- Auswahl und Bearbeitung von 15 **Rohstoffsynopsen**
- Szenarien für die Bedarfsvorschau bis **2035**

**D-ERA** Deutsche  
Rohstoffagentur  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

 **Fraunhofer**  
ISI



**BGR** Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

**GEOZENTRUM HANNOVER**

# Screening der Rohstoffnachfrage

**Veränderung des Rohstoffbedarf** für die untersuchten Zukunftstechnologien im Verhältnis zur heutigen Weltproduktionsmenge

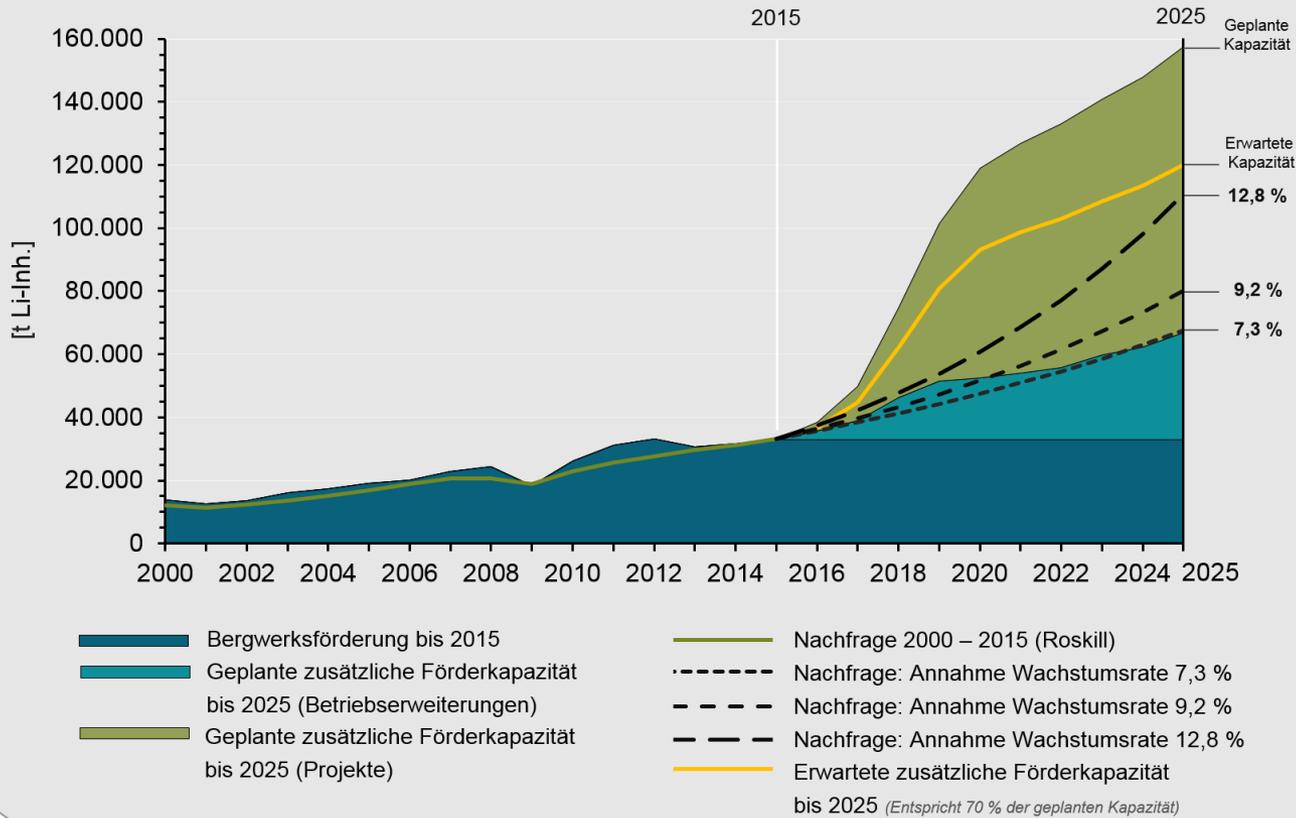
Rohstoff	Zukunftstechnologien	2035
Lithium	Lithium-Ionen-Akku, Leichtbau	390 %
Schwere Seltene Erden	Magnete, E-PKW, Windkraft	310 %
Rhenium	Superlegierungen	250 %
Leichte Seltene Erden	Magnete, E-PKW, Windkraft	170 %
Kobalt	Lithium-Ionen-Akku	90 %

# Auswirkungen der Energiewende auf die Rohstoffnachfrage

1 H Hydrogen 1.008																	2 He Helium 4.0026
3 Li Lithium 6.938	4 Be Beryllium 9.012											5 B Boron 10.806	6 C Carbon 12.0096	7 N Nitrogen 14.0064	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.1797
11 Na Sodium 22.989	12 Mg Magnesium 24.304											13 Al Aluminium 26.9815	14 Si Silicon 28.084	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.059	17 Cl Chlorine 35.446	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.9559	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.630	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.971	35 Br Bromine 79.901	36 Kr Krypton 83.798
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.9058	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.9055	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.414	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.904	54 Xe Xenon 131.293
55 Cs Caesium 132.905	56 Ba Barium 137.327	57-71 Lanthanoids*	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platinum 195.084	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.592	81 Tl Thallium 204.382	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.980	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89-103 Actinoids**	104 Rf Rutherfordium (267)	105 Db Dubnium (268)	106 Sg Seaborgium (269)	107 Bh Bohrium (270)	108 Hs Hassium (277)	109 Mt Meitnerium (278)	110 Ds Darmstadtium (281)	111 Rg Roentgenium (282)	112 Cn Copernicium (285)	113 Nh Nihonium (286)	114 Fl Flerovium (289)	115 Mc Moscovium (290)	116 Lv Livermorium (293)	117 Ts Tennessine (294)	118 Og Oganesson (294)
57 La Lanthanum 138.905	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.934	70 Yb Ytterbium 173.045	71 Lu Lutetium 174.9668			
89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232.0377	91 Pa Protactinium 231.036	92 U Uranium 238.029	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (266)			

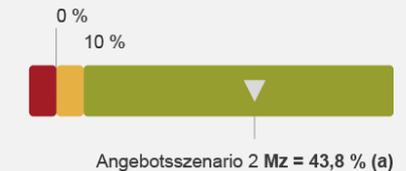
# Lithium – Markt bis 2025 wohl im Überschuss

## Angebotsszenario 2



## Nachfragesteigerung

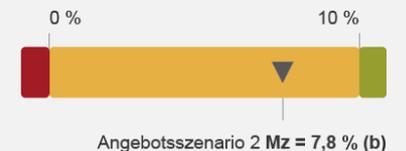
- 7,3 %: Überschuss 52.600 t



- 9,2 %: Überschuss 40.000 t



- 12,8 %: 9.400 t



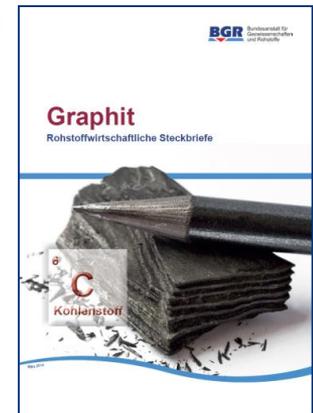
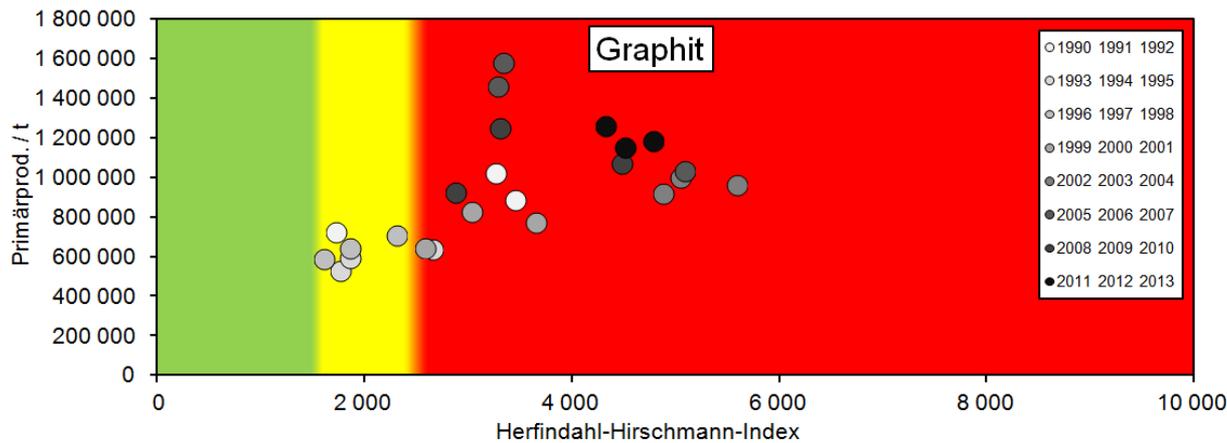
# Graphit

- **Verwendung:**

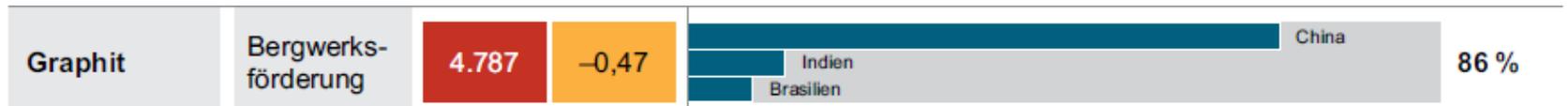
Feuerfestindustrie, Gießereien, Pulvermetallurgie, Bremsbeläge, Batterien, Schweißelektroden, Bleistifte, Schmelztiegel, Schmiermittel, Guss- und Stahlerzeugung, Additiv- und Dispersionsmittel

- **Zukunftstechnologien:**

Batterien für Elektroautos, Kohlenstoffnanoröhren, Brennstoffzellen



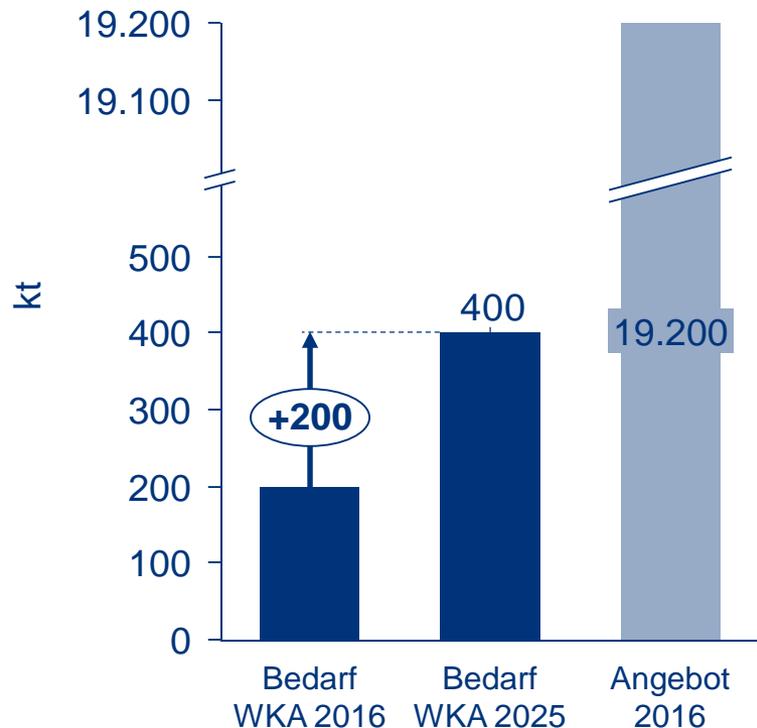
(BGR 2014)



(Quelle: BGR-Datenbank)

# Kupfer: Energiewende wird Nachfrage erhöhen

„**Erneuerbare**“ werden zum Treiber der Kupfernachfrage: absolute Bedarfe könnten auf 400 kt in 2025 steigen: In einem optimistischen Szenario könnte der Bedarf durch die Windenergie auf bis zu 1.600 kt steigen.

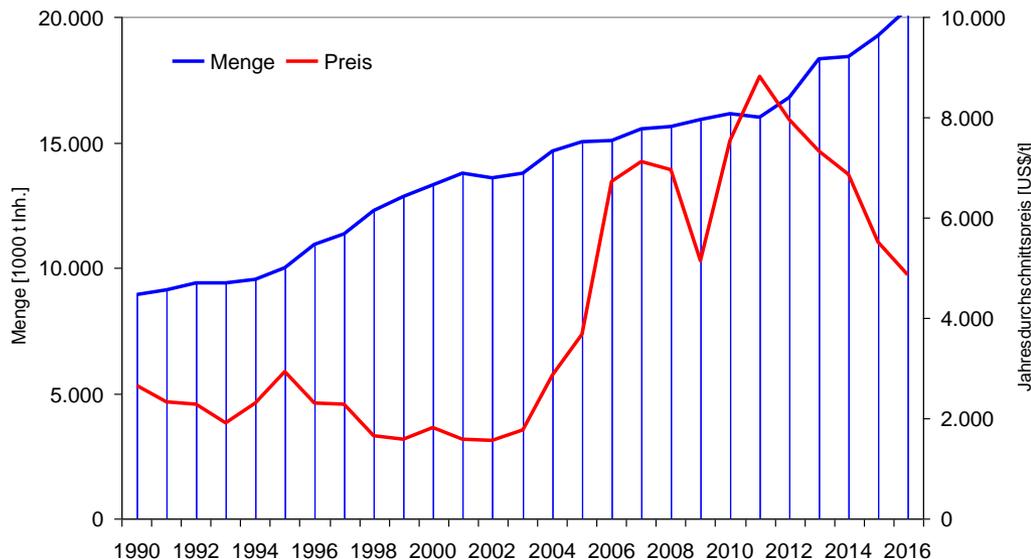


- Ausbau der Stromnetze wird Cu-Bedarf noch deutlich erhöhen
- Windenergie mit größerem Impact als Photovoltaik
- Auch E-Mobilität wird Cu-Nachfrage erhöhen

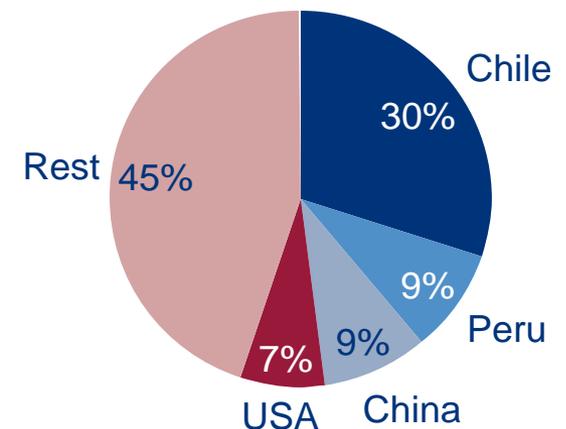
# Kupfer: Energiewende wird Nachfrage erhöhen

- Kupfer ist ein Massenmarkt, Jahresproduktion 2015: 19,2 Mio. Tonnen
- Wachstum des Angebots zwischen 1990-2015: 3,1% im Jahr
- Gemessen an der Bergwerksförderung sind die Cu-Bedarfe für den Ausbau der „Erneuerbaren“ relativ gering
- Angebot relativ breit diversifiziert: geringe potenzielle Preis- und Lieferrisiken

## Bergwerksförderung und Preisentwicklung



## Wichtigsten Kupferproduzenten



Quelle: BGR Datenbank 2017

# Seltene Erden: Preiscomeback durch hohe Nachfrage?

- Preise seit der Lieferkrise 2011 im „Keller“ – zuletzt aber wieder steigend.
- **Neodym** und **Dysprosium** wichtig für die Performance der Magnete in Windkraftanlagen.

Nachfrageszenario Windkraft bis 2035:

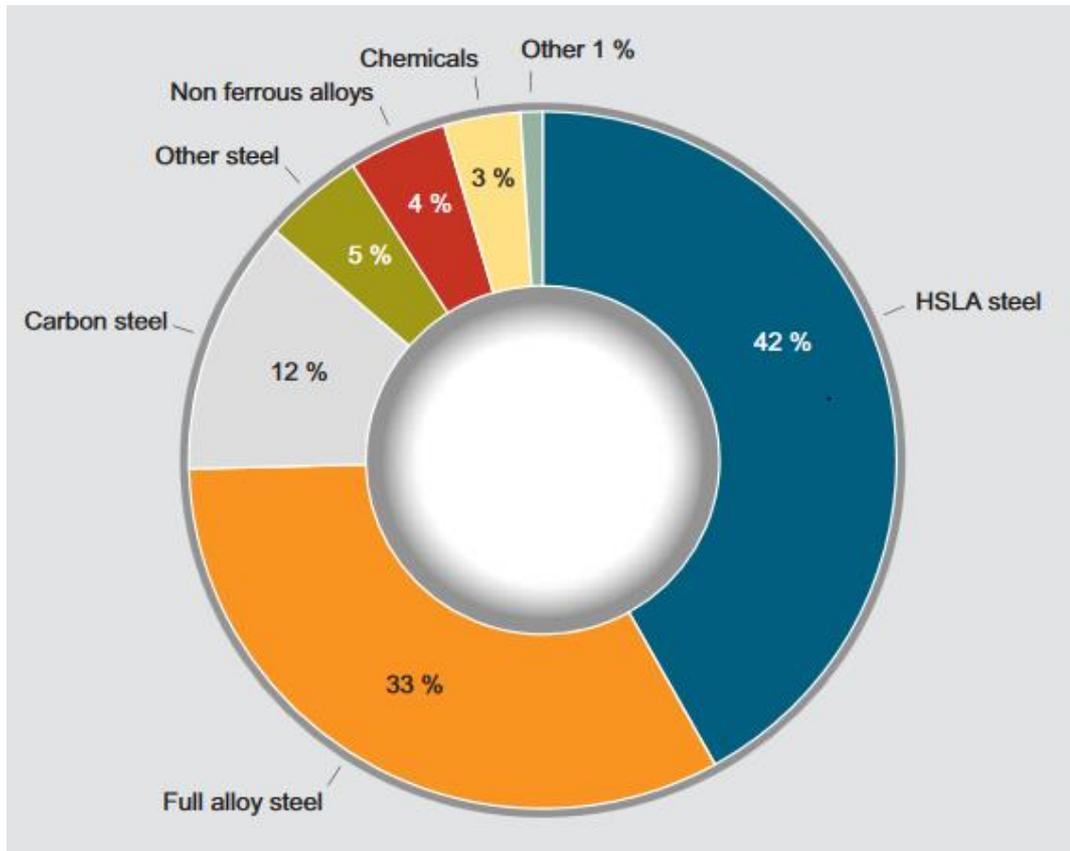
Neodym Bedarf 10.100 t/a  
Dysprosium Bedarf 500 t/a

- ➔ Entspricht jeweils ca. 1/3 der Bergwerksförderung der Rohstoffe
- ➔ Angebot weiter hoch konzentriert
- ➔ Auch E-Mobilität erhöht Druck auf Angebot



Quelle: fotolia

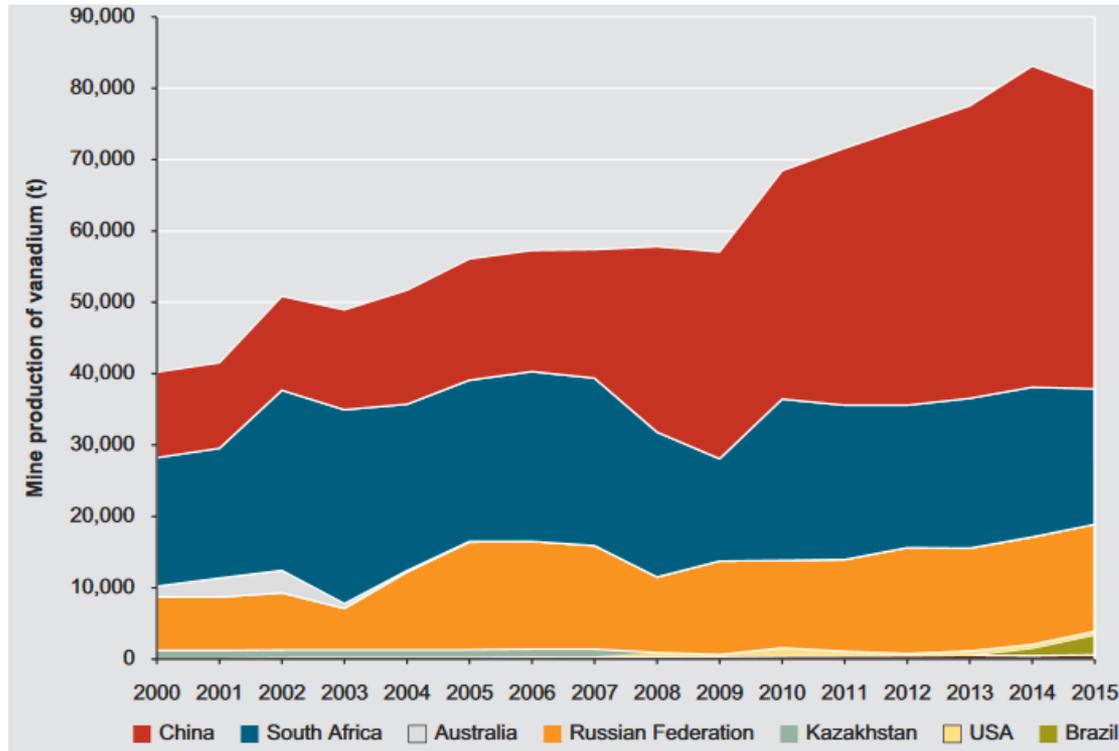
# Vanadium: Bisher nur bei Experten auf dem Zettel



Quelle: DERA 2017

- Nachfrage durch Redox-Flow-Batterien könnte sich bis 2035 von knapp 3.000 t auf über 30.000 t verzehnfachen
- Nachfrage aus Energiespeicherung tritt dann in Konkurrenz zu den etablierten Anwendungen im Bereich der Stahlindustrie

# Vanadium: Bisher nur bei Experten auf dem Zettel

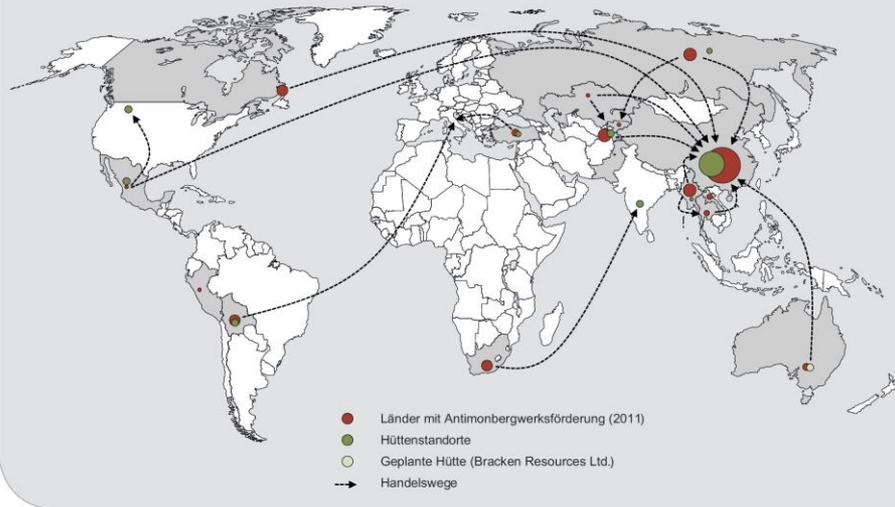


Quelle: DERA 2017

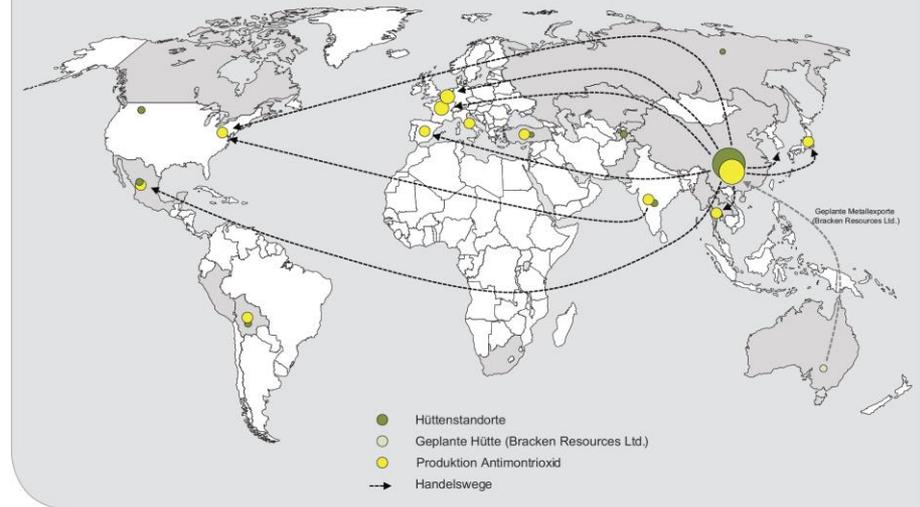
- Hoch konzentrierter Markt: China, Russland und Südafrika mit > 90 % Marktanteil
- 30kt Nachfrageszenario bis 2035 aus der Redox-Batterie entspricht fast der Hälfte der aktuellen Bergwerksförderung
- Nov. 2015 – Sep. 2017: Verfünffachung des Preises
- Oktober 2017: 25 % Preisverfall

# Rohstoffrisikoberichte: Betrachtung der Wertschöpfung

## Antimonerz & -konzentrat



## Antimonmetall



Quelle: DERA 2013

# Hochtechnologiemetalle, anfällig für Beschaffungsrisiken

- **Geringe Gehalte im Gestein**  
*Wenige Milligramm bis Gramm pro Tonne*
- **Geringe Weltproduktion**  
*10 bis 100.000 Tonnen / Jahr*
- **Oftmals nur als Beiprodukt gefördert**  
*Vergesellschaftung mit andere Metallen*
- **Schwierige Rückgewinnung**  
*Oftmals nur in sehr geringen Spuren eingesetzt*
- **Geringe Substituierbarkeit**  
*Spezifische Materialeigenschaften*

# Verantwortungsvoller Rohstoffeinkauf

Gerade für die Energiewende muss der Rohstoffbezug ökologischen und sozialen Standards und Normen entsprechen



Quelle: BMWi



Quelle: Siemens

# Verantwortungsvoller Rohstoffeinkauf

## Beispiel Kobalt

- Wichtiger Batterierohstoff
- DR Kongo der größte Produzent, signifikanter Anteil wird im Kleinbergbau gewonnen, dort Kinderarbeit und andere Risiken relevant
- Abbaubedingungen im Fokus der Öffentlichkeit, bspw. Amnesty International Bericht
- Industrie (Abnehmer) engagiert sich zum Thema, z. B. Responsible Raw Materials Initiative

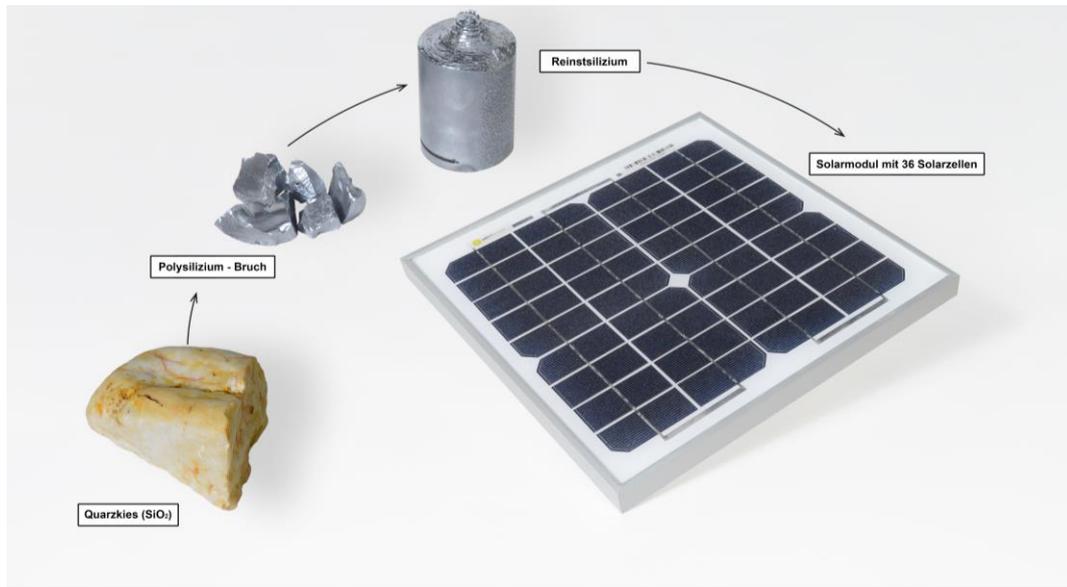


# Heimische mineralische Rohstoffe

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



# Heimische Rohstoffe für Schlüsseltechnologien



Bildquelle: BGR



Bildquelle: BGR

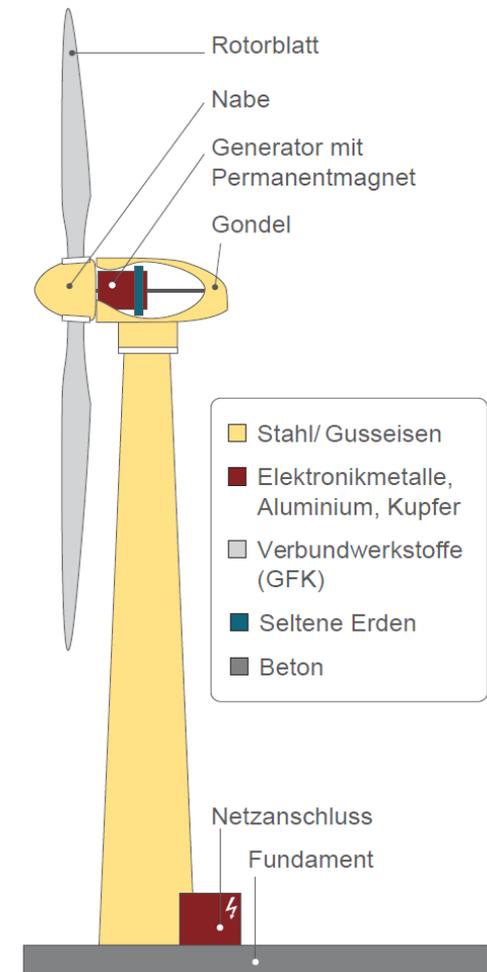


Rund 90 % der weltweit gefertigten Solarzellen bestehen aus Silizium.

Rohsilizium wird durch Reduktion von **Quarzrohstoffen** mit Kohlenstoff in elektrischen Lichtbogenöfen bei rund 2.000° C gewonnen.

# 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)



# ROSYS – Interaktives Rohstoffinformationssystem

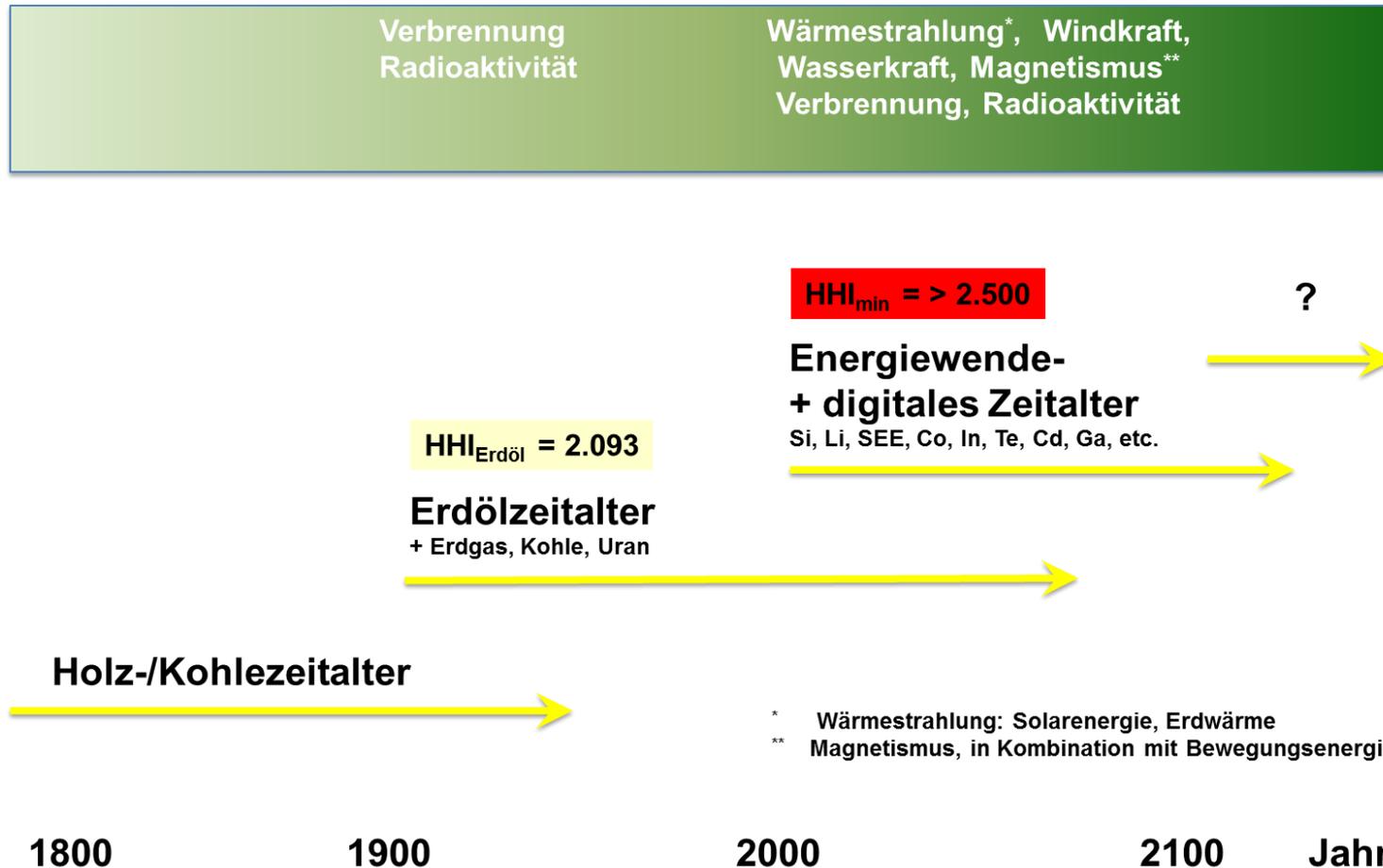


- Informiert zu Produktion, Verbrauch und Reserven von mineralischen und Energierohstoffen weltweit
- Stellt interaktive Karten und Diagramme bereit
- Enthält Daten zu mehr als 80 Rohstoffen, einschließlich Importdaten für Deutschland

ROSYS starten Sie über die Homepage der DERA:

[www.deutsche-rohstoffagentur.de](http://www.deutsche-rohstoffagentur.de)

# Neue Technologien – neue Herausforderungen



# Glück Auf!

Dr. Volker Steinbach, Dr. Torsten Brandenburg  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)



Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe ist eine technisch-wissenschaftliche Oberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi).

