

Wie entstehen Lagerstätten?

Vortrag vor der Vereinigung der Leobener Mineralienfreunde, 31. Jänner 2014



Dr. Frank Melcher

Grube Caroline



Tertiäre Pb-Ag-Ba Erzgänge
Grube Caroline bei Freiburg

Gliederung

- Was sind Lagerstätten?
- Warum sind mineralische Rohstoffe wichtig?
- Wie entstehen Lagerstätten?
 - Einteilung der Lagerstätten
 - Konzepte
 - Prozesse: Magmatisch - hydrothermal
- Beispiele
 - Bushveld Komplex: Chrom, Platin
 - Pegmatite: Zinn, Tantal, Lithium
 - Buntmetallsulfide: Kupfer, Blei-Zink
 - Siderit
 - Bändereisenerze

Eine wichtige Definition:

Lagerstätten nennt man natürliche Anhäufungen und räumlich begrenzte geologische Körper nutzbarer Minerale und Gesteine, die nach Größe und Inhalt für eine wirtschaftliche Gewinnung in Betracht kommen, und in denen chemische Elemente oder Elementverbindungen (Minerale) erheblich stärker konzentriert sind als in der durchschnittlichen Erdkruste. Diese Durchschnittswerte werden als **CLARKE-Werte** bezeichnet.

Vorkommen sind Mineral/Gesteinskörper mit Wertmineralen, die aber nicht bauwürdig sind.

	CLARKE-Wert	„bauwürdig“	Anreicherung
Al	8.2 %	30 %	4
Fe	5.6 %	50 %	9
Mn	0.1 %	35 %	350
Cr	0.02 % = 200 ppm	35 %	1750
Pb	0.0016 % = 16 ppm	4 %	2500
Ni	0.0061 %	0.9 %	150
Cu	0.006 %	0.3 %	50
Zn	0.007 %	5 %	700
Sn	0.0002 %	0.5 %	2500
Au	4×10^{-7} % = 4 ppb	>1 (5) ppm	>1000
Pt	5 ppb	5 ppm	1000

Die **Bauwürdigkeit** ist eine dynamische Grösse, und wesentlich abhängig vom Preis und vom technologischen Fortschritt (z.B. Haufenlaugung, Tagebau)

Rohstoffverbrauch, umgerechnet auf ein Menschenleben (70 Jahre) in Deutschland (1, für 1998) und Österreich (2, für 2009)

	Rohstoff	Tonnen (1)	Tonnen (2)
Fossile Brennstoffe	Erdöl	109	166
	Braunkohle	133	45
	Steinkohle	33	83
Industrieminerale, Steine und Erden	Sand und Kies	316	427
	Kalkstein	94	99
	Zement	22	
	Ton	11	29
	Steinsalz	11	13
Metallische Rohstoffe	Stahl (Eisen und andere Metalle)	33	39
	Aluminium	1.5	1.4
	Kupfer	1	1

Güter des täglichen Gebrauchs

Mobiltelefon

42%	Kunststoffe
19%	Kupfer
11%	Glas
9%	Aluminium
8%	Eisen
5%	Quarz
4%	Silizium
1%	Nickel
1%	Zinn
0,0X%	Tantal

Mittelklasseauto

1020 kg	Eisen und Stahl
230 kg	Gummi, Kunststoffe (Erdöl)
65 kg	Aluminium (Motor)
35 kg	Glas (Quarzsand, Feldspat)
12 kg	Kupfer (Lichtmaschine)
11 kg	Blei (Batterie)
9 kg	Zink (Korrosionsschutz)

32 Metalle im PC

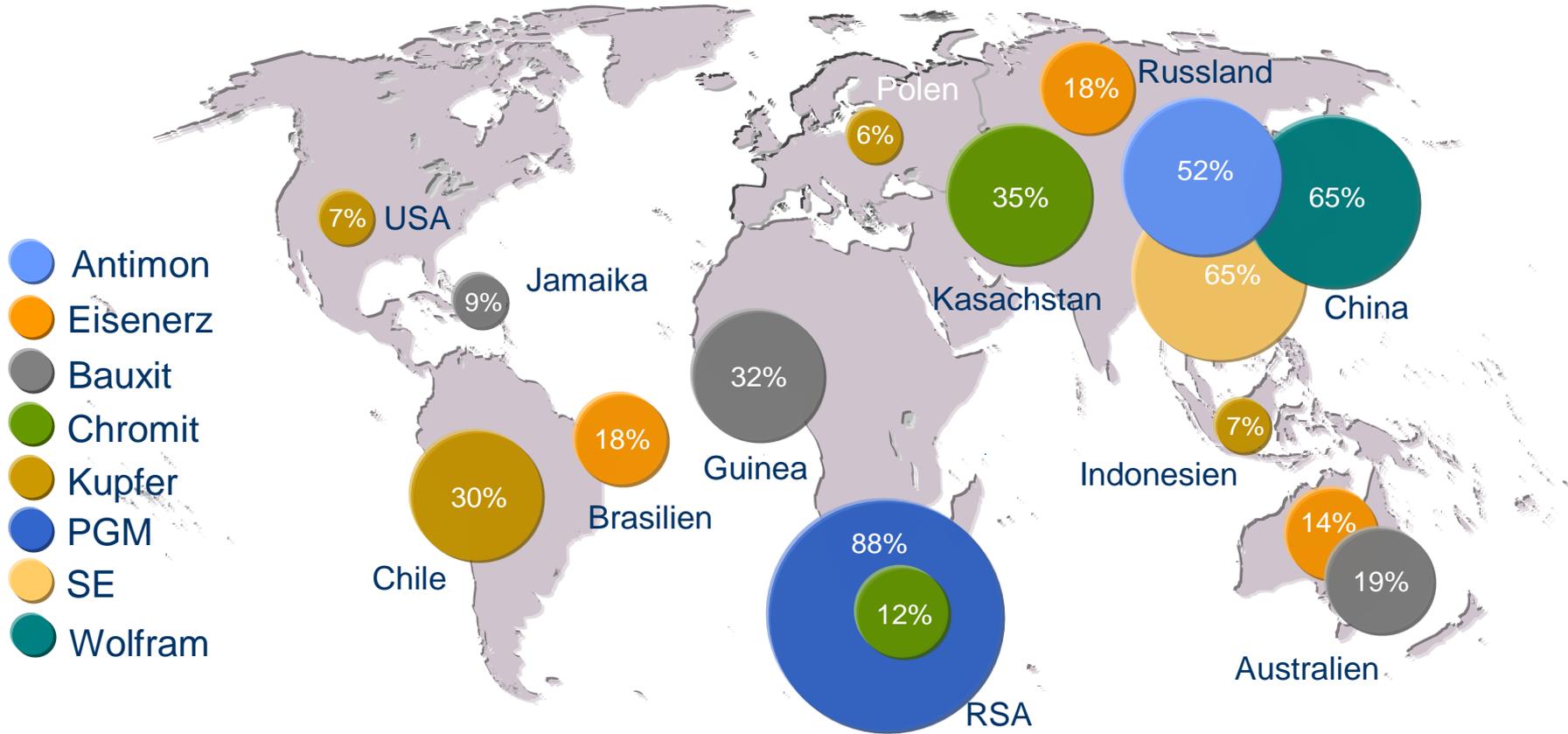
Au, Ag, Pt, Cu, Pb, Zn, Sn, Al, Sb,
Be, Ga, Ge, In, SEE, Y, Hg, Rh, Se,
Si, Sr, Te, Li, Zr, Fe, Mn, Ni, Mo, Nb,
Ta, W, V, Co

Rohstoffwirtschaftliche Situation Europas

- ▶ **Importabhängigkeit, insbesondere bei Metallen (z.B. High-Tech-Rohstoffen) und Energierohstoffen**
- ▶ **Kontinuierlicher Anstieg der Rohstoffnachfrage**
- ▶ **Neuer Rohstoffbedarf durch neue Technologien**
- ▶ **Volatile Rohstoffpreise: Firmenkonzentrationen, Spekulationen am Spotmarkt**
- ▶ **Geostrategische Risiken / Länderkonzentrationen**
- ▶ **Handels- und Wettbewerbsverzerrungen**
- ▶ **Mögliche Versorgungsengpässe / „Kritische Rohstoffe“**



Reserven der wichtigsten Metallerze



BGR-Datenbank, USGS



Gibt es noch Rohstoffe?

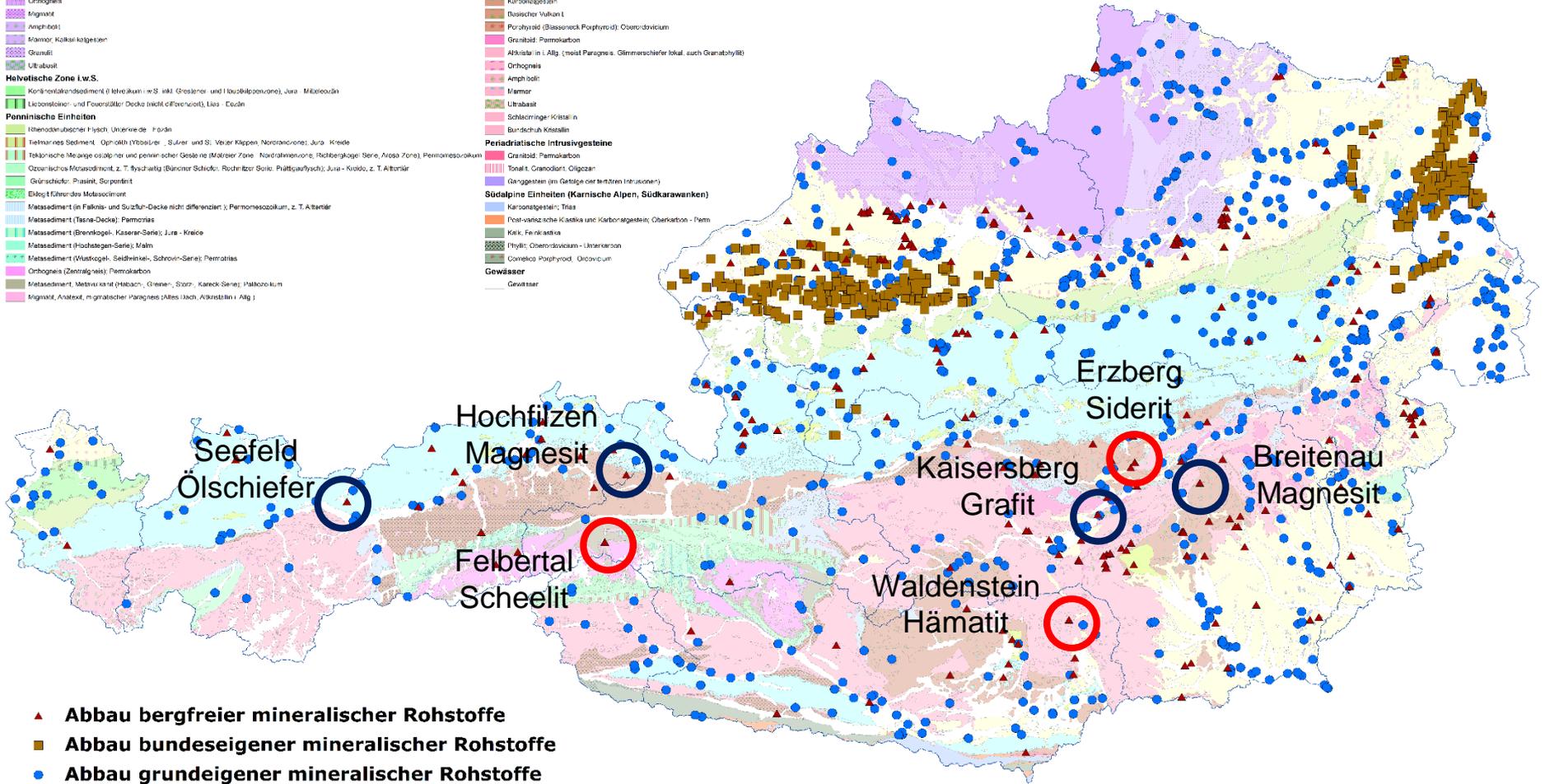


24. September 2009, Cullinan (Südafrika)

- Petra Diamonds findet einen 507,55 Karat (ca. 100 Gramm) schweren weißen Diamanten
 - damit einer unter den „Top 20“.
 - der historische „Cullinan“ war 3106 Karat schwer
 - Weltproduktion (2008) 162 Millionen Karat = 12.7 Mrd US\$
- Diamant wird aus „Kimberliten“ gewonnen – ultramafische Schmelzen aus dem Erdmantel

- Geologie Österreich**
- Quartär**
 Firm Gletscher
 Quartär i. Allg. (Alluvium; Pleistozän entlang der Hauptwasserungslinien und Moränen im Alpenvorland)
- Tertiärbecken**
 Mollassezone, Obereozän - Miozän; Innere alpine Becken; Neogen
 Alpidische und paraalpidische Molasse; Obereozän - Miozän/Oberjura
 Albertsdorfer Klippen (Ebnatbunnen Klippen)
 Ancepsit, Dazit, Trachyt, Karpat, Baden
 Basalt, Basanit, Nephelinit, Tuff, Sarmat/Pannon - Pliozän/Neozän
- Böhmische Masse**
 Post-variszische Klastika (Perm von Zöbing); Perm
 Granitoid (Sudböhmischer Pluton); Karbon
 Metakonglomerat i. Allg.; meist Paragneis, Glimmerschiefer (Moldanubikum, Moravikum)
 Orthogneis
 Marmor, Kalksilikatgestein
 Granulit
 Ultrabazit
- Helvetische Zone i.w.S.**
 Kontinentaldeckensediment (Lithokalkium + S. inkl. Gressler- und Töufelkopfbazone), Jura - Miozän
 Liezertal- und Fossiliferer Decke (nicht differenziert), Lias - Eozän
- Penninische Einheiten**
 Ebnatbunnen Sediment, Ophiolit (Ybbstal, Sulzer und St. Veit Klippen, Norankarbone), Jura - Kreide
 Tektonische Meuge ostalpine und penninischer Gesteine (Molasse Zone, Nordalpenvorland, Hochbergerzone, Arosa Zone), Permomesozoikum
 Ozeanische Metaschicht, z. T. fischartig (Bancor Schiefer, Rodlitzer Soile, Paltzgraben/Schicht), Jura - Kreide, z. T. Alttertiär
 Grünschiefer; Phasit, Serpentin
 Ebnatbunnen Metakonglomerat
- Südalpine Einheiten (Karnische Alpen, Südkarawanken)**
 Karbonatgestein; Trias
 Post-variszische Klastika und Karbonatgestein; Oberkarbon - Perm
 Kalk, Fenakristallin
 Phyllit; Oberostavoicum - Unterkarbon
 Cordillerä Porphyry, Ostavoicum
- Gewässer**
 Gewässer

- Amphibolit (Zwölfzweig-Basisamphibolit)
 Ostalpine Einheiten
 mittel Klassik (Gossau - Schichten), Oberkarbon - Eozän
 überwiegend Karbonatgestein; Mittellias - Untererode
 Siliklastika; Permoklyth
 überwiegend Karbonatgestein; Mittellias - Jura
 Siliklastika; Permoklyth
 Porphyroid; Perm
 Karbonatgestein; Klastika (Karbon von Notau); oberes Vias - Oberkarbon
 Karbonatgestein; Klastika (Grauwackenzone / Veltischer Decke); oberes Vias - Oberkarbon
 Phyllit; Metaklastika, Metakonglomerat (Grauwackenzone/Silberberg-Decke west. Afrikaner nicht ausgeschlossen); Alpidisches Molasse i. Allg. / Permoklyth
 Post-variszische Klastika; Oberkarbon
 überwiegend zellfisch-penninischer Sediment; Oberostavoicum
 Quarzphyllit, z. T. Phyllonit
 Karbonatgestein
 Basaltischer Vulkanit
 Porphyroid (Blasenerock Porphyroid); Oberostavoicum
 Granitoid; Permokarbon
 Altkristallin i. Allg. (meist Paragneis, Glimmerschiefer lokal, auch Granatphyllit)
 Orthogneis
 Amphibolit
 Marmor
 Ultrabazit
 Schieferiger Kristallin
 Burdshuh Kristallin
- Periadriatische Intrusivgesteine**
 Granitoid; Permokarbon
 Tonit, Granodiorit, Oligozän
 Ganggestein (im Gefolge der tertiären Intrusionen)
- Gewässer**
 Gewässer



- ▲ **Abbau bergfreier mineralischer Rohstoffe**
- **Abbau bundeseigener mineralischer Rohstoffe**
- **Abbau grundeigener mineralischer Rohstoffe**

Betriebsstätten nach § 185 MinroG,
 im Montanhandbuch 2013 verzeichnet.
 Es gelten die Bestimmungen des §185 MinroG idgF.
 Datenstand: September 2013
 Creative Commons Namensnennung 3.0 Österreich (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/at/legalcode>)

Geologie von Österreich (c) Geologische Bundesanstalt, Wien.
 Die Geologie stellt ein Exzerpt (Basiskarte Geologie)
 aus der Metallogenetischen Karte von Österreich 1:500000
 (Herausgeber GBA/L. Weber, 1997) dar.
 Erstellungsdatum: 2010. Änderungen:2013.
 Stand Geologie: 1997.

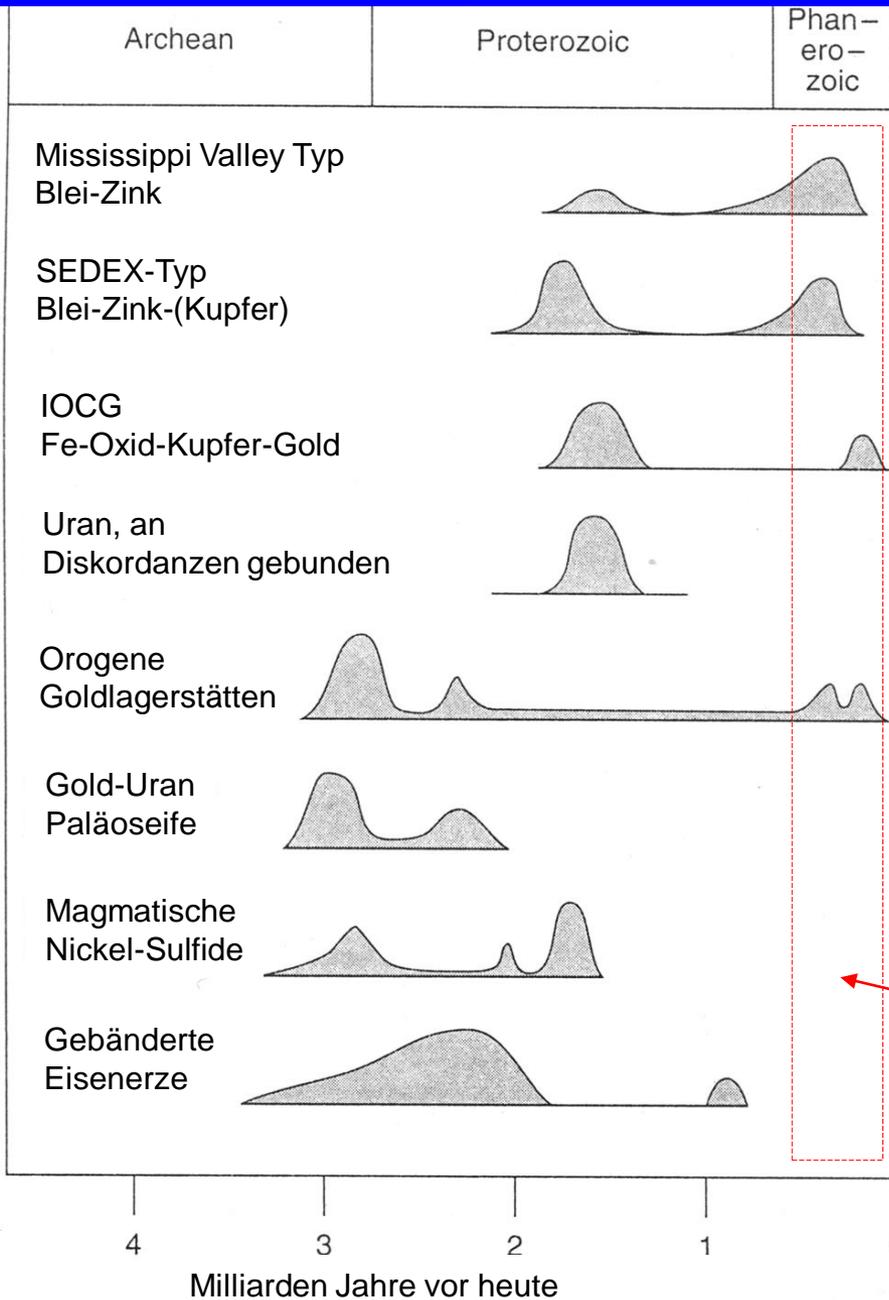


- Sedex-Typ (Rammelsberg)
- Kupferschiefer
- Sedimentäre Eisenerze
- Ganglagerstätten
- Pegmatite, Greisen
- Lahn-Dill Fe Erze
- Pb-Zn in Sandstein

Einteilung der Lagerstätten

- Nach dem Stoffbestand
 - (Elemente/Metalle/Industrieminerale)
- Nach Form der Erzkörper (Gänge, Lager, Flöze,...)
 - Nach dem Alter (Präkambrium bis rezent)
- Nach plattentektonischen Prozessen
- Nach der Entstehung (genetisch verwandte Typen)

Lagerstättenbildende Epochen



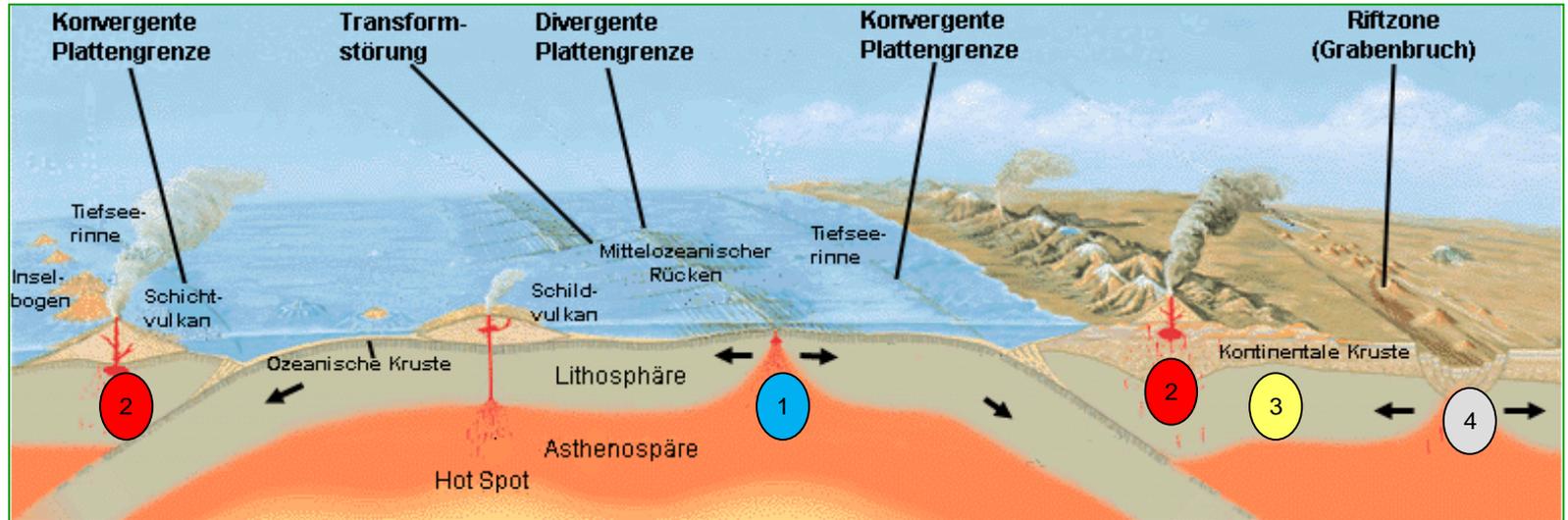
Bleiberg

Rammelsberg, Arzberg

Tauerngold

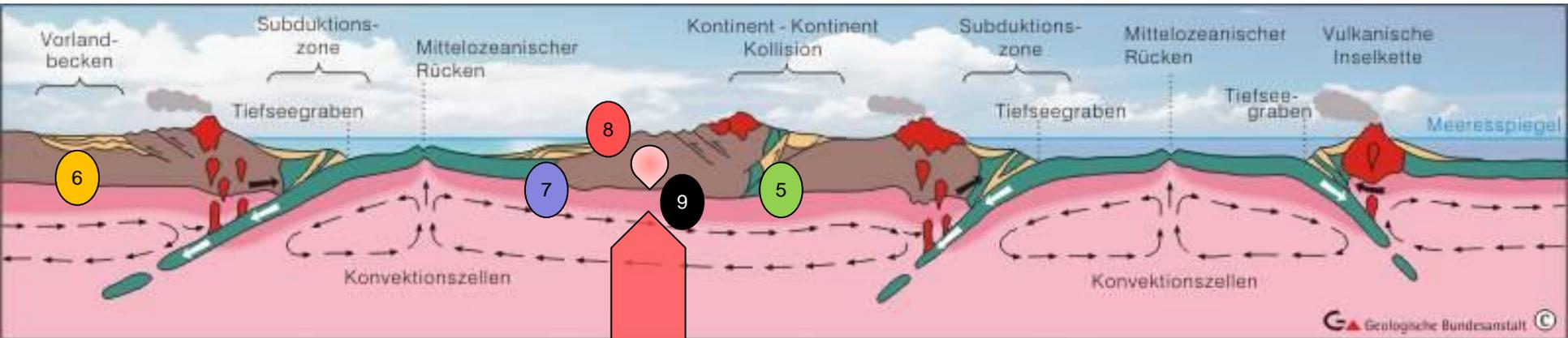
für Mittel- und Südeuropa relevante Epoche

Lagerstätten und Plattentektonik



- 1 Intraozeanische divergente Plattengrenzen
 - Chromit, VMS (Cu,Zn,Au)
- 2 Intraozeanische Bögen, aktive Kontinentalränder
 - Porphyry Cu-Mo-Au
 - Epithermales Au-Ag

- 3 Orogene vom Kordilleren-Typ
 - Gold; W, As, Hg, Sb
- 4 Intrakontinentale Rifts
 - IOCG (Fe,Cu,Au,U)
 - SEDEX (Cu,Zn,Pb,Ag,Au)
 - Kupferschiefer (Cu, Co, PGE)



- 5 Kontinent-Kontinent Kollisionsorogene
 - Zinn-Wolfram-Molybdän in Graniten
- 6 Vorlandbecken
 - Diskordanzlagerstätten (Uran)
 - Karbonatgebundene Pb-Zn(Ba,F,Cu)
 - Kohlenwasserstoffe (Erdöl, Erdgas)
- 7 Passive Kontinentalränder
 - Phosphorite
 - Ti-Zr-Hf in Seifen
 - SEDEX (Cu, Zn, Pb, Ag, Au)
 - Kohlenwasserstoffe

- 8 Anorogene magmatische Provinzen
 - Rapakivi –Typ Sn (Be, W, Zn, Cu)
 - Fe-Ti-V in Anorthositen
- 9 Kontinentale Mantelplume-gesteuerte Provinzen
 - Magmatische Ni-Cu-PGE Lagerstätten und stratiformer Chromit
 - Diamanten

Einteilung der Lagerstätten nach Pohl/Petrascheck

I. Magmatogene Erzlagerstätten

- (1) Liquidmagmatische Lagerstätten (Cr, Ni, Pt, Au, Ti, V)
- (2) Pegmatite (Sn, Ta, Nb, Li, Be)
- (3) Hydrothermale Lagerstätten (Skarne, kontaktmetasomatische Lagerstätten, porphyrische Lagerstätten, z.T. Ganglagerstätten)

II. Verwitterungslagerstätten

- (1) Rückstandslagerstätten: residuale Seifen, Bauxit, Laterite (Ni, Au, Mn)
- (2) Lagerstätten aus Verwitterungslösungen (deszendente, Infiltration)

III. Sedimentäre Lagerstätten

- (1) Allochtone: alluviale bis marine Seifen
- (2) Autochthone: BIF, BMnF, oolithische Eisenerze, Mn-Knollen, Sedex-Erze

Einteilung der Lagerstätten nach Pohl/Petrascheck

I. Magmatogene Erzlagerstätten

II. Verwitterungslagerstätten

III. Sedimentäre Lagerstätten

IV. Diagenetisch-hydrothermale Lagerstätten

- (1) Kupferschiefer-Typ
- (2) Mississippi Valley-Typ
- (3) Durch migrierende Salzlaugen (Pb-Zn-Ba-F, Siderit)

V. Metamorphe Lagerstätten

(vor allem Industrieminerale wie Graphit, Disthen, Sillimanit, Asbest)

VI. Metamorphogen-hydrothermale Lagerstätten

- Goldquarzgänge
- Z.T. Zentralafrikanische Cu-Co Lagerstätten
- Mount Isa (Kupfer)

Wie bilden sich Lagerstätten?

Falle

Ausfällung (Mineral)

Transport-
medium

Tektonische Strukturen (Störungen,
Klüfte, Überschiebungsbahnen)
Lithologische Fallen (Porosität)
Hohlräume (Karst)

ΔT , ΔP , pH, Eh, fO_2 , W/R

Magma
Wasser, Fluide (Hydrothermen)

Energie

Quelle
Reservoir

Wärme
Druck

Magmatismus
Geothermischer Gradient
(30°C / km)

Erdkruste
Erdmantel
Meerwasser
Biosphäre
Knochen

Lagerstättenbildende Prozesse (Metallogenese)

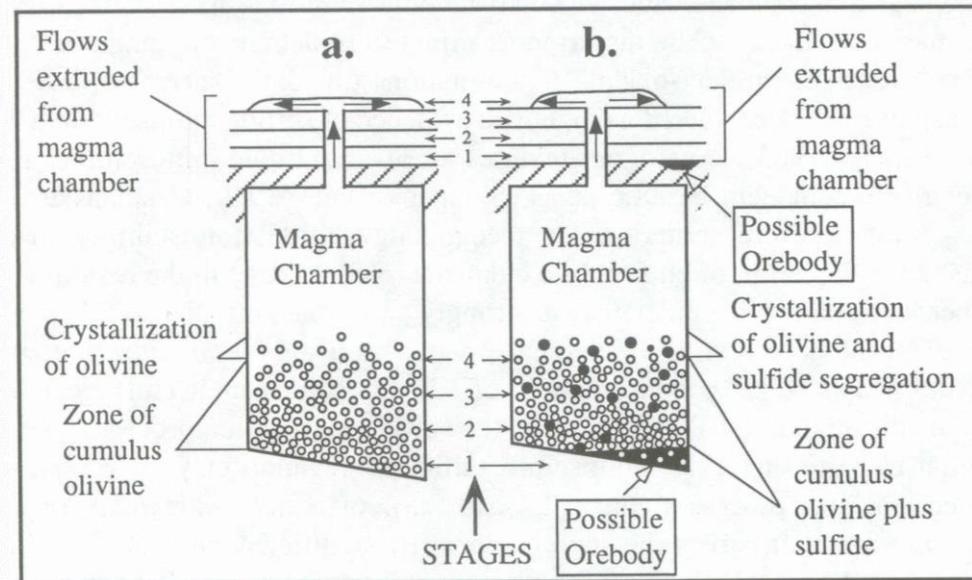
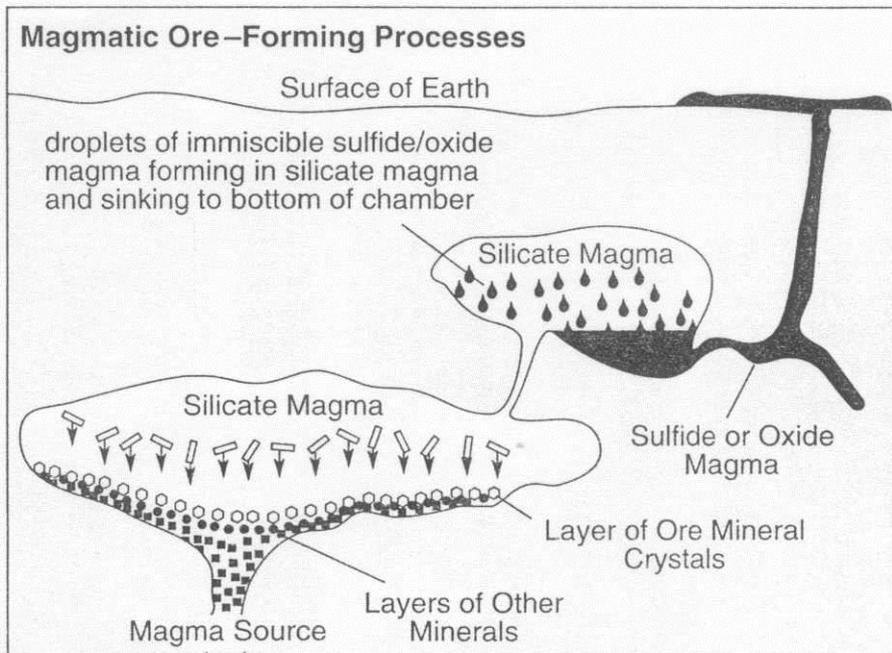
1. Magmatische Systeme

1. Kristallfraktionierung: Kumulatbildung

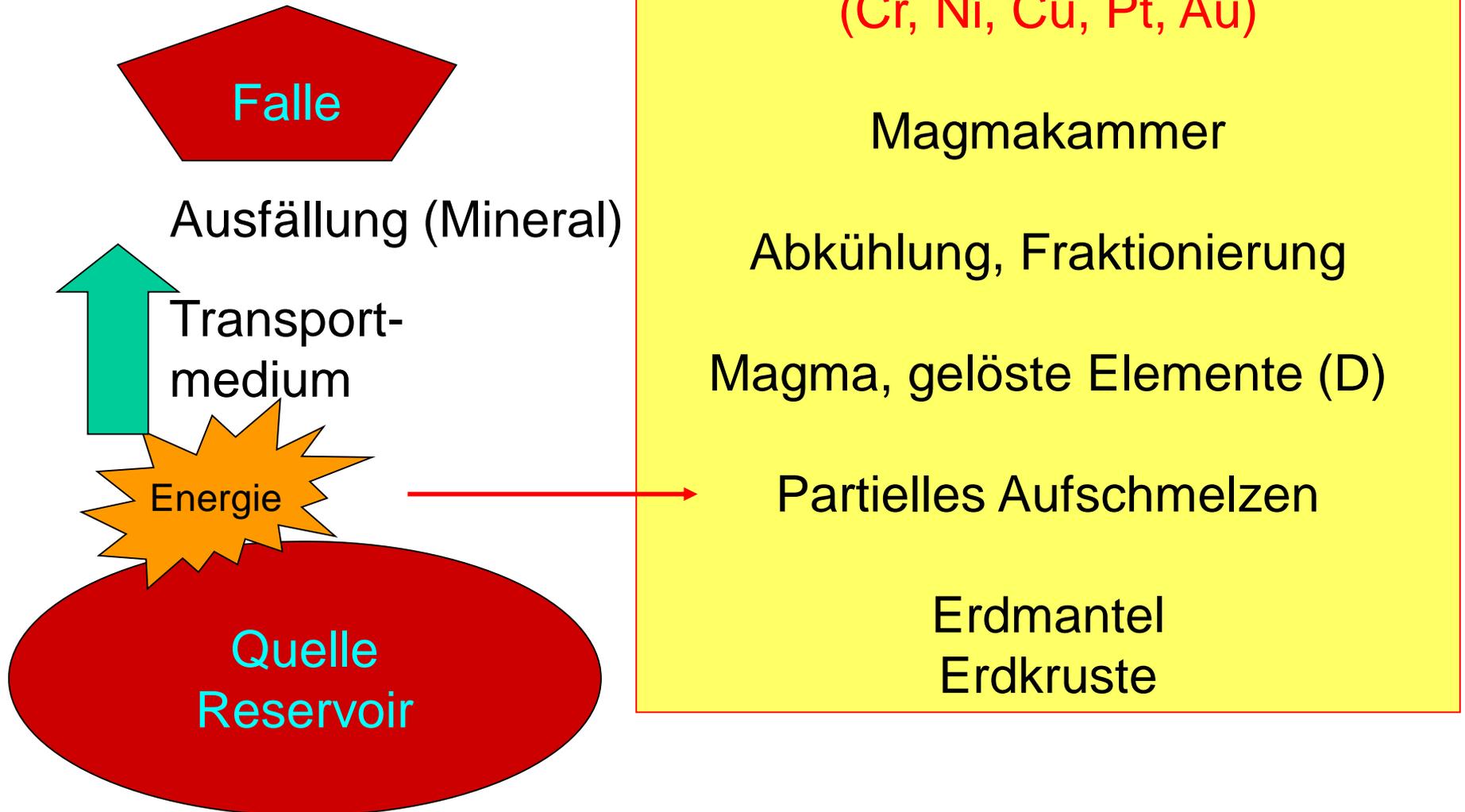
2. Nichtmischbarkeit von Schmelzen

1. Oxidmagmen

2. Sulfidschmelzen mit Ni-Cu-Fe-PGE

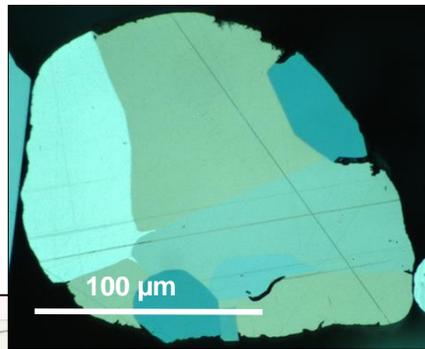


Wie bilden sich Lagerstätten?





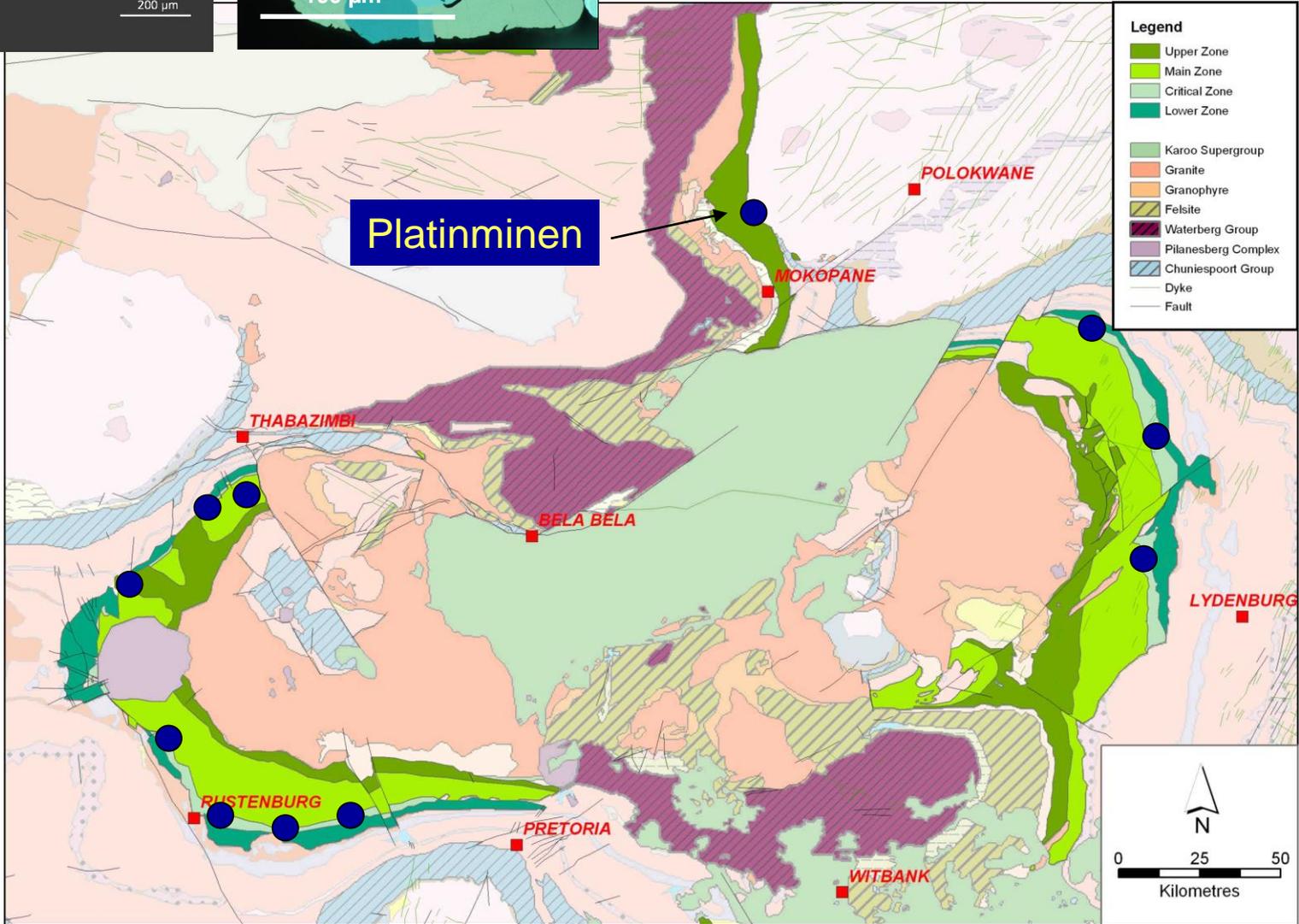
200 µm



100 µm

Bushveld Komplex, Südafrika

- weltgrößter lagig differenzierter Intrusivkomplex



**Merensky Reef,
Impala Platinum, South Africa**

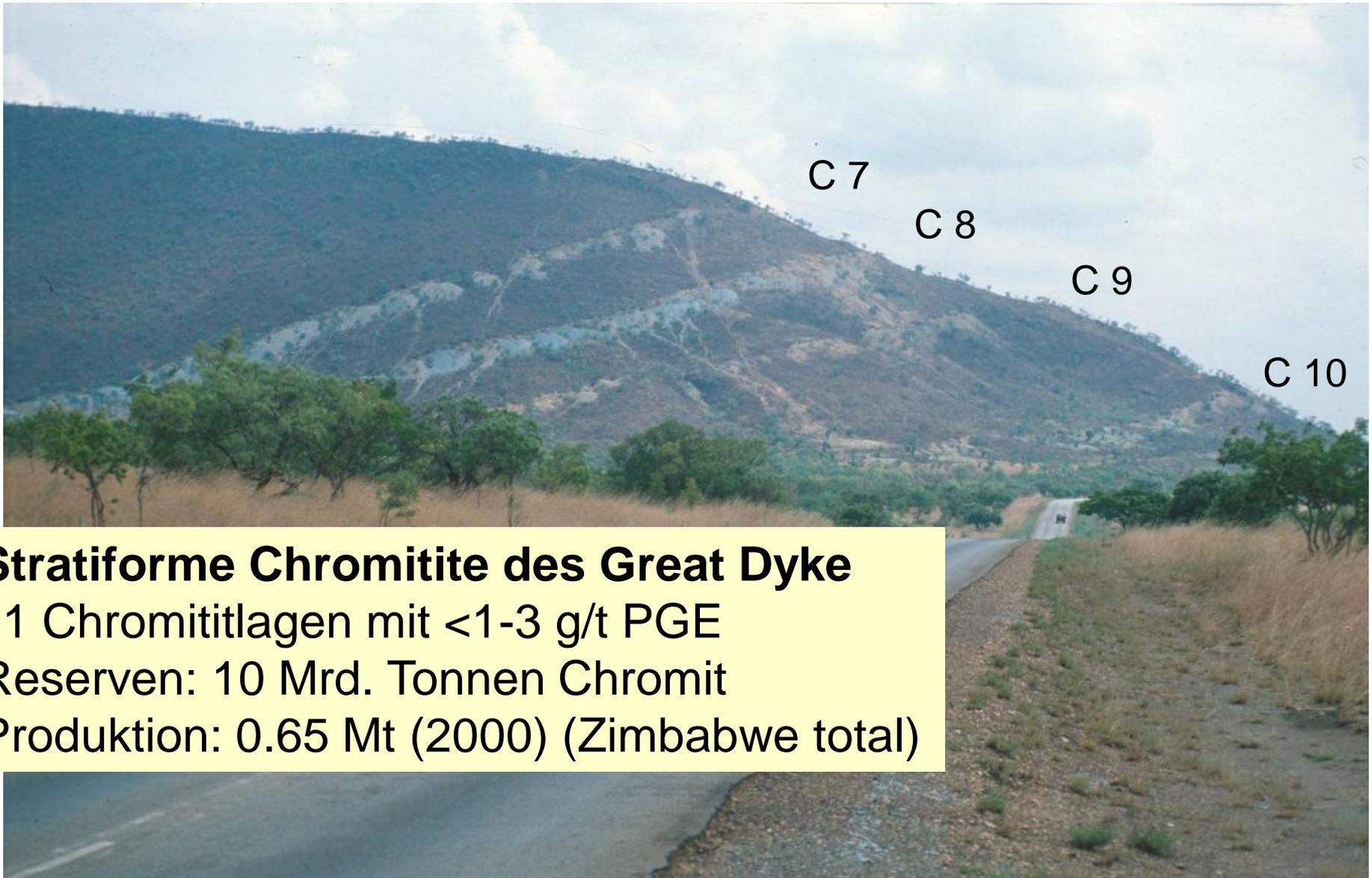


Pegmatoidaler Pyroxenit

**3% Sulfide mit
interstitiellen Platinmineralen
(ca. 7 g/t Pt+Pd+Au)**

Chromitit Lage

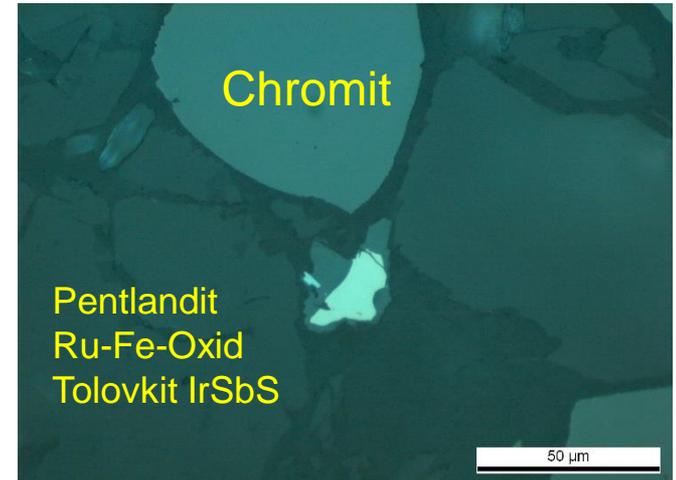
Footwall Anorthosit



Stratiforme Chromitite des Great Dyke
11 Chromititlagen mit <1-3 g/t PGE
Reserven: 10 Mrd. Tonnen Chromit
Produktion: 0.65 Mt (2000) (Zimbabwe total)

Chromitites C 7 – C 10, südlich Mutorashanga

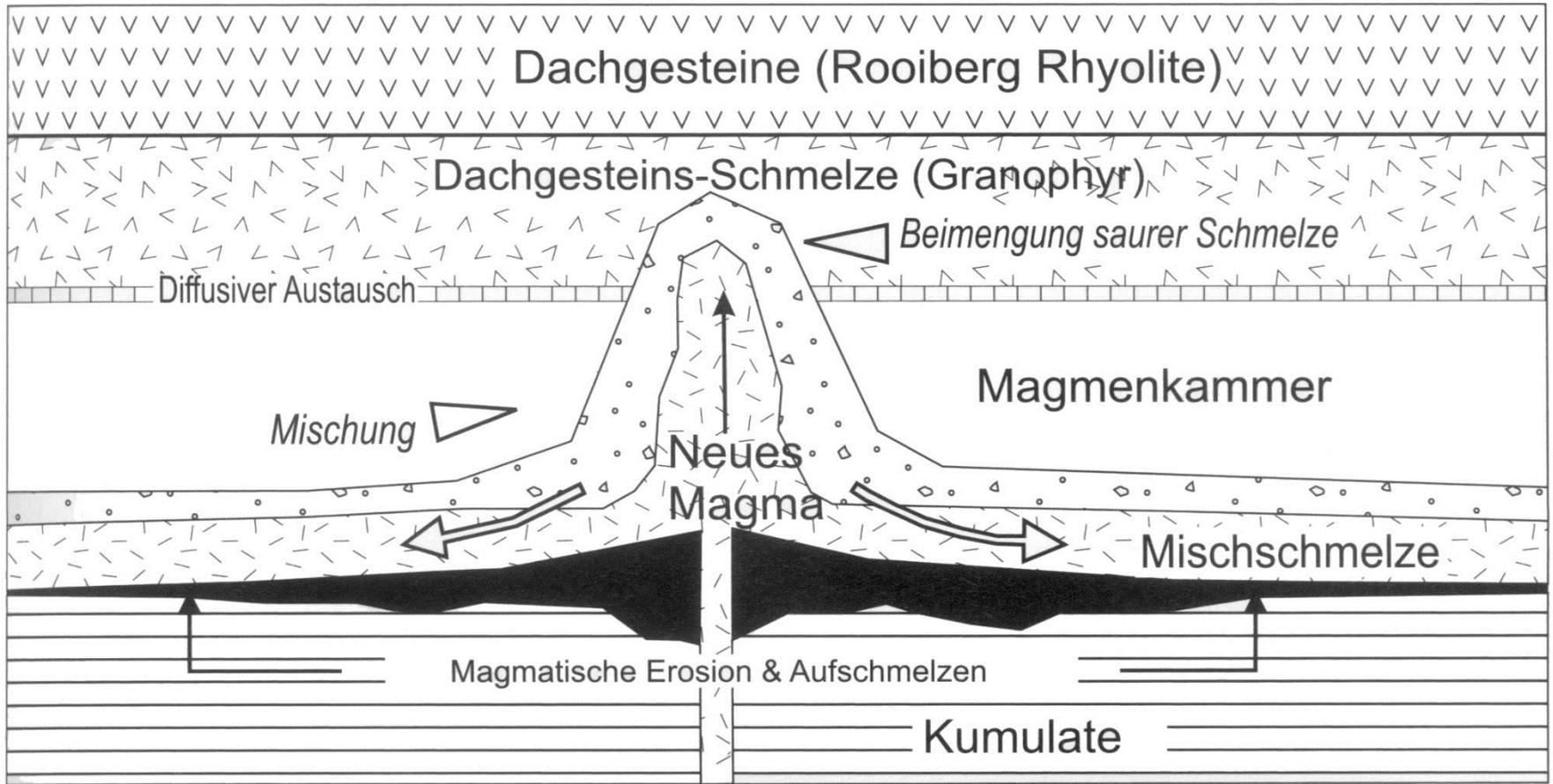
Chromit in Ophiolithen: Iran



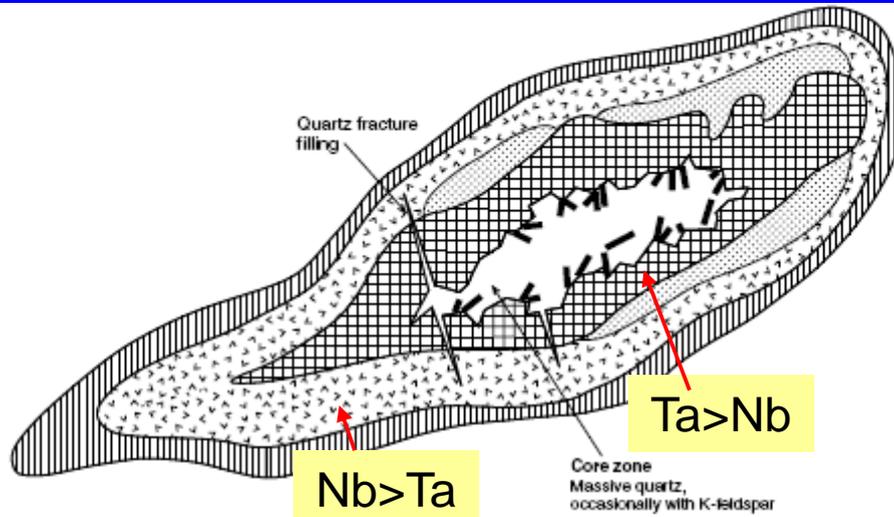
- Oberer Erdmantel
- Inselbogenmilieu
- Chrom-reich
- Os, Ir, Ru > Pt, Pd
- arm an Platin

Chromitlagerstättenbildung

- **Stratiforme Komplexe:** Mischung von differenzierten (tholeiitischen) und primitiven (Mg-reichen) Schmelzen
- **Ophiolithe:**
 - Gravitatives Absinken von Kumulatphasen in den Mantel
 - Akkumulation in kleinen Magmenkammern im Mantel
 - Entmischung einer fluiden Phase aus der Schmelze
 - Reaktion einer Mg-reichen Schmelze mit residualem Mantelperidotit

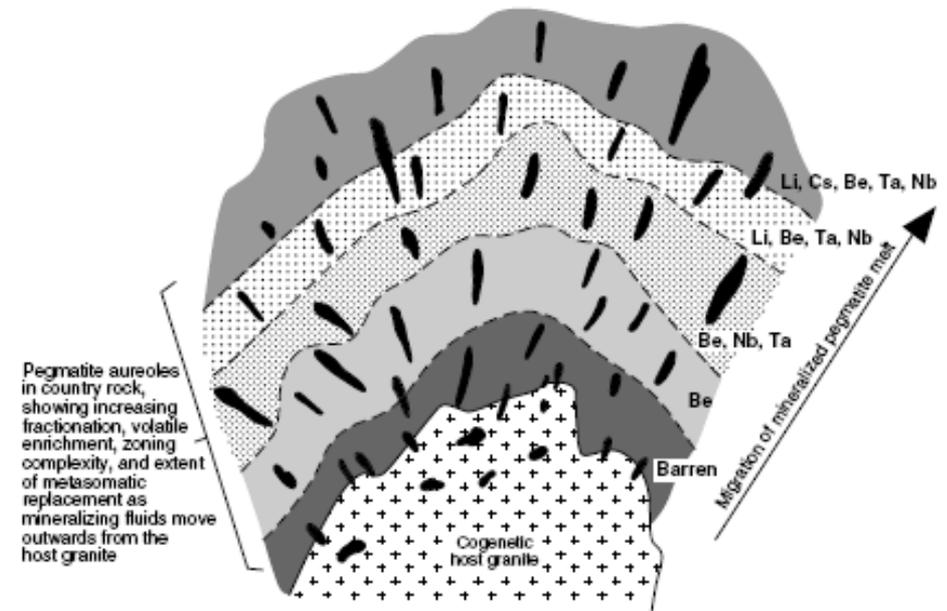


„Selten-Metal“-Pegmatite



- | | | | |
|--|--|--|--|
| | Border zone
Commonly a very thin zone of aplite albite and quartz ± muscovite | | Intermediate zone/s
May range from 0 to 10 zones. Tantalum > niobium. Large crystals of spodumene, quartz, K-feldspar, muscovite, and amblygonite are common. Concentrations of beryllium, tin, tantalum, niobium, lithium, zirconium, caesium, and titanium mineralization may be present |
| | Wall zone
Niobium > tantalum. Coarse-grained quartz, K-feldspar, albite, and muscovite, with accessory beryl, tourmaline, columbite, and muscovite | | Albite zone
Massive cleavelandite, often replaced by sugary albite. Minor muscovite and quartz. Host for tantalum mineralization. In areas of fracture filling may be replaced by muscovite-quartz-rich metasomatic gneisen |
| | Core margin
Large crystals of tourmaline, beryl, and spodumene | | |

Regionale Zonierungsmuster von „Rare-metal“ Pegmatiten



Rare-metal elements

- Li Lithium
- Cs Caesium
- Be Beryllium
- Ta Tantalum
- Nb Niobium

Pegmatit

- grobkörniges magmatisches Gestein
- meist granitischer Zusammensetzung
- an inkompatiblen Elementen angereichert
- Beryllium, Lithium, Cäsium, Rubidium, Zinn, Niob, Tantal, Edelsteine, Industrieminerale (Quarz, Feldspat, Muksovit)

Spodumen-Pegmatit, Etta Mine, Black Hills (North Dakota)



**Spodumen =
Lithium-Pyroxen
 $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$**

Buranga, Ruanda: Tantal-Phosphatpegmatit



Nkegete, Ruanda: Tantal-Zinnpegmatit intrudiert Metasedimente



Bijyojyo, Ruanda: Tantal-Zinnpegmatit



Rubikon, Namibia: Lithium-Cäsium-Beryllium Pegmatit



Lagerstättenbildende Prozesse (Metallogenese)

1. Magmatische Systeme

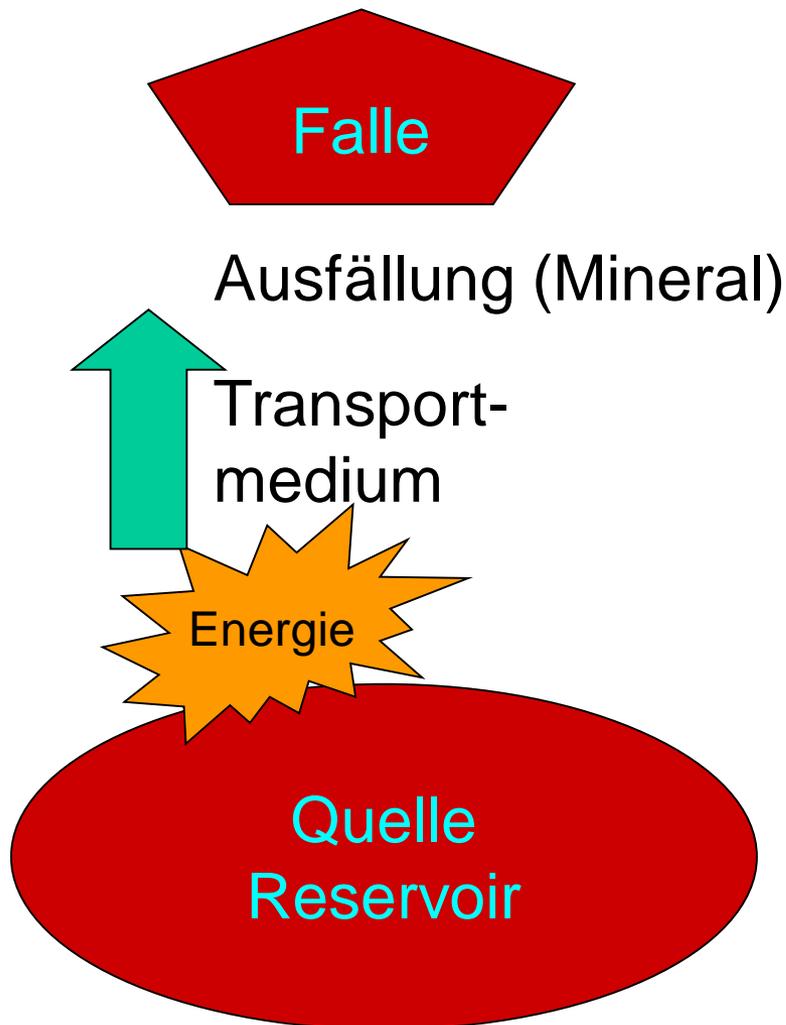
1. Kristallfraktionierung: Kumulatbildung
2. Nichtmischbarkeit von Schmelzen
 1. Oxidmagmen
 2. Sulfidschmelzen mit Ni-Cu-Fe-PGE

2. Hydrothermalsysteme

Natürliche heiße Wässer (Fluide) mit gelösten Gasen, Salzen, Metallen

300-500°C	hypo- oder katathermal
200-300°C	mesothermal
<200°C	epithermal

Wie bilden sich Lagerstätten?



Hydrothermale Lagerstätten
(Cu, Zn, Pb, Ba, Fe)

Kluft → Erzgang

Abkühlung, Reaktion
mit Nebengestein

Wasser (heiß), gelöste Elemente

Geothermischer Gradient

Erdkruste

Löslichkeit von SiO₂ in Wasser

solubility of amorphous silica and quartz at 25°C

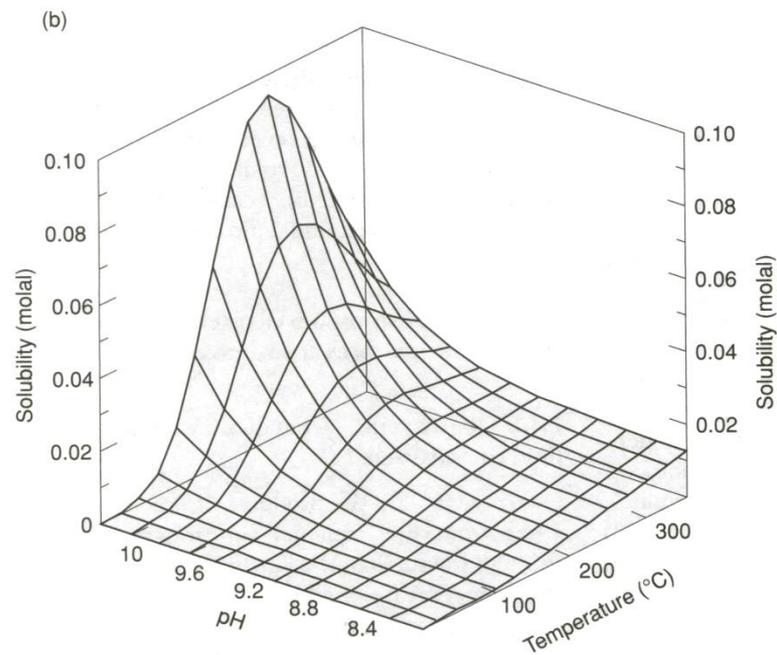
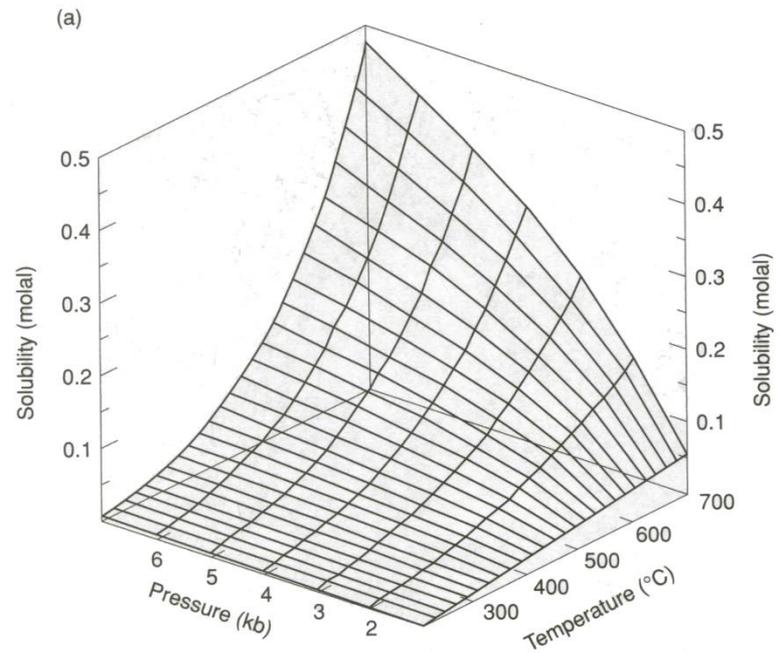
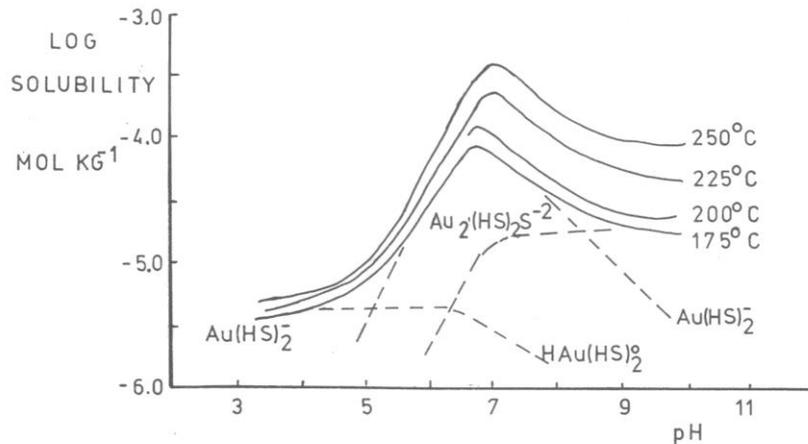
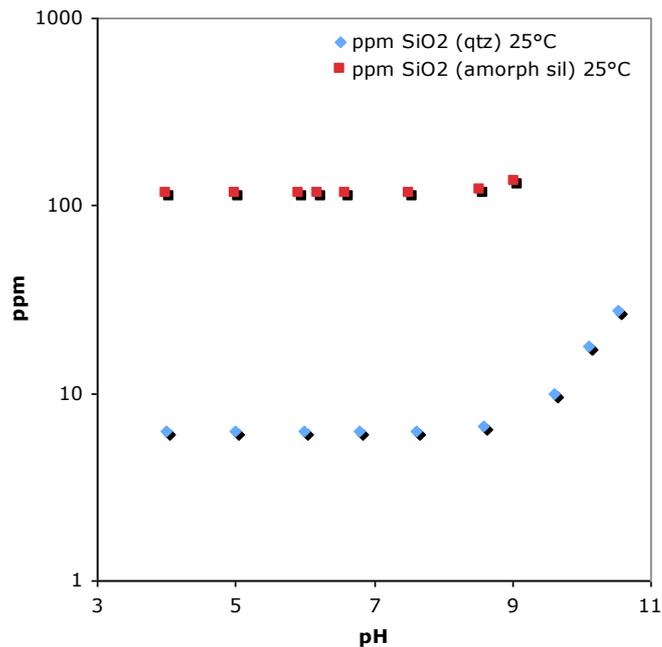


Fig. 15.6. Logarithm of Au solubility in sulphide solutions as a function of pH, temperature and complexes (pressure 1 kbar) (After Seward 1984)

Elementkonzentrationen in Lösungen

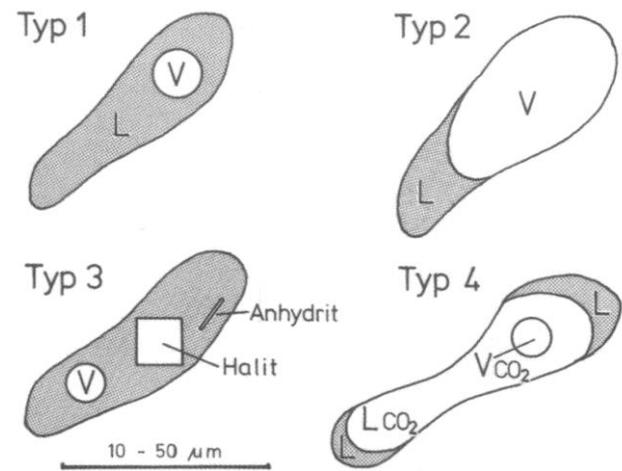
Spezies (ppm)	Meerwasser	Black smoker (100-300°C)	Regenwasser (meteorisch)	Kalte Quelle (6°C)	Heiße Quelle (300°C)
Na ⁺	10,000	6,000 – 14,000	1	23	187
Cl ⁻	20,000	15,000 – 25,000	1.1	3.1	21
SO ₄ ²⁻	2,700	0	1.5	11	103
Mg ²⁺	1,300	0	0.2	2.4	0
Ca ²⁺	410	36	0.4	5.1	0.5
K ⁺	400	26	0.5	1	27
Si ⁴⁺	0.5 – 10	20	1.2	17	780
Metalle	gering	angereichert	gering	gering	angereichert

(L. Robb, 2005)

Hydrothermalsysteme

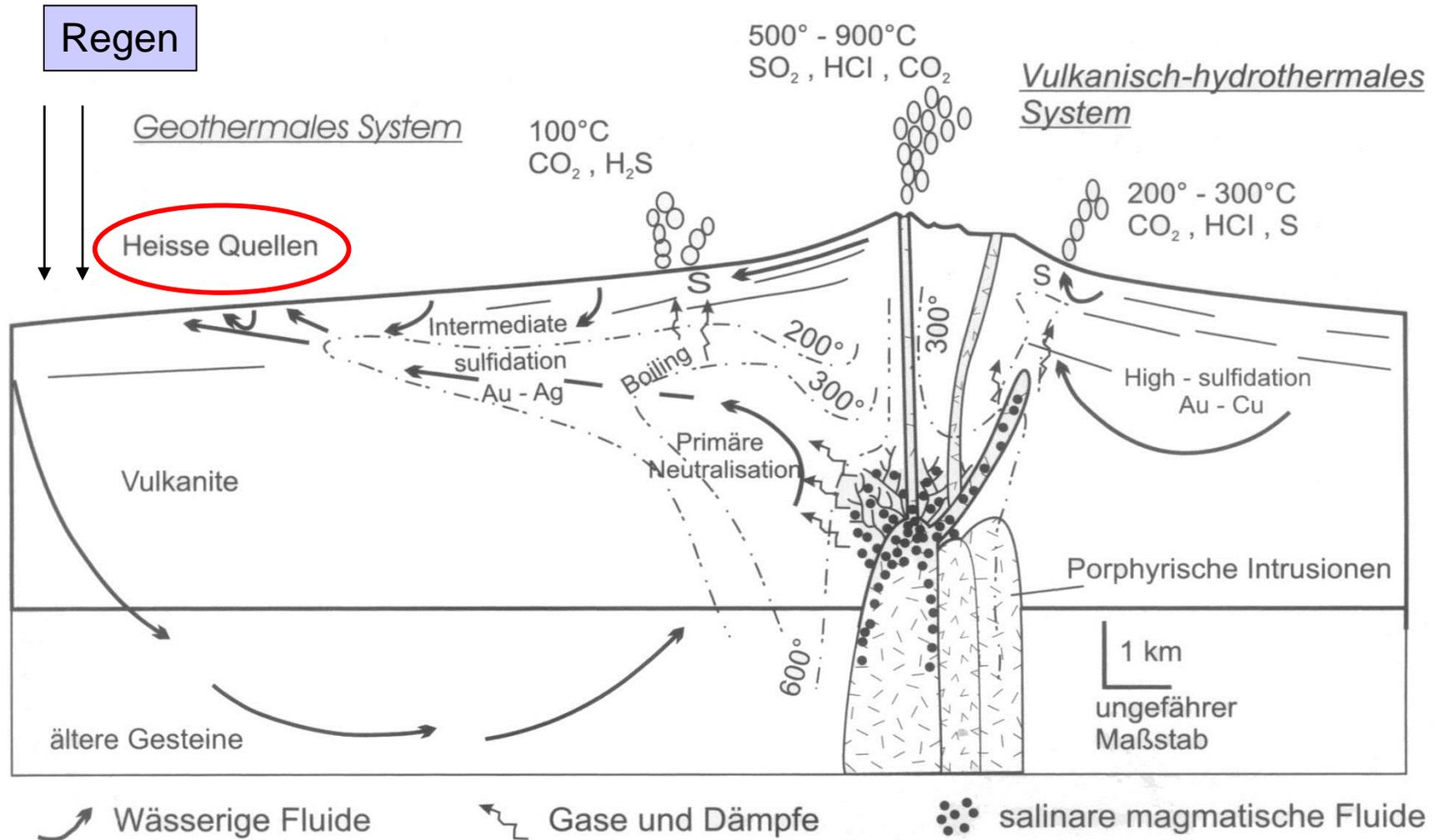
Flüssigkeitseinschlüsse in Mineralen (FI)

1. Meteorische Wässer
Regenwasser, auf 100-350°C aufgeheizt; in aktiven vulkanischen Gebieten
2. Meerwasser
bis 400°C aufgeheizt; an mittelozeanischen Rücken, Spreizungszentren
3. Beckenfluide
„altes“ Meerwasser + meteorisches Wasser in mächtigen Sedimentbecken,
hochsalinar, >100°C, mit Öl + Gas
4. Magmatische Fluide
entmischen aus einem Magma; salz- und metallreich, bis 600°C
5. Metamorphe Wässer
Dehydratation von wasserhaltigen Mineralen bei Versenkung, 200-600°C



1. Meteorische Wässer: Epithermalsystem

T = 100-350°C
Niedrige Salinität



Geysir, Yellowstone Nationalpark (Wyoming)



**Rezente Lagerstättenbildung aus
hydrothermalen Lösungen**



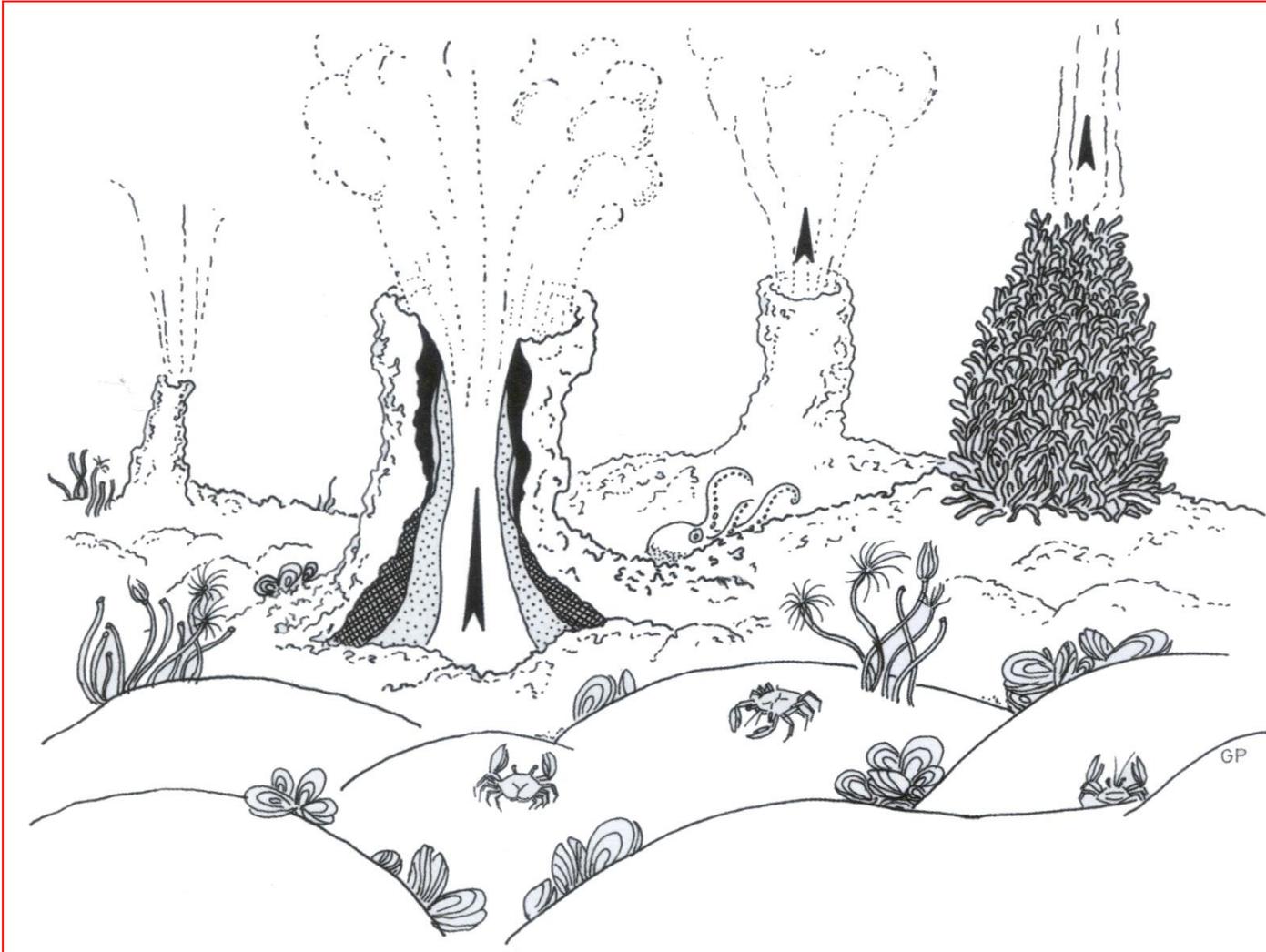
Imiter, Marokko (Anti-Atlas)
Epithermale Ag-Lagerstätte, 550 Ma alt
600 ppm Ag (ged. Ag, Ag-Sulfide)
Jahres-Produktion 230 t Ag, 2 t Hg

Produktion 230 t/a
Preis: 19.11 \$/Unze



Imiter, Marokko: 400.000 \$ Silber pro Tag

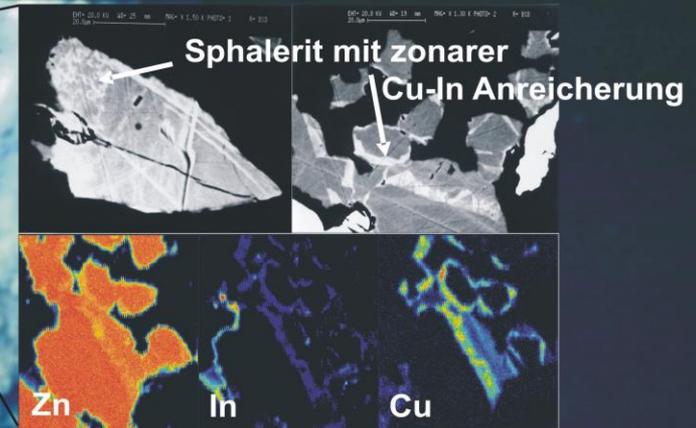
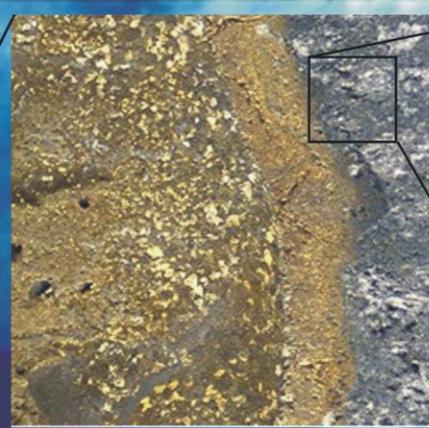
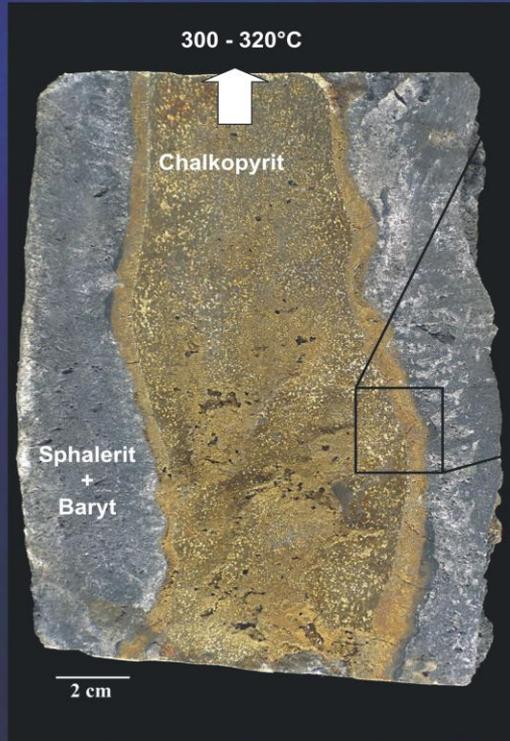
2. Hydrothermalsystem am Meeresboden „Black Smoker“



Cu-Zn-(Au, Ag)
Baryt, Anhydrit

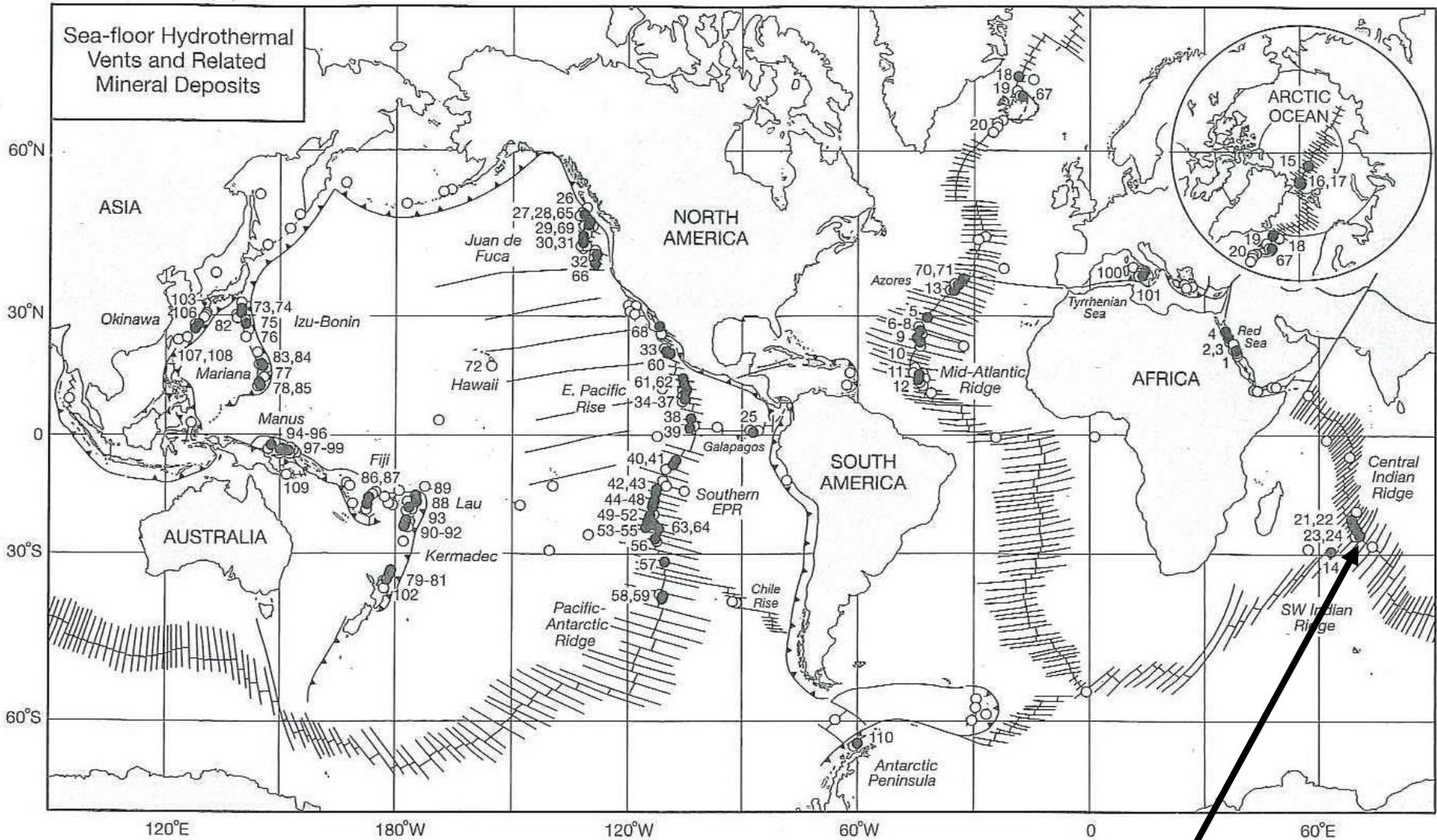
T < 400°C
Niedrige Salinität
Meerwasser

Konvektion durch
Magmatismus
an ozeanischen
Spreizungszentren



Schnitt durch einen ehemals aktiven 'black smoker' aus dem Vai Lili Hydrothermalfeld, Lau Becken, SW-Pazifik.

Indium-reicher 'black smoker' im südlichen Lau Becken, SW-Pazifik. Die Indium-Konzentration in den >300°C-heissen Fluiden beträgt ~12 μ l/l (107 nmol/kg).



Temperaturrekord !!
 BGR-Expedition INDEX 2013
 418°C

Rammelsberg: eine sedimentär-exhalative Lagerstätte von Weltformat



Roederstollen, Rammelsberg



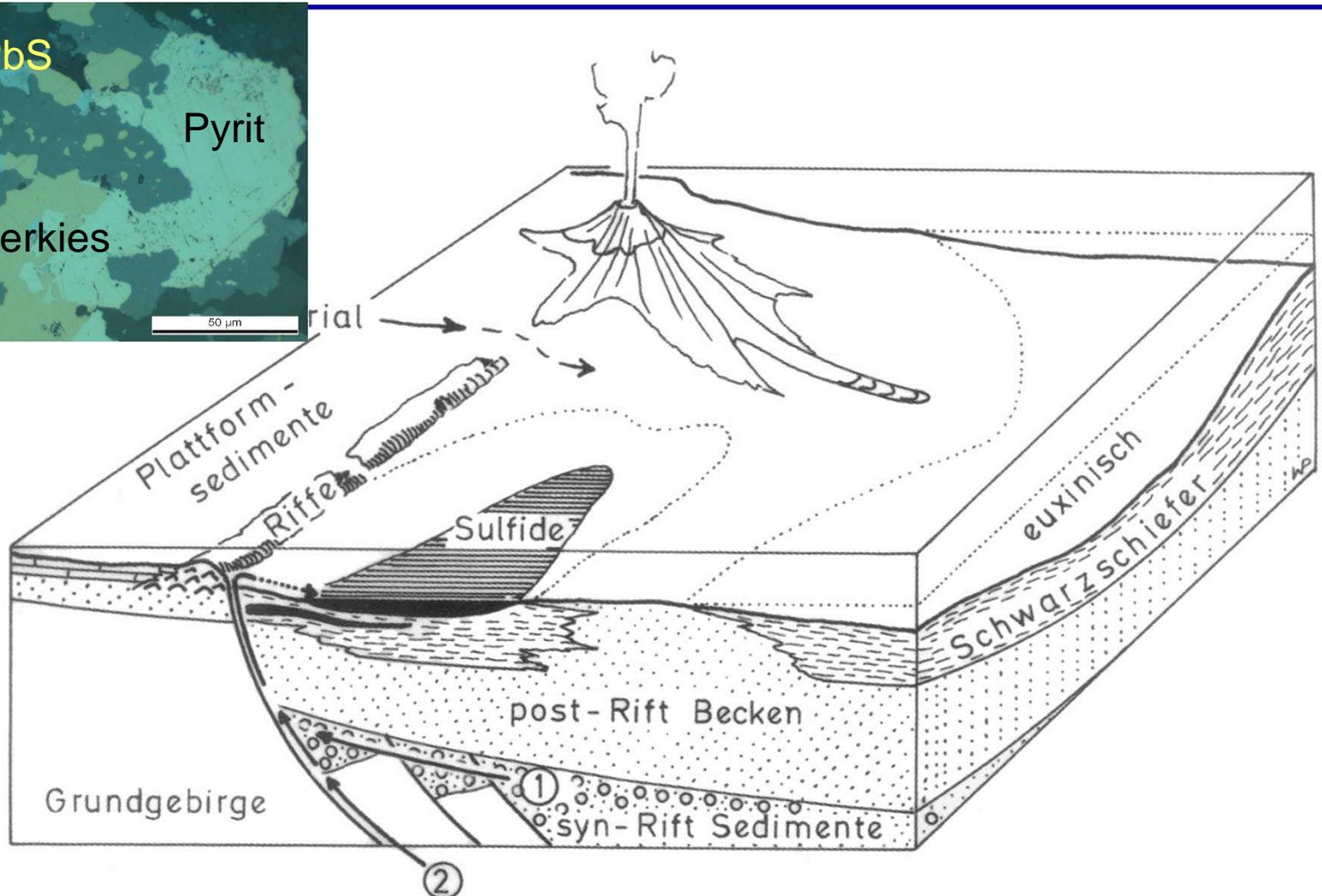
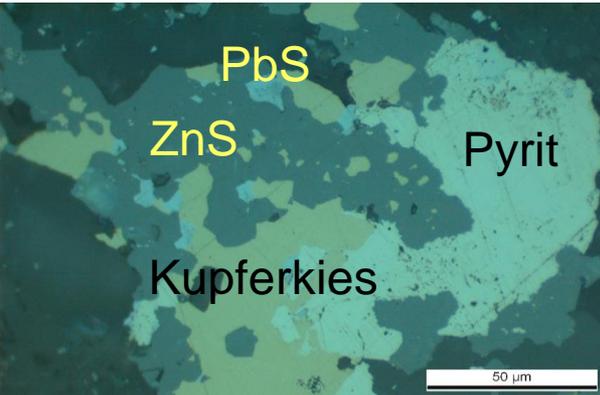
Rammelsberg - Erztypen



Melierterz: mylonitische Textur

Zn-Pb-Cu-Erz: Pyrit, Magnetkies, Kupferkies, Zinkblende, Bleiglanz,...

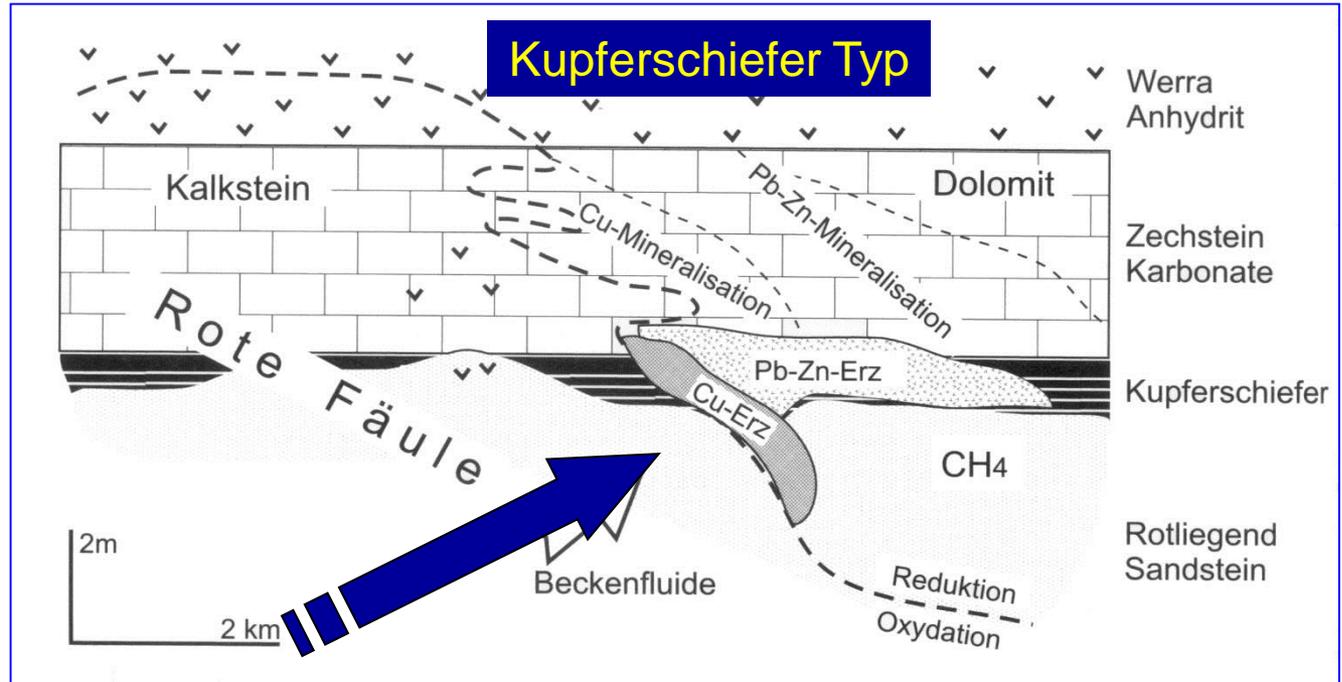
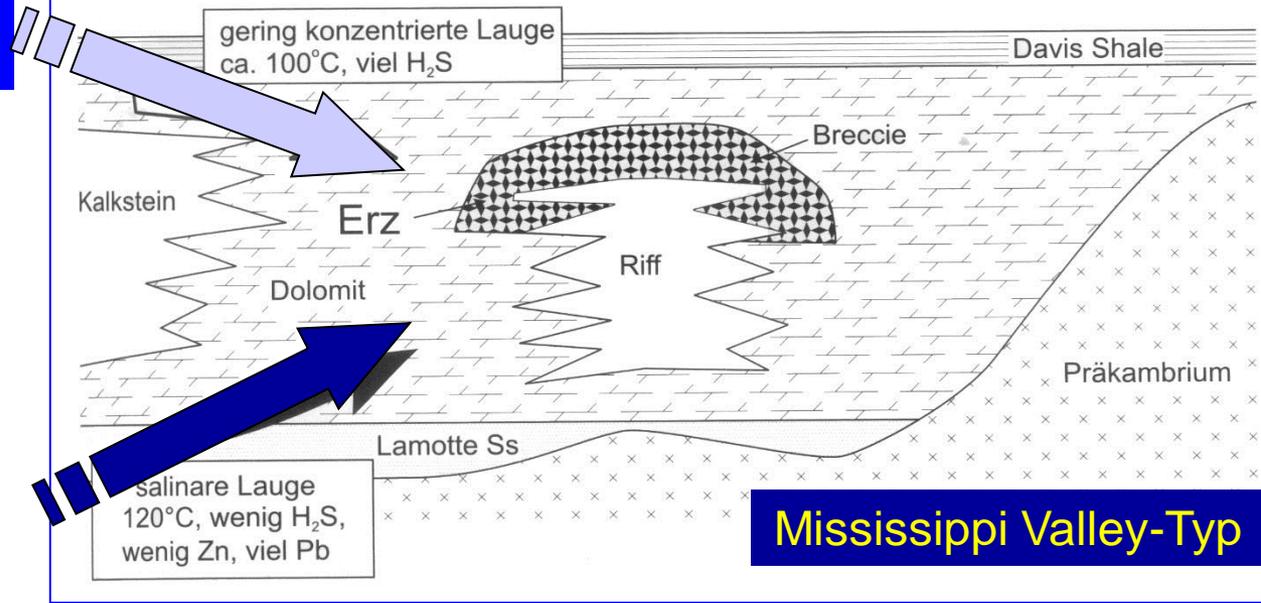
SEDEX Lagerstätten (Typ Rammelsberg)



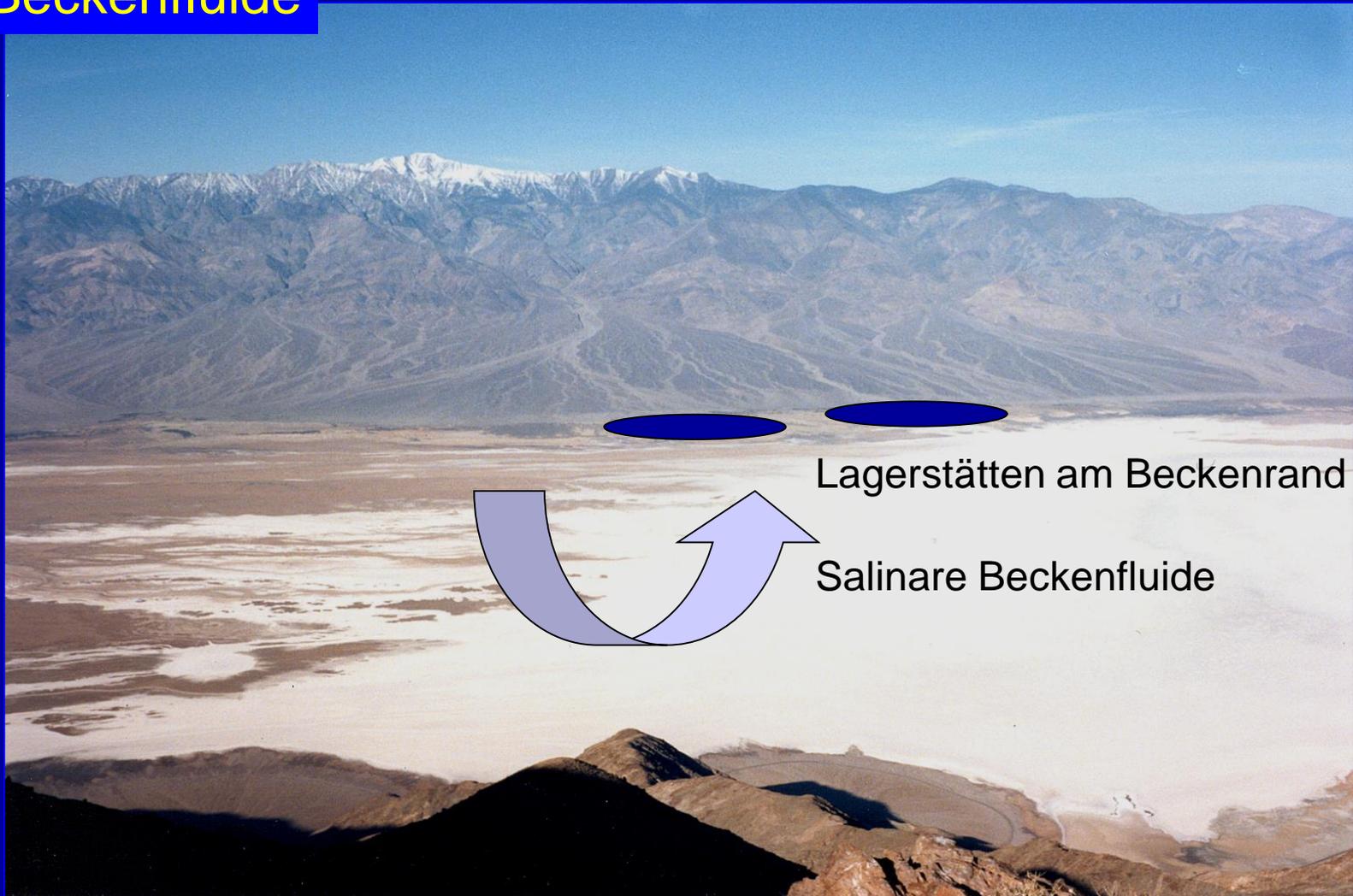
3. Beckenfluide

T > 100°C
Hohe Salinität

Zn, Pb, Cu
Baryt
Erdöl
Erdgas



3. Beckenfluide

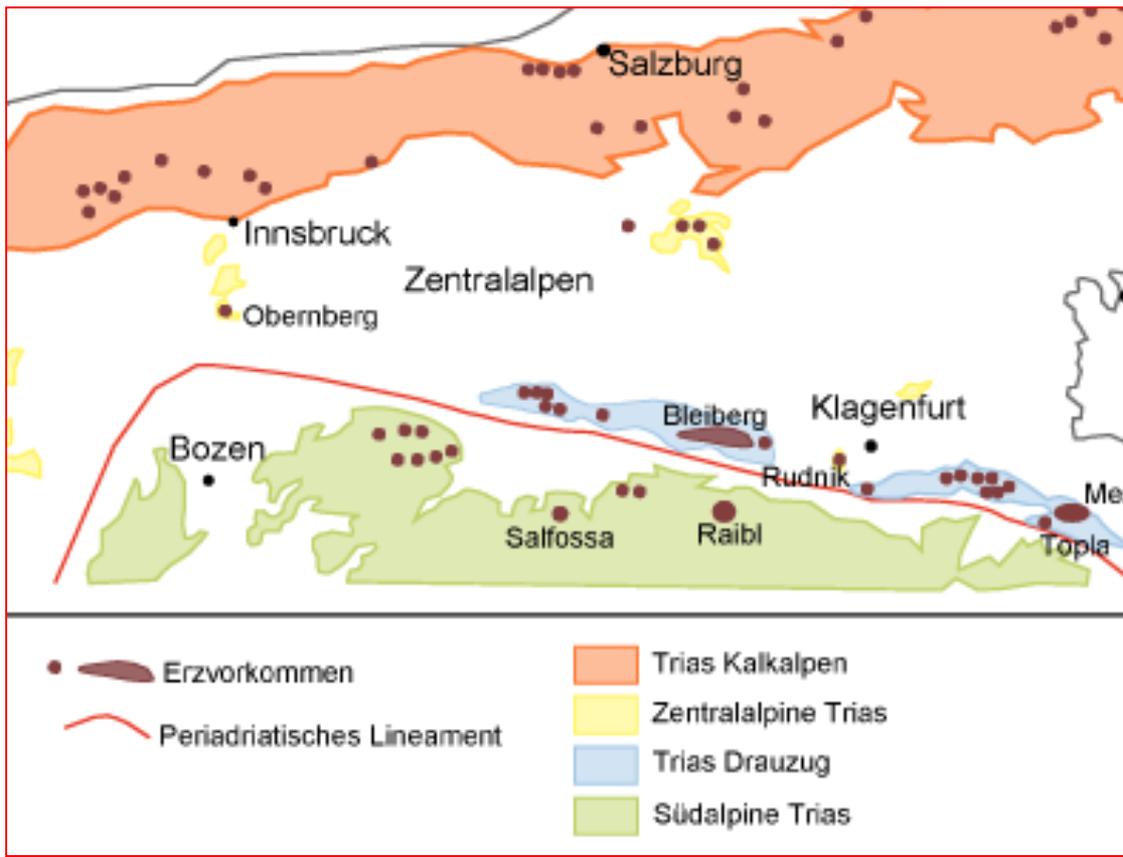
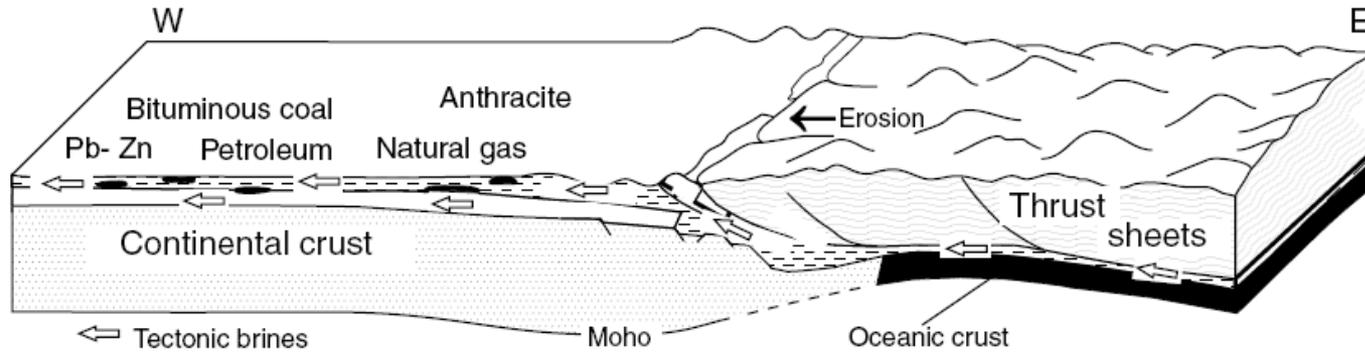


Ton/Salz-Playa mit Boraten
Death Valley (Kalifornien)

Diagenetisch-hydrothermale Lagerstätten: Mississippi Valley-Typ (MVT)

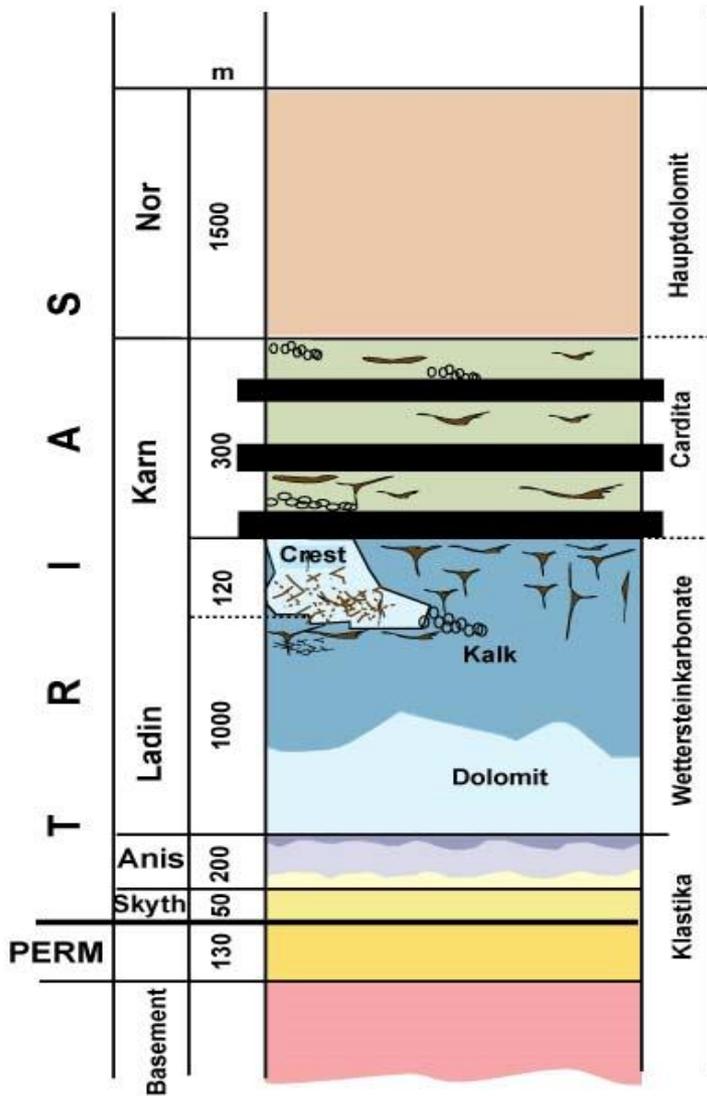
Pb, Zn, Ba, F

Fluidbewegung (tectonic brines) in den Appalachen



Alpiner Typ („Typ Bleiberg“)

Bleiberg-Kreuth, Kärnten (Österreich): „Bleiberg-Typ“



Legende:



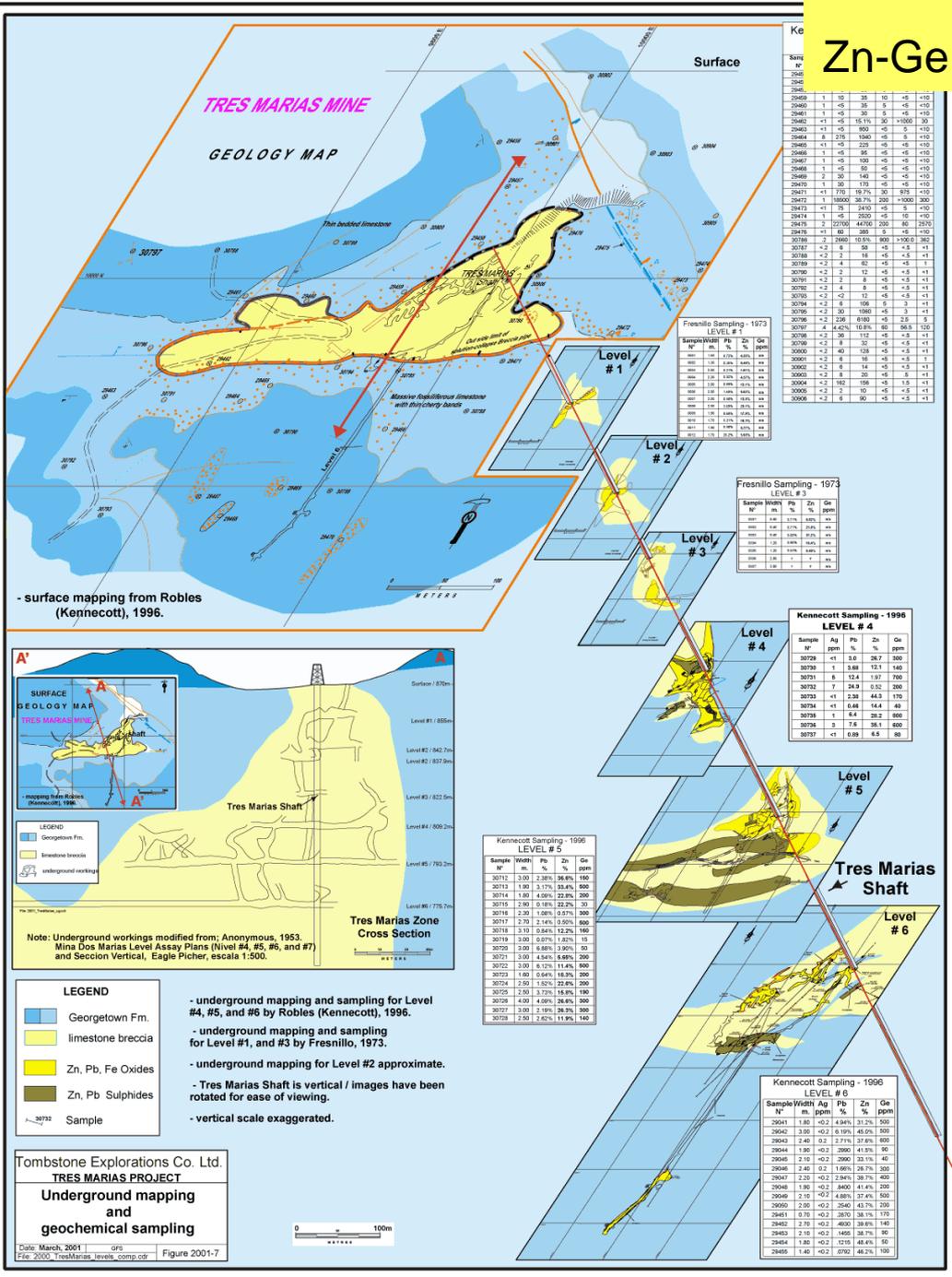
- sechs Erzhorizonte
- Höchste Erzkonzentration in der oberen Wettersteinformation
- unterschiedliche Erztexturen:
 - Lagen
 - Adern
 - Brekzien
 - Netzwerkvererzung

- >3 Millionen Tonnen Erz mit Zn/Pb = 5-6
- Germanium, Cadmium als Beiprodukte
- ca. 200 g/t Ge und 2000 g/t Cd im Sphalerit

Modifiziert nach Cerny (1989) und Schulz & Schroll (1977)

Tres Marias, Mexiko

Zn-Ge Lagerstätte in Karstbreccie (MVT?)



Tombstone Explorations Co. Ltd.
TRES MARIAS PROJECT
 Underground mapping
 and
 geochemical sampling

Date: March, 2001 ors
 File: 2000_TresMarias_levels_comp.cdr Figure 2001-7

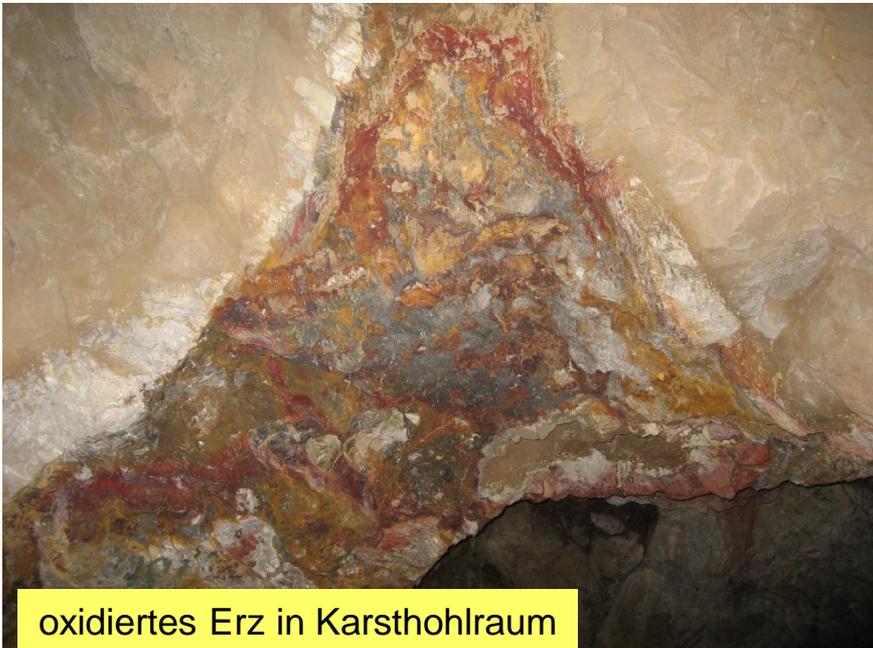
Tres Marias, Mexiko
Zn-Ge Lagerstätte in Karstbreccie (MVT?)



Zinkblende (Schalenblende)



Bitumen



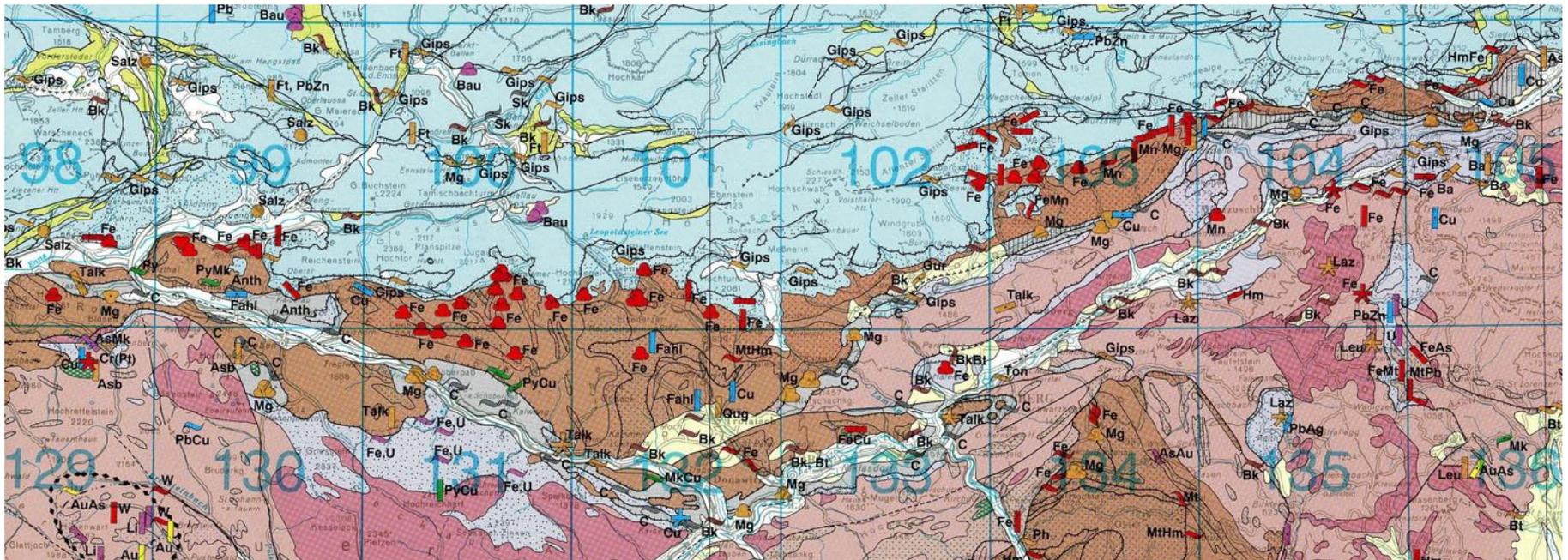
oxidiertes Erz in Karsthohlraum



oxidiertes Erz

IV. Diagenetisch-hydrothermale Lagerstätten

Weber et al. (1997)

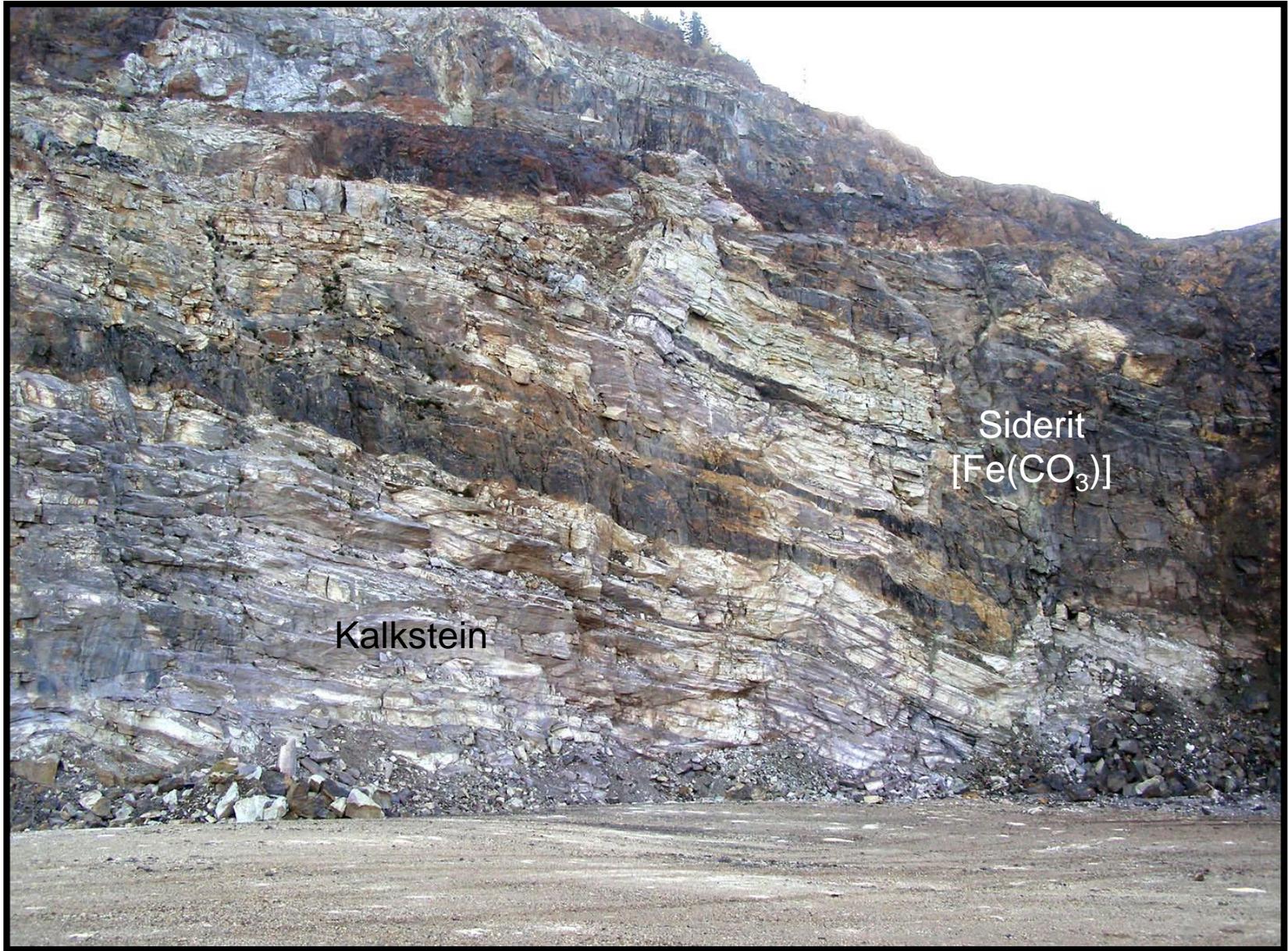


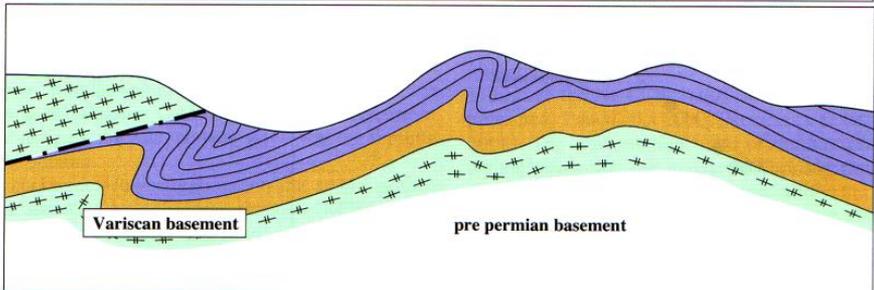
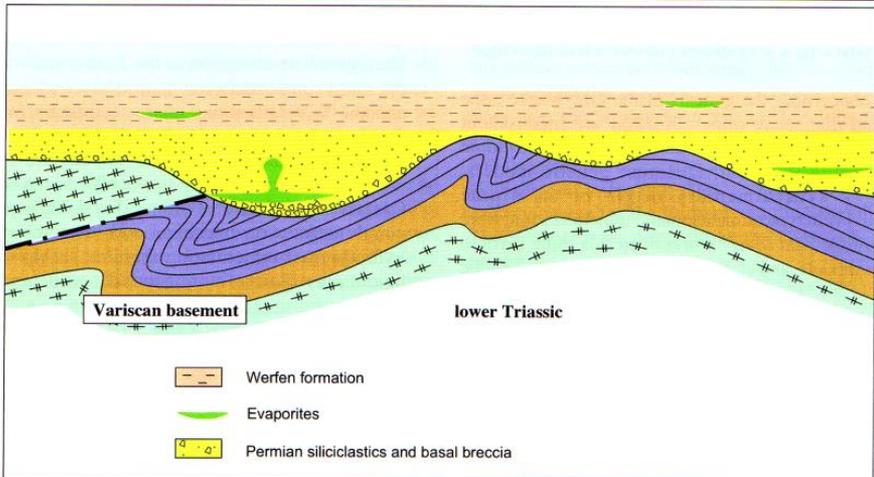
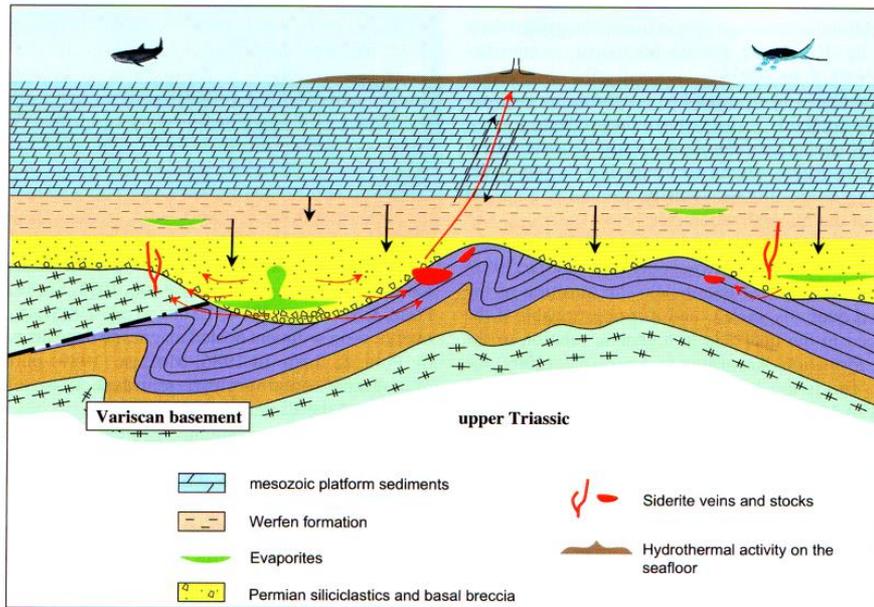
Die karbonatischen Eisen-Mineralisationen in der Östlichen Grauwackenzone:

Siderit und Ankerit



Erzberg





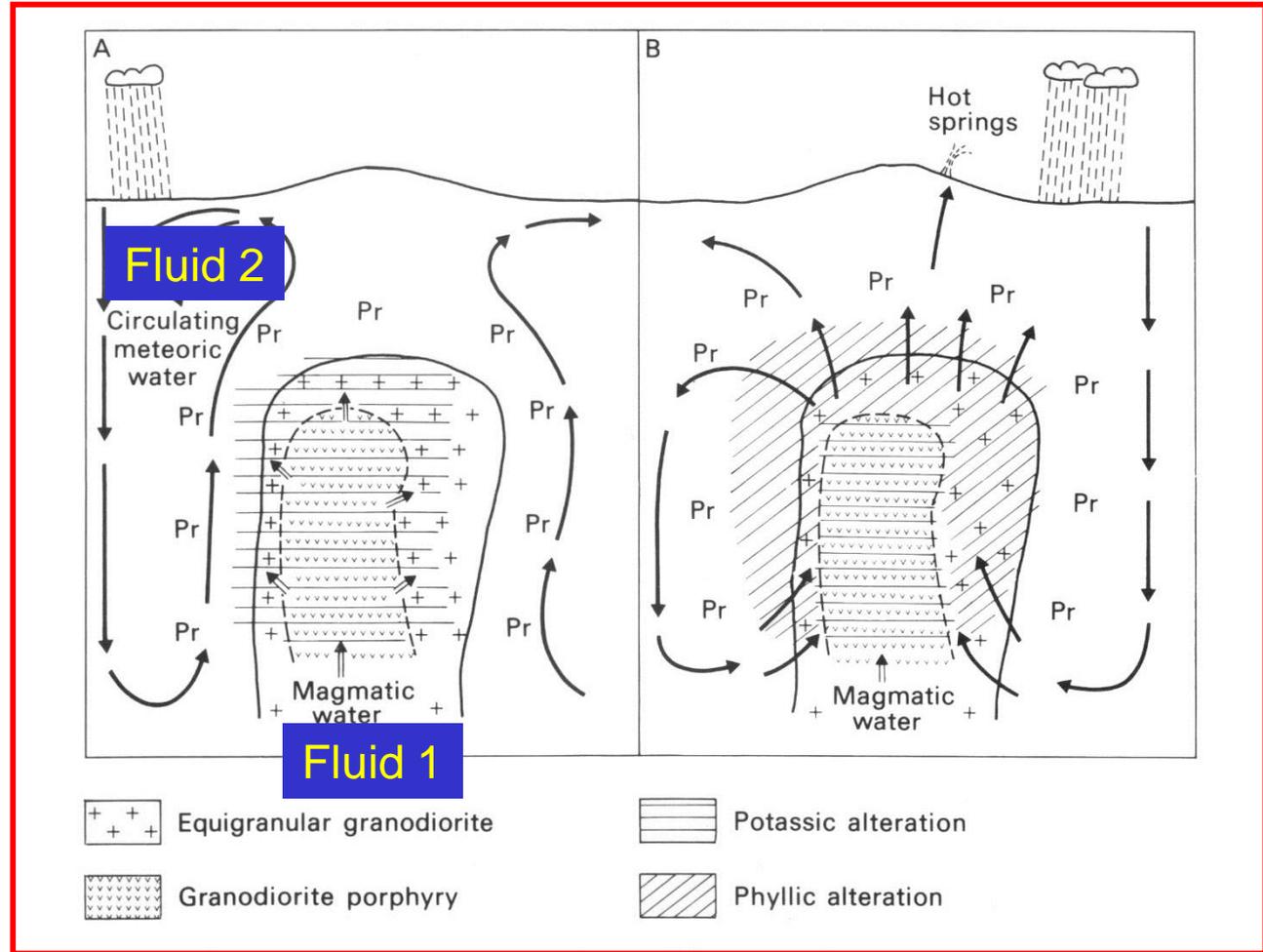
genetisches Modell für die Sideritbildung

4. Magmatische Fluide

T < 600°C
Hohe Salinität

Cu, Mo
Sn, W

Porphyrische Kupferlagerstätten



Cu-Mo-Porphyry Berkeley Pit, Butte (Montana, USA)



Assarel-Medet

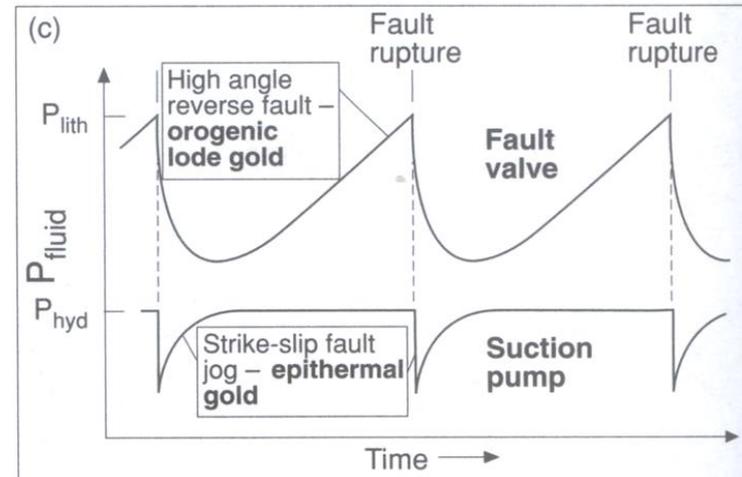
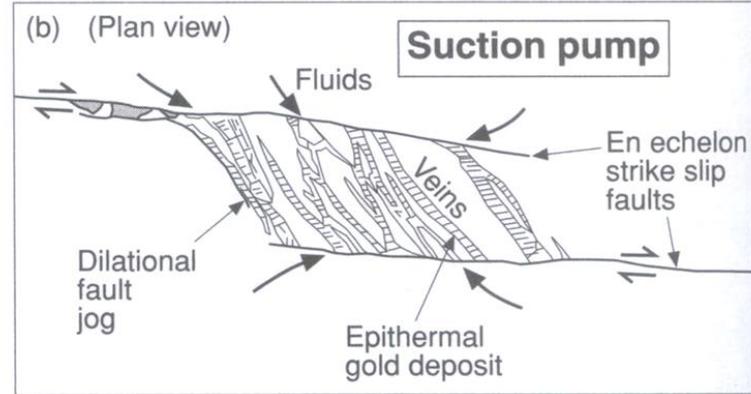
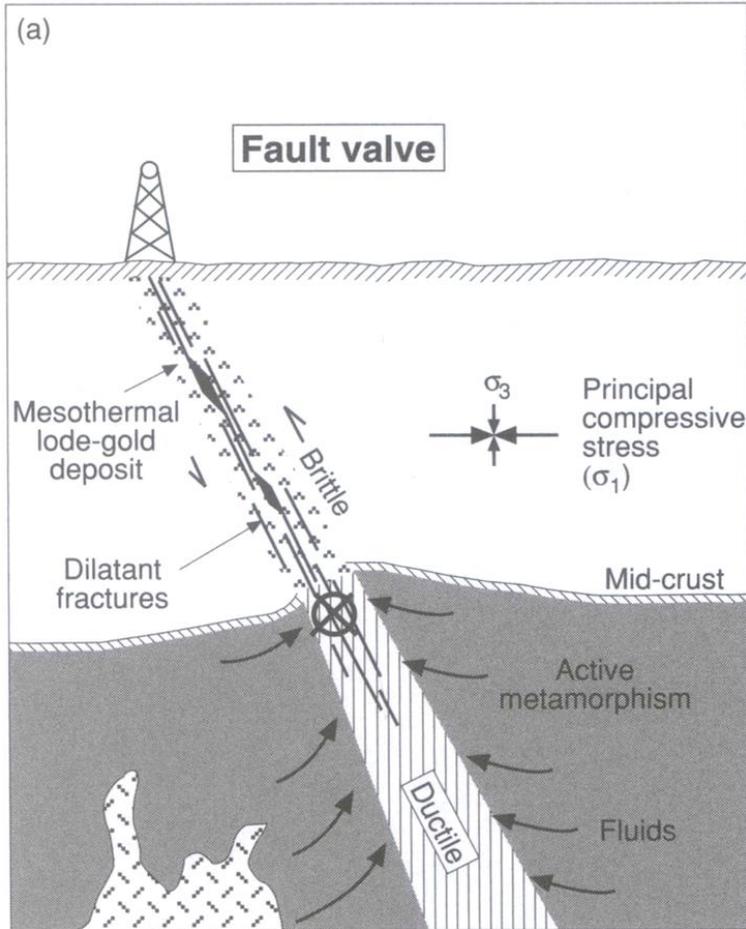


Porphyrische Kupfer(Gold-Molybdän)-Lagerstätten in Bulgarien



5. Metamorphe Fluide

T = 200 - 600°C
Meist niedrige Salinität



Quarzgang (mit Gold) in Mangan-reichen Sedimenten (Gondite), Nangodi belt, Ghana (Strong Reef)



Silberek SE-Grat

Tauern – Gold

Murtal

Altenbergtal

Fensterstollen

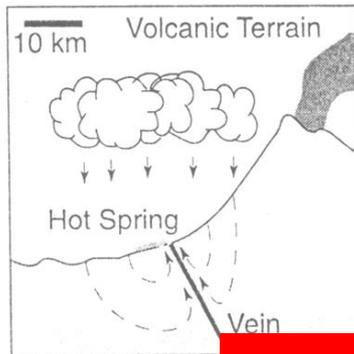
Wasserstollen

Fahlerzstollen

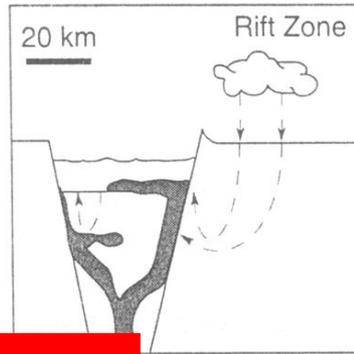
Seit 2007 aktuelle Explorationsarbeiten im Lungau



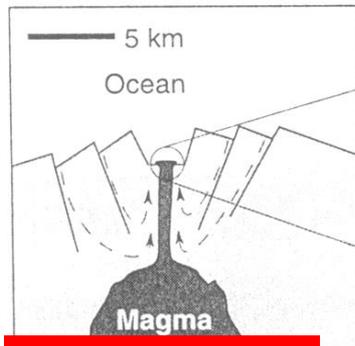
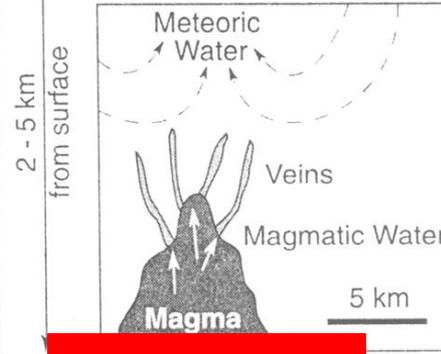
Hydrothermal Systems



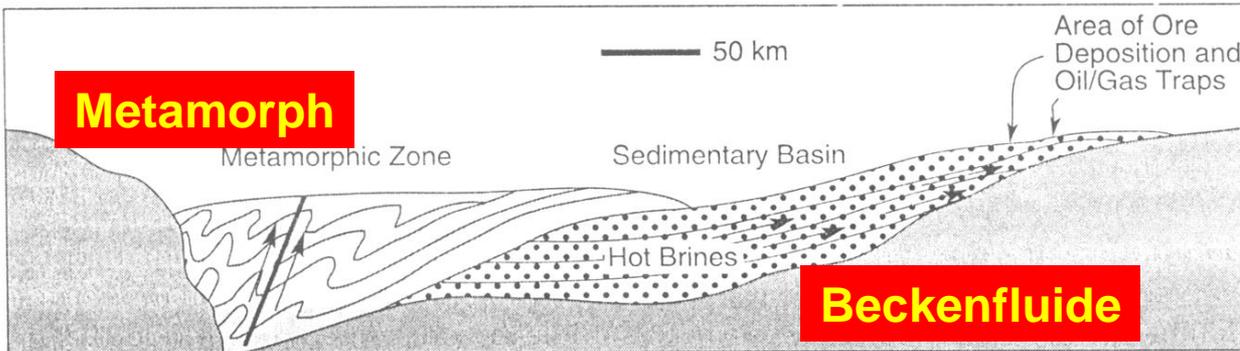
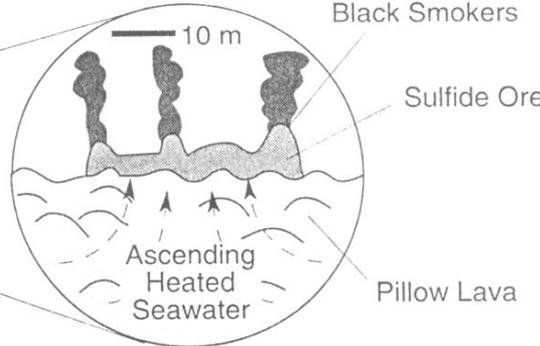
Meteorisch



Magmatisch



Meerwasser



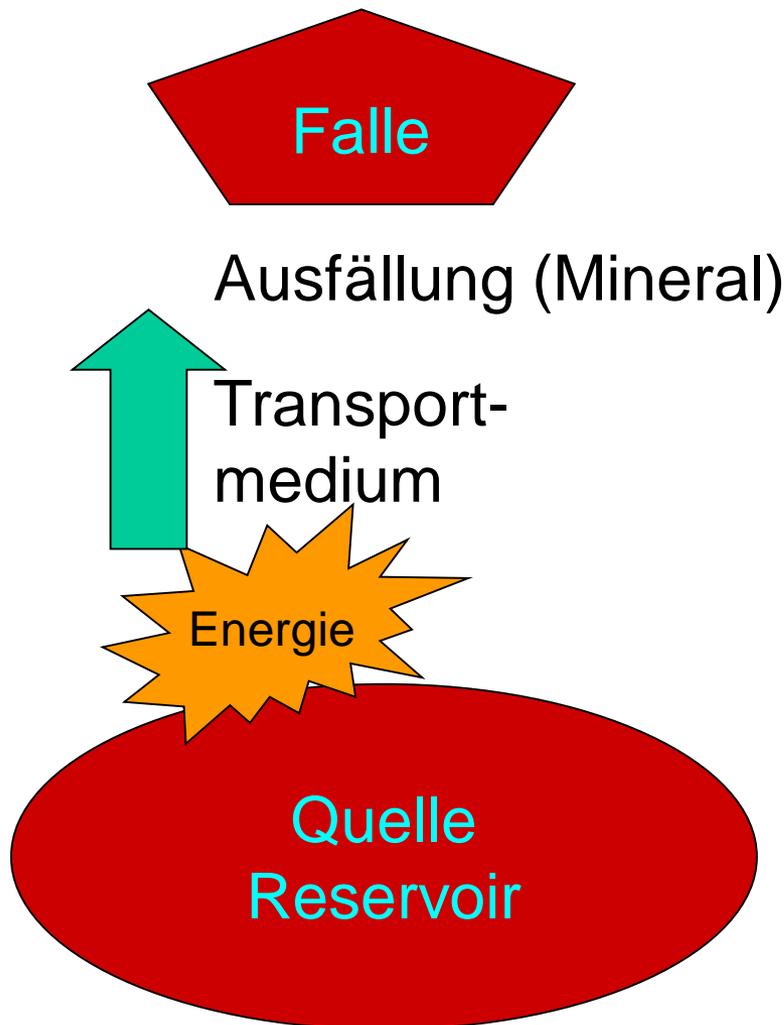
Metamorph

Beckenfluide

Metamorphic Water System

Basinal Water/Hydrocarbon System

Wie bilden sich Lagerstätten?



Sedimentäre Lagerstätten
(Fe, Mn, P)

Sediment / Wasser Kontakt

Oxidation

Wasser (kalt), gelöste Elemente

Meerwasser
Verwitterungsmaterial (Erdkruste)

Banded Iron Formation - Oxid-Fazies

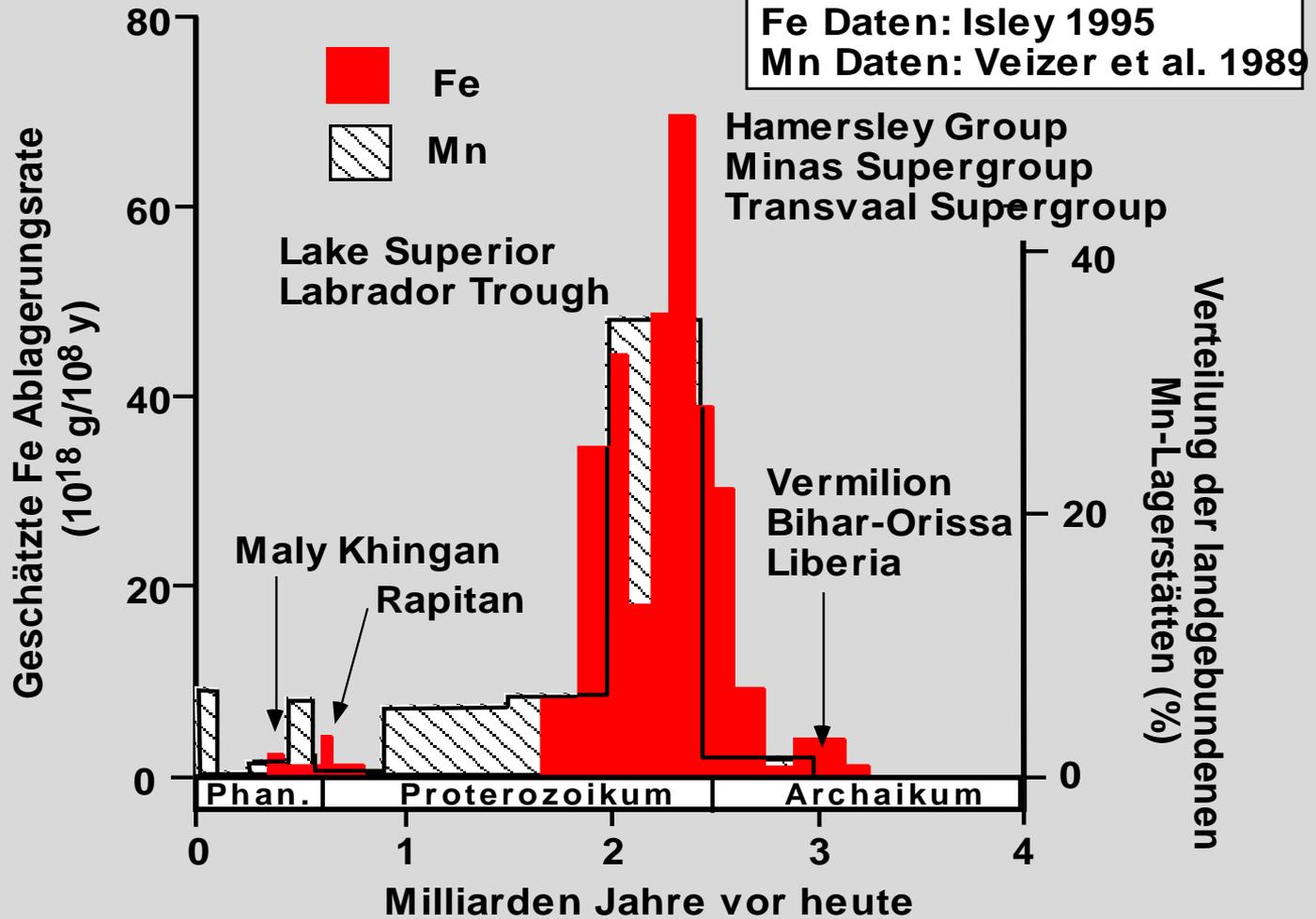


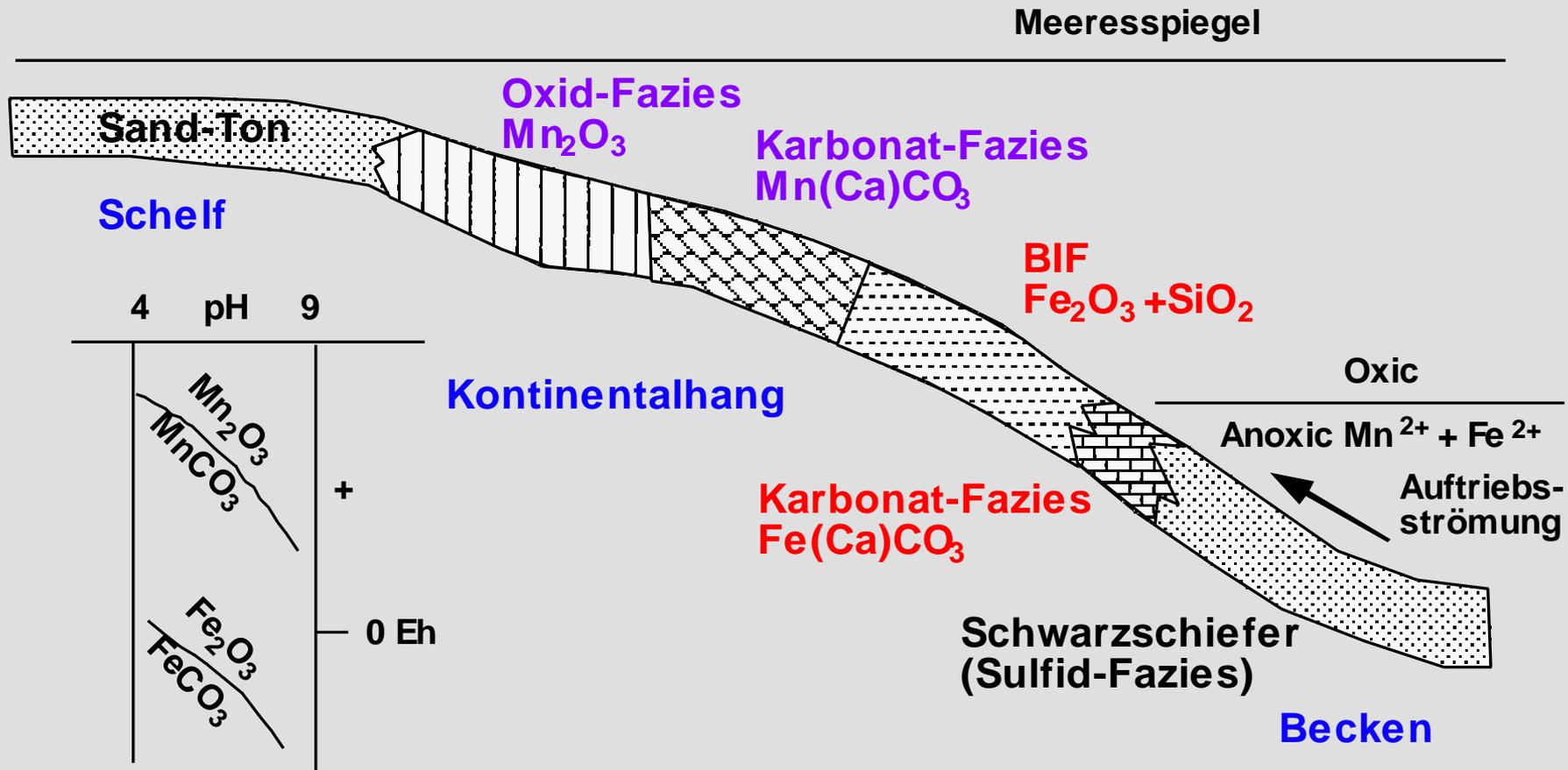
Hamersley Range, Pilbara Craton

Reserven (vor dem Abbau) 900 Mt @ 64% Fe
Verunreinigungen: 0.053% P, 3.5% SiO₂ und 1.9% Al₂O₃



Mount Tom Price





(Cannon and Force 1983)

BIF Ablagerungsmodell (Isley, 1995)

BIF-Sedimentation

- Hydrothermales Fe wird im flachen Schelfbereich (< km) gefällt

Hydrothormaler "Plume"

- Verdünnung der hydrothermalen Lösungen
- Fließgeschwindigkeit >> Vertikale Mischung
- Fe-Transport in O_2 -armen Milieu
- Bildung kolloidaler Fe-Oxide im Plume

- Hydrothormaler Austausch zwischen Gestein und Fluid 3x stärker als rezent
- Rücken in nur 500-1500 m Tiefe
- Oxidation des CH_4
- Rest S als Sulfide gefällt

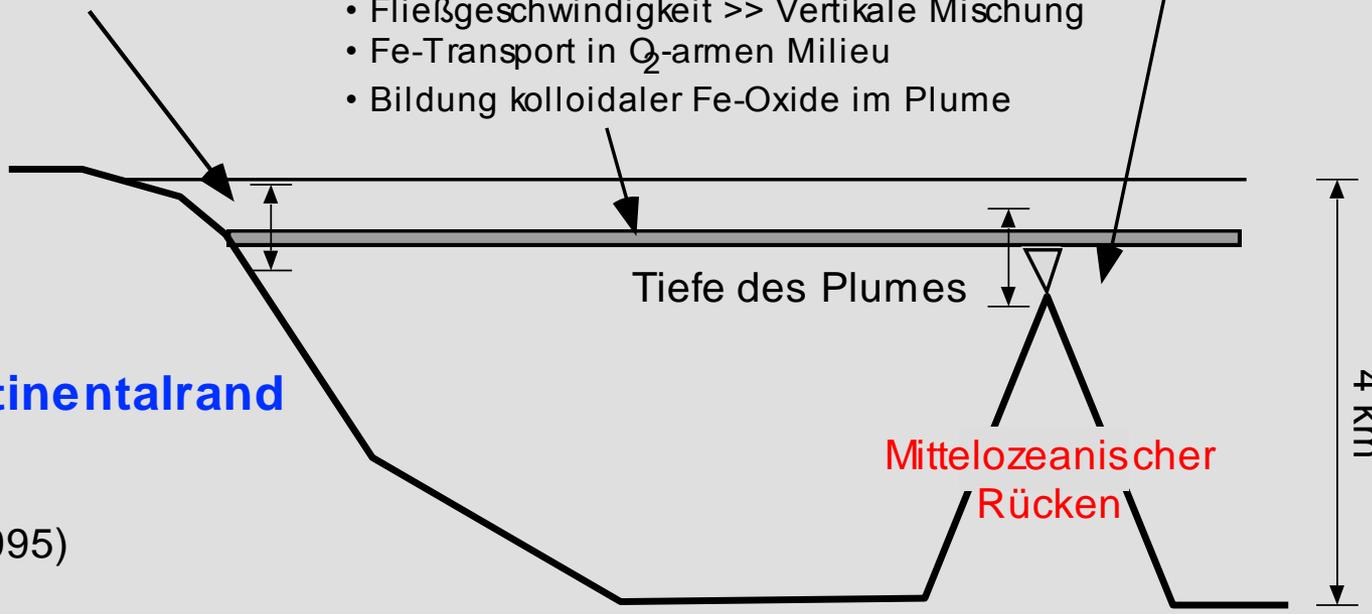
Kontinentalrand

Tiefe des Plumes

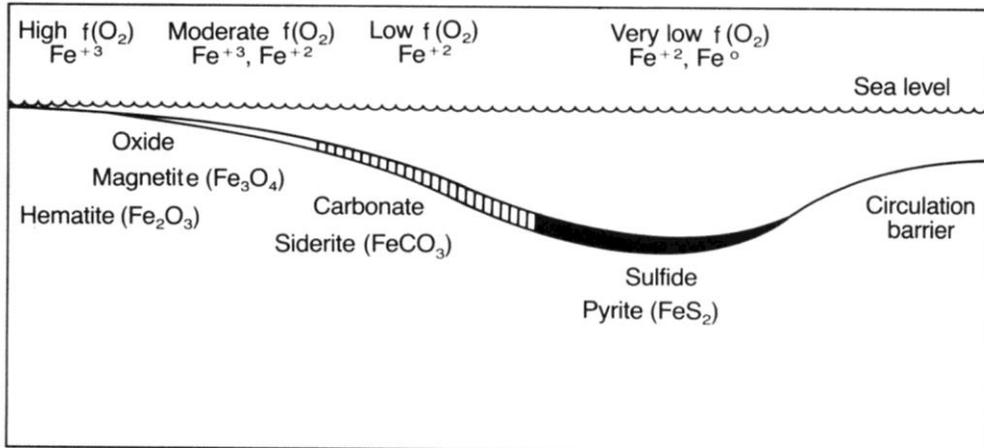
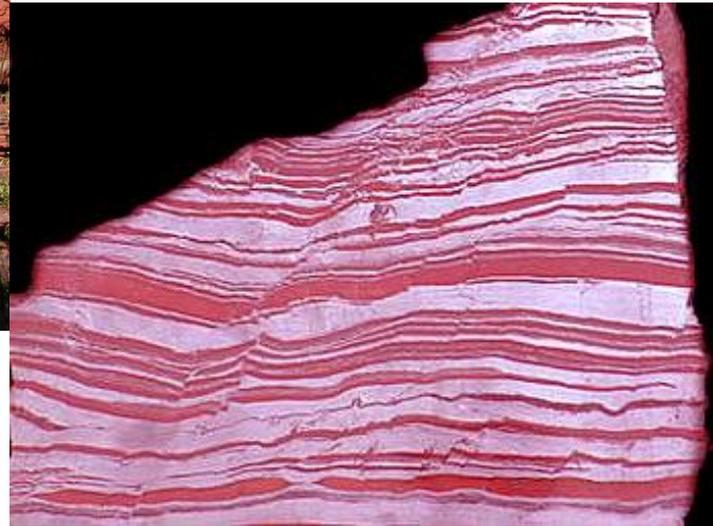
Mittelozeanischer Rücken

4 km

(Isley 1995)



Banded Iron Formations (BIF)



Evaporite: Eindampfungsgesteine

Steinsalz NaCl

Sylvin KCl

Gips $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$

Anhydrit CaSO_4



Wie entstehen Lagerstätten ?

I. Magmatogen

- Liquidmagmatische Lagerstätten (Cr, Ni, Pt, Au, Ti, V)
- Pegmatite (Sn, Ta, Nb, Li, Be)
- **Hydrothermale Lagerstätten** (porphyrische Lagerstätten, Ganglagerstätten)

II. Durch Verwitterung

- Bauxit

III. Sedimentär

- Bändereisenerze
- Salze (Steinsalz, Kalisalz): durch Eindampfung

IV. Diagenetisch-hydrothermal

- Mississippi Valley-Typ und Bleiberg-Typ
- durch migrierende Salzlaugen (Siderit)

V. Metamorph

VI. Metamorphogen-hydrothermal

- Goldquarzgänge

*Vielen Dank und
Glück Auf!*

