



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

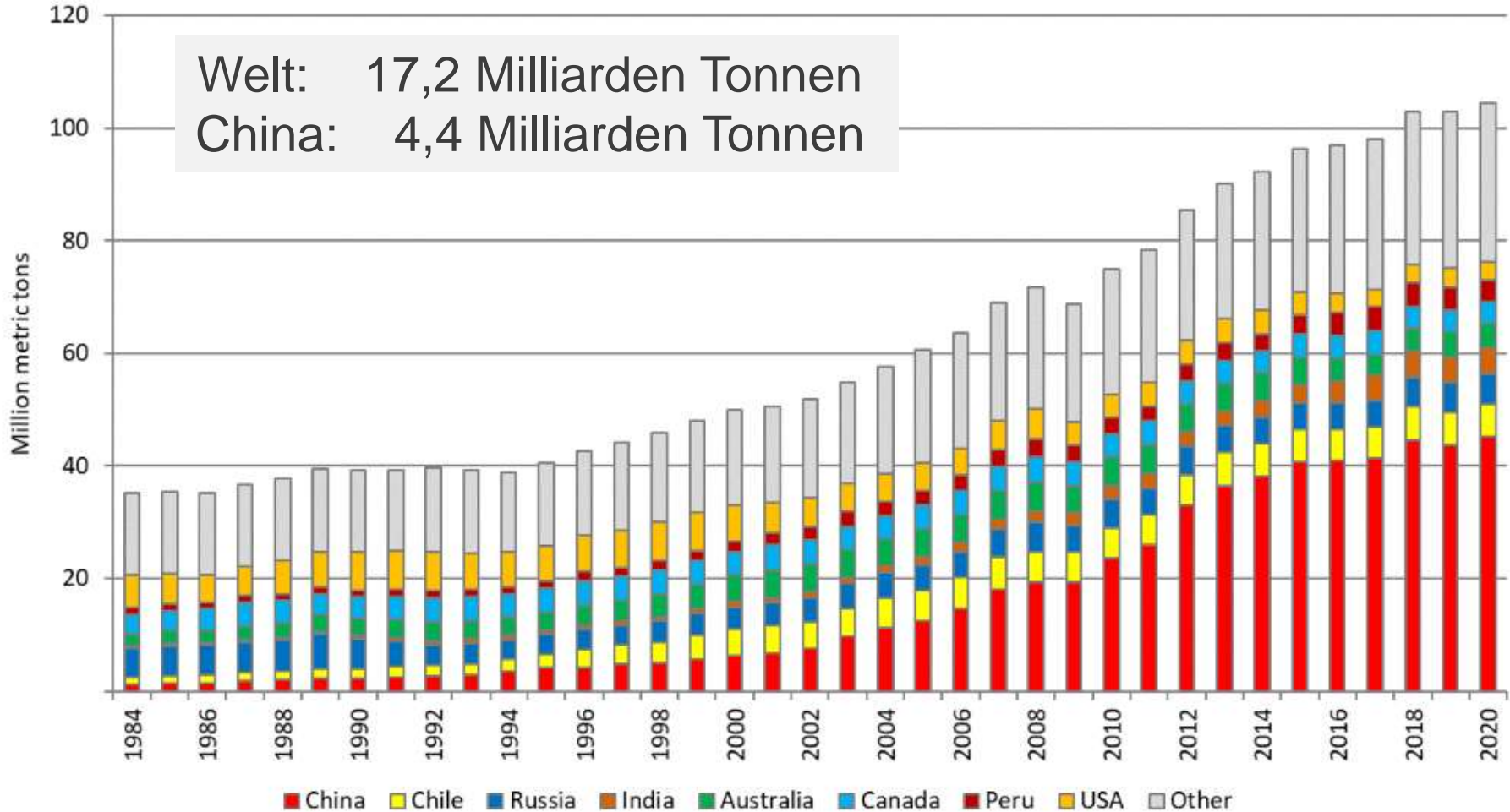
- Erdöl & Erdgas
- Kohle, Uran

➤ (Biorohstoffe: Land- und forstwirtschaftliche Stoffe)

**Nicht- nachwachsende
Rohstoffe**

Nachwachsende Rohstoffe

Bergbauländer



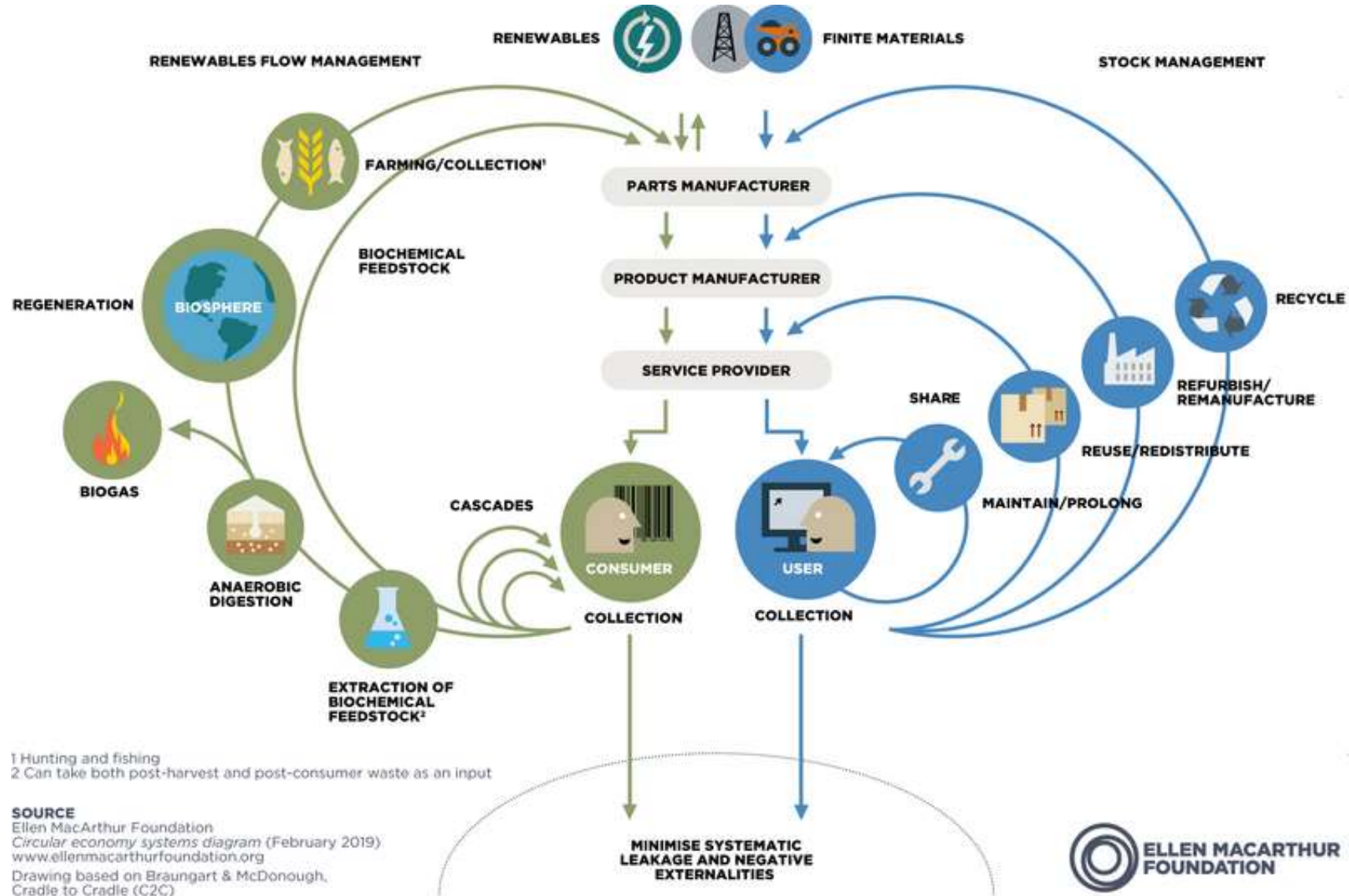
World Mining Data, 2022

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

1 Hunting and fishing
2 Can take both post-harvest and post-consumer waste as an input

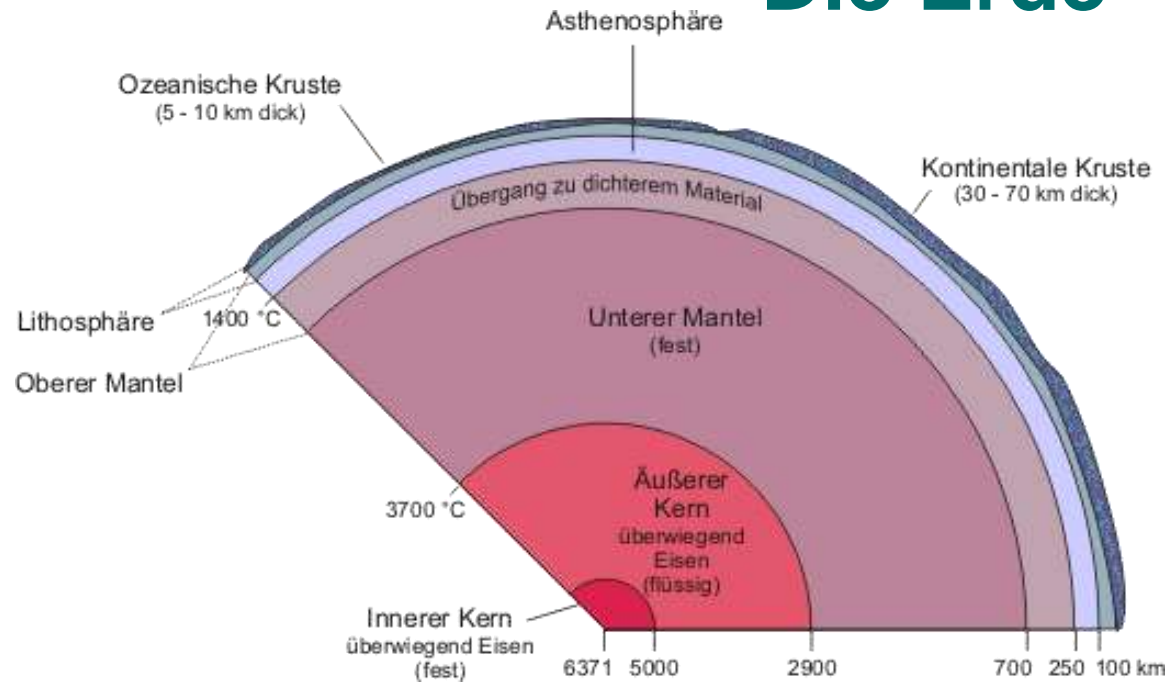
SOURCE
Ellen MacArthur Foundation
Circular economy systems diagram (February 2019)
www.ellenmacarthurfoundation.org
Drawing based on Braungart & McDonough,
Cradle to Cradle (C2C)



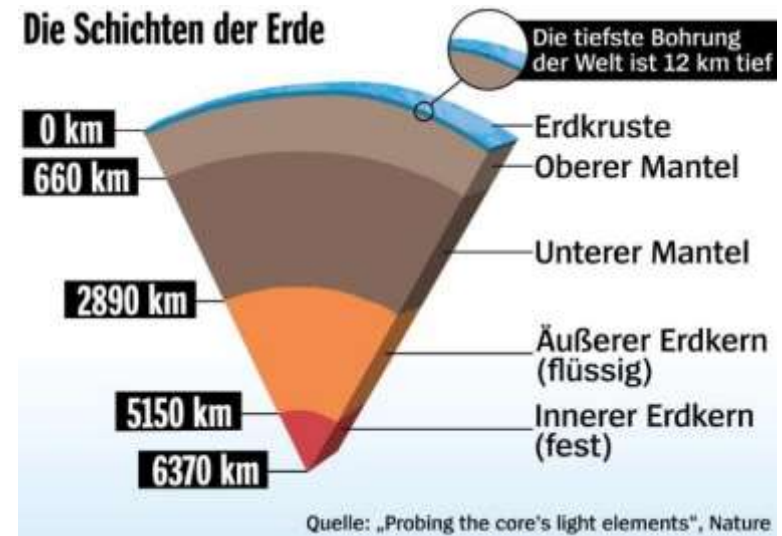


Rohstoffe und ihre Lagerstätten

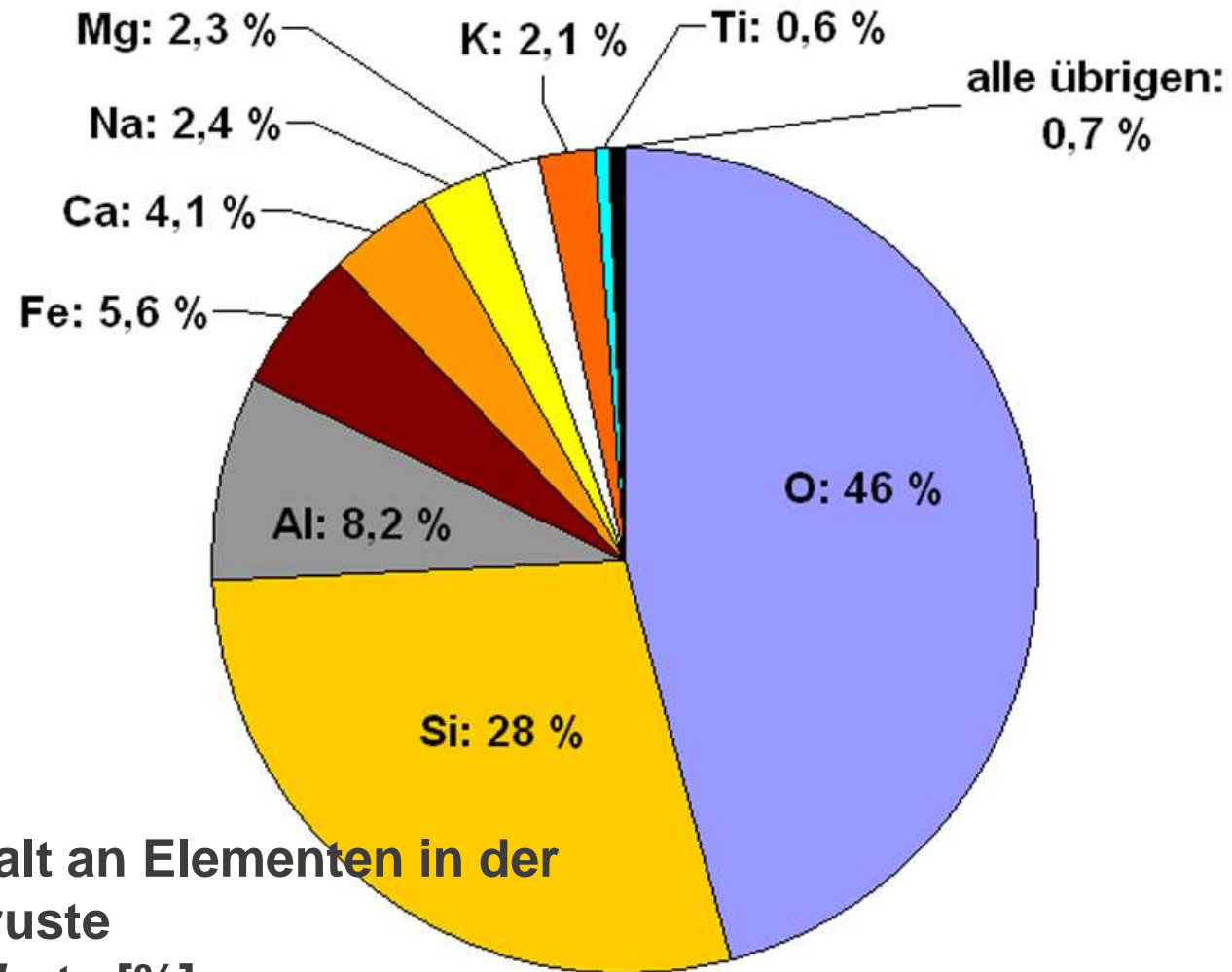
Die Erde



Die Schichten der Erde

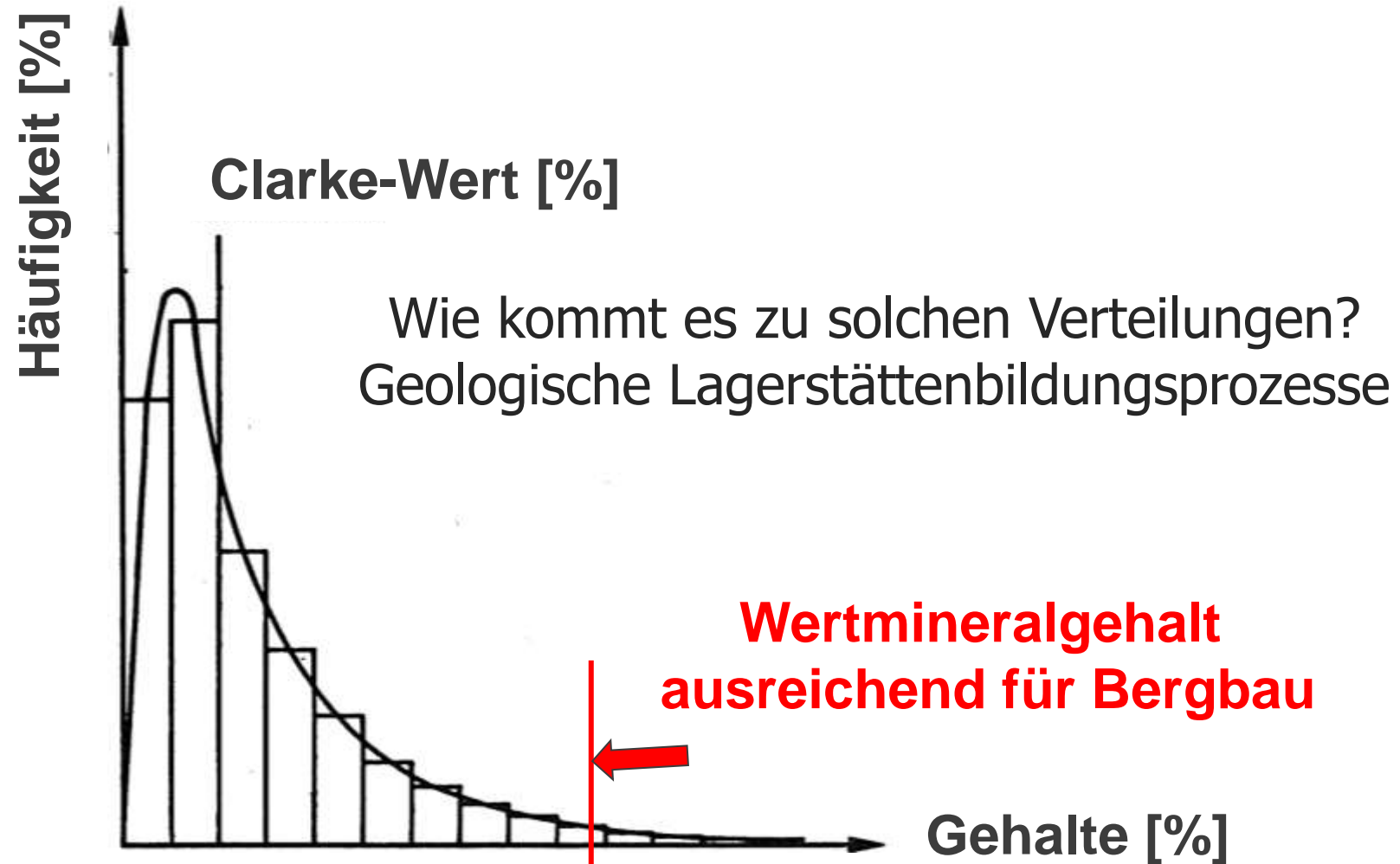


Verteilung der Gehalte in der festen Erdkruste



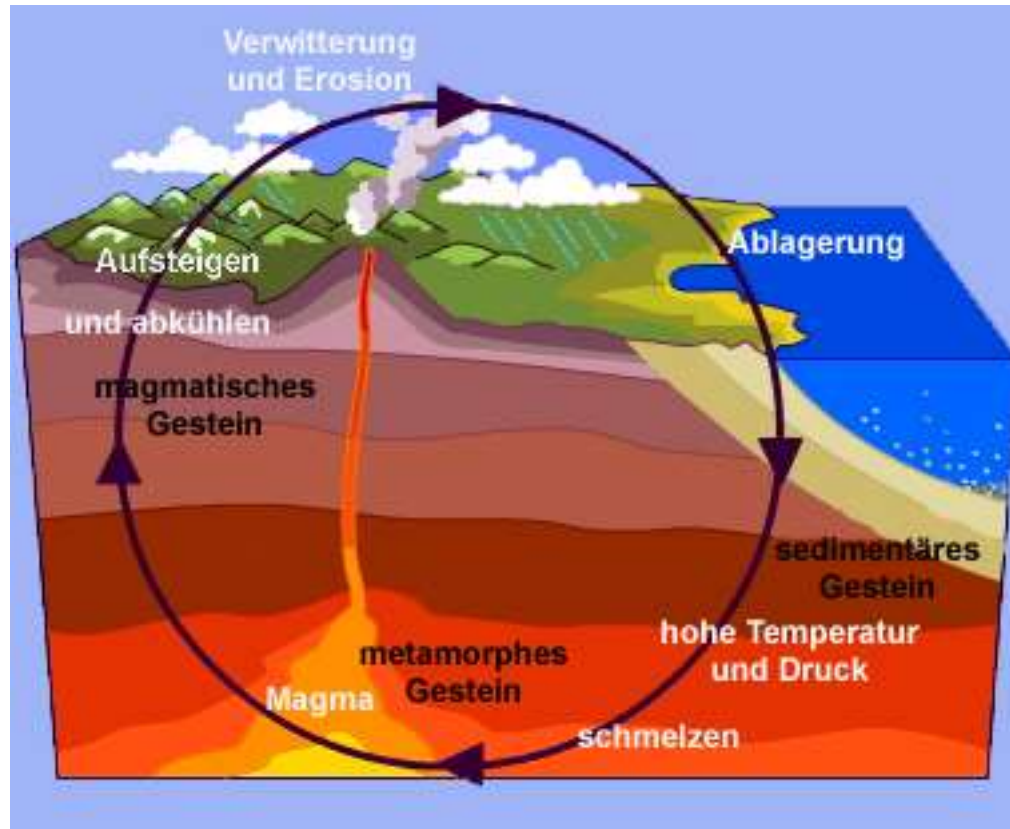
Durchschnittlicher Gehalt an Elementen in der
Erdkruste
Clarke-Werte [%]

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
- Verborgeneheit 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

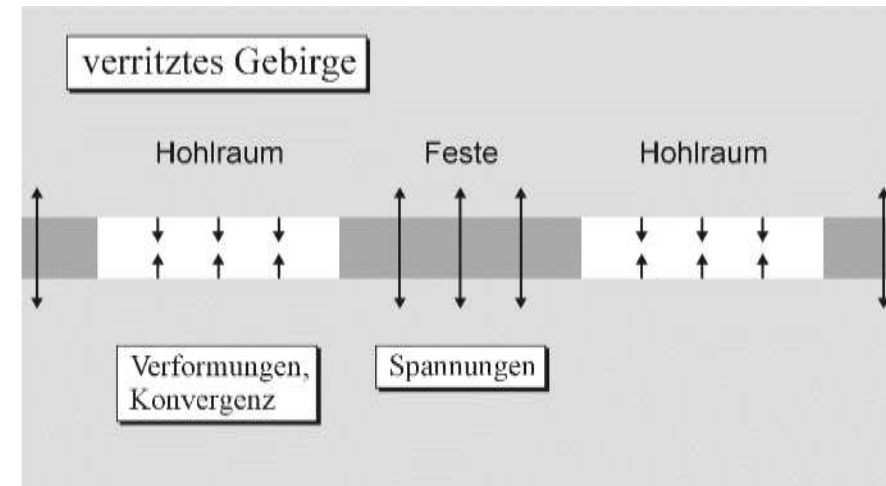
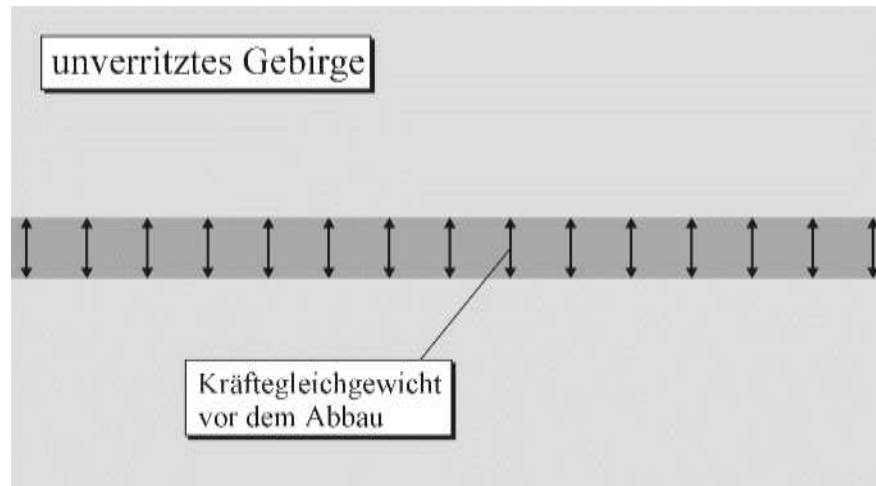
➤ Gebirgs-eigenschaften

- 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

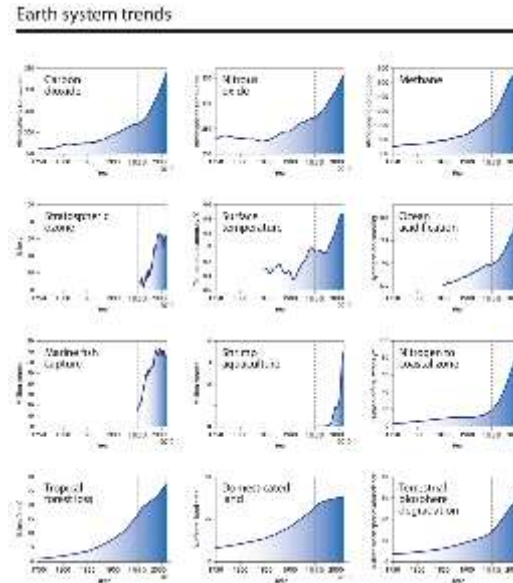
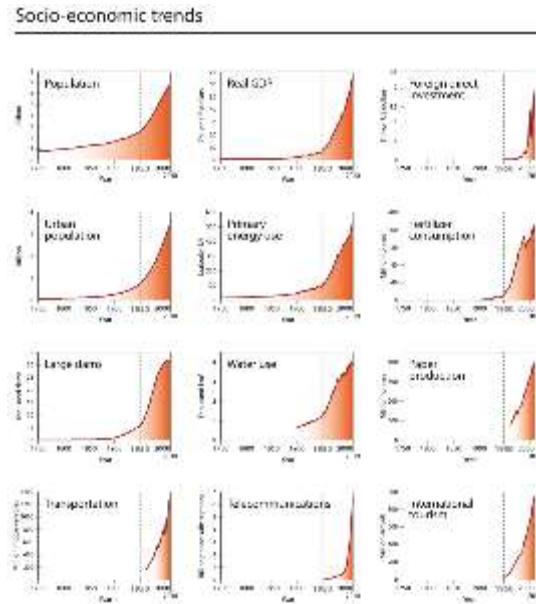
Gebirgsmechanik: Gebirge und Abbau



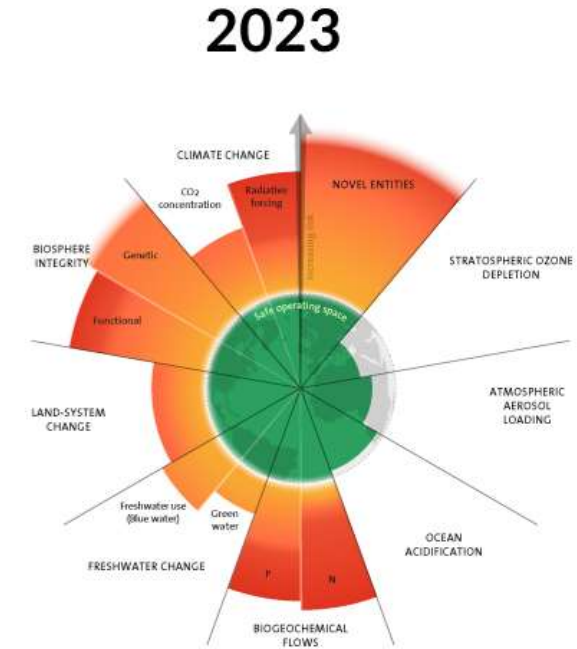


Nachhaltigkeit und Bergbau

Nachhaltigkeit – Entwicklung innerhalb der Planetaren Grenzen



Steffen et al. 2015



6 boundaries crossed

Richardson et al. 2023

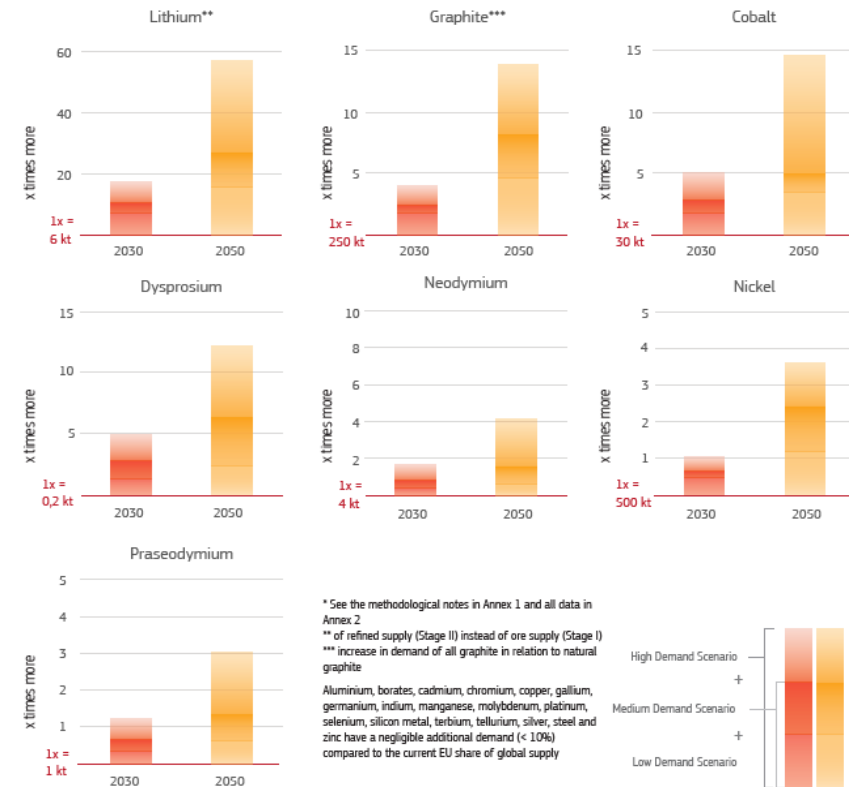
Die Rolle des Bergbaus in der Nachhaltigkeitstransformation

- 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>

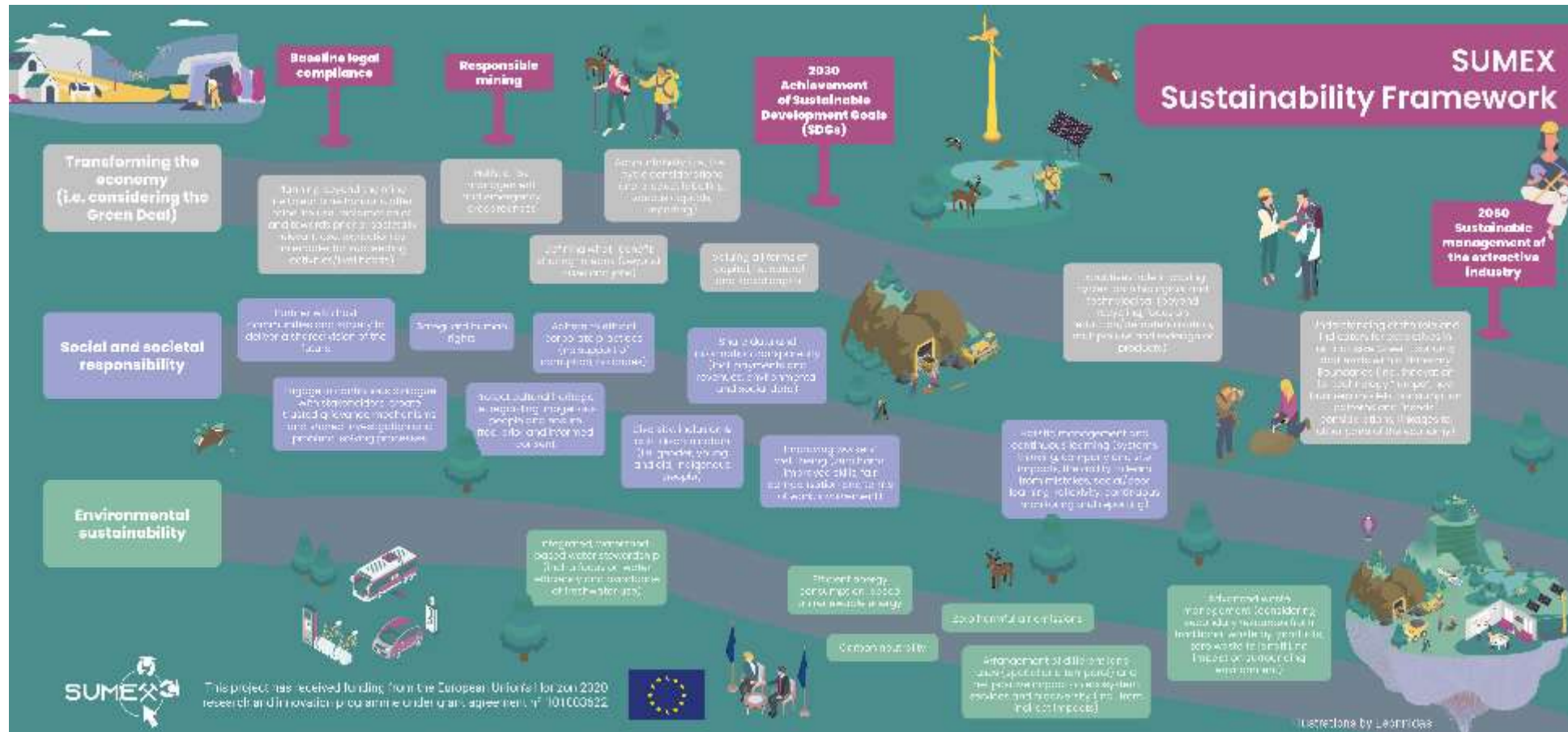
Additional material consumption batteries, fuel cells, wind turbines and photovoltaics in renewables and e-mobility only in 2030/2050 compared to current EU consumption* of the material in all applications



EC 2020

Die Rolle des Bergbaus in der Nachhaltigkeitstransformation

Transformation der Industrie
Horizon 2020 Projekt SUMEX





Stufen im Leben eines Bergbaus (2. Teil)

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

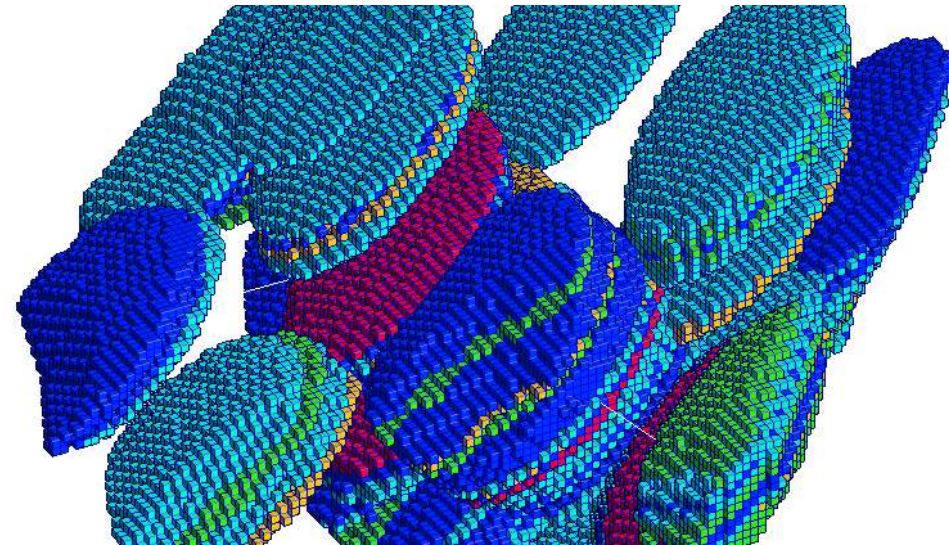
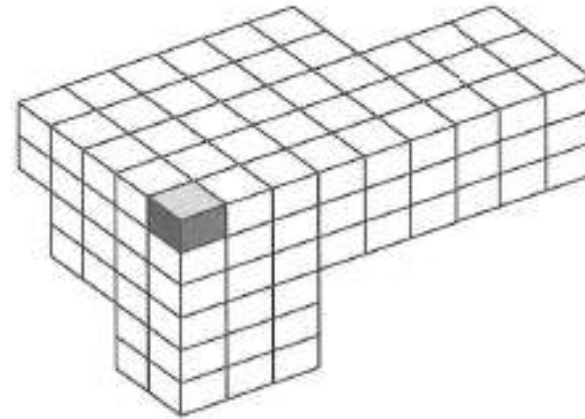
- Explorationsbohrungen (Kernbohrungen)
- Geophysikalische Untersuchungen
 - Seismik
 - Magnetische und elektrische Verfahren
 - Gravimetrie
 - Etc..



Rio Tinto, EIT Raw Materials

Lagerstättenmodellierung

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



Bergbauplanung

Lagerstättenmodell

+

Ökonomisches Modell

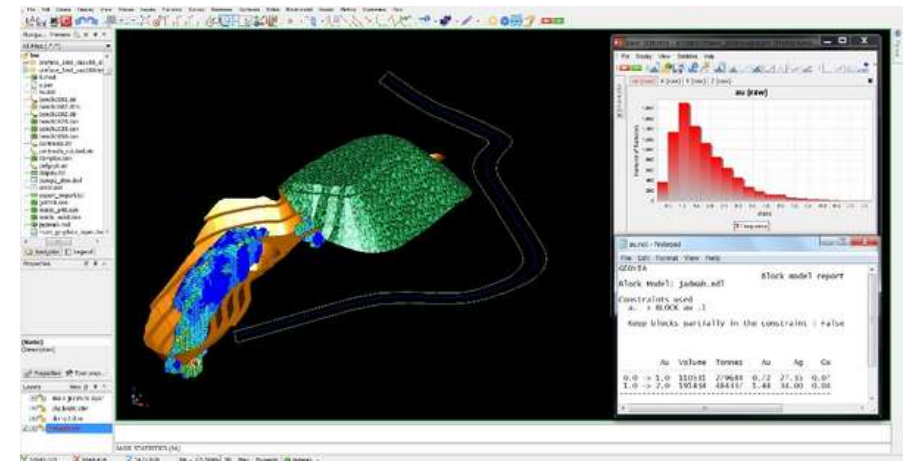
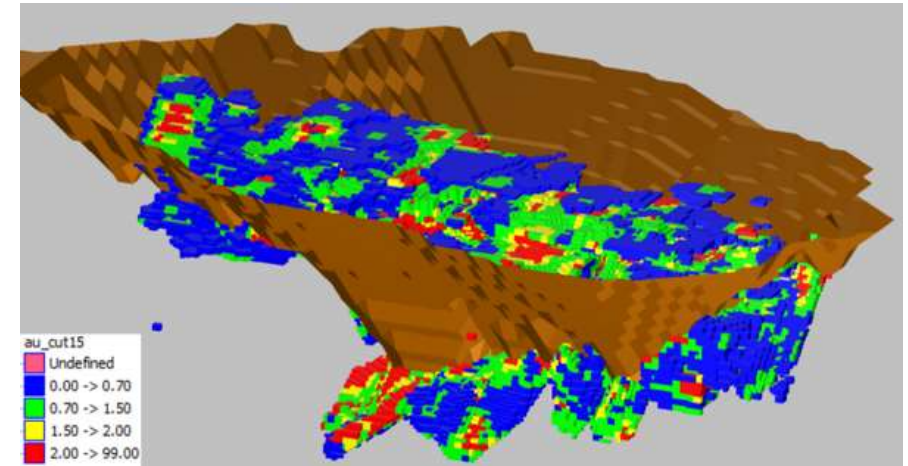
Prozesskosten und Rohstoffpreise, Bergbaukosten, Transport, Verkauf, Ausbringen, etc



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



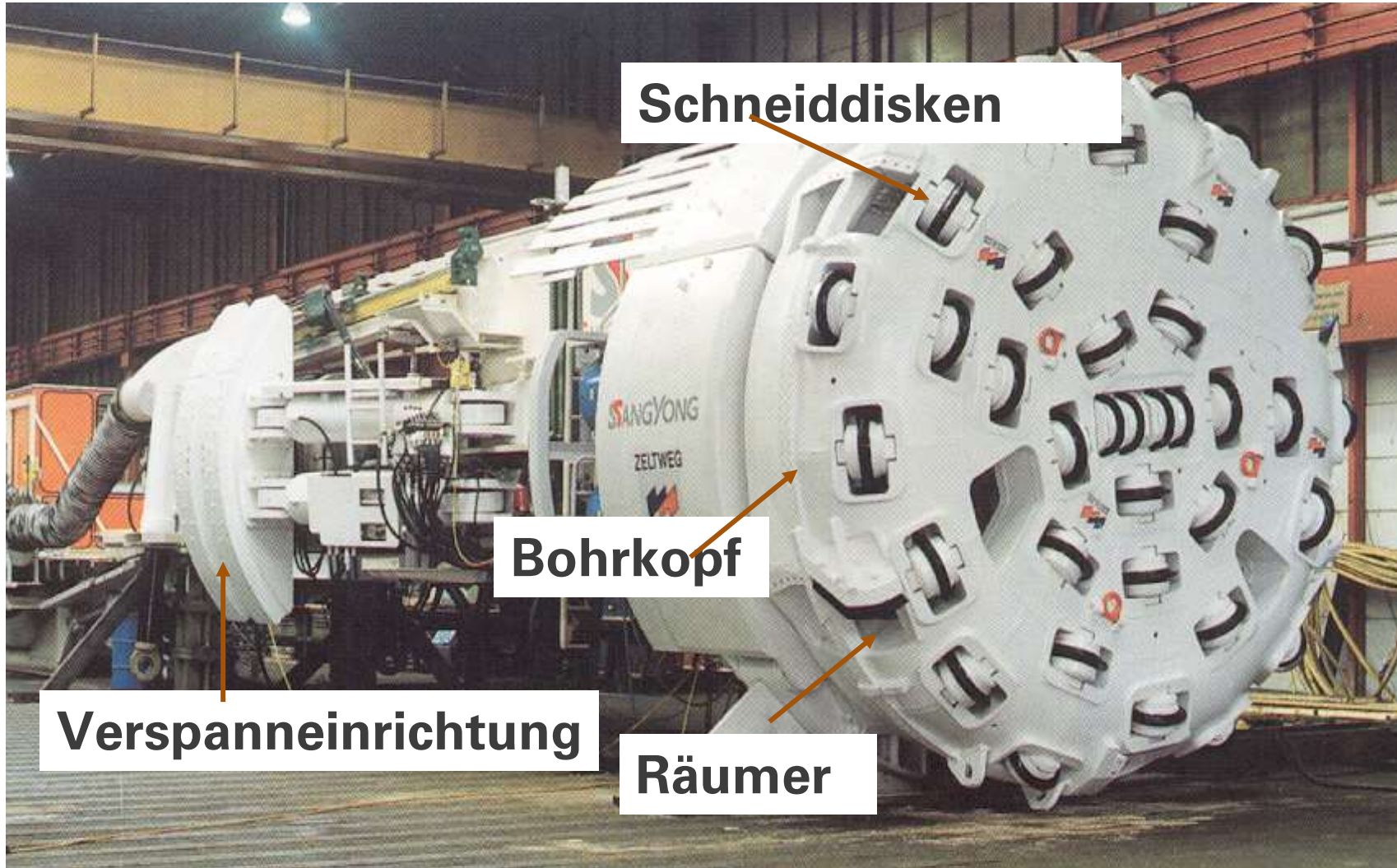
Schaufelradbagger



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 m³ 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

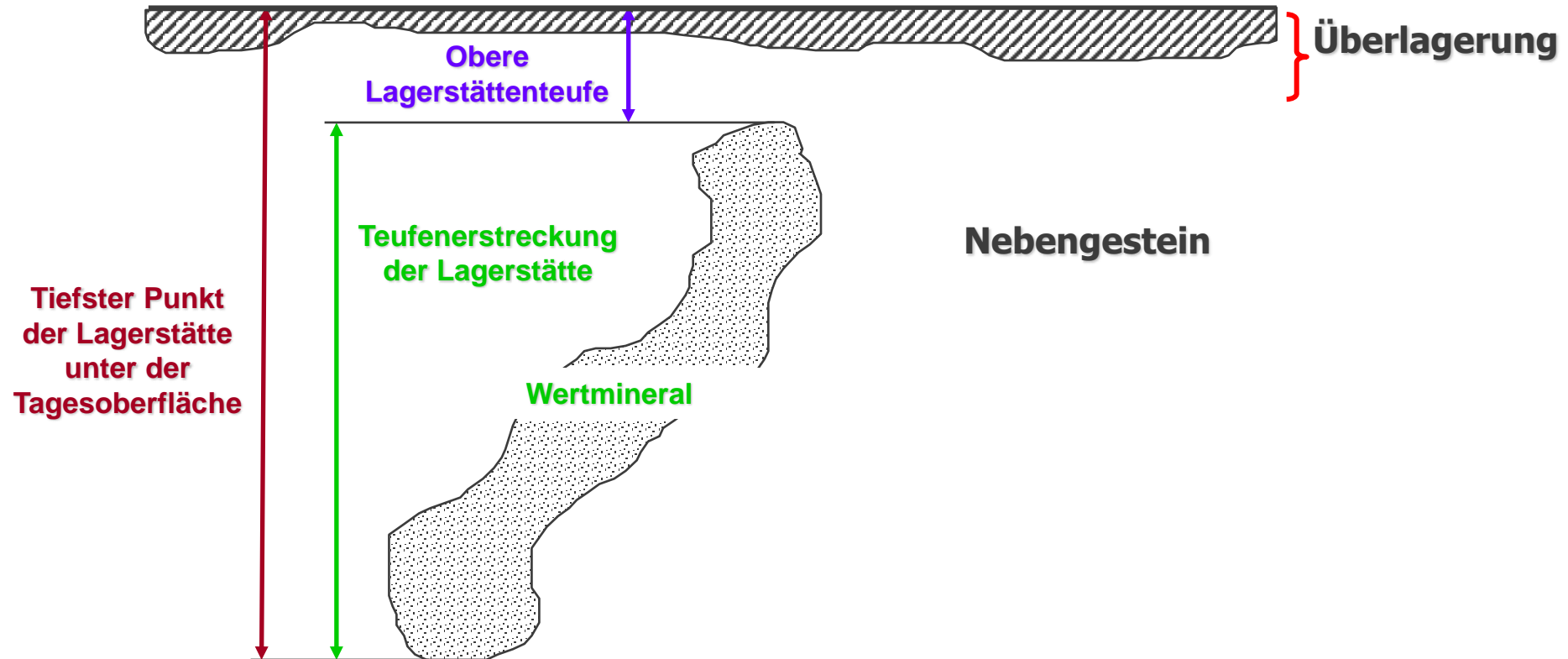
Aufbereitung

- 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

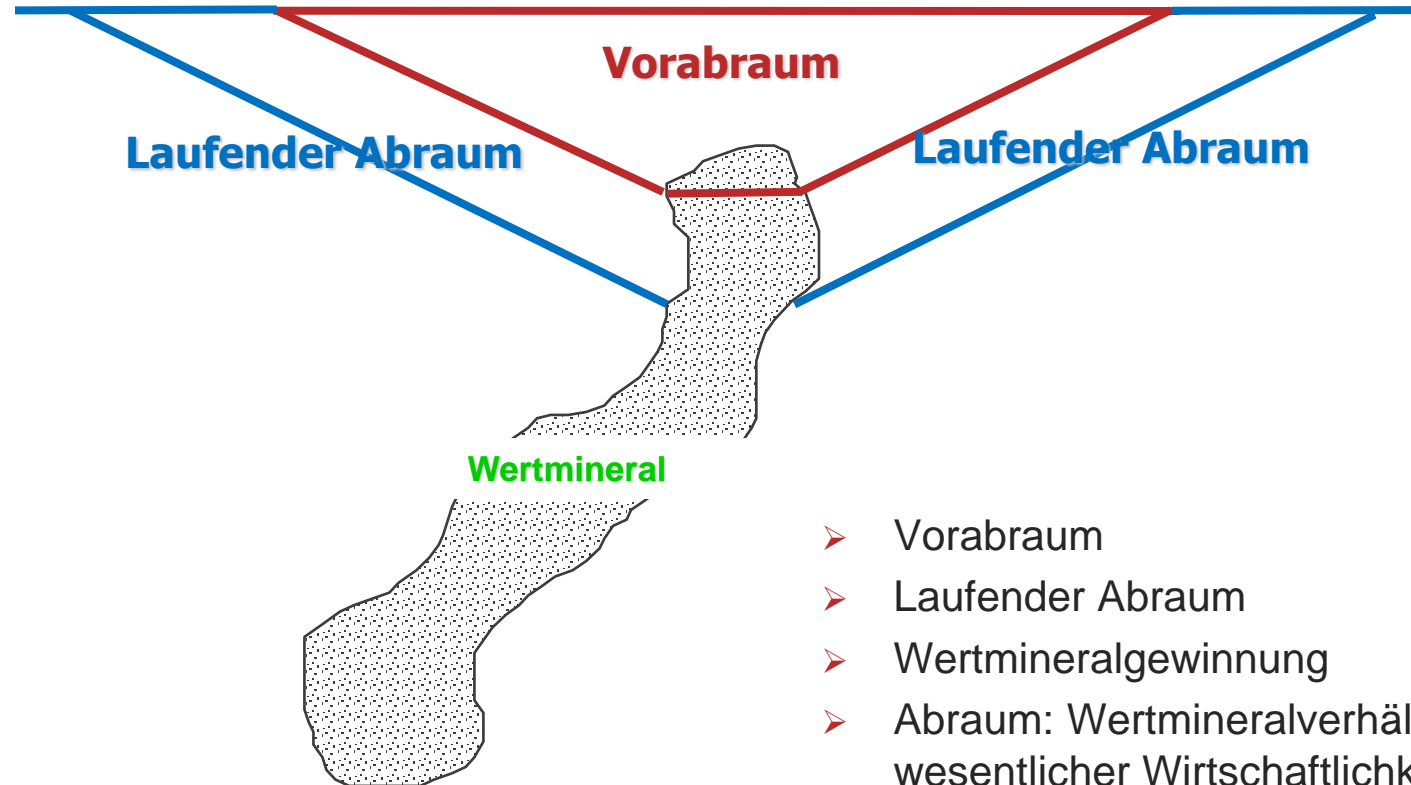


Tagebau - Unter Tagebau (Tiefbau)

Lagerstätte und Teufenbegriffe

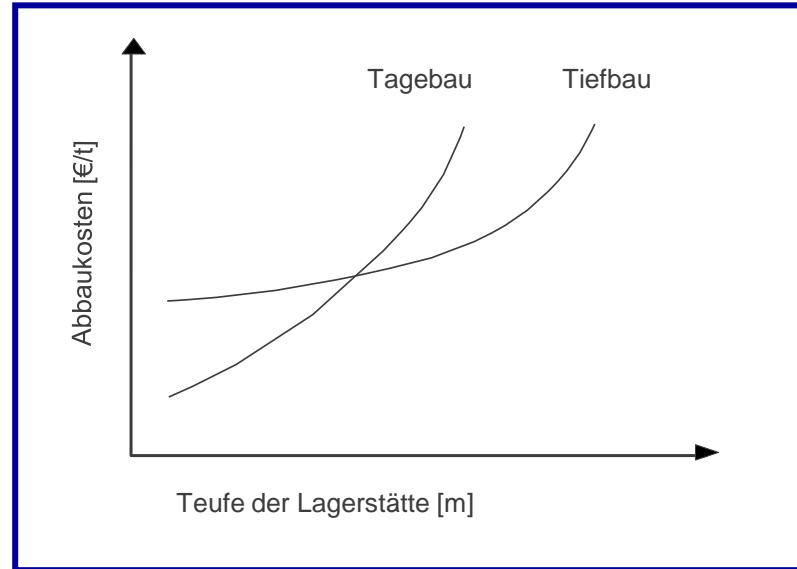


Vorabraum – Laufender Abraum - Wertmineral



- 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

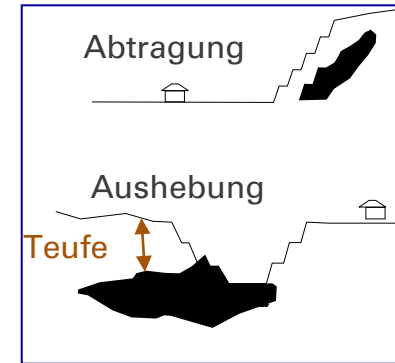


Abbau im Tagebau

Abbauarten im Tagebau

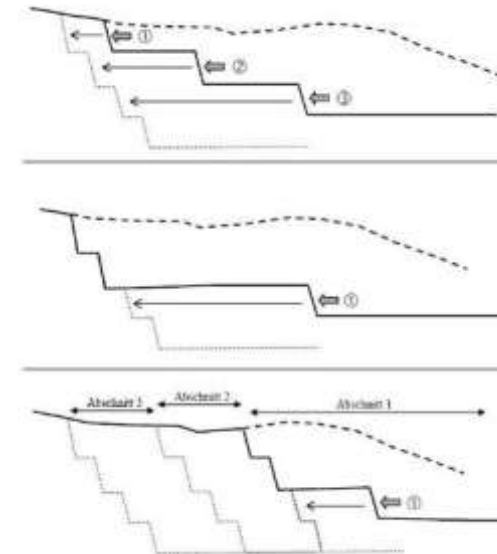
➤ Prinzipielle Unterscheidung

- 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

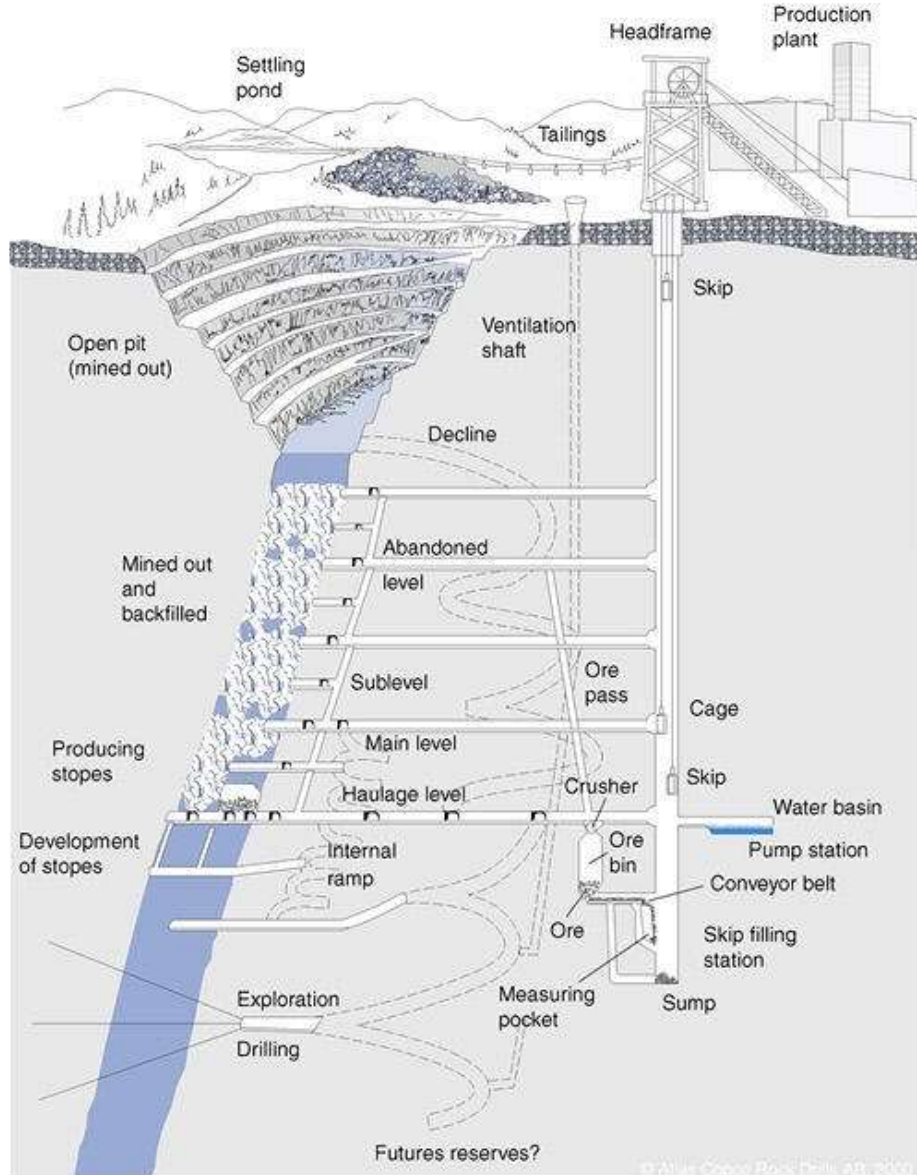
➤ Nachteile

- 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

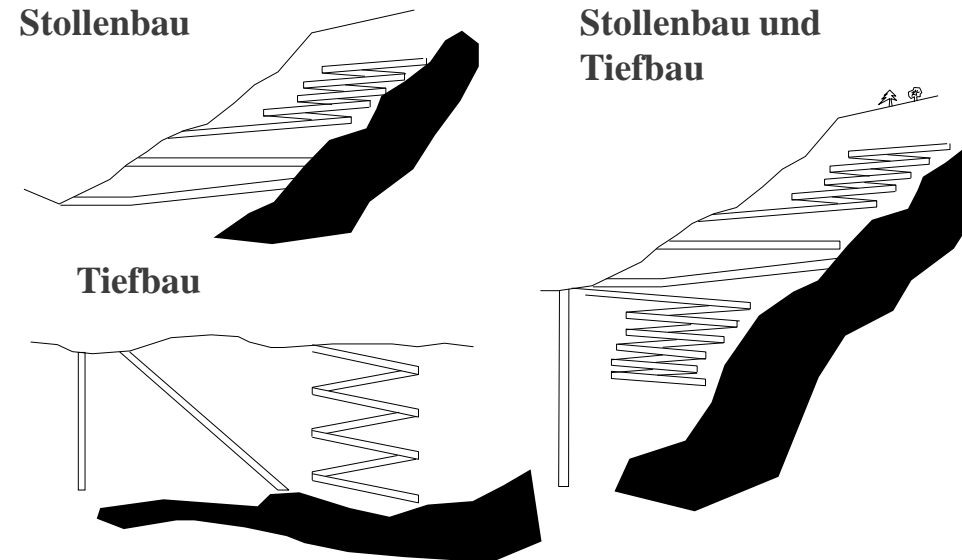
- Hauptsohlen
- Teilsohlen
- Sohlenverbindungen

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



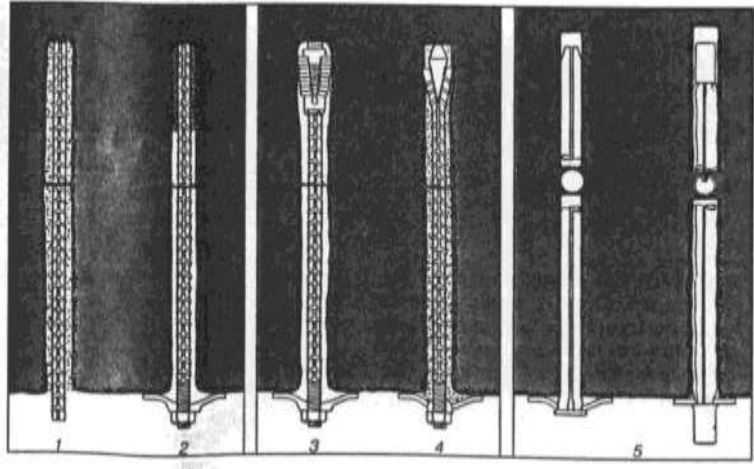
Grundarbeitsschritt - Sichern

- Anbringen von Metallgittern
- Verwendung von Spritzbeton



Grundarbeitsschritt - Sichern

- Einbringen von Ankern
- Einbringen von Stahlbögen

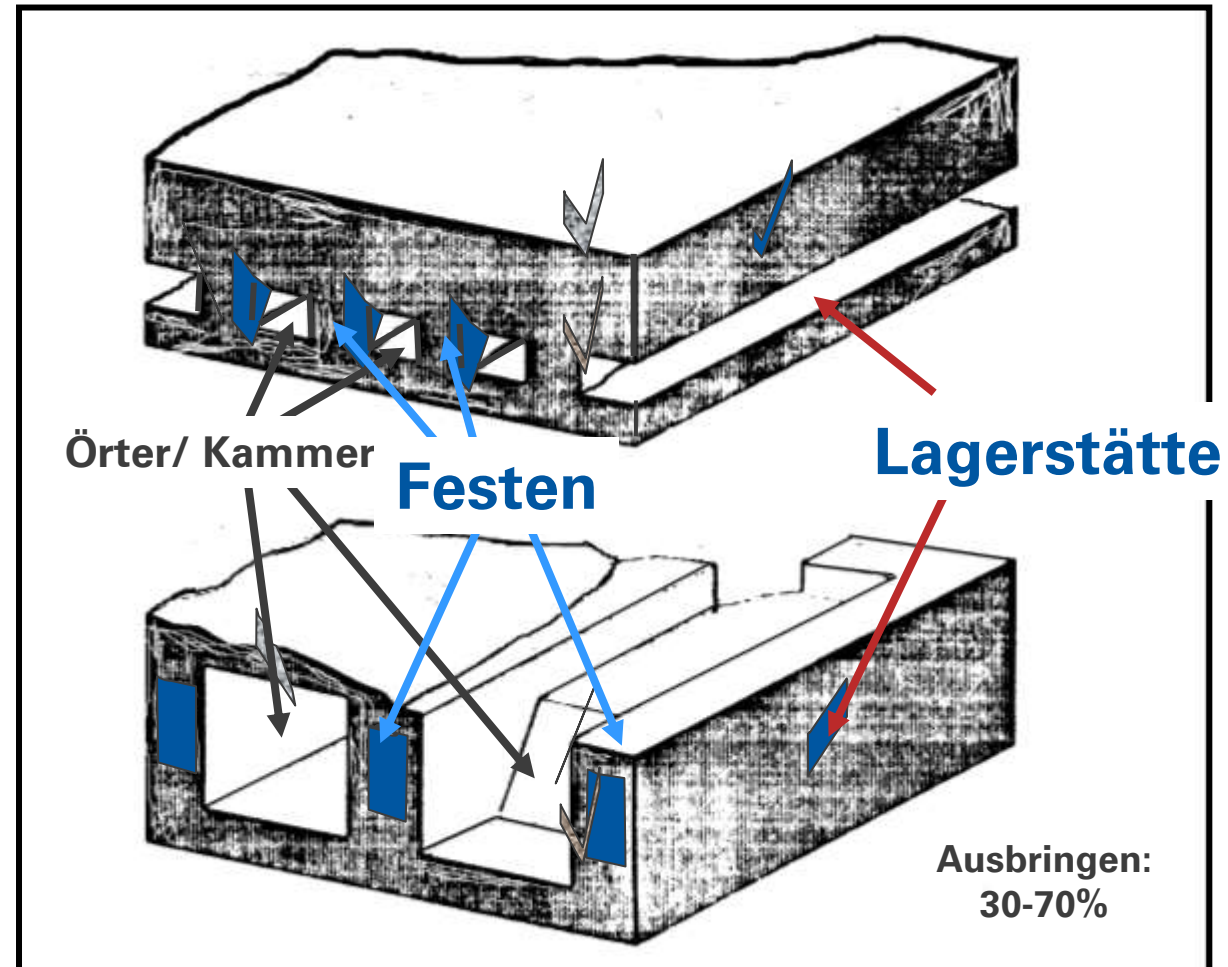


Abbaumethoden

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

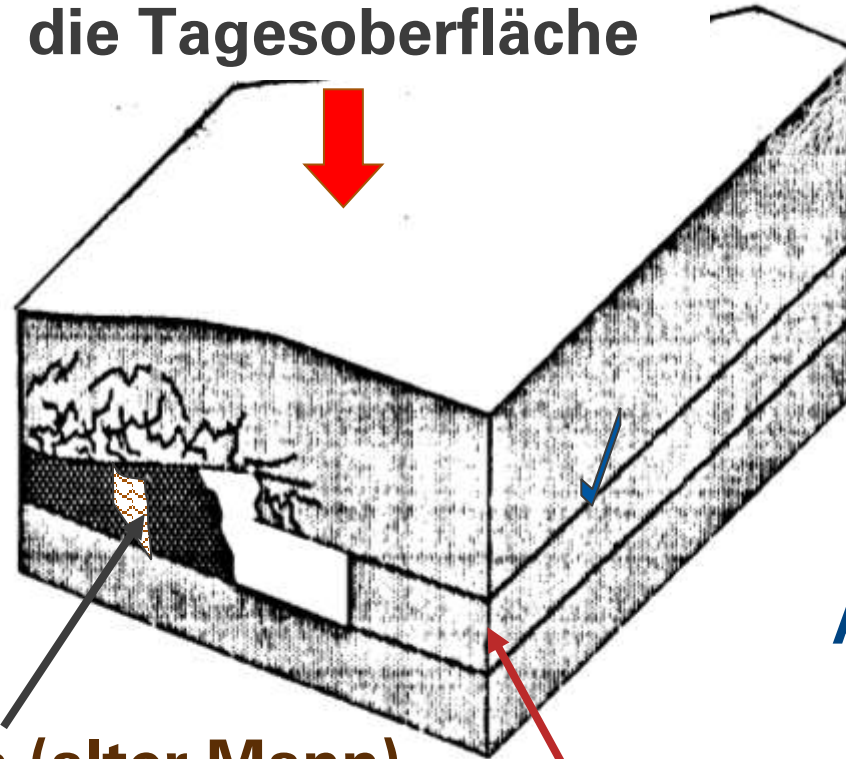
Festebau

Geringe Einwirkung auf die
Tagesoberfläche



Bruchbau

Starke Einwirkung auf
die Tagesoberfläche



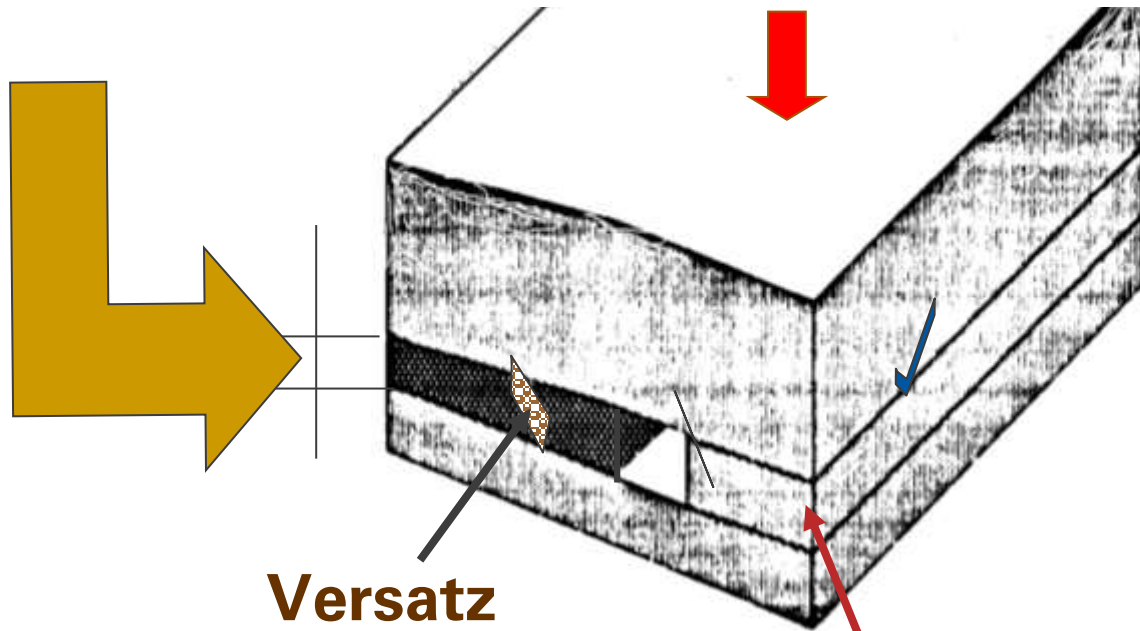
Ausbringen: $< 80\%$

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

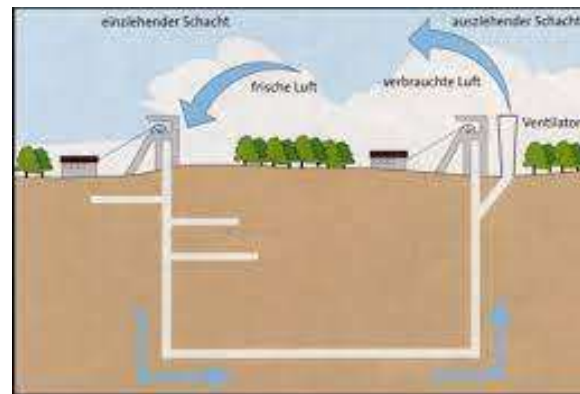
Belüftung/Bewetterung

➤ Aufgaben der Wetterführung

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

➤ Gefahren im Untertagebereich

- Kohlenmonoxid CO
- Kohlendioxid CO₂
- Schwefeldioxid SO₂
- Stickoxide NO_x
- Schwefelwasserstoff H₂S
- Sauerstoffmangel
- Explosionsgefährliche Gase - Schlagwetter (Methangas CH₄)



Bewetterung in einem Bergwerk



Glück Auf!