



# Einführung in den Bergbau

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Michael Tost  
Institut für Bergbaukunde, Bergtechnik und  
Bergwirtschaft

# Ziel der Vorlesung

## ➤ Erster Überblick:

- Welche Rohstoffe gibt es und woher kommen sie?
- Was ist Bergbau?
- Brauchen wir Bergbau überhaupt?
- Teilbereiche und -aspekte des Bergbaus kennenlernen

# Überblick über die Vorlesung

- Rohstoffarten, Rohstoffe und ihre Lagerstätten
- Ressourcen-Reserven
- Kosten des Bergbaus
- Gestein und Gebirge
- Nachhaltigkeit und Bergbau
- Stufen im Leben eines Bergbaus
- Verfahrenstechnik im Bergbau
- Abbau im Tagebau
- Abbau unter Tage

# Rohstoffarten

## ➤ Metalle

- Eisen und Stahl Veredler
- Nichteisen Metalle: Buntmetalle, Technologiemetalle
- Edelmetalle

## ➤ Industrieminerale

- Salz
- Düngemittel

## ➤ Baurohstoffe

- Kalk, Dolomit
- Schotter, Sand

## ➤ Energierohstoffe

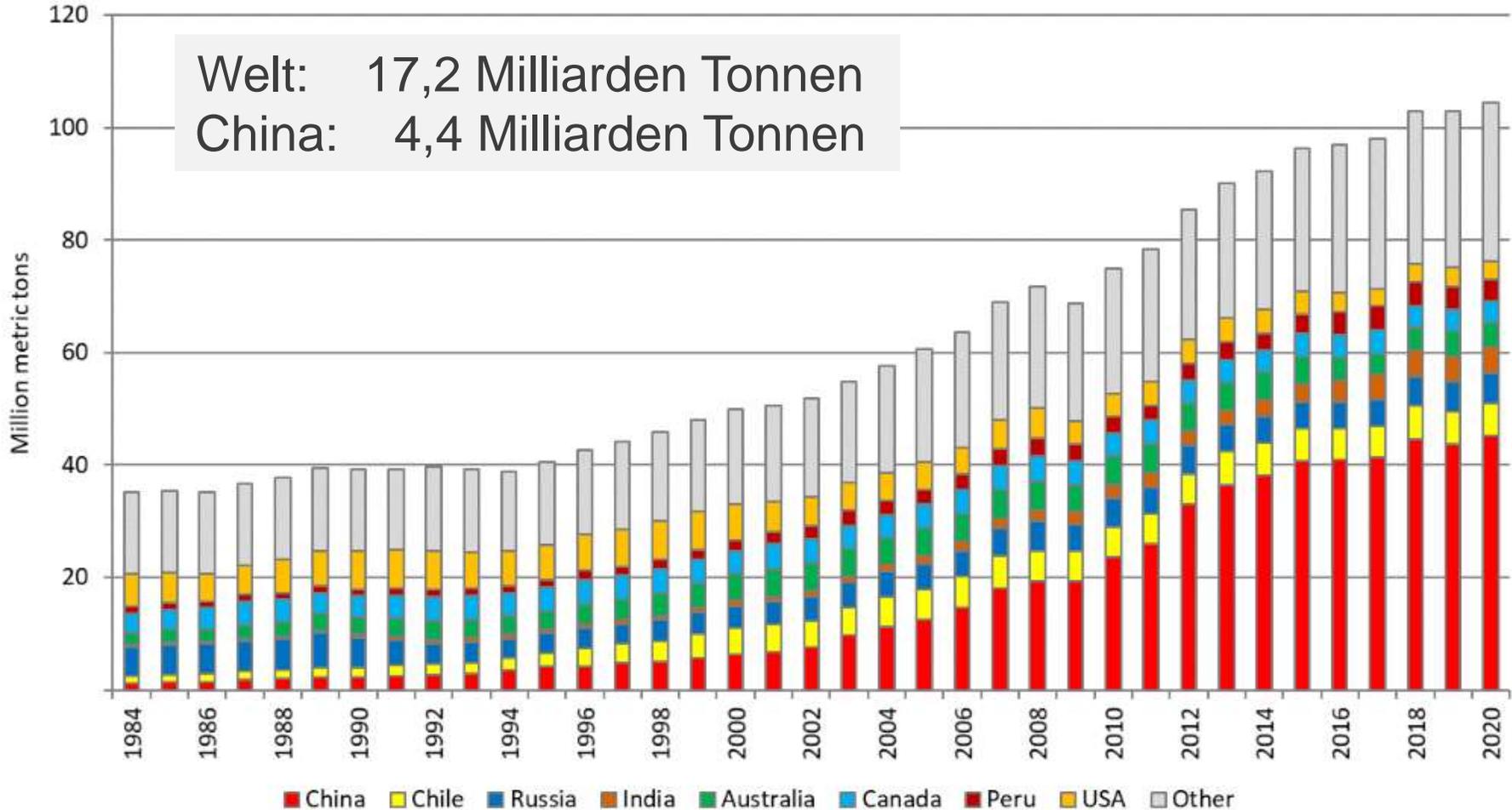
- Erdöl & Erdgas
- Kohle, Uran

## ➤ (Biorohstoffe: Land- und forstwirtschaftliche Stoffe)

**Nicht- nachwachsende  
Rohstoffe**

**Nachwachsende Rohstoffe**

# Bergbauländer



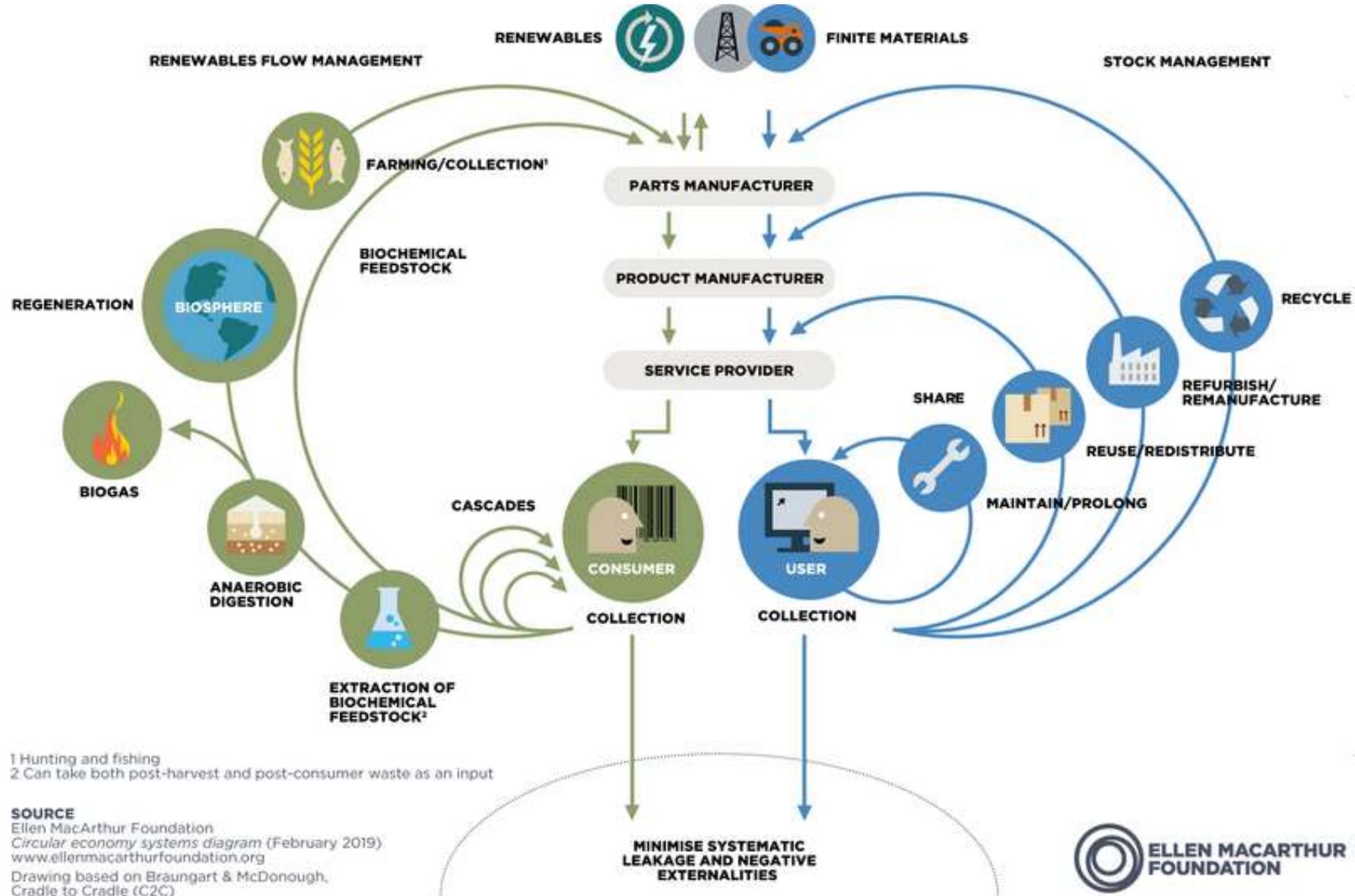
World Mining Data, 2022

ohne Baurohstoffe in [Mio t]

# Rohstoffkonsum

- Was sind die Treiber des Rohstoffkonsums?
  - Wohlstand, Urbanisierung, Wirtschaftsleistung
- Wie viel Tonnen Rohstoffe verbraucht eine Person in Österreich je Jahr ?
  - 24 t/ Person und Jahr

# Aber brauchen wir weiterhin Bergbau?

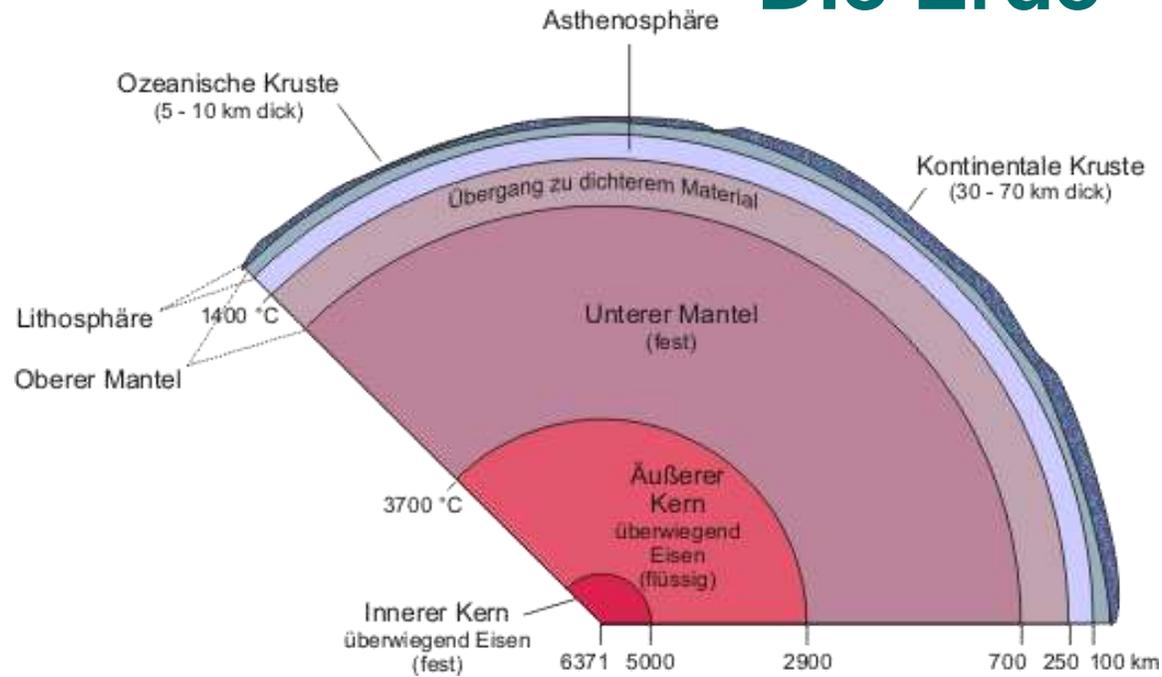


Ja, zumindest  
in absehbarer  
Zeit

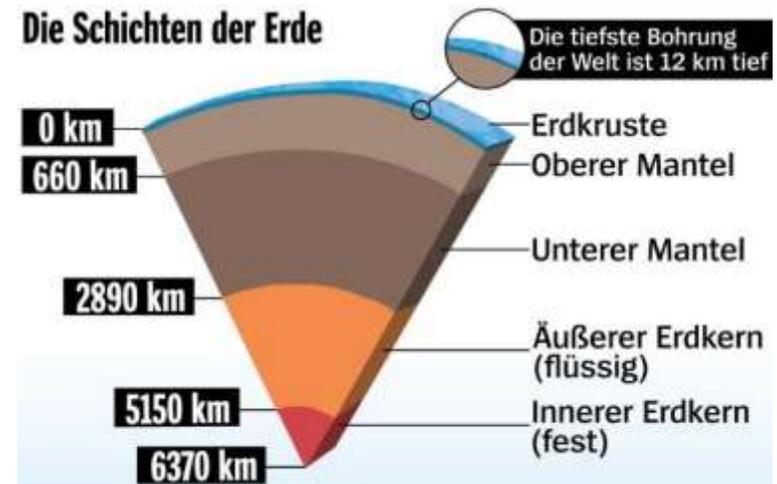


# Rohstoffe und ihre Lagerstätten

# Die Erde

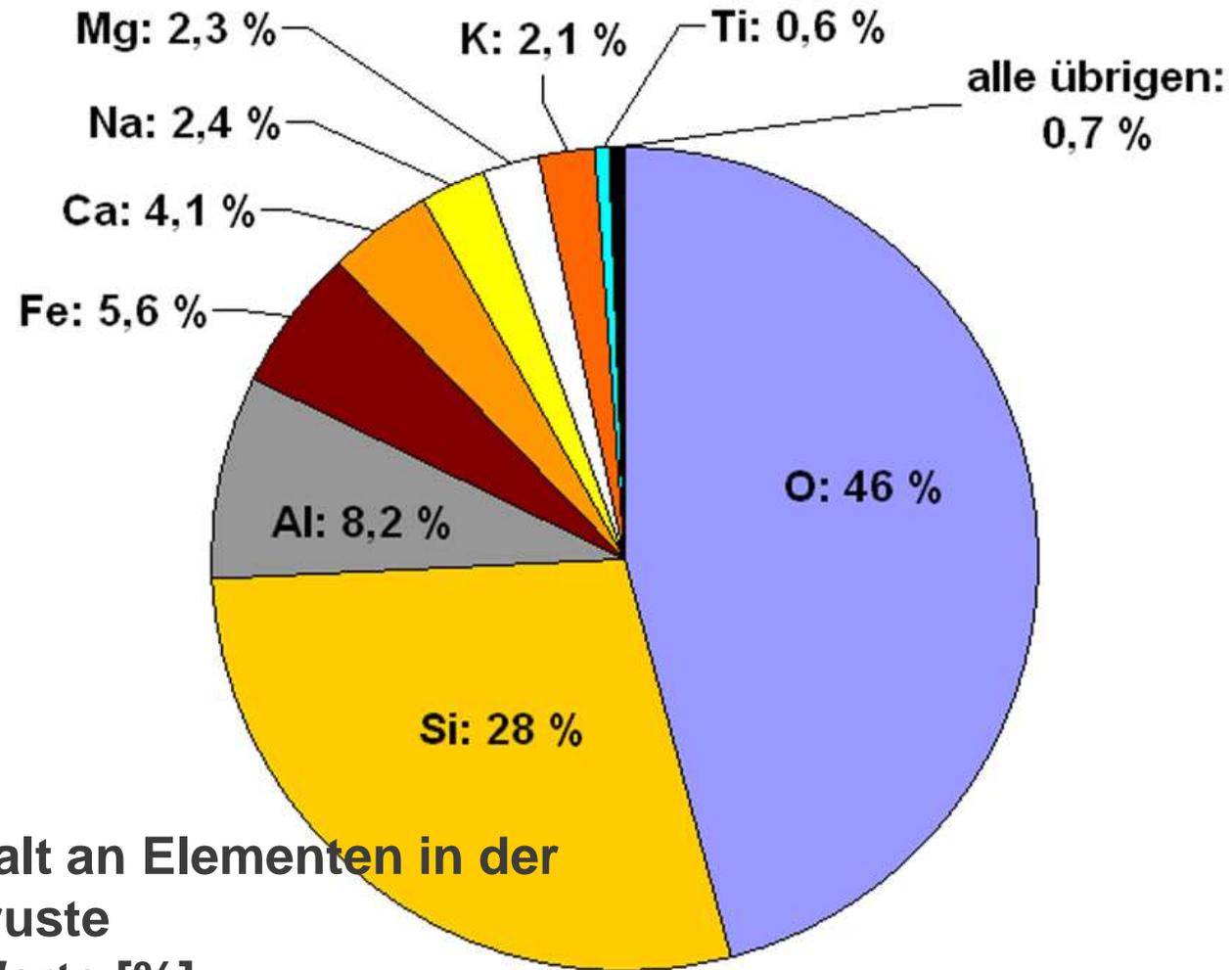


## Die Schichten der Erde



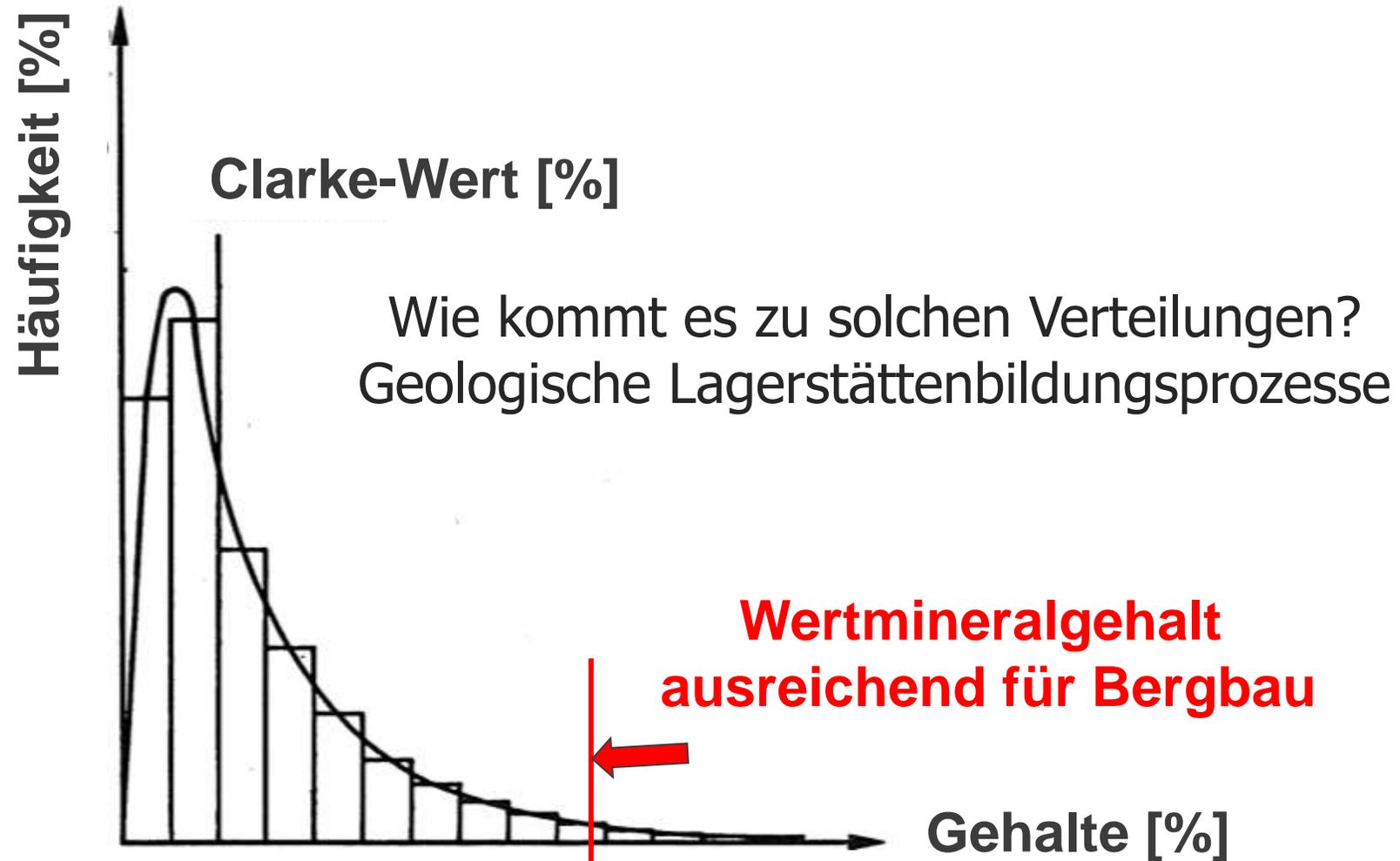
Quelle: „Probing the core's light elements“, Nature

# Verteilung der Gehalte in der festen Erdkruste



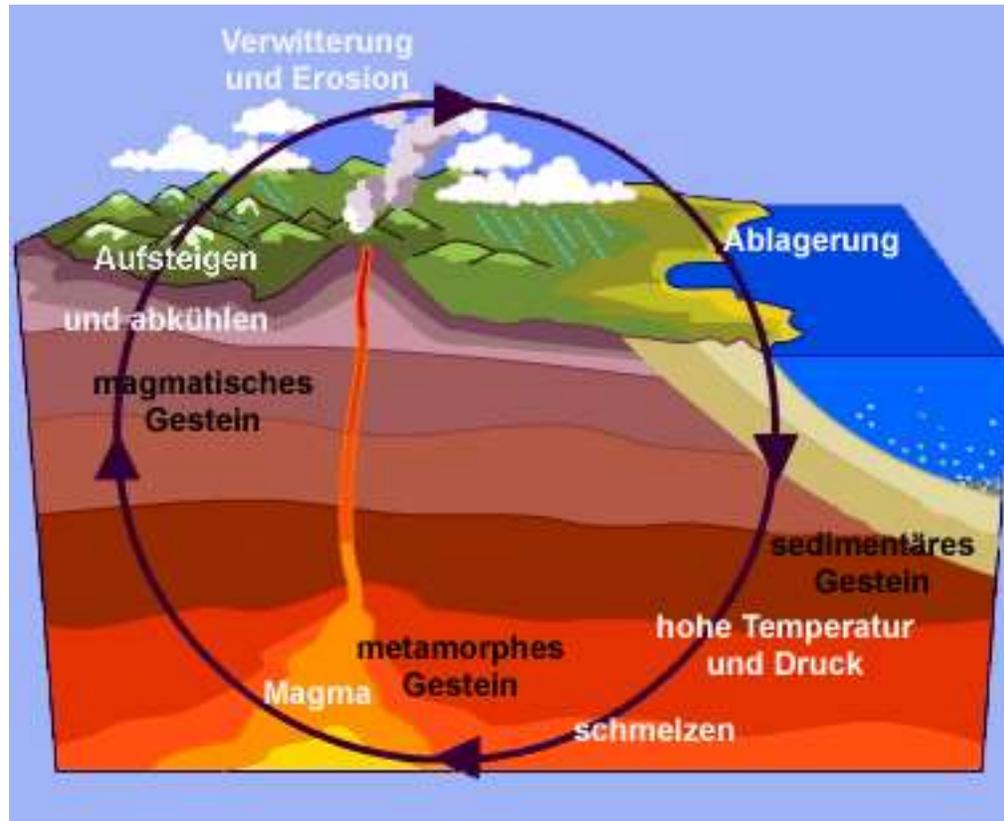
Durchschnittlicher Gehalt an Elementen in der  
Erdkruste  
Clarke-Werte [%]

# Verteilung der Gehalte in der festen Erdkruste



Fettweis, G.: Der Produktionsfaktor Lagerstätte. Glück Auf 1990

# Lagerstättenbildung



Magmatische Prozesse  
Metamorphe Prozesse  
Sedimentäre Prozesse

# Vorkommen- Lagerstätte

- Vorkommen
  - Anreicherung von Wertmineralgehalten
- Lagerstätte
  - Vorkommen mit einem Wertmineralgehalt bei dem sich der Abbau lohnt
  - Erlöse > Kosten
  - Lagerstätte = Teil des Vorkommens

# Lagerstättenparameter

## ➤ Lagerstättenquantität

- Größe der Lagerstättenvorräte

## ➤ Lagerstättenqualität

- Geologische Parameter (Wertstoffgehalte, Zerkleinerungsverhalten, Chemische Zusammensetzung und mineralogisch-petrographische Ausbildung, Aufbereitbarkeit des Rohgutes (Verwachsung, Rohgutfeuchte, verdünnendes Nebengebirge)

## ➤ Lagerstättenbonität

- Zugänglichkeit (Überlagerung, Teufe), Form der Lagerstätte (Einfallen, Streichen, Mächtigkeit, genetisch und tektonisch bedingte Zergliederung, Regelmäßigkeit), Gesteinseigenschaften (Druckfestigkeiten, Abrasivität), Gebirgseigenschaften (Flächengefüge, Gebirgsdruck und -klassifikation), Hydrogeologische Gegebenheiten

# Unterschied Bergbau – andere Industrie

Der Bergbau-Sektor unterscheidet sich wegen der

- Standortgebundenheit
- Lagerstättenerschöpfung
- Verborgtheit von Lagerstätten - Lagerstättenrisiko
- Mobilität des Abbaues



# Gestein und Gebirge

# Gestein

## ➤ Gestein

- Mono- oder polymineralischer fester Stoff
- Kalkstein
- Dolomit
- Granit
- Gneiss
- Porphyr
- etc...



# Gebirge



## ➤ Gebirge

- Summe aus Gestein *und*
- Diskontinuitäten (Klüfte, Gefüge)
- Wasser
- Gase
- Spannungszustände

# Gesteins- und Gebirgseigenschaften

## ➤ Gesteins-eigenschaften

- Festigkeitswerte
  - Druck-, Zug-, Scherfestigkeit
- Verformungseigenschaften
- Abrassivität
- Lös-(Gewinn)barkeit

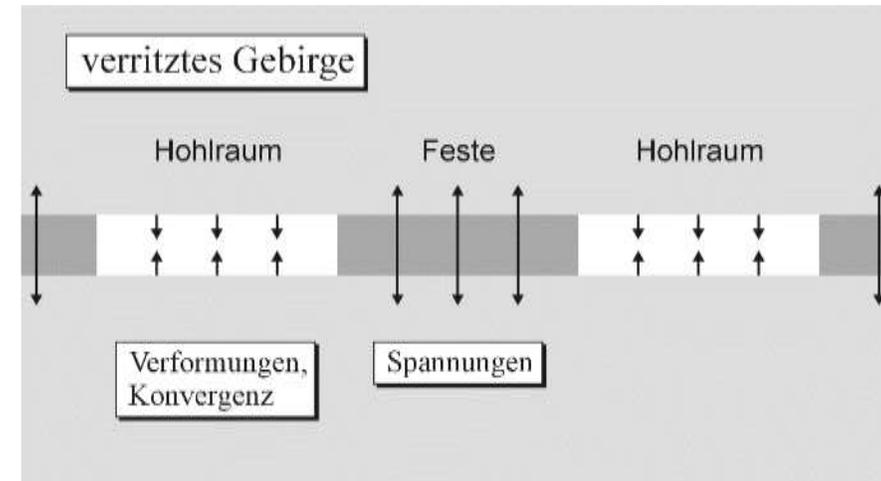
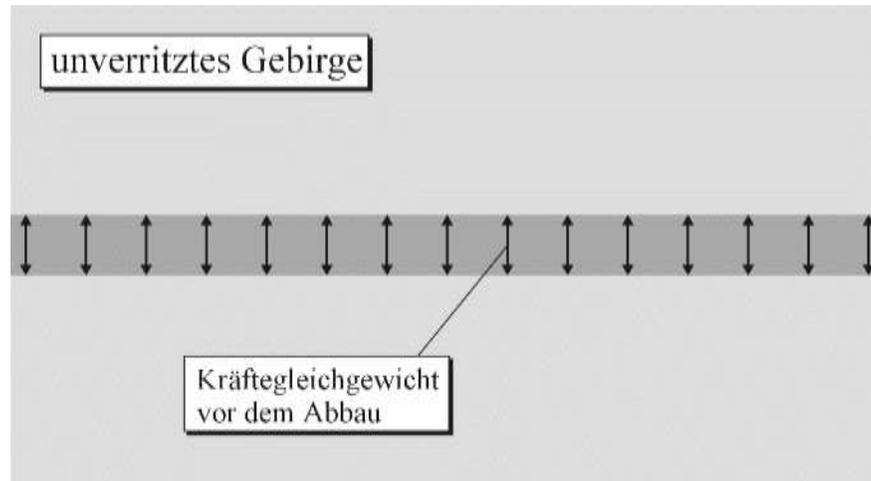
## ➤ Gebirgs-eigenschaften

- Festigkeit
- Verformungseigenschaften
- Klüftigkeit/  
Trennflächengefüge (Zahl,  
Orientierung, Verwitterung,  
etc.)
- Wasserführung
- Gasführung
- Temperatur

# Bergbau und Gebirge

- Festigkeits- und Verformungseigenschaften des Gebirges
- Gebirgsspannungen
  - Primär- (Teufen-) spannung
  - Sekundäre (induzierte) Spannungen
- Gebirgstemperatur
  - Geothermische Tiefenstufe

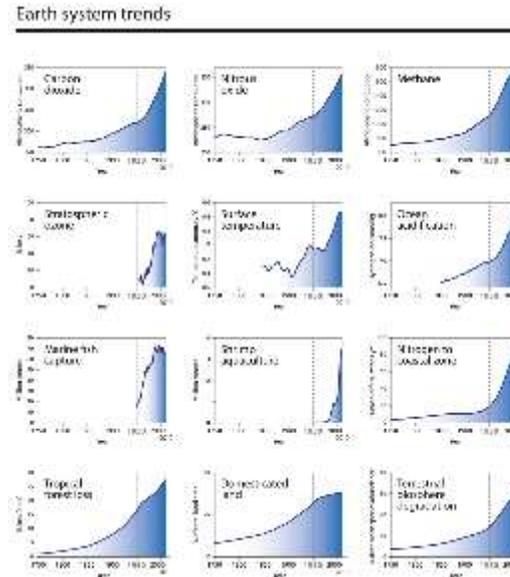
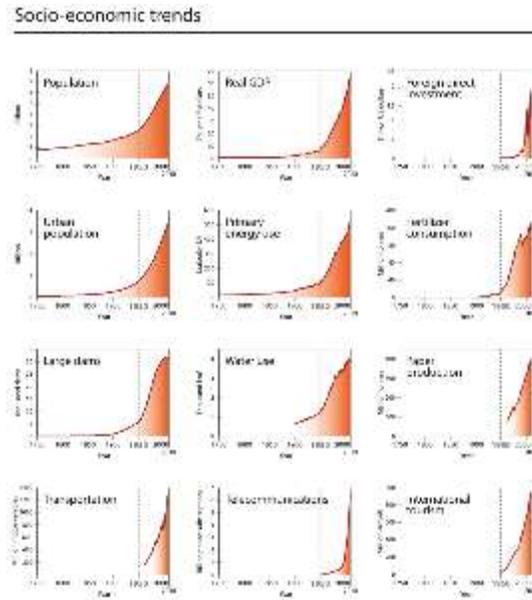
# Gebirgsmechanik: Gebirge und Abbau



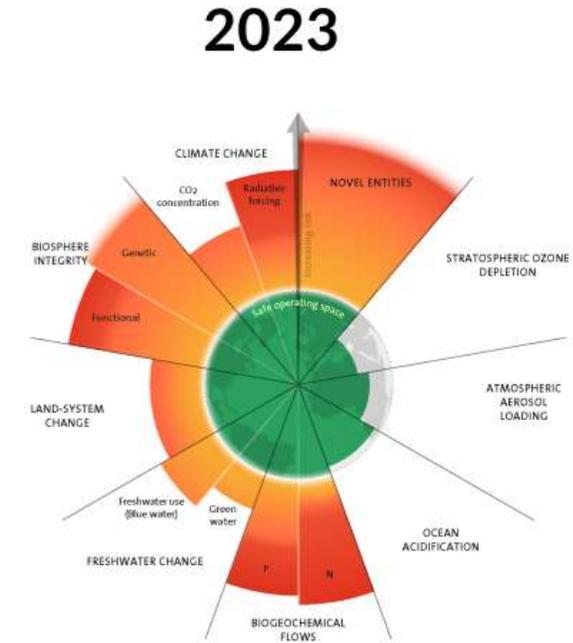


# Nachhaltigkeit und Bergbau

# Nachhaltigkeit – Entwicklung innerhalb der Planetaren Grenzen



Steffen et al. 2015



6 boundaries crossed

Richardson et al. 2023

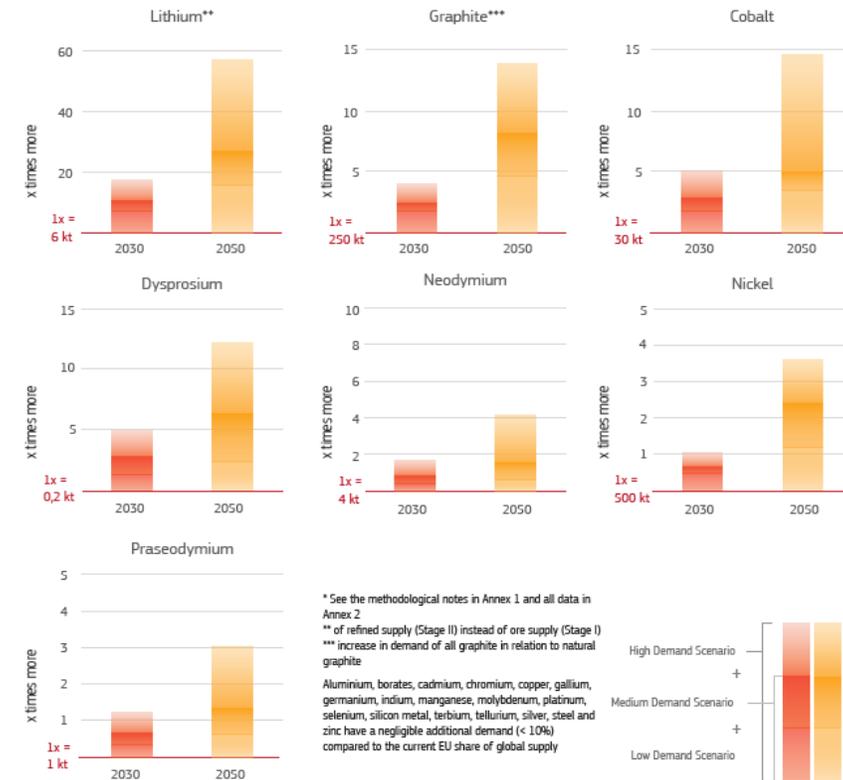
# Die Rolle des Bergbaus in der Nachhaltigkeitstransformation

- Erhöhter Bedarf für bestimmte Rohstoffe (zB Li)
- Kein Bedarf mehr für andere (zB Kohle)
- Bergbaufirma vs. Rohstofffirma
- Bergbau für Luxusprodukte?



Source: <http://www.boliden.com>

Additional material consumption batteries, fuel cells, wind turbines and photovoltaics in renewables and e-mobility only in 2030/2050 compared to current EU consumption\* of the material in all applications



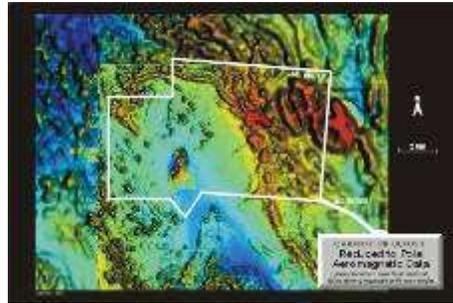
EC 2020



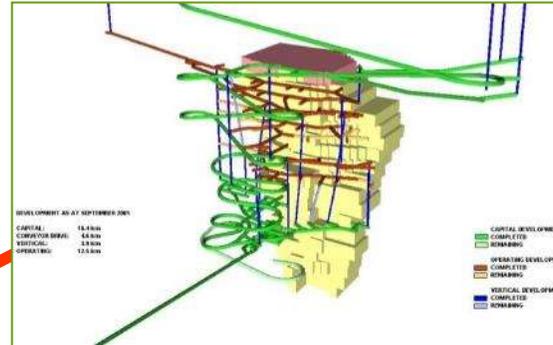


## Stufen im Leben eines Bergbaus (2. Teil)

# Abschnitte im Leben eines Bergbaues



**EXPLORATION**  
1-10+ Jahre



**Aufschluss**  
2-10+ Jahre



**Abbau und  
Aufbereitung**

5-20+ Jahre



**PROSPECTING**  
1-2+ Jahre



**REHABILITATION**  
2-3+ Jahre



# Abschnitte im Leben eines Bergbaues

- Prospektion
  - Mögliche Vorkommen an Hand von historischen Daten, Probenahme und visueller Inspektion eruieren
- Exploration
  - Systematische geologische Aufnahme des Vorkommens mit Hilfe von Geophysik, Geochemie...
- Aufschluss
  - Zugänglichmachen der Lagerstätte
  - Primäre Infrastruktur wie Rampen, Schächte, Abbau von Abraum
- Abbau und Aufbereitung
  - Wahl des Abbauverfahrens
- Rekultivierung
  - Sicherung der Nachnutzung des Bergbaugesbietes

# Exploration

- Die laufende Suche nach Lagerstätten ist notwendig um
  - abgebaute Lagerstättenteile zu ersetzen
  - Nachfrage nach Rohstoffen abzudecken
- Lebenszyklus eines Bergbaus
  - Exploration: 5-10 Jahre
  - Aufschluss: 3-7 Jahre
  - Produktion: 15-50 Jahre und mehr
- Typische Vorlaufzeit neuer Bergwerke: 10-15 Jahre

# Exploration

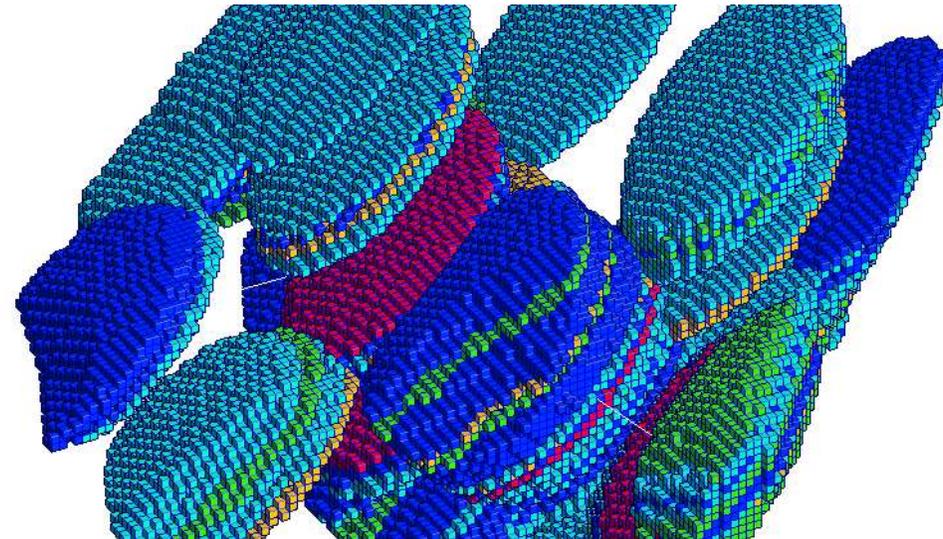
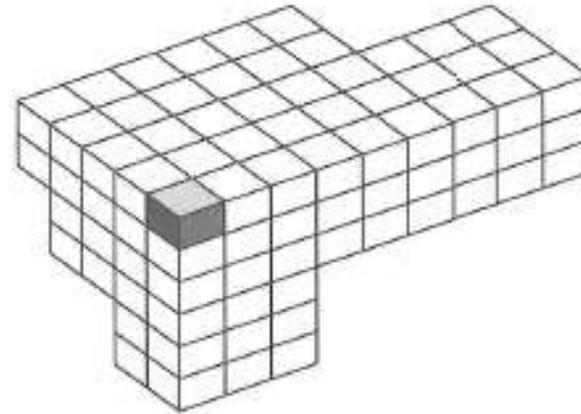
- Explorationsbohrungen (Kernbohrungen)
- Geophysikalische Untersuchungen
  - Seismik
  - Magnetische und elektrische Verfahren
  - Gravimetrie
  - Etc..



Rio Tinto, EIT Raw Materials

# Lagerstättenmodellierung

- Geostatistik
  - Blockgrößen
  - Gehalte
  - Cut off Grades
  - Average Grades
  - Reserven
  - Ressourcen



# Bergbauplanung

Lagerstättenmodell

+

Ökonomisches Modell

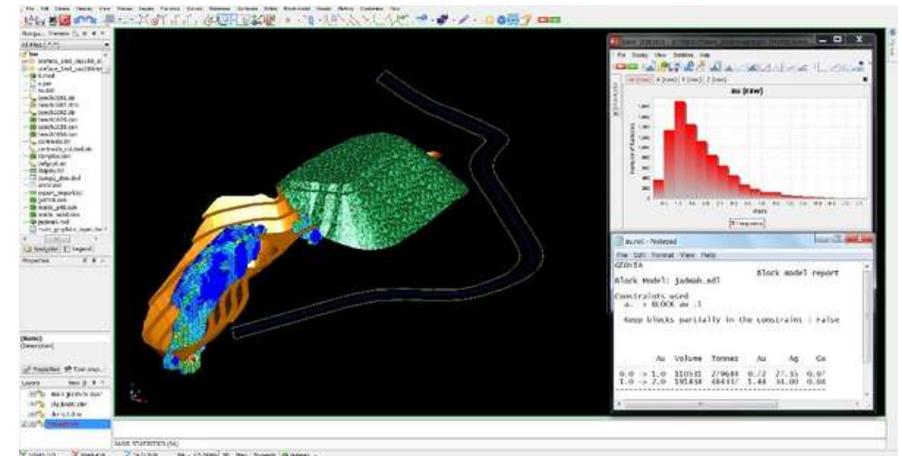
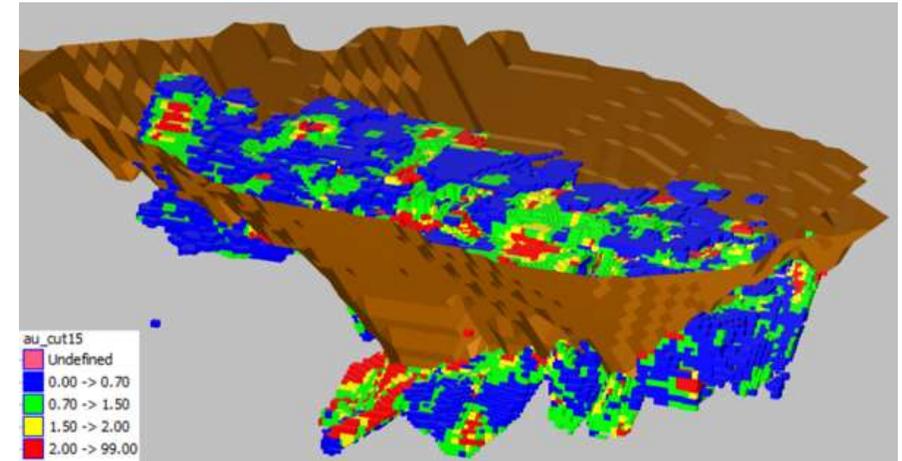
Prozesskosten und Rohstoffpreise, Bergbaukosten,  
Transport, Verkauf, Ausbringen, etc



**Bergbauplan**, incl. Aufschluss, Abbau,  
Schliessung und Nachnutzung (mit Software, zB  
Geovia, Datamine)

- Best case Plan – höchster Net Present Value
- Optimale Abbauraten
- Geometrie – Final pit / pushbacks
- Methode und Equipment Auswahl
- Flexibilität, Qualität, Risiko und Optionen für Änderungen, Nachhaltigkeit

**Betriebspläne** jährlich, Quartal bis zu Schichtplänen



Geovia, 2021



# Verfahrenstechnik im Bergbau

# Grundarbeitsschritte im Bergbau

- Lösen (Zerkleinern)
- Laden
- Fördern
- Sichern (Untertage)



- **LÖSEN** ist das Freisetzen (Zerkleinern) des Lagerstättenminerals
- **LADEN** ist das Aufnehmen des hereingewonnenen Lagerstättenminerals (Hauwerk) durch ein Ladegerät und das Aufgeben auf eine nachgeschaltete Transporteinrichtung
- **FÖRDERN** ist der Transport des Hauwerkes zu betrieblichen Abgabestellen



# Grundarbeitsschritte - Lösen

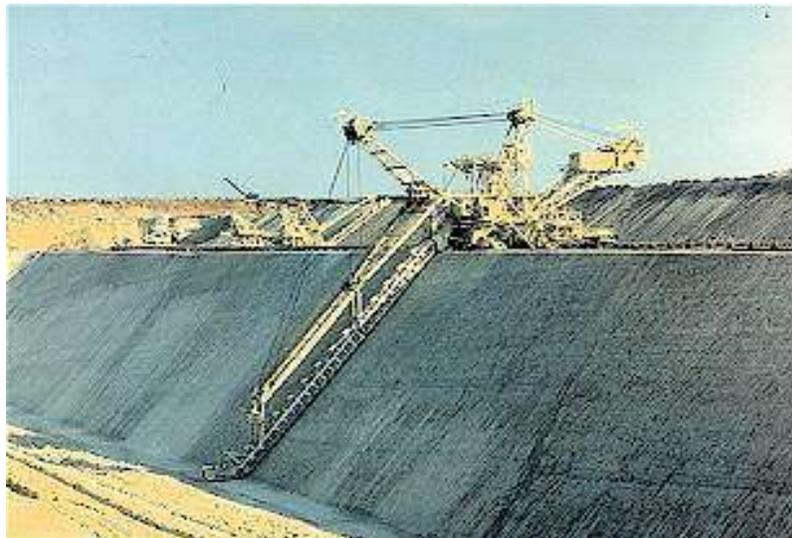
- Freisetzen (Zerkleinern) des Lagerstättenminerals
- Lösen
  - Mechanisches Lösen
  - Lösen durch Bohren und Sprengen



# Hydraulikbagger im Tagebau



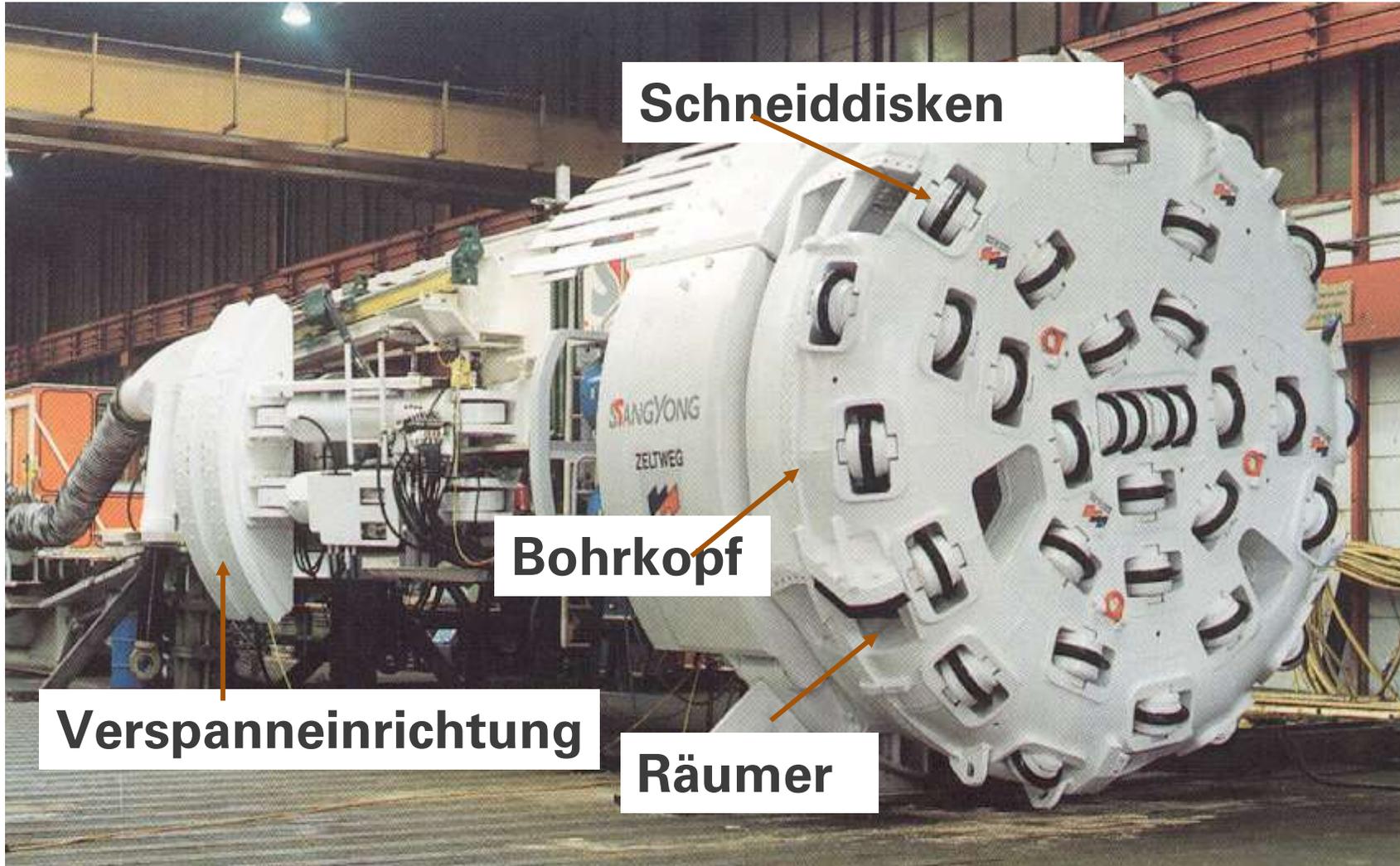
# Schaufelradbagger



# Mechanisches Lösen im Untertagebau

- Vollschnittmaschinen
- Raiseboring Maschinen
- Schachtbohrmaschinen
- Teilschnittmaschinen
- Continuous Miner
- Hobel und Walzenschrämlader im Strebbau
- Kettensägen, Schlaghämmer...

# Vollschnittmaschinen



# Continuos Miner



# Mechanische Gewinnung im Strebbau

Hobelanlage



Walzenschrämlader

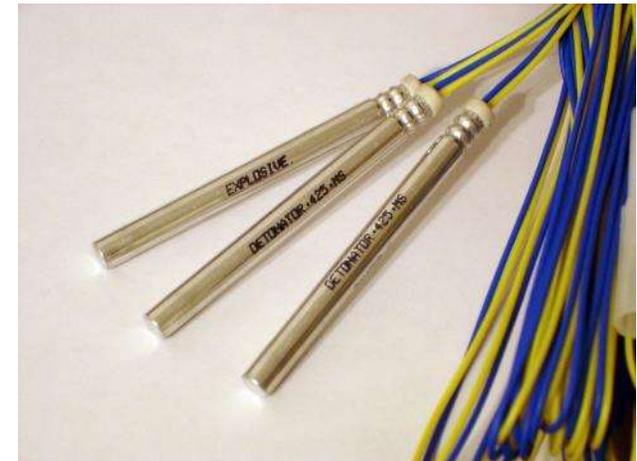


# Grundarbeitsschritte – Lösen durch Bohren und Sprengen

- Vorwiegend Festgestein
- Sprengstoff in Bohrlöcher eingebracht
- Ziele der Sprengarbeit
  - Sicherheit
  - Hauwerk mit bestimmter Korngrößenverteilung
  - Bruchwandstabilität
  - Genauer Ausbruchrand
  - Einhalten Grenzwerte (Emissionen)

# Grundarbeitsschritte – Lösen durch Bohren und Sprengen

- Sprengstoffe
  - Mischung verschiedener Bestandteile (z.B. Ammoniumnitrat und Diesel (Brennstoff))
- Zündmittel
  - Sicheres und effizientes Zünden von Sprengladungen
  - Sprengkapsel
    - Elektrische Zündung
    - Elektronische Zündung
    - NONEL Zündung
    - (Zeitzündschnurzündung)



# Grundarbeitsschritte - Laden

- Aufnehmen des hereingewonnenen Lagerstättenminerals (Hauwerk) durch ein Ladegerät und das Aufgeben auf eine nachgeschaltete Transporteinrichtung
  
- Typische Lademaschinen
  - Radlader
  - Hydraulikbagger
  - Ladeeinrichtung mit Hummerscheren oder Sterngreifern
  - Schrapper
  - Greifer
  - ...

# Ladetechnik

## Hydraulikbagger und Radlader



# Seilgesteuerter Löffelbagger



43 m<sup>3</sup> Schaufelgröße

Bagger sehr großer Bauart: an Stelle von Hydraulikzylindern werden Seilwinden eingesetzt

# Fördertechnik

## ➤ Fördern

- Transport des Hauwerkes zu betrieblichen Abgabestellen

## ➤ Fördergut

- Schüttgut: Wertmineral, Abraum, Versatz
- Stückgut (Material)
  - Werksteine
  - Arbeitsmaterial (Werkzeuge, Arbeitsstoffe, Ausbau,..)

## ➤ Personen

## ➤ Wasser, Wetter (Luft), Energie

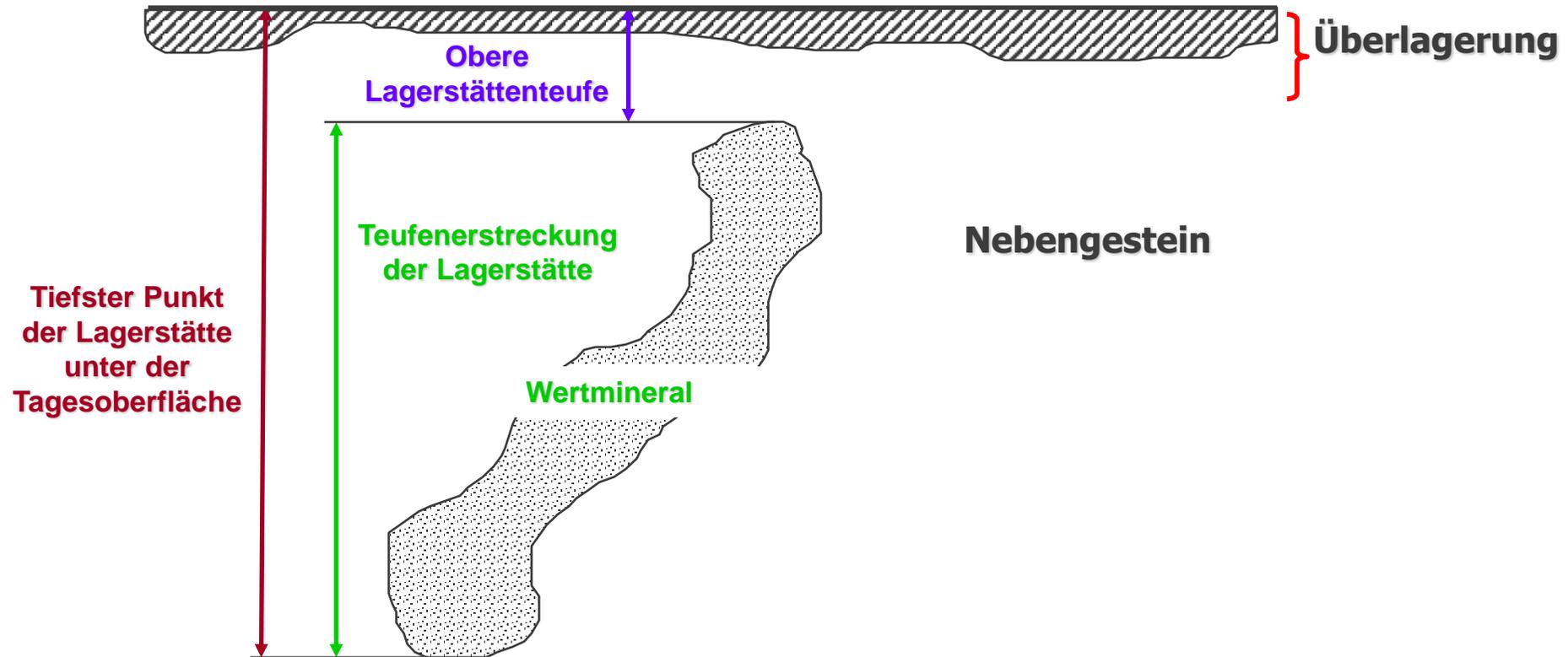
# Aufbereitung

- Üblicherweise liegt das Rohgut, das der Bergbau produziert in so einer Qualität (Zusammensetzung) vor, dass es nicht direkt an einen Kunden verkauft werden kann
- Das Ziel der Aufbereitung ist daher, das Rohgut in eine Form zu bringen, dass es weiter verkauft werden kann
- Die Bedeutung der Aufbereitung hat in den letzten Jahren zugenommen
  - Abnehmende Rohgutgehalte
  - Zunehmende Bedeutung von Verunreinigungen
  - Gesteigerte Anforderungen an Rohgutqualität
  - Umweltaspekte

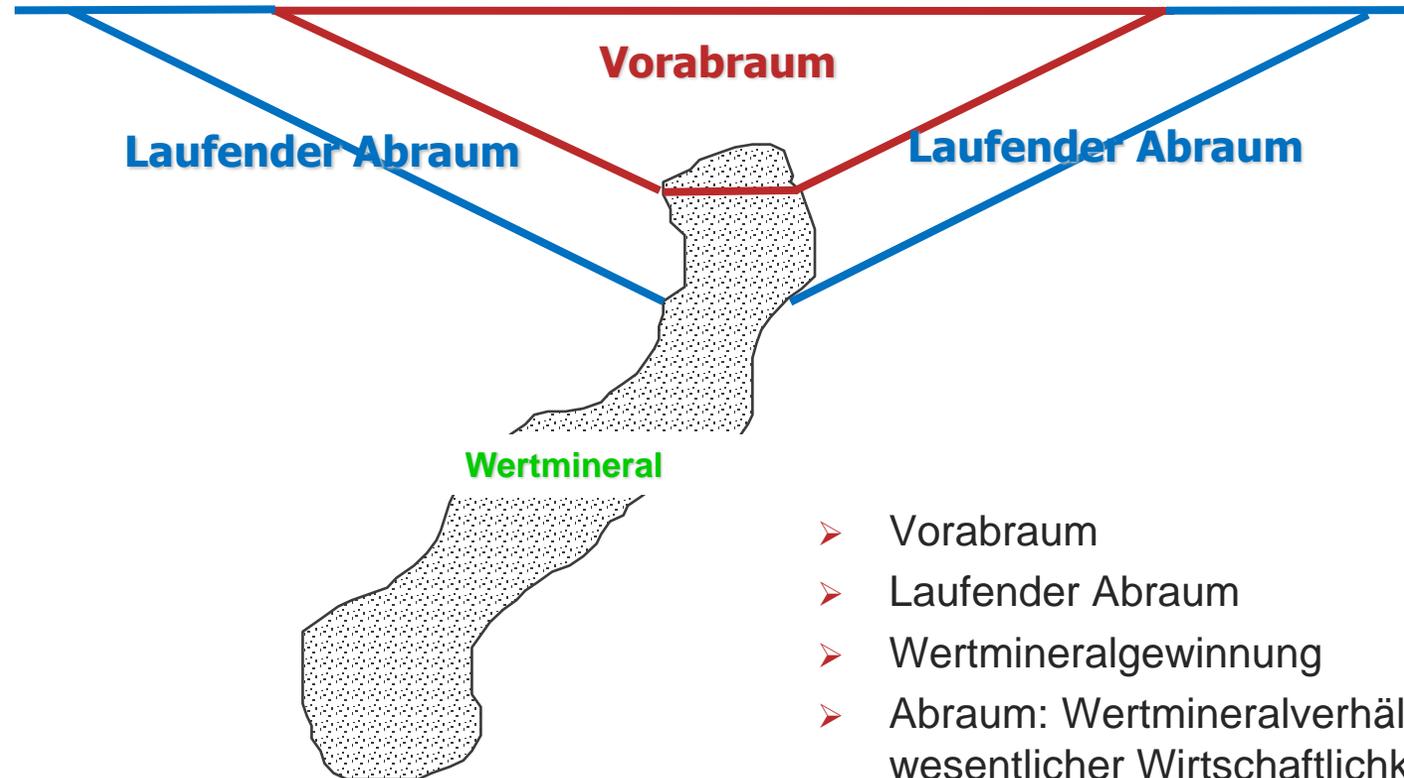


# Tagebau - Unter Tagebau (Tiefbau)

# Lagerstätte und Teufenbegriffe

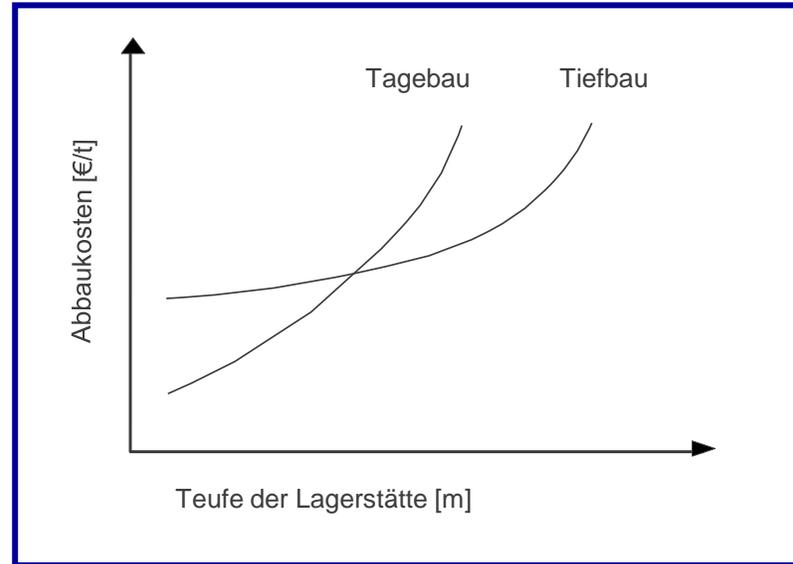


# Vorabraum – Laufender Abraum - Wertmineral



- Vorabraum
- Laufender Abraum
- Wertmineralgewinnung
- Abraum: Wertmineralverhältnis als wesentlicher Wirtschaftlichkeitsparameter des Tagebaus (Abraum-Wertmineralverhältnis = Stripping Ratio)

# Abgrenzung Tagebau - Tiefbau



- **Über Tage** - Produktivitäten von bis zu 150.000 [t/Personenjahr] (bezogen auf Abbaubelegschaft)
- **Unter Tage** erzielbare Höchstproduktivitäten zwischen 30.000 [t/Personenjahr] – max. 50.000 [t/Personenjahr]
- Das Kostenverhältnis zwischen der Gewinnung über Tage und unter Tage liegt bei 1:5 bis 1:10

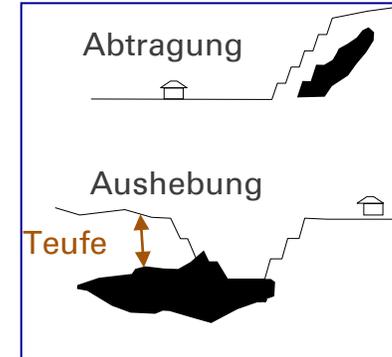


# Abbau im Tagebau

# Abbauarten im Tagebau

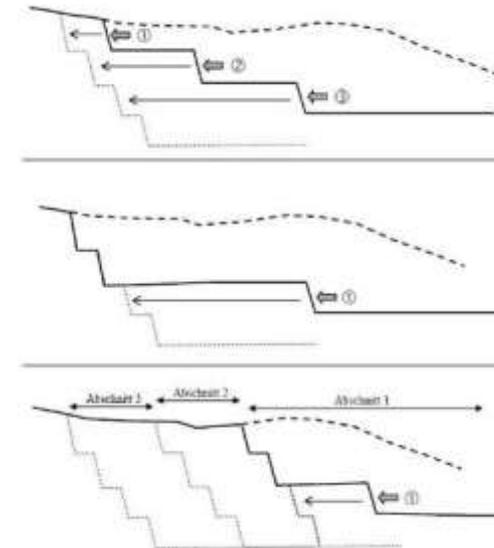
## ➤ Prinzipielle Unterscheidung

- Aushebung
- Abtragung



## ➤ Einteilung auf Basis der räumlichen Abbaubewegung

- Mehretagenbau
- Etagenbau in Scheiben
- „Push-back“



# Einführung in den Tagebau



# Umweltauswirkungen

- Landverbrauch
- Biodiversität
- Wasser
- Staub
- Lärm
- Erschütterungen
- Sprengschwaden



# Schließung und Rekultivierung

Vorher



Nachher



# Vor- und Nachteile von Tagebau

## ➤ Vorteile

- Geringe Abbauverluste
- Große Standortleistung
- Große Produktivität
- Geringe Belastung der Arbeitskräfte
- Sicherheit

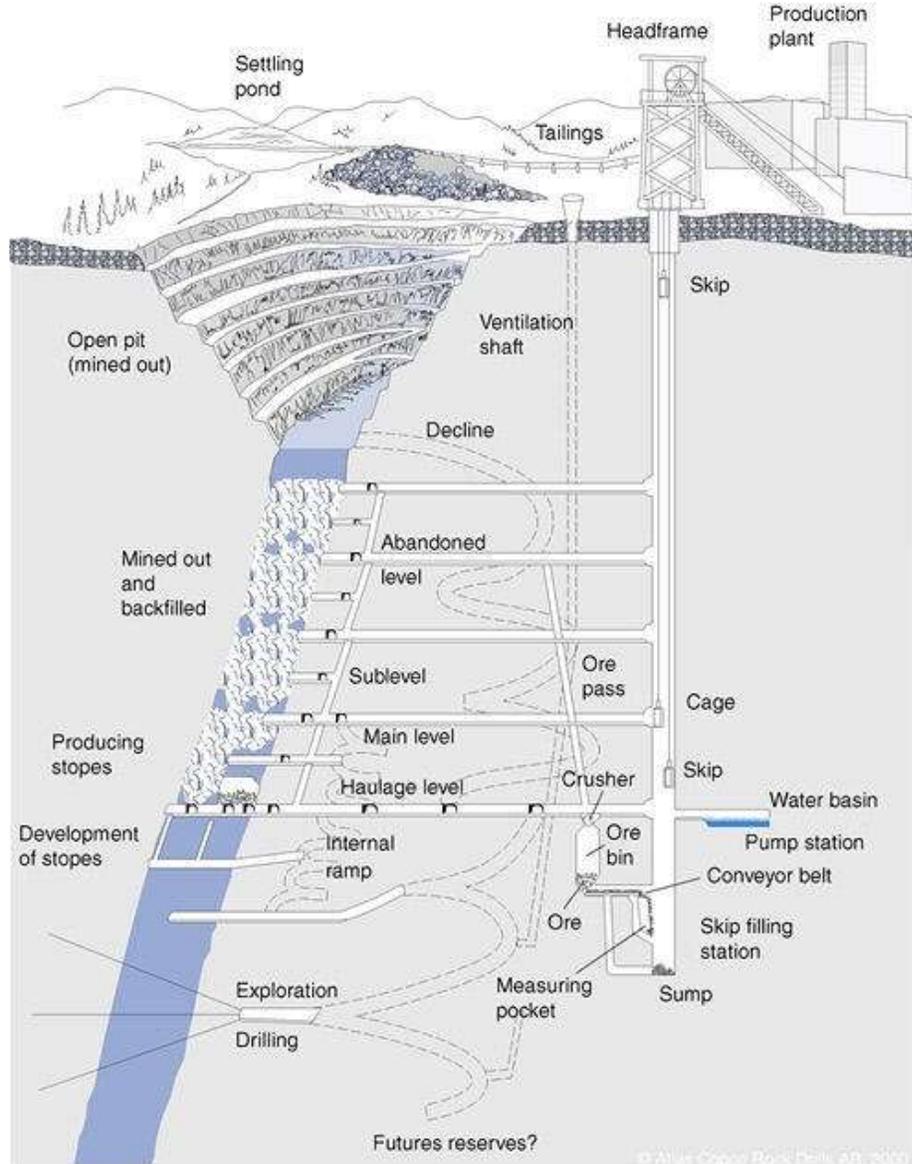
## ➤ Nachteile

- Teilweise enorme Volumina an Abraum – Haldenwirtschaft
- Wetter/Klima-abhängig
- Kontakt zur Bevölkerung/Umwelt
- Umweltauswirkungen



# Abbau unter Tage

# Teilbereiche eines untertägigen Bergwerkes



Tagebauanlagen

## Aufschlussbaue (Hauptzubau)

- Schacht
- Schrägschacht
- Schrägstrecke (Rampe, Wendel)

## Sohlenausrichtung

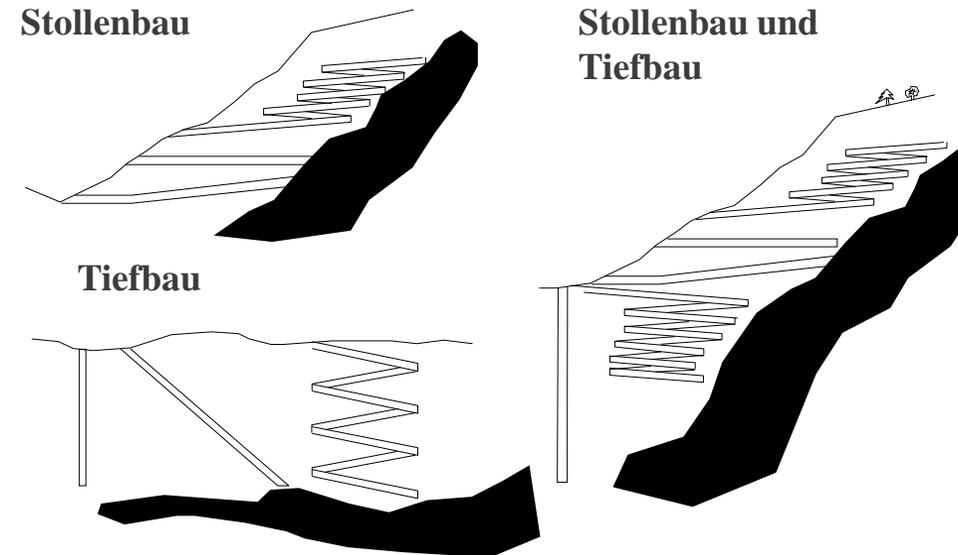
- Hauptsohlen
- Teilsohlen
- Sohlenverbindungen

vielfach mehrere 100 km Strecken

# Teilbereiche eines untertägigen Bergwerkes

## ➤ Aufschluß- und Ausrichtung

- Zugänglichmachen der Lagerstätte von über Tage aus durch Stollen, Strecken oder Schächte
- Einteilen in Abbauabschnitte
- mindestens 2 Tagzugänge



# Teilbereiche eines untertägigen Bergwerkes

## ➤ **Abbautätigkeit**

- Lösen des Gebirges (Bohren und Sprengen oder mechanische Gewinnung)
- Laden (Wegladen)
- Fördern (Abfördern)
- Ausbauen (Sicherheit)

## ➤ **Nebentätigkeit**

- Wetterführung (Belüftung)
- Wasserhaltung
- Energieversorgung, Kommunikation, Datenmanagement

# Grundarbeitsschritt - Sichern

- Ablauten zum Entfernen von losem Gestein



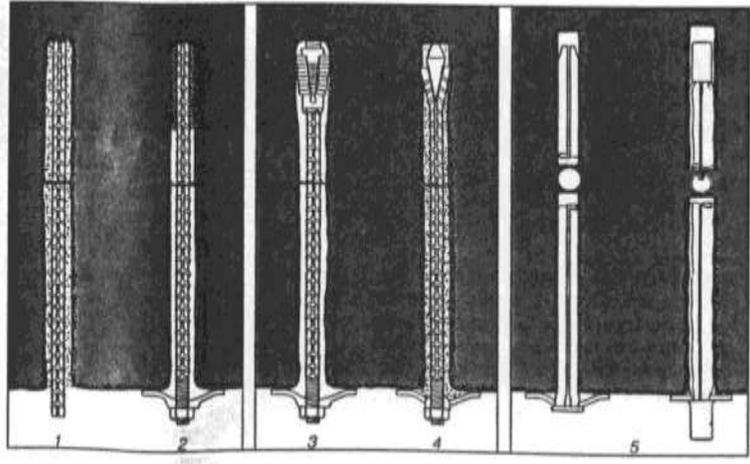
# Grundarbeitsschritt - Sichern

- Anbringen von Metallgittern
- Verwendung von Spritzbeton



# Grundarbeitsschritt - Sichern

- Einbringen von Ankern
- Einbringen von Stahlbögen

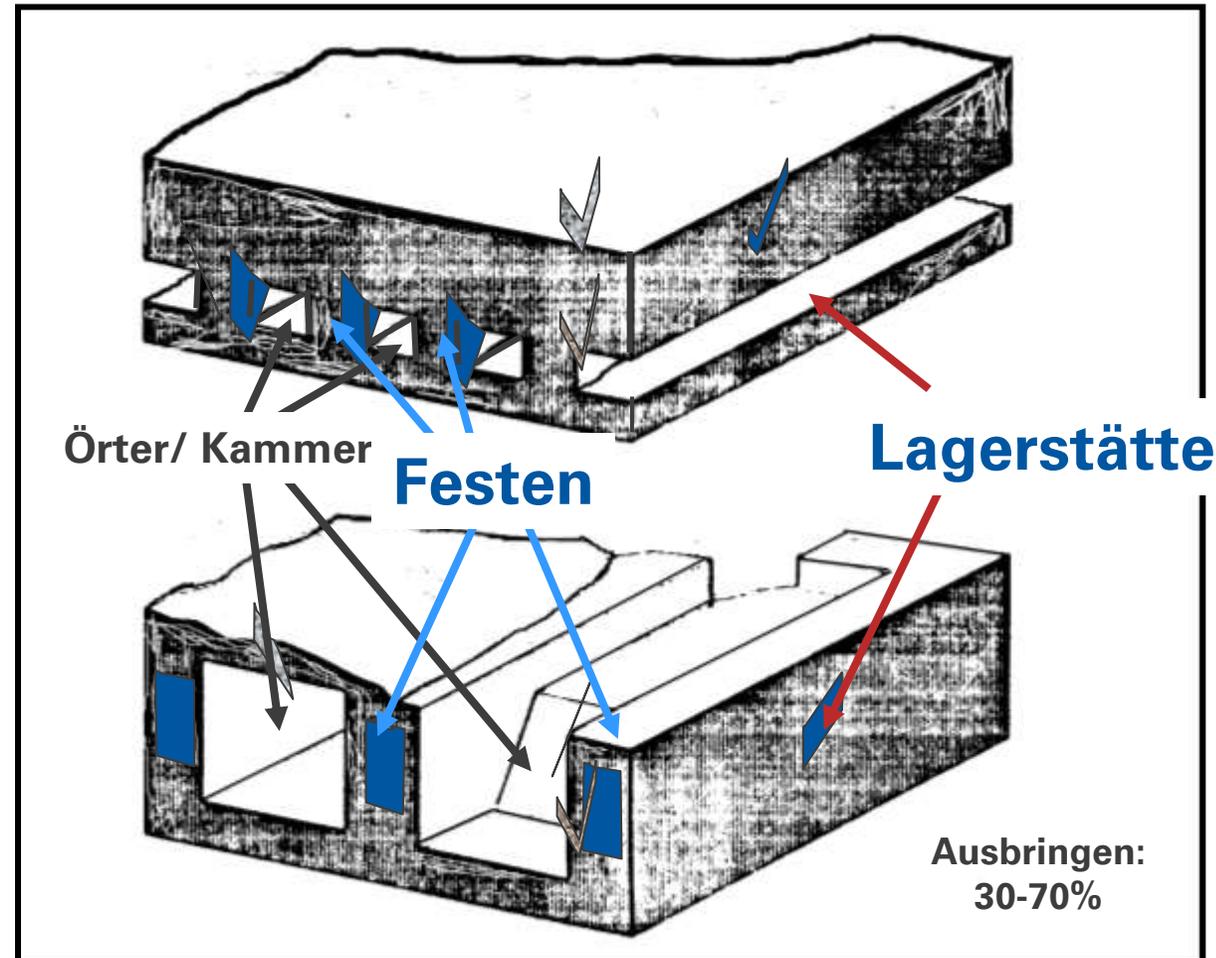


# Abbaumethoden

- Festenbau
  - Örterbau
  - Kammerbau
- Bruchbau
  - Teilsohlenbruchbau
  - Blockbruchbau
- Versatzbau
  - Örterbau mit Versatz
  - Kammerbau mit Versatz
  - Firstenstoßbau, Sohlenstoßbau

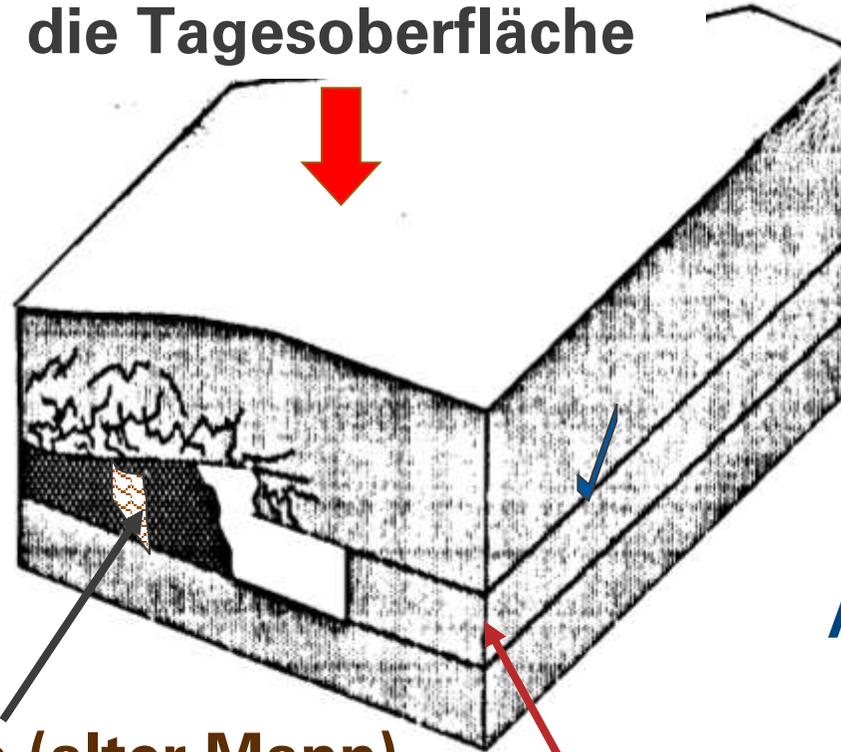
# Festebau

Geringe Einwirkung auf die  
Tagesoberfläche



# Bruchbau

Starke Einwirkung auf  
die Tagesoberfläche



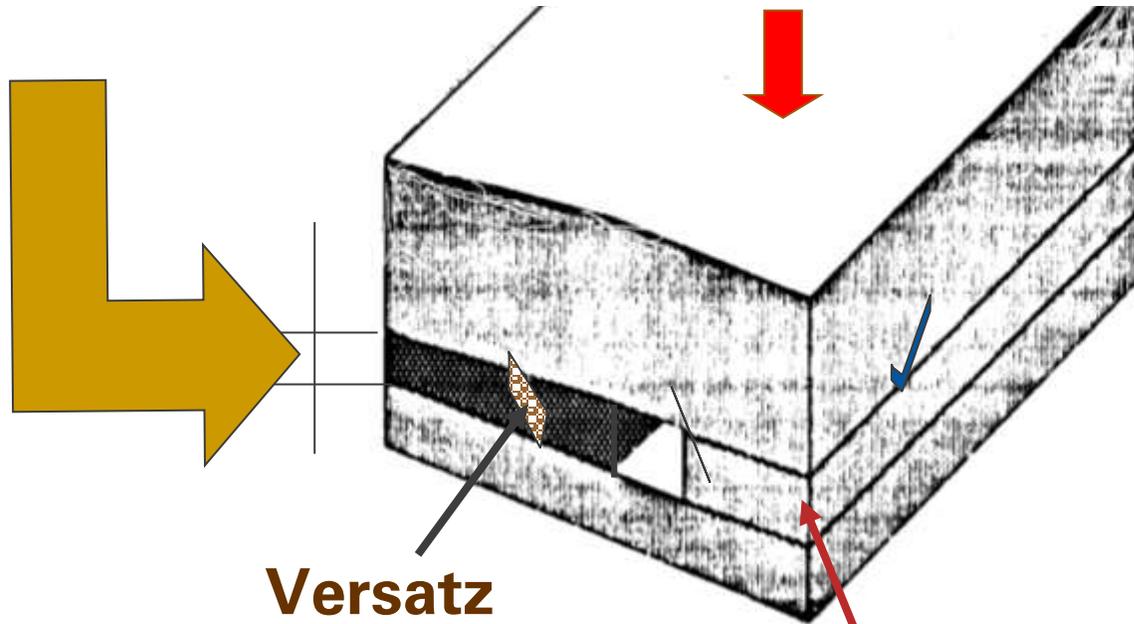
Ausbringen:  $< 80\%$

Bruchraum (alter Mann)

Lagerstätte

# Versatzbau

Einwirkung auf die Tagesoberfläche in  
Abhängigkeit der Eigenschaften des  
Versatzes und des Überlagerungsgebirges



**Versatz**

**Lagerstätte: Ausbringen:  
<80%**

# Versatzbau

- **Versatz:** Material das in Abbauhohlräume eingebracht wird um diese zu versorgen/ stabilisieren bzw. eine Arbeitsebene zu schaffen
  
- **Versatzmaterial:**
  - Taubgestein, Abraummateriale
  - Aufbereitungsabgänge (Feinberge, Grobberge)
  - Sand& Kies
  - Beton (Magerbeton)
  
- **Verfüllungsgrad**
  - Höchstens 50 % des entnommenen (Taub-) Materials da starke Volumenzunahme durch Zerkleinerung

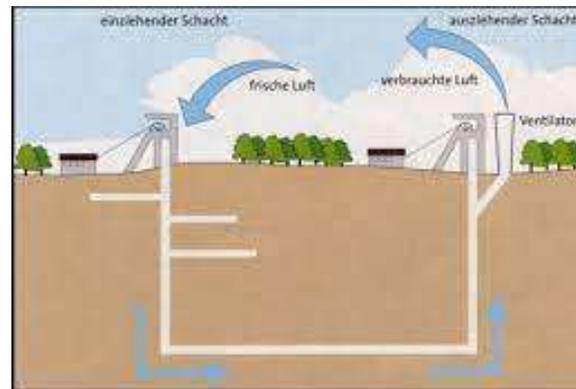
# Belüftung/Bewetterung

## ➤ Aufgaben der Wetterführung

- Zufuhr von Frischluft für Personen und Maschinen
- Verdünnung von schädlichen Gasen
- Kühlung des Arbeitsbereiches

## ➤ Gefahren im Untertagebereich

- Kohlenmonoxid CO
- Kohlendioxid CO<sub>2</sub>
- Schwefeldioxid SO<sub>2</sub>
- Stickoxide NO<sub>x</sub>
- Schwefelwasserstoff H<sub>2</sub>S
- Sauerstoffmangel
- Explosionsgefährliche Gase - Schlagwetter (Methangas CH<sub>4</sub>)



Bewetterung in einem Bergwerk



Glück Auf!