



Die deutsche Energiewende

Das Kupferbergwerk der deutschen e-Mobilität

Prof. Dr. - Ing. Georg Unland

Ein Traum

Ein schönes, sauberes und modernes Deutschland



Caspar David Friedrich

Im freien Wasser Natur

Romantik

Die drei erleuchteten
Deutschen
inmitten der Gewalten
der Natur



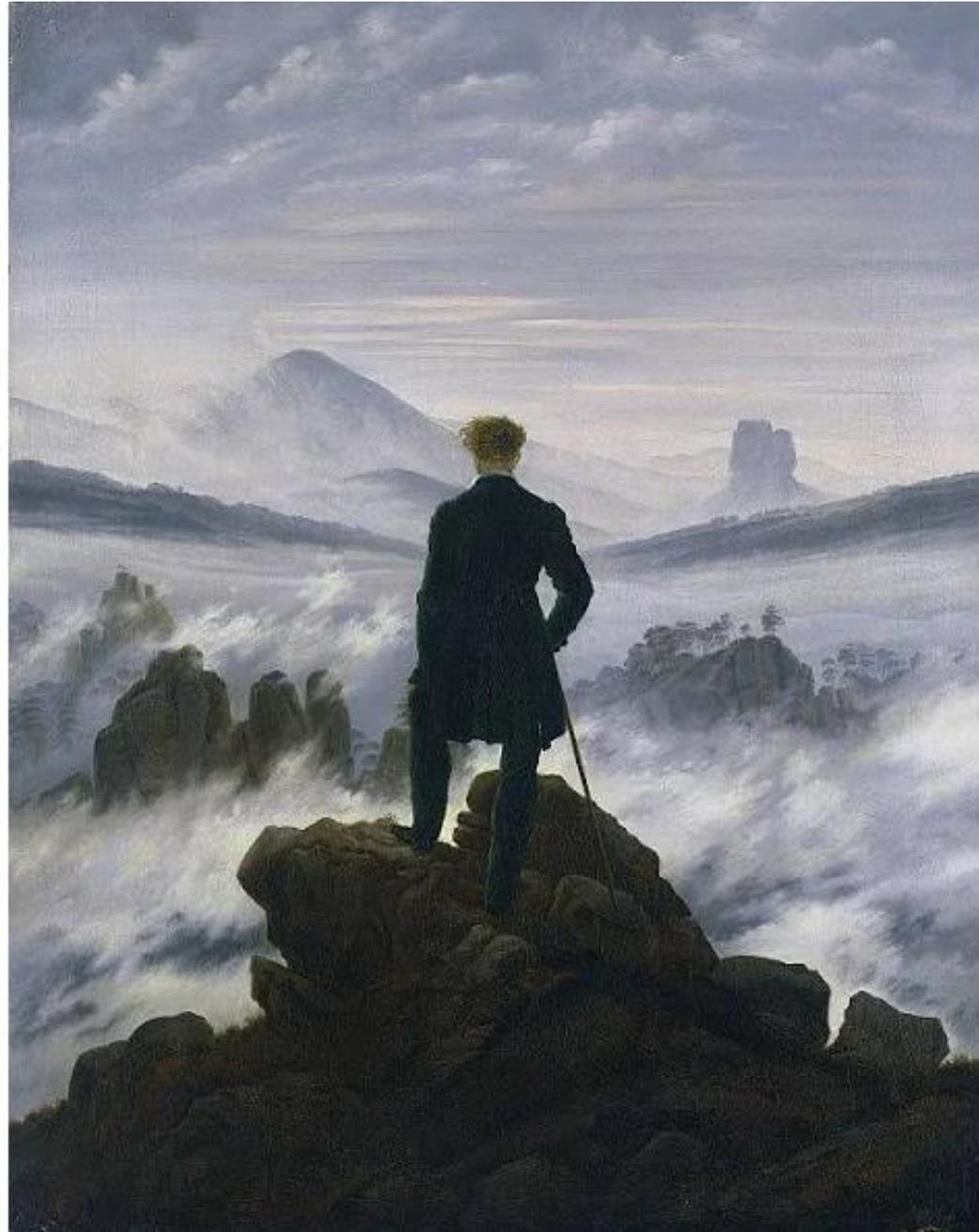
Caspar David Friedrich

Der Wanderer über dem Nebelmeer

1817

Romantik

Sehnsucht nach unerreichbaren Zielen





Das Kupferbergwerk der deutschen e-Mobilität

Prof. Dr. - Ing. Georg Unland

10. Oktober 2023

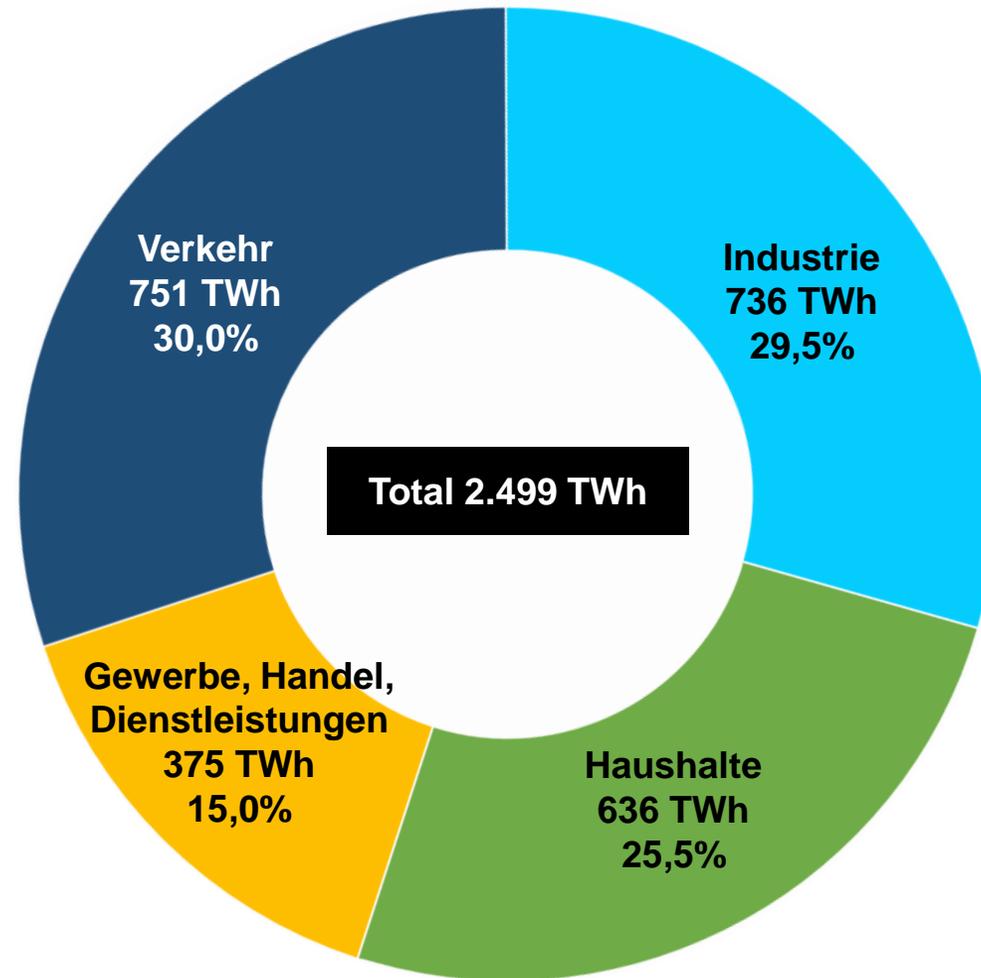
Das Kupferbergwerk

- 1 Energieverbrauch (Deutschland)
- 2 Energetische Defossilisierung des Mobilitätssektors
- 3 Szenarien des Cu- Bedarfs
 - a) Erzeugung
 - b) Verbrauch (Pkw, Lkw)
 - c) Gesamt
- 4 Minenproduktion
- 5 Kupferbergwerk der deutschen e-Mobilität
- 6 Schlussfolgerungen

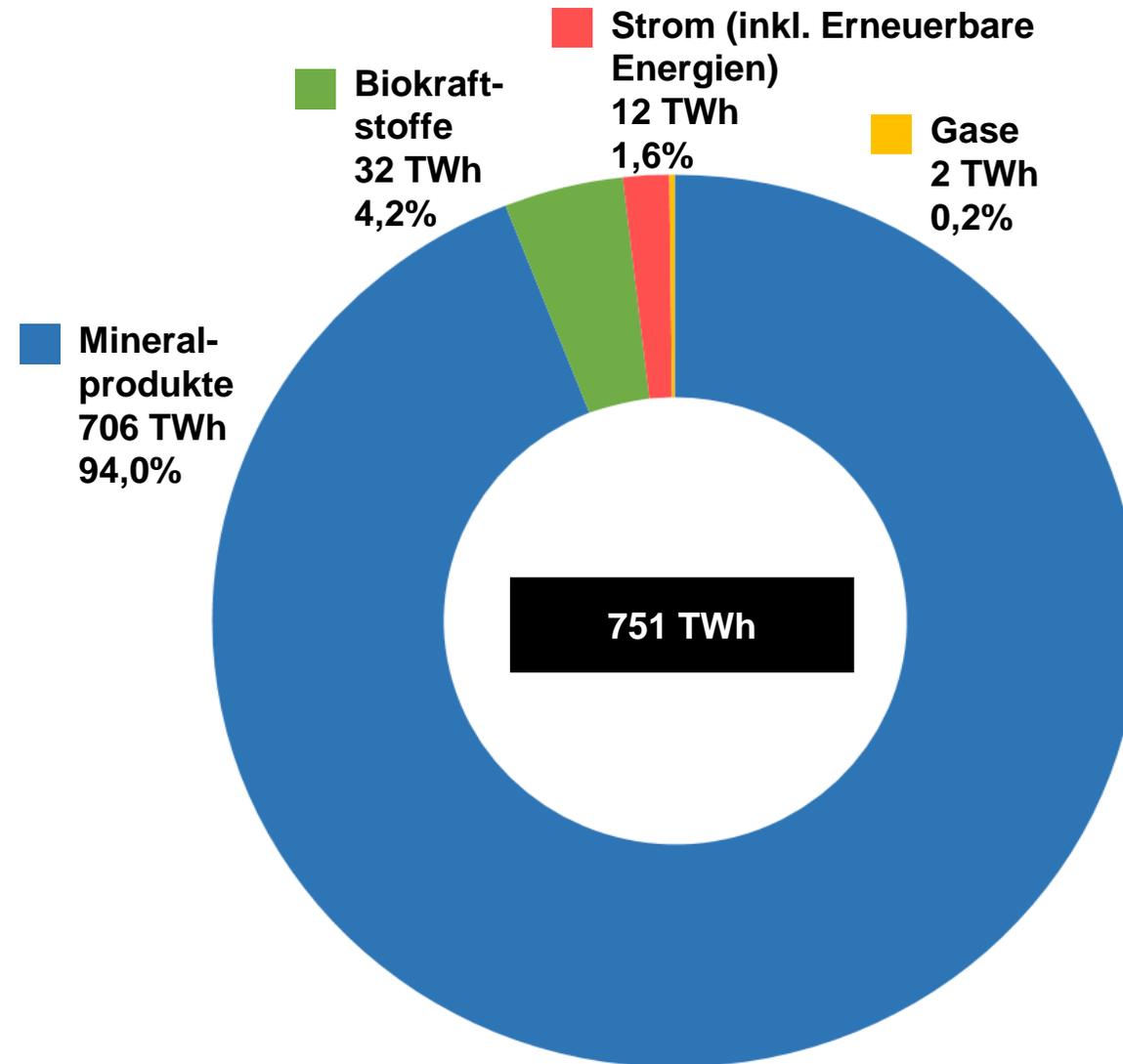
Das Kupferbergwerk

- 1 **Energieverbrauch (Deutschland)**
- 2 Energetische Defossilisierung des Mobilitätssektors
- 3 Szenarien des Cu- Bedarfs
 - a) Erzeugung
 - b) Verbrauch (Pkw, Lkw)
 - c) Gesamt
- 4 Minenproduktion
- 5 Kupferbergwerk der deutschen e-Mobilität
- 6 Schlussfolgerungen

Endenergieverbrauch nach Sektoren (D, 2018)



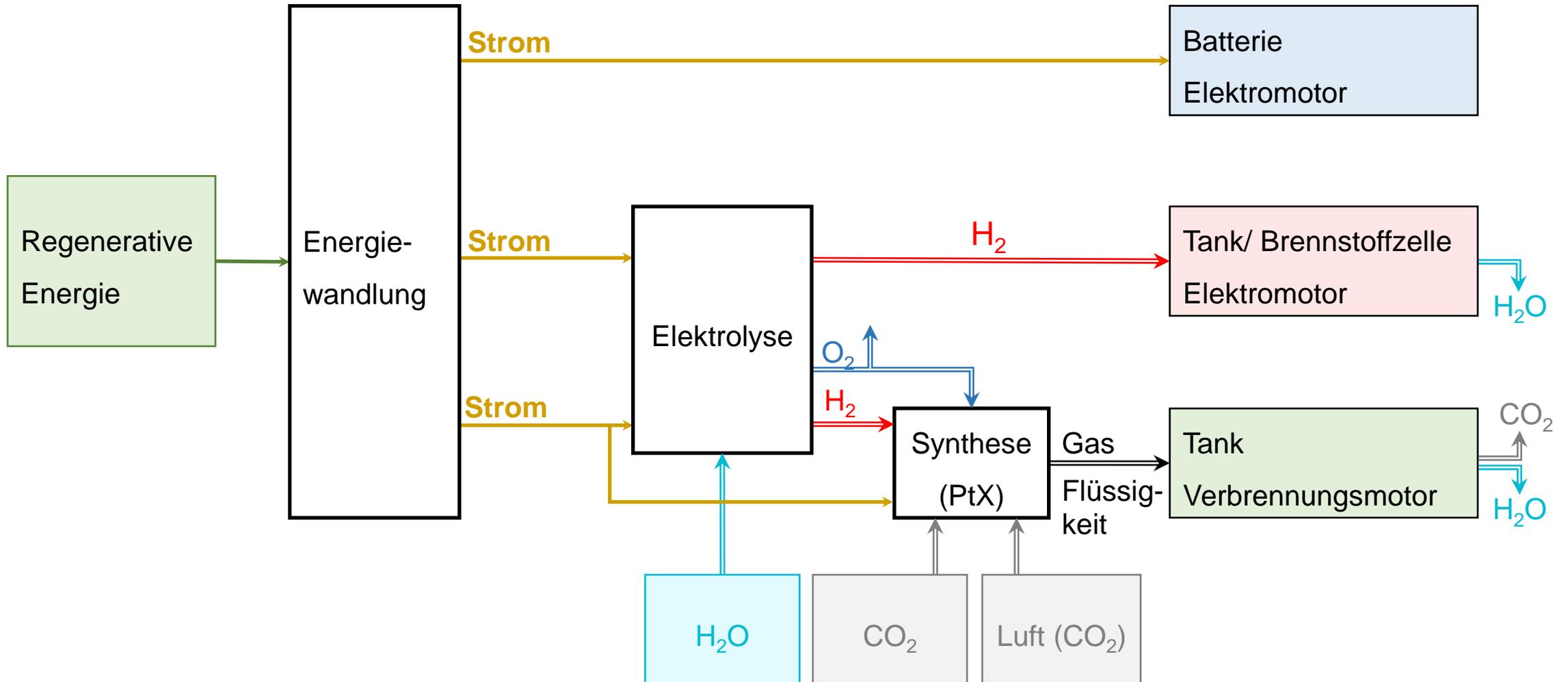
Endenergieverbrauch Sektor Verkehr (D, 2018)



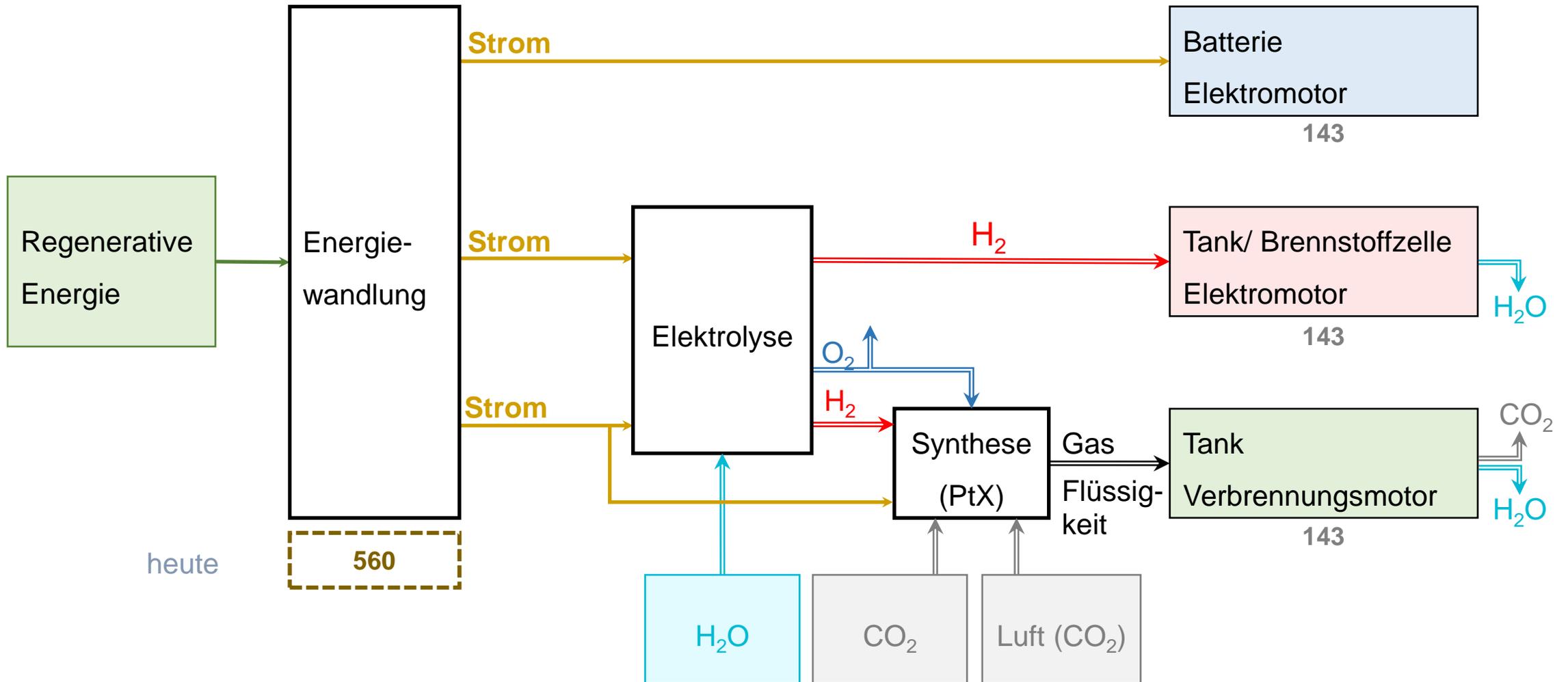
Das Kupferbergwerk

- 1 Energieverbrauch (Deutschland)
- 2 Energetische Defossilisierung des Mobilitätssektors**
- 3 Szenarien des Cu- Bedarfs
 - a) Erzeugung
 - b) Verbrauch (Pkw, Lkw)
 - c) Gesamt
- 4 Minenproduktion
- 5 Kupferbergwerk der deutschen e-Mobilität
- 6 Schlussfolgerungen

Mobilitätspfade (100% Defossilisierung)

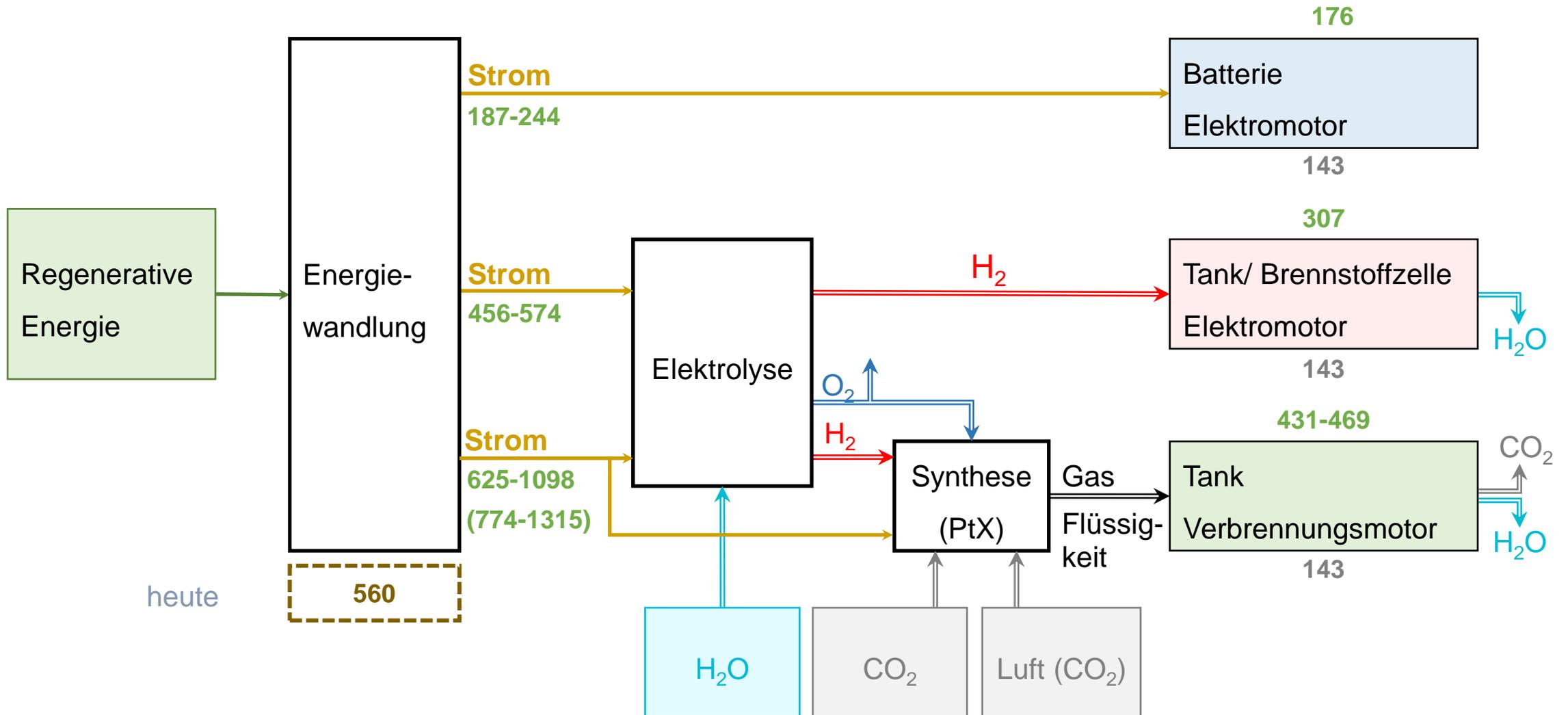


Mobilitätspfade (100% Defossilisierung, PKW, LKW) [TWh/a]



Mobilitätspfade (100% Defossilisierung, PKW, LKW)

Stromverbrauch [TWh/a]



Das Kupferbergwerk

- 1 Energieverbrauch (Deutschland)
- 2 Energetische Defossilisierung des Mobilitätssektors
- 3 Szenarien des Cu- Bedarfs**
 - a) Erzeugung**
 - b) Verbrauch (Pkw, Lkw)
 - c) Gesamt
- 4 Minenproduktion
- 5 Kupferbergwerk der deutschen e-Mobilität
- 6 Schlussfolgerungen

Szenarien des Cu- Bedarfs

a) Erzeugung (D)

| Erzeugung | Spez. Bedarf [t Cu/ MW] | Strom 187 ÷ 244 TWh/ a | Wasserstoff 456 ÷ 574 TWh/ a | PtX 625 ÷ 1315 TWh/ a |
|---|----------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| | | Kupferbedarf [t] | | |
| Photovoltaik 40% 1MWp → 1,0 GWh/ a | Ø 4 (3,1 ÷ 4,8) | 300.000 ÷ 400.000 | 730.000 ÷ 920.000 | 1.000.000 ÷ 2.100.000 |
| Wind (Land) 36% 1 MW → 2,5 GWh/ a | Ø 4 (2 ÷ 4,6) | 110.000 ÷ 140.000 | 260.000 ÷ 330.000 | 360.000 ÷ 760.000 |
| Wind (See) 24% 1 MW → 4,2 GWh/ a | Ø 4 (2 ÷ 4,6) | 40.000 ÷ 60.000 | 100.000 ÷ 130.000 | 140.000 ÷ 300.000 |
| | Σ | 450.000 ÷ 600.000 | 1.090.000 ÷ 1.380.000 | 1.500.000 ÷ 3.160.000 |

Das Kupferbergwerk

- 1 Energieverbrauch (Deutschland)
- 2 Energetische Defossilisierung des Mobilitätssektors
- 3 Szenarien des Cu- Bedarfs**
 - a) Erzeugung
 - b) Verbrauch (Pkw, Lkw)**
 - c) Gesamt
- 4 Minenproduktion
- 5 Kupferbergwerk der deutschen e-Mobilität
- 6 Schlussfolgerungen

Szenarien des Cu- Bedarfs

b) Verbrauch (Pkw, Lkw)

Kupferbedarf bei Umstellung auf 100% E-Mobilität

| | Angemeldete Fahrzeuge (D, Jan. 2020) | Zusätzlicher Kupferbedarf/ Fahrzeug | Zusätzlicher Kupferbedarf Gesamt |
|---------------------------------|--|---|--|
| Pkw (Benzin, Diesel, Gas) | 47.039.977 | ~ 80 kg | 3.800.000 t |
| Lkw, Busse, Zugmaschinen | 5.623.042 | ~ 300 kg | 1.700.000 t |
| Σ | 52.663.019 | | 5.500.000 t |

Das Kupferbergwerk

- 1 Energieverbrauch (Deutschland)
- 2 Energetische Defossilisierung des Mobilitätssektors
- 3 Szenarien des Cu- Bedarfs**
 - a) Erzeugung
 - b) Verbrauch (Pkw, Lkw)
 - c) Gesamt**
- 4 Minenproduktion
- 5 Kupferbergwerk der deutschen e-Mobilität
- 6 Schlussfolgerungen

Szenarien des Cu- Bedarfs

c) Gesamt

Kupferbedarf (D, ohne Infrastruktur)

Erzeugung: 450.000 t ÷ 3.160.000 t

Verbrauch: 5.500.000 t / 0 t

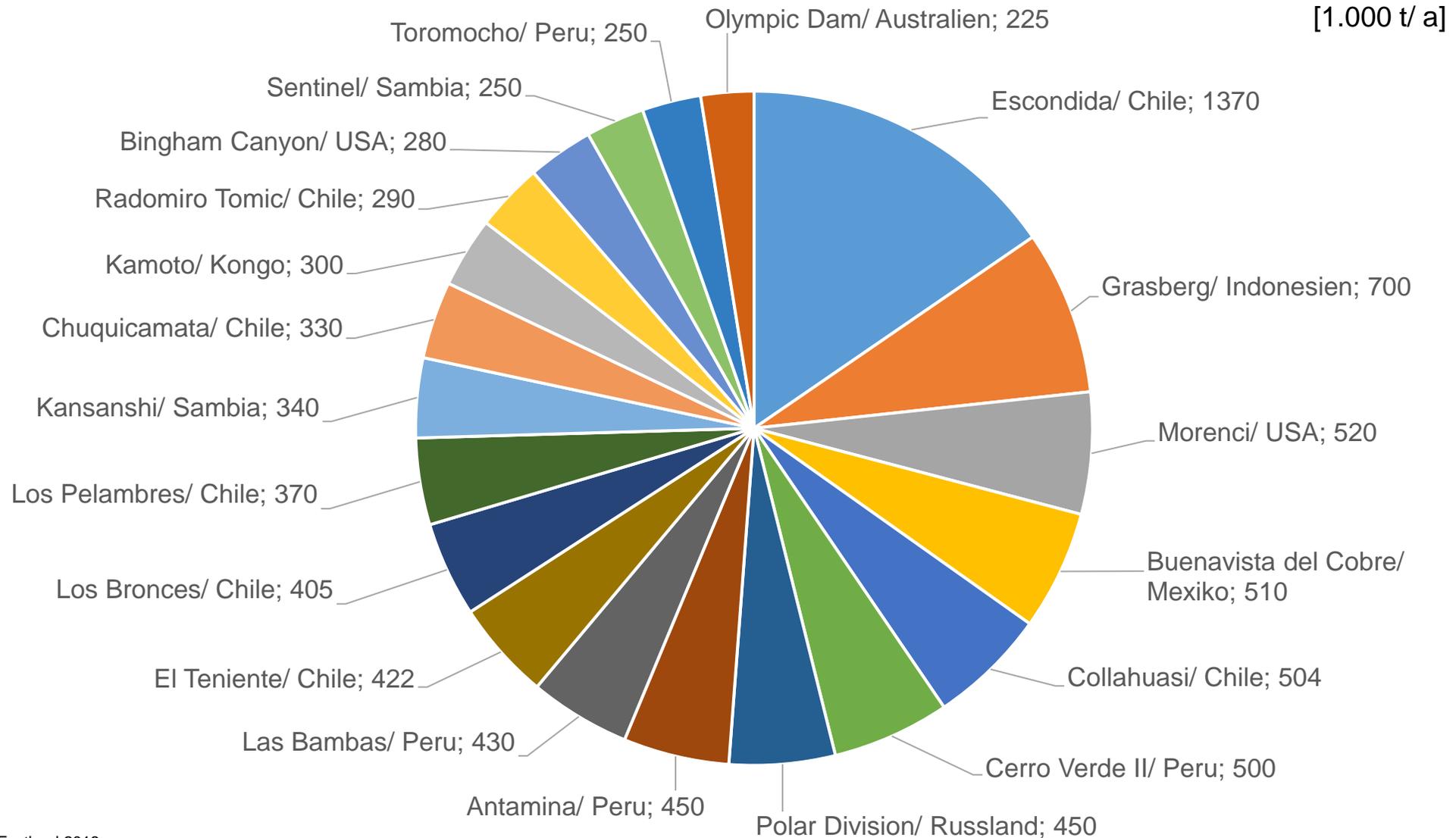
Gesamt: (3 ÷ 6) x 10⁶ t

Das Kupferbergwerk

- 1 Energieverbrauch (Deutschland)
- 2 Energetische Defossilisierung des Mobilitätssektors
- 3 Szenarien des Cu- Bedarfs
 - a) Erzeugung
 - b) Verbrauch (Pkw, Lkw)
 - c) Gesamt
- 4 **Minenproduktion****
- 5 Kupferbergwerk der deutschen e-Mobilität
- 6 Schlussfolgerungen

Die 20 größten Kupferminen - weltweit (2018)

nach Produktionskapazitäten



Das Kupferbergwerk

- 1 Energieverbrauch (Deutschland)
- 2 Energetische Defossilisierung des Mobilitätssektors
- 3 Szenarien des Cu- Bedarfs
 - a) Erzeugung
 - b) Verbrauch (Pkw, Lkw)
 - c) Gesamt
- 4 Minenproduktion
- 5 Kupferbergwerk der deutschen e-Mobilität**
- 6 Schlussfolgerungen

Kupferbergwerk der deutschen e-Mobilität

Cu- Bedarf @ 100% Decarbonisierung (D, Pkw, Lkw)

$$(3 \div 6) \times 10^6 \text{ t Cu} \longrightarrow 6 \times 10^6 \text{ t Cu}$$

Tagebau: porphyrische Lagerstätte (sulfidisches Erz)

Typische Werte:

| | | | |
|------------|----------------|---|--------|
| head grade | 0,2 ÷ 1,2 % Cu | → | 0,35 % |
|------------|----------------|---|--------|

| | | | |
|------------------|-----------|---|------|
| Ausbringungsgrad | 75 ÷ 85 % | → | 85 % |
|------------------|-----------|---|------|

| | | | |
|------------------------|-----------|---|-----|
| Verhältnis Abraum/ Erz | 1,8 ÷ 5,4 | → | 3,8 |
|------------------------|-----------|---|-----|

| | | | |
|---------------|----------------------------|---|----------------------|
| spez. Gewicht | 2,7 ÷ 3,3 t/m ³ | → | 2,9 t/m ³ |
|---------------|----------------------------|---|----------------------|

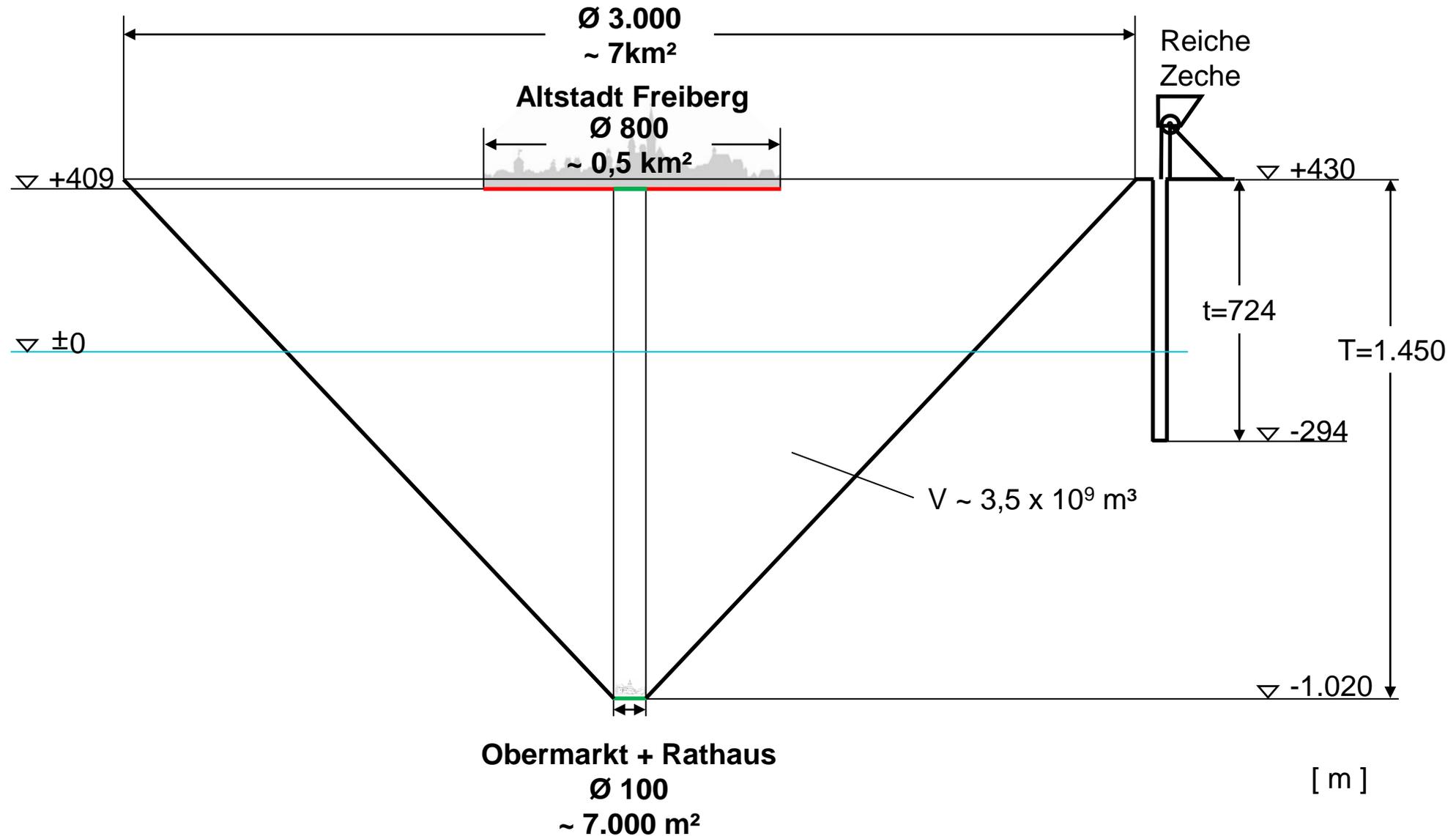


| | | | | |
|-----------------|-------------------------------|---|--------------------------------|---|
| Tagebau: | $3,3 \times 10^9 \text{ m}^3$ | ↔ | Gesteinserosion (Welt): | $26,7 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ |
|-----------------|-------------------------------|---|--------------------------------|---|

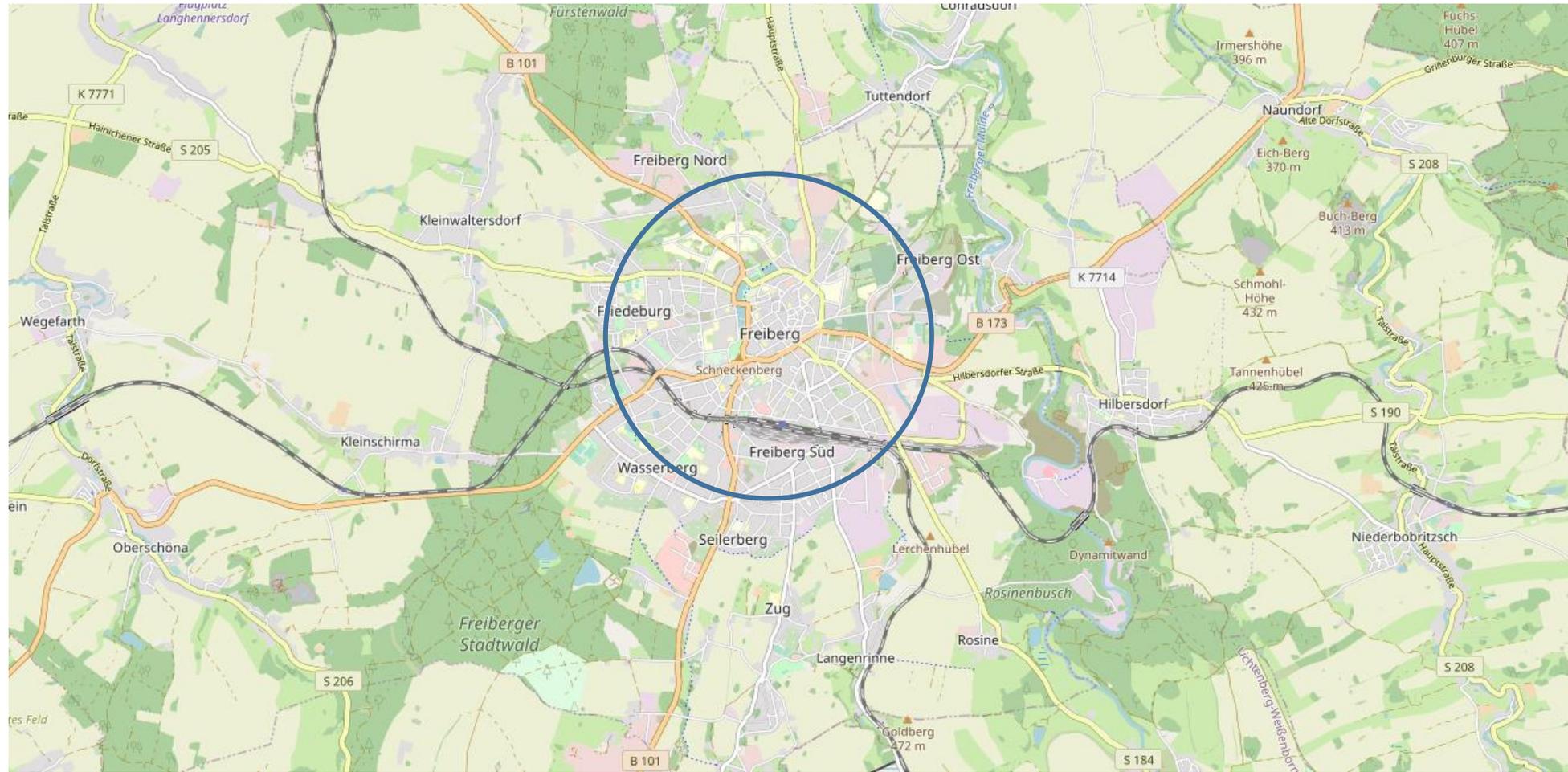


FREIBERG

Freiberger Kupferbergwerk der deutschen e-Mobilität



Freiberger Kupferbergwerk der deutschen e-Mobilität



Phalaborwa, Südafrika



Copyright Brian J. McMorrow

Phalaborwa, Südafrika



Copyright Brian J. McMorrow

Cu- Bergbau, Cu- Lagerstätten (D)

Mansfelder Land: Halden Schächte Fortschritt, Otto Brosowski, Ernst Thälmann



Kupferschieferreviere Mansfeld und Sangerhausen



Cu- Bergbau, Cu- Lagerstätten (D)

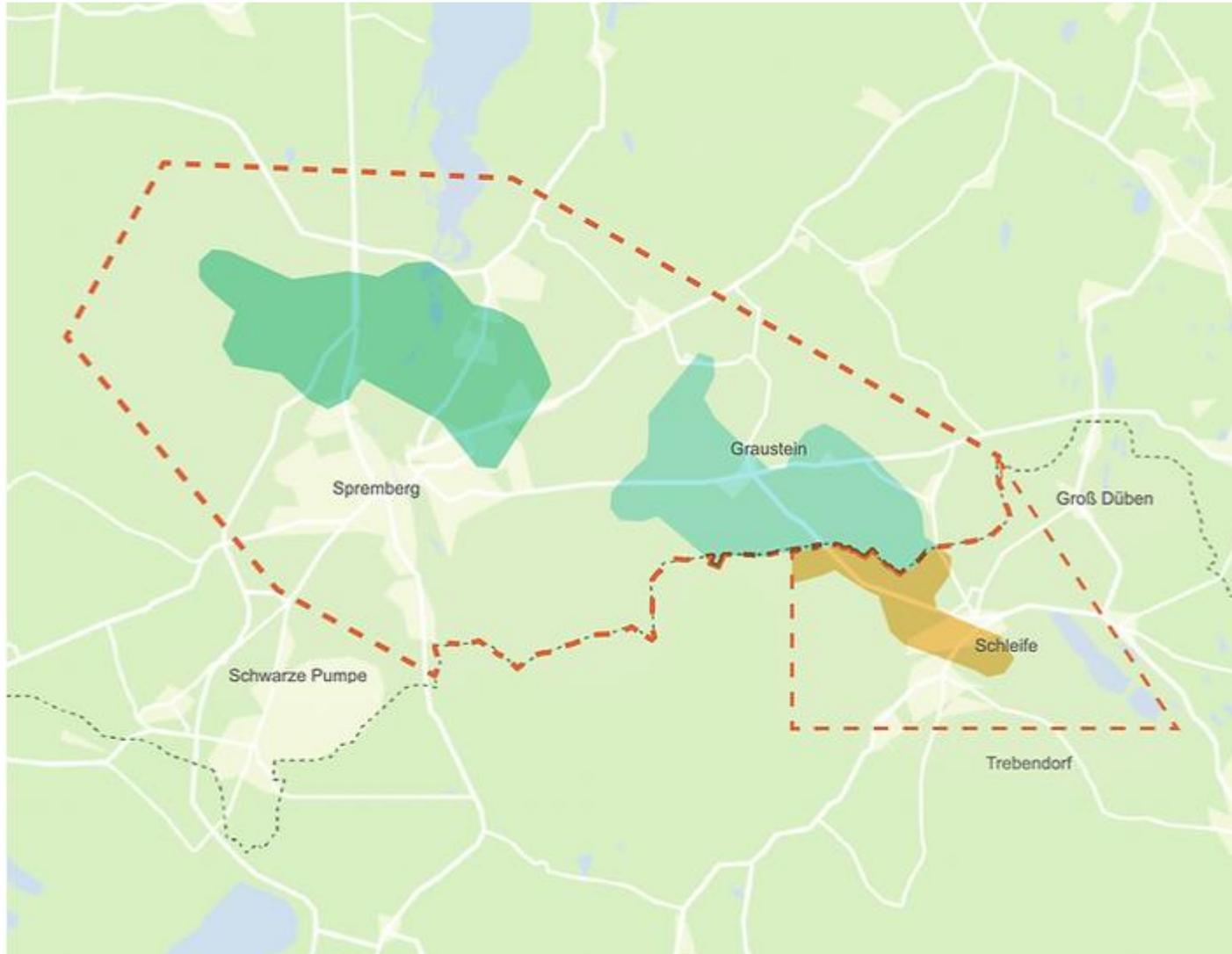
✕ Mansfeld/ Sangerhausen

in ~ 800 Jahren: 2,63 Mio. t Cu

∂ 270 Mio. t Förderung (110 Mio. t Erz, 160 Mio. t Berge)

heute: Restgehalte ca. 0,9 Mio. t Cu

Kupferschieferlagerstätte Lausitz



Cu- Bergbau, Cu- Lagerstätten (D)

Lausitz

2 Mio. t Cu

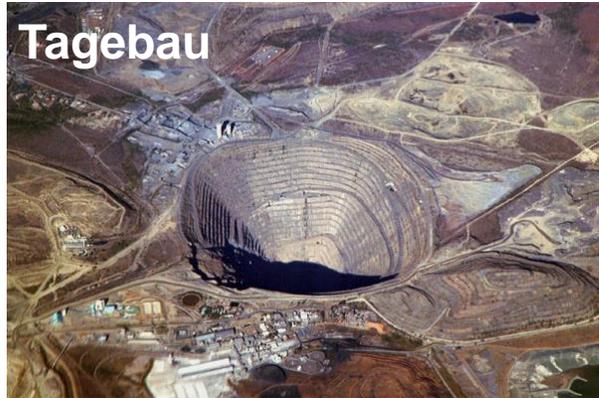
∂ ~ 200 Mio. t Erz

Das Kupferbergwerk

- 1 Energieverbrauch (Deutschland)
- 2 Energetische Defossilisierung des Mobilitätssektors
- 3 Szenarien des Cu- Bedarfs
 - a) Erzeugung
 - b) Verbrauch (Pkw, Lkw)
 - c) Gesamt
- 4 Minenproduktion
- 5 Kupferbergwerk der deutschen e-Mobilität
- 6 Schlussfolgerungen**

? Was bleibt ?

? Die andere Seite ?



? Die eine Seite?



Caspar David Friedrich

Das Eismeer

1824

Romantik

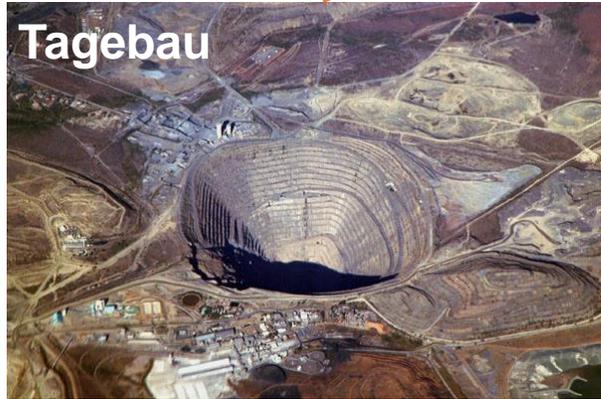
Ästhetik des Scheiterns



? Was bleibt ?



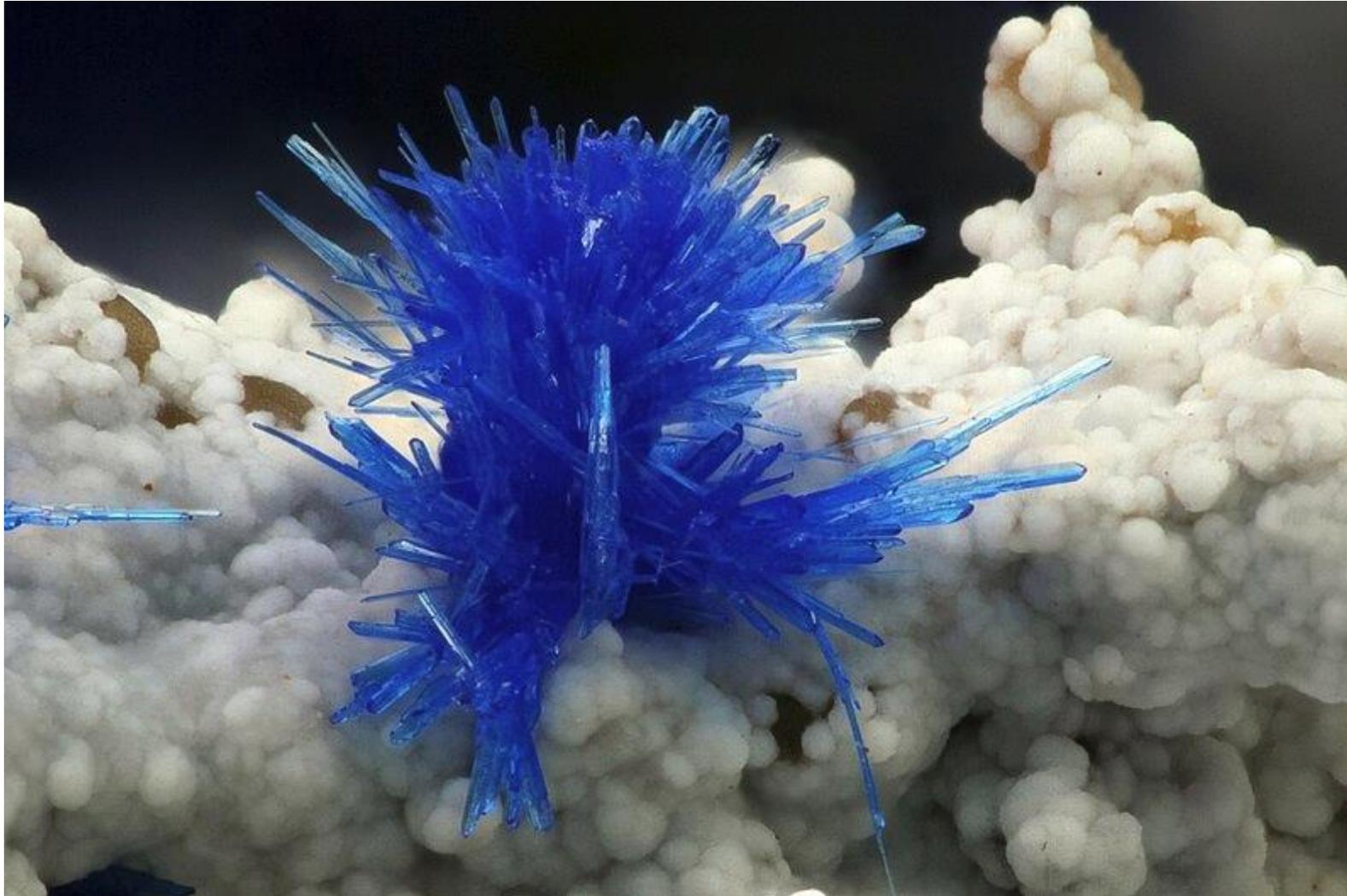
? Was bleibt ?

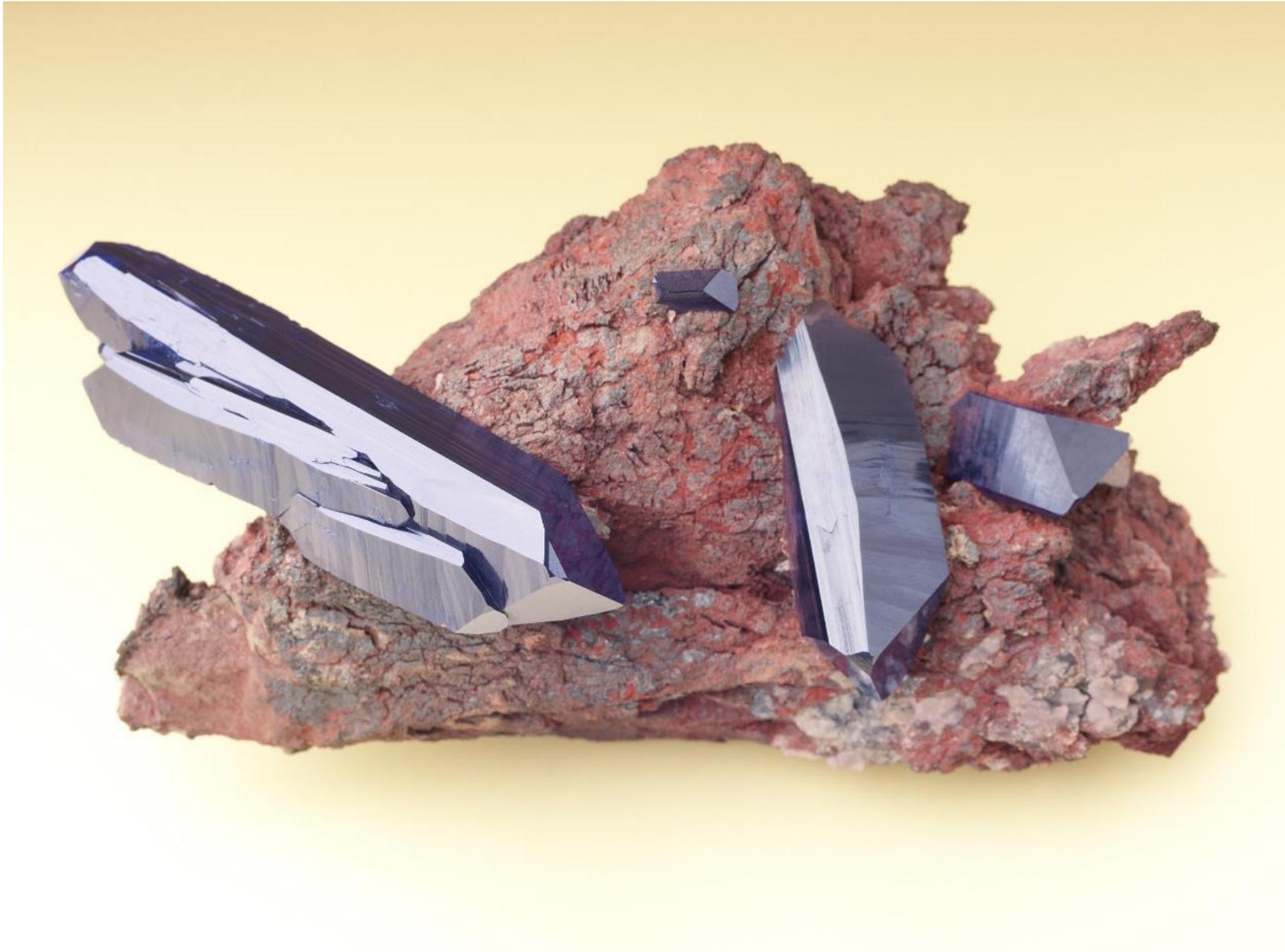


? Die andere Seite ?

? Die eine Seite?

Azurit auf Honessit, Lavrion, Griechenland





Azurit

Tsumeb, Otavi-Bergland,
Otjikoto, Namibia.

12x6 cm.

Foto Jörg Wittig, Dresden

Cuprit, Varietät Chalkotrichit, Chengmenshan, China





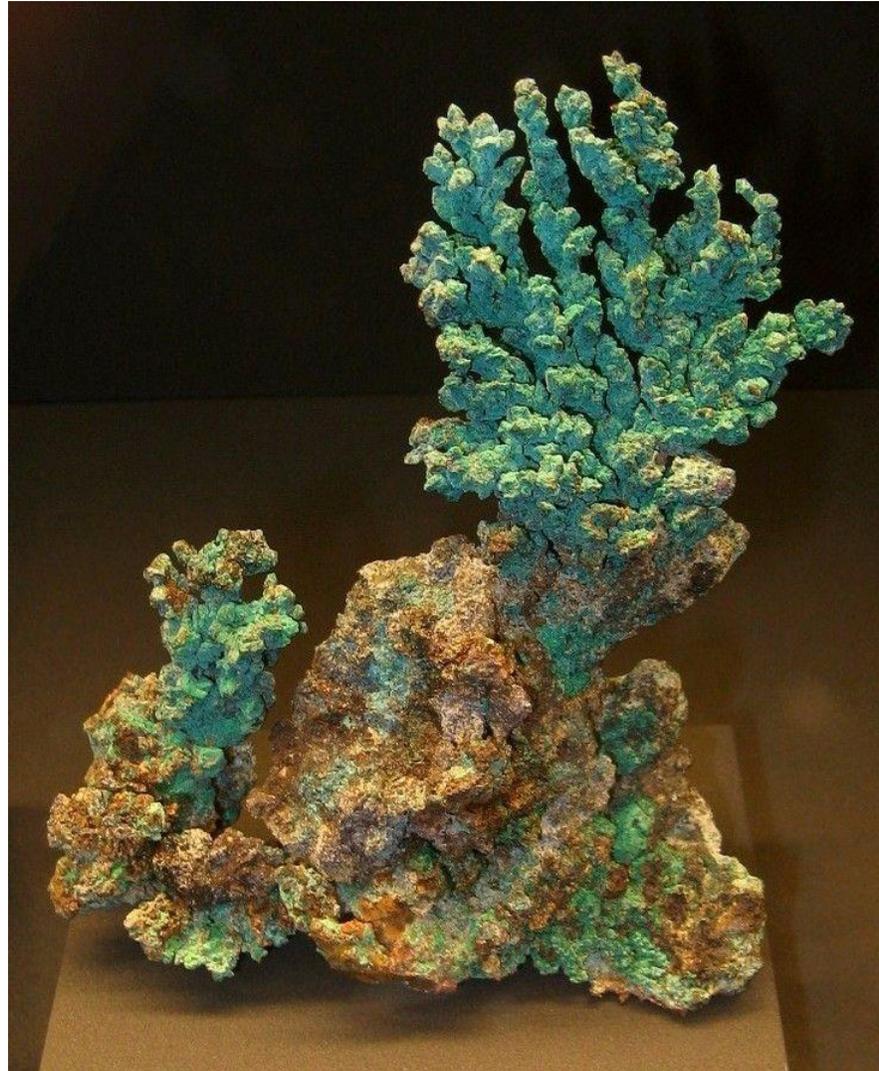
Malachit

Star of the Congo Mine,
Katanga, DR Kongo.

45 x 30 cm.

Foto Jörg Wittig, Dresden

Kupfer mit Malachit, Rudabanya, Ungarn





Das Kupferbergwerk der deutschen e-Mobilität

Glück auf