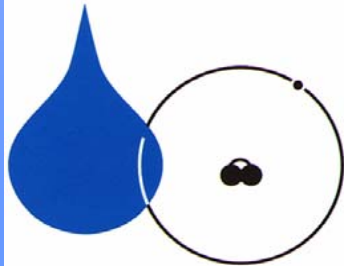


Thermalwasseranalytik - Rückschlüsse auf den geothermischen Langzeitbetrieb

Dr. Jochen Schneider



HYDROISOTOP gmbh
Laboratorium zur Bestimmung von Isotopen in Umwelt und Hydrologie



Inhalt

Begriffserläuterungen

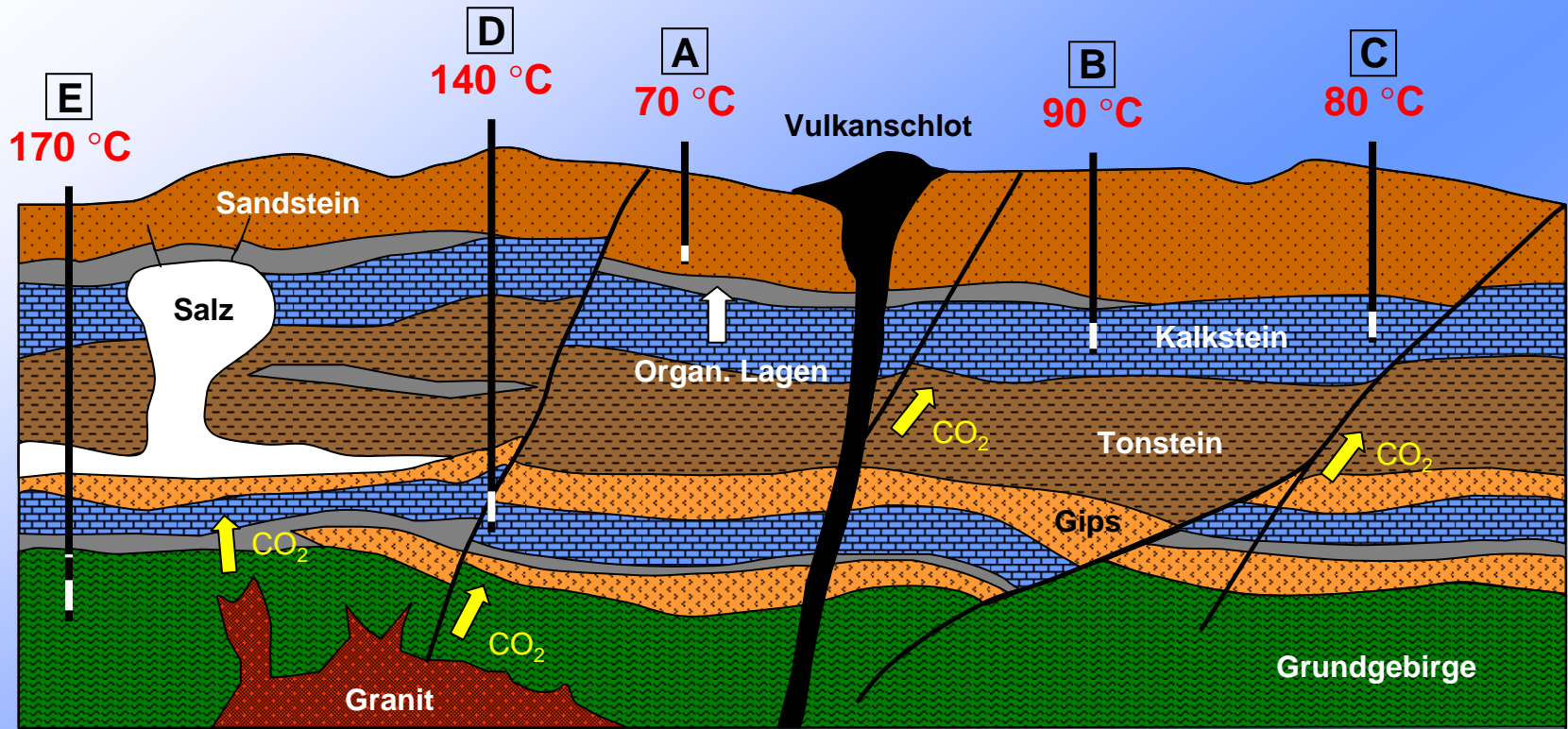
Ziele

Methoden

Thermalwasseruntersuchung und Bewertung

Systemverständnis zur Reservoircharakterisierung und Problemidentifikation

Zusammenfassung



Begriffserläuterungen

Thermalwassersystemverständnis aus den verfügbaren Informationen

(hydrochemische Zusammensetzung, Wasser-Gestein-Gas-Wechselwirkungen, Bildungsbedingungen, Alterszusammensetzung, Cross-Formation-Flow, Fließregime)

Thermalwasser- und Reservoircharakterisierung zur vertiefenden Bewertung

(Reservoirgröße und Nutzbarkeit, mögliche Systemveränderungen, wechselseitige Beeinflussungen, Radioaktivität, Korrosion, Ausfällungen, Havarieprävention)

Ziele der Thermalwasseranalytik

- Grundlage für die Anlagenauslegung
- Thermalwassercharakterisierung („Beweissicherung“)
 - Grundlage für das Monitoring im Langzeitbetrieb
 - Erkennen von möglicher Fremdbeeinflussung/externen Zuflüssen

Prävention

- Erkennen von kritischen Parametern (Ausfällungen, Korrosion)
- Lösungsmöglichkeiten (Druckhaltung, Inhibitoren)



Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit (Ausfallzeiten bis Totalverlust)

Methoden zur Charakterisierung von Thermalwasser

- **Hydrochemische Methoden** (Haupt- und Spurenelemente)
 - Bestimmung der Thermalwasserzusammensetzung
 - Aussagen über Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen
 - Aussagen über Korrosion und Ausfällungen

- **Isotopenspezifische Methoden** (stabile, radiogene und radioaktive Isotope)
 - Herkunftsbestimmung
 - Altersbestimmung
 - Radioaktivitätsbestimmung
 - Reste von Gestein-/Porenwässern?
 - Charakterisierung der Fließbewegung

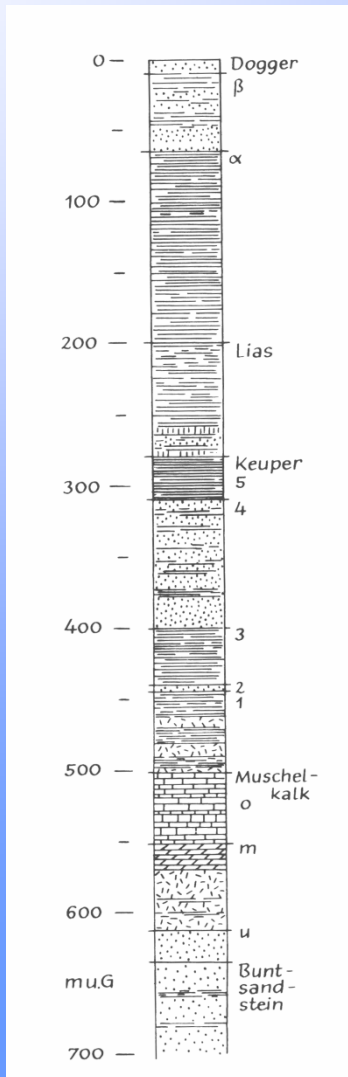
- **Gasphysikalische Methoden** (Qualitative und quantitative Gasgehaltsbestimmung)
 - Bildungsbedingungen / Klimainformationen
 - Beeinflussung durch Kohlenwasserstoff-führende Schichten?
 - Magmatismus/Vulkanismus?
 - Aussagen über Wasser-Gesteins-Gas-Wechselwirkungen
 - Aussagen über Korrosion und Ausfällungen

- **Mikrobiologische und weitere Methoden**

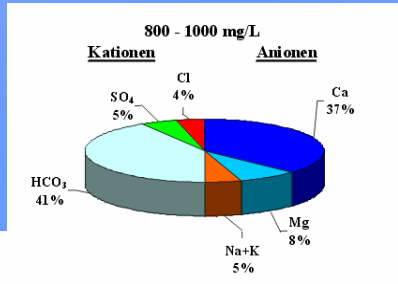


Hydrochemische Methoden: Kat- und Anionen

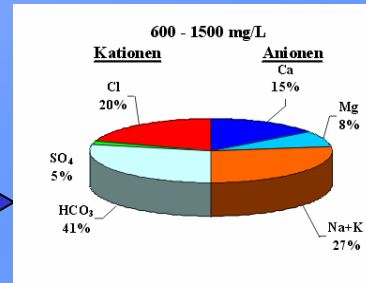
Thermalwasserzusammensetzung zur Bestimmung der Reservoircharakteristik und Ableitung der Wasser-Gesteins-Wechselwirkungen



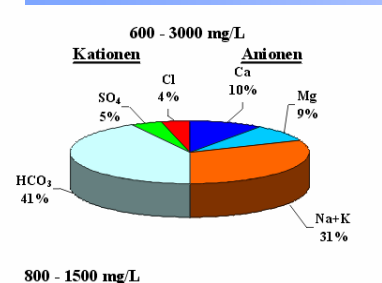
Sandstein-Wässer



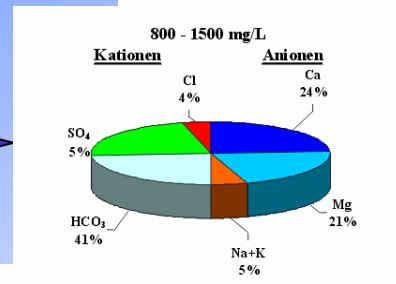
Tonstein-Wässer



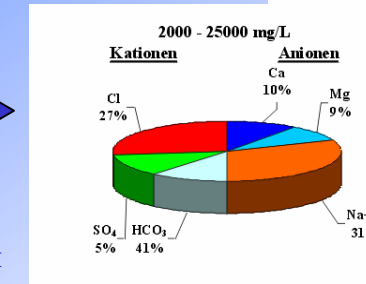
Sandstein-Wässer



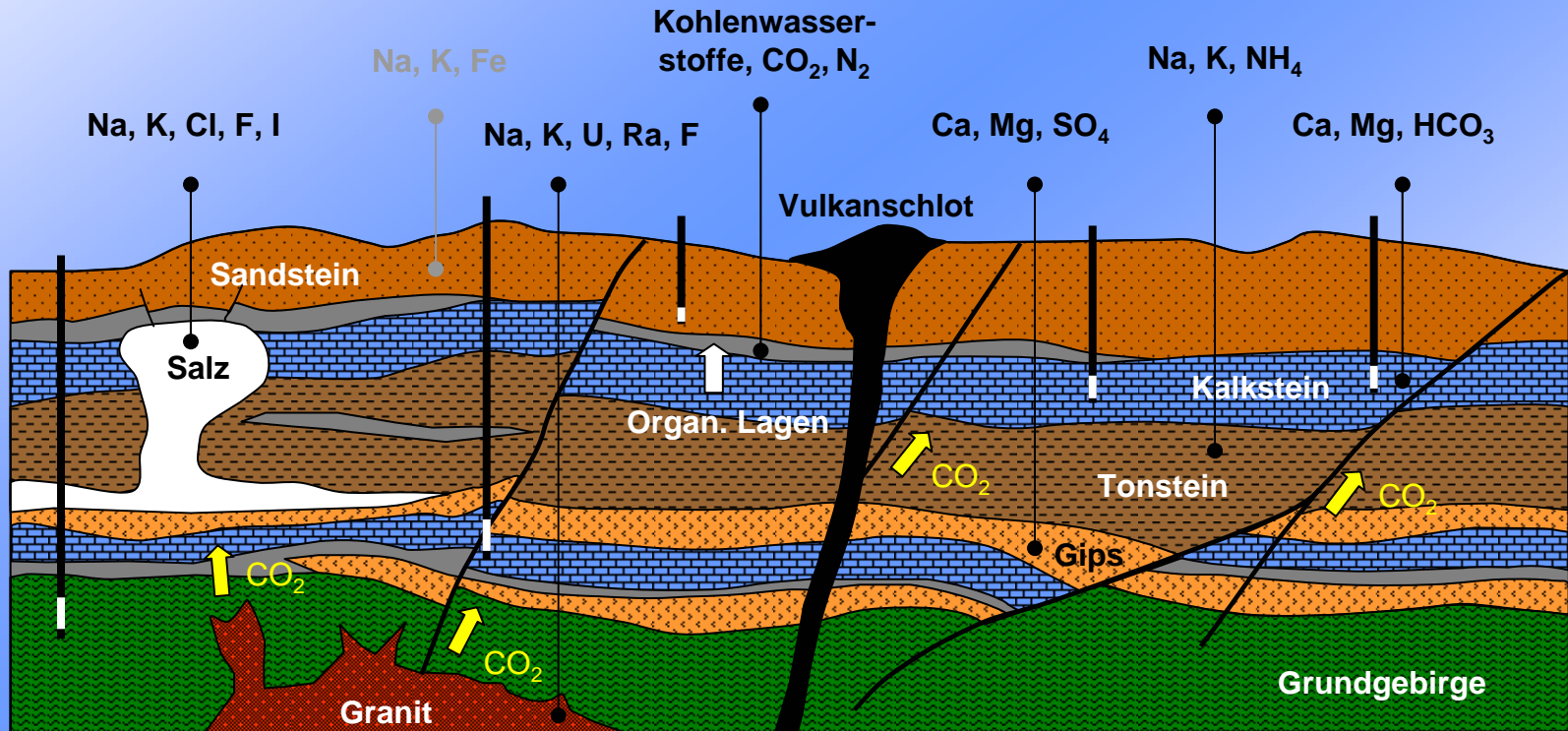
Kalkstein-Anhydrit-Wässer



Solen

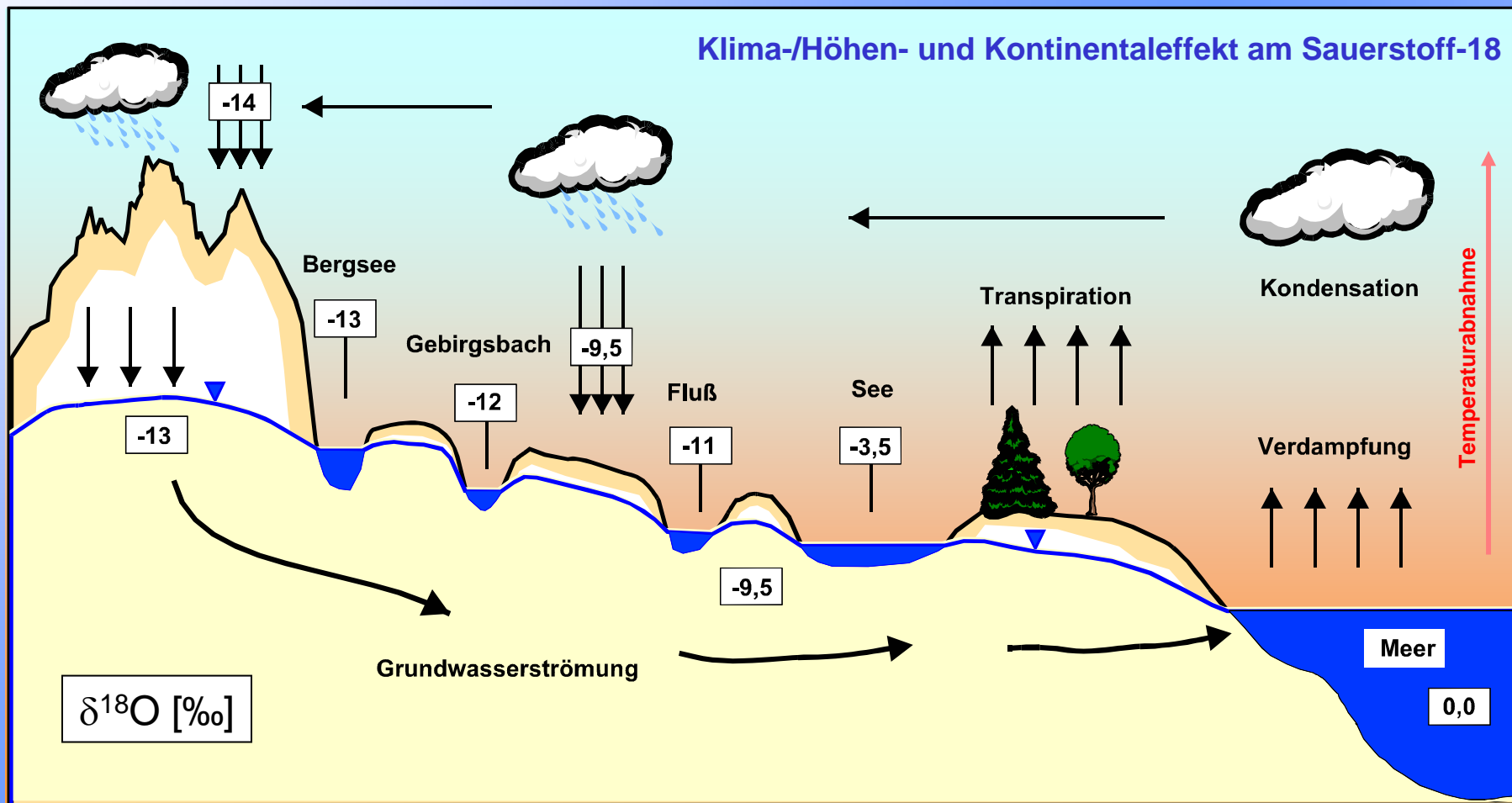


Grundwasserchemismus und herkunftsspezifische Hauptionen und Spurenstoffe Leitparameter des Wasserkreislaufes



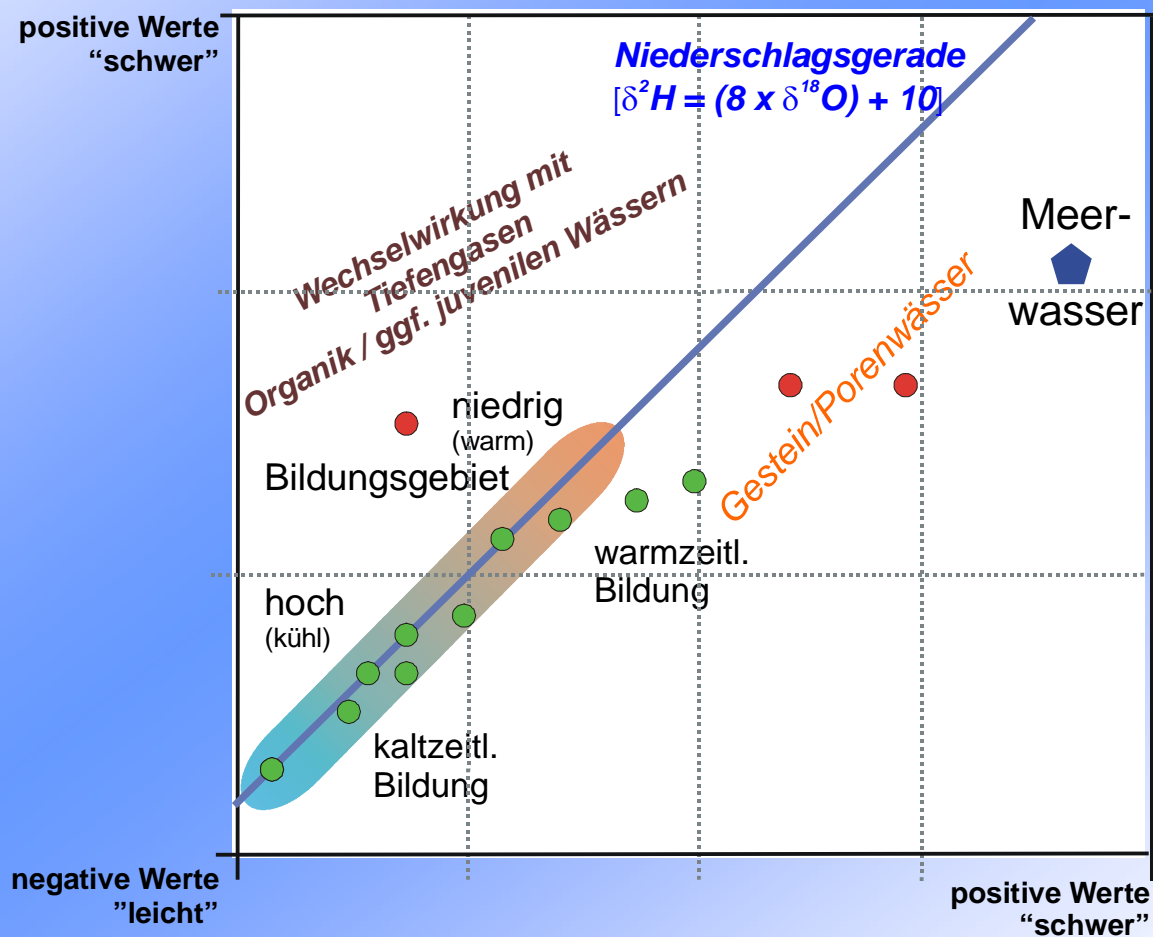
Isotopenhydrologische Methoden: Sauerstoff-18

Thermalwasserzusammensetzung zur Herkunftsbestimmung, Charakterisierung der Bildungsbedingungen, Klimainformationen

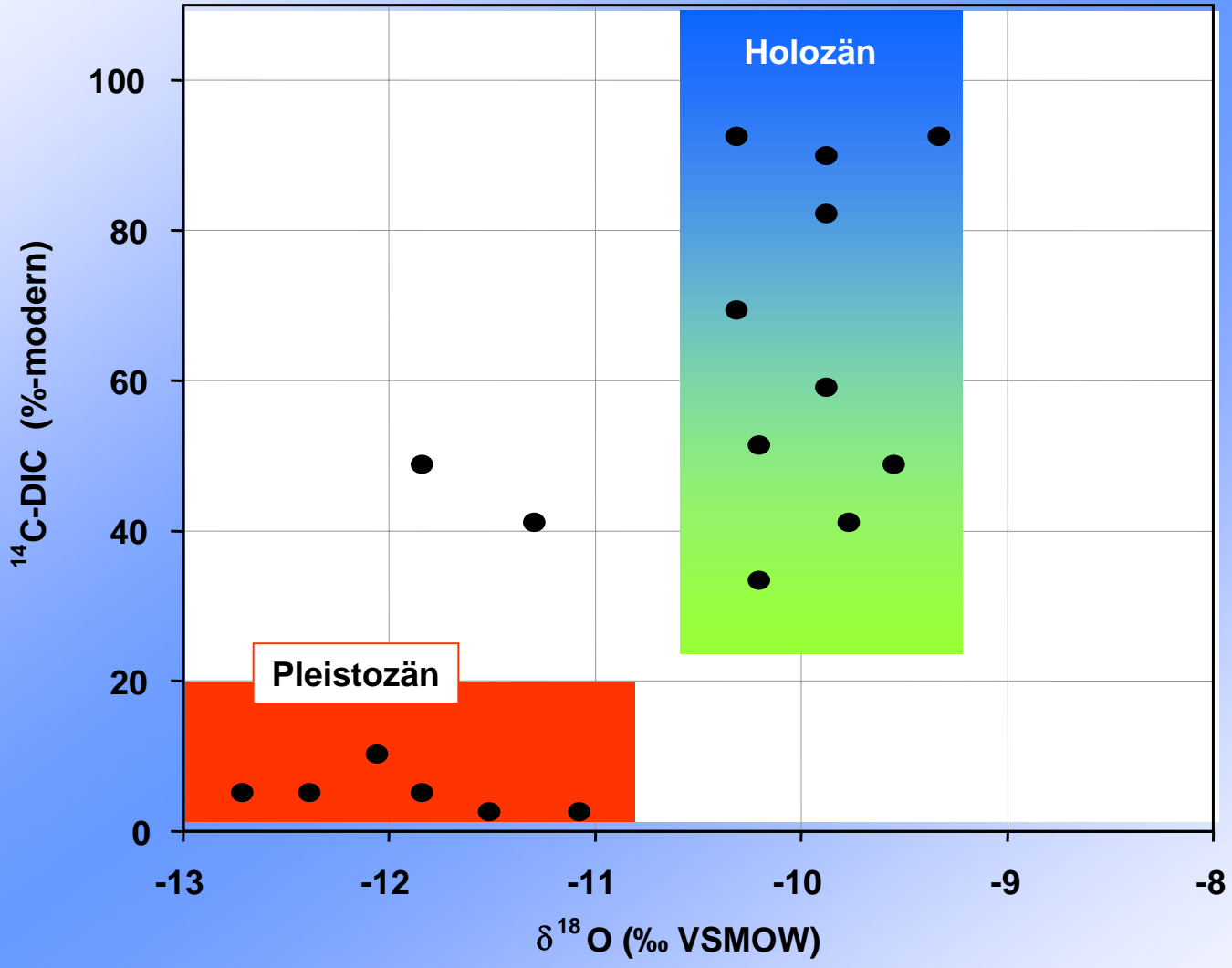


Isotopenhydrologische Methoden: Sauerstoff-18/Deuterium

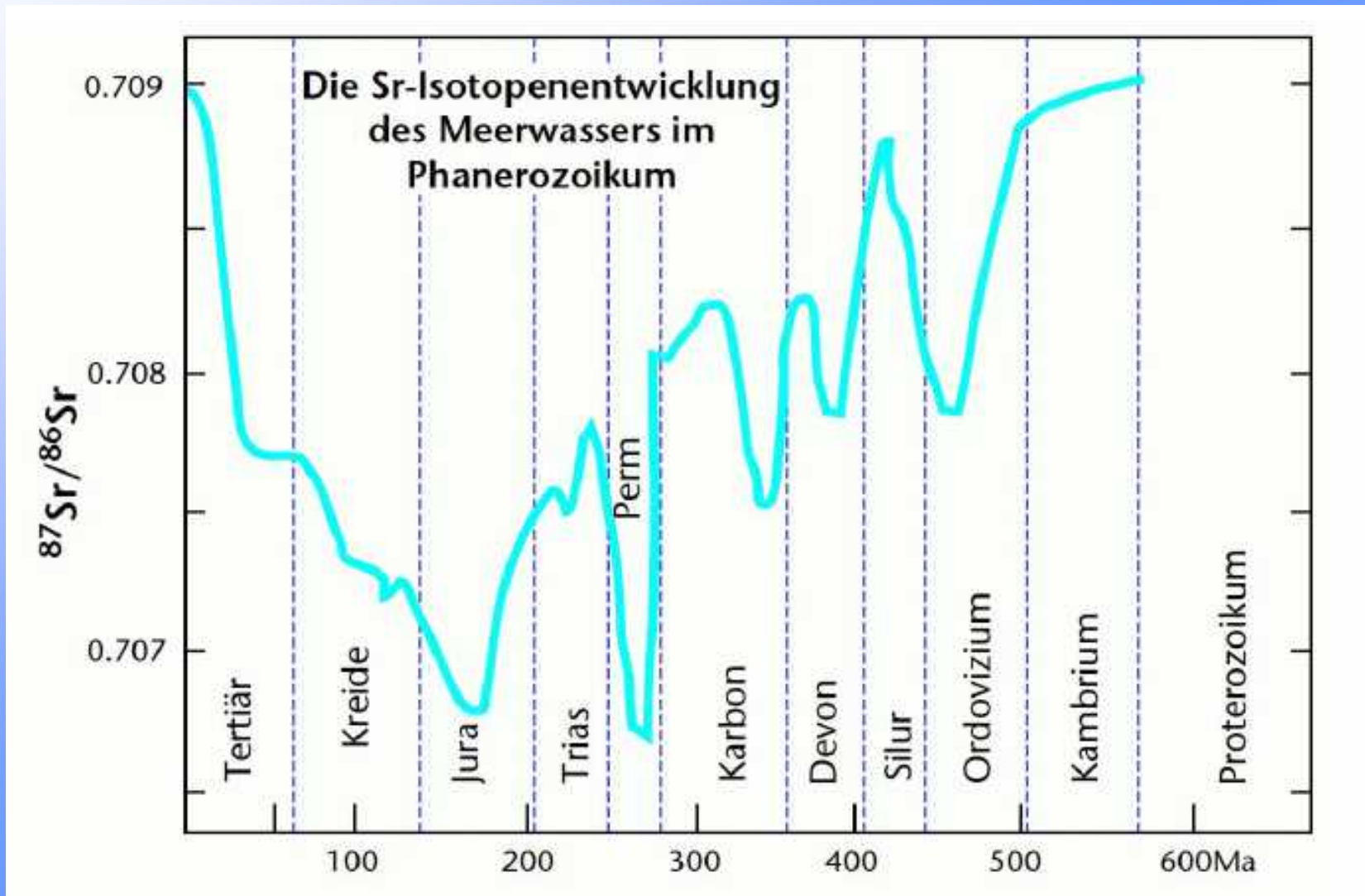
Thermalwasserzusammensetzung zur
Herkunftsbestimmung, Charakterisierung der Bildungsbedingungen,
Klimainformationen, Wasser-Gestein-Gas-Wechselwirkung, etc.



Isotopenhydrologische Methoden: Sauerstoff-18/Kohlenstoff-14

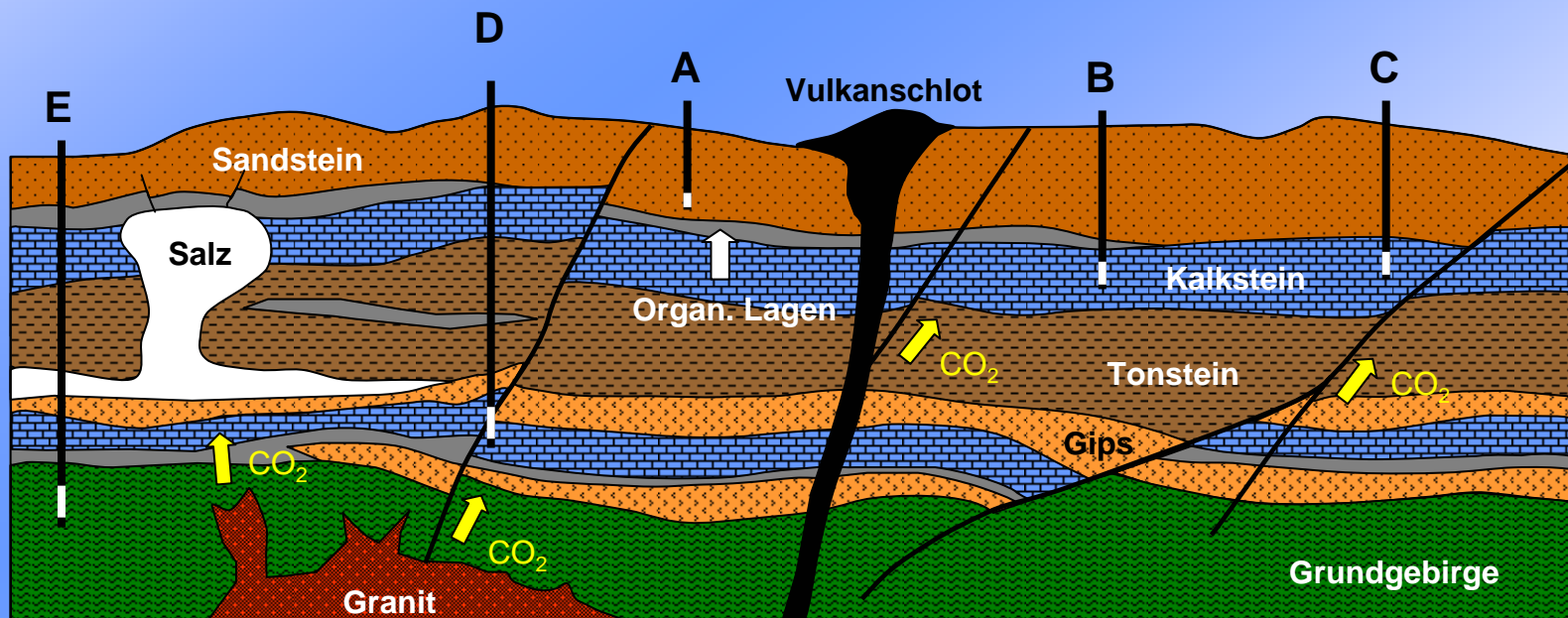


Isotopenhydrologische Methoden: Strontium-87/Strontium-86



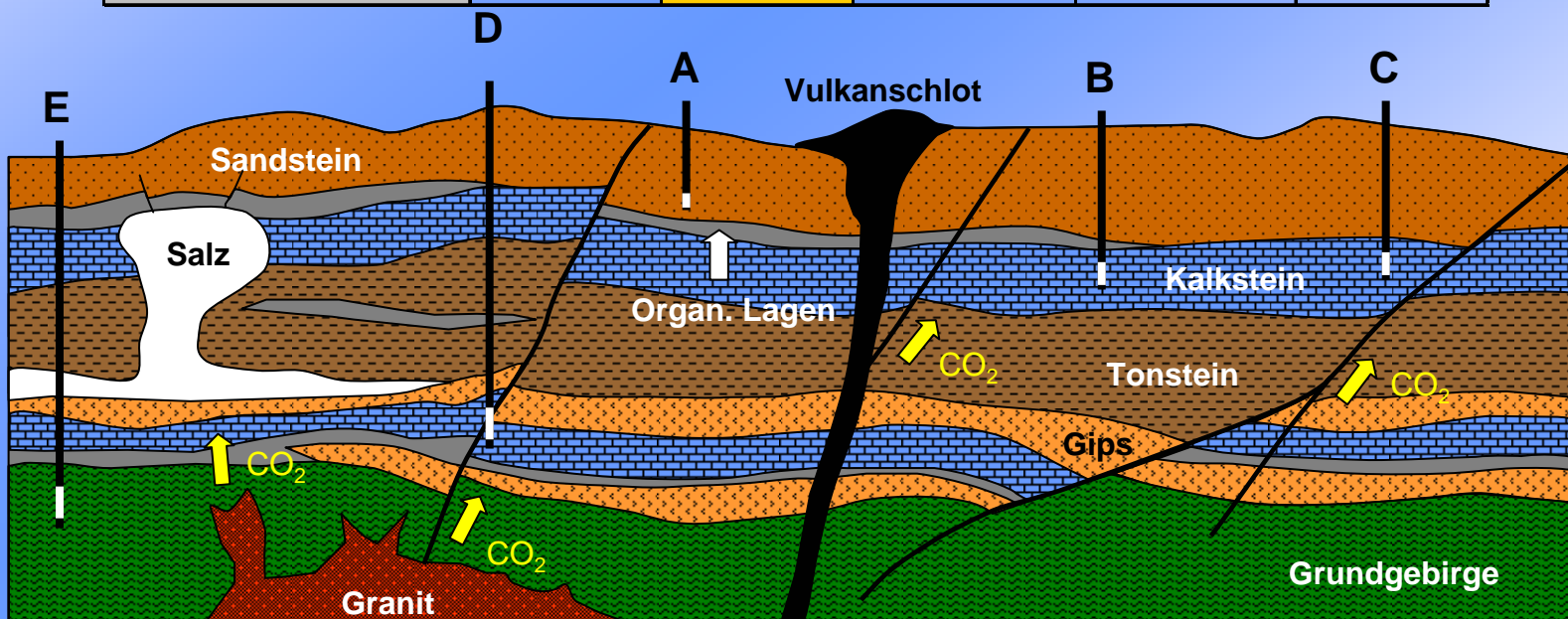
Grundwasserchemismus als herkunftsspezifischer Fingerprint verschiedener geothermischer Erschließungen

	E	D	A	B	C
Mineralisation	sehr hoch	hoch	niedrig	niedrig	niedrig
Na + K	sehr hoch	hoch	mittel	mittel	mittel
Ca	mittel	hoch	mittel	niedrig	niedrig
Mg	mittel	hoch	niedrig	niedrig	niedrig
HCO ₃	hoch	sehr hoch	mittel	niedrig	niedrig
Cl	sehr hoch	hoch	niedrig	niedrig	niedrig
SO ₄	mittel	hoch	mittel	sehr niedrig	sehr niedrig
³⁴ S/ ¹⁸ O-SO ₄	verändert	marin	terrestr.	stark verändert	verändert
Sr	hoch	hoch	mittel	niedrig	niedrig
⁸⁷ / ⁸⁶ Sr	spezifisch	marin	terrestr.	spezifisch	marin



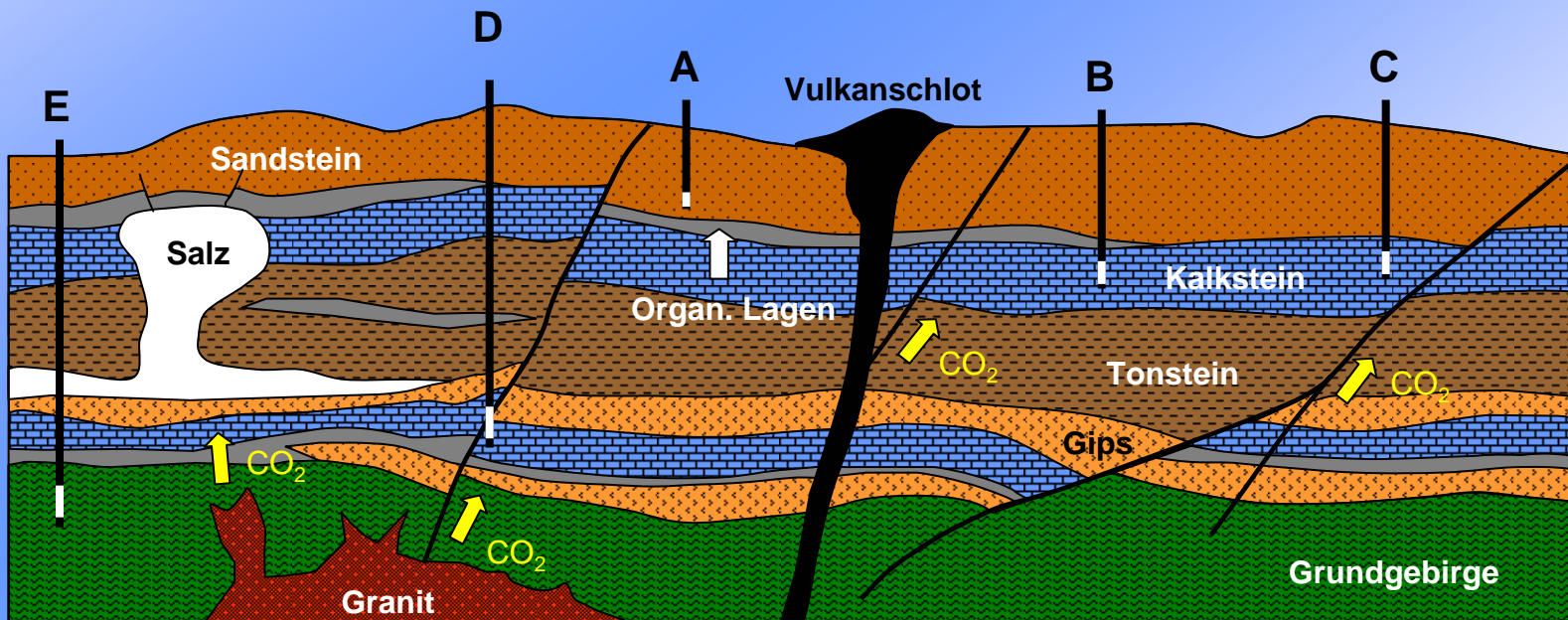
Isotopen- und Gas-spezifischer Finger-Print verschiedener geothermischer Erschließungen

	E	D	A	B	C
$^2\text{H}/^{18}\text{O}-\text{H}_2\text{O}$	verändert	kühl	warm	kühl	kühl
$^{13}\text{C}/^{14}\text{C}-\text{DIC}$???	alt	mittel-alt	alt	alt
Edelgase-Temp	???	eiszeitlich	Holozän	eiszeitlich	eiszeitlich
N_2	erhöht	erhöht	atmosph.	leicht erhöht	atmosph.
Ar	leicht erhöht	leicht erhöht	atmosph.	atmosph.	atmosph.
CO_2	erhöht	sehr hoch	normal	normal	normal
$\text{CH}_4 - \text{C}_x\text{H}_y$	niedrig	leicht erhöht	leicht erhöht	leicht erhöht	niedrig
H_2S	hoch	hoch	niedrig	leicht erhöht	mittel
Radioaktivität	sehr hoch	sehr hoch	erhöht	niedrig	niedrig
$^{224}/^{228}\text{Ra}$???	hoch	normal	normal	normal



Entwicklung des geologisch-hydrogeologischen Systemverständnis zur Reservoircharakterisierung

	E	D	A	B	C
Bildungsbedingungen	unklar	klar	klar	klar	klar
Wasser-Gestein-Gas-WW	sehr hoch	sehr hoch	niedrig	erhöht	erhöht
Cross-Formation-Flow	unklar	deutlich	gering	erhöht	gering
Fließregime	unklar	regional	regional	überregional	überregional
Wechselseit. Beeinfluss.	niedrig	niedrig	niedrig	wahrscheinl.	wahrscheinl.
Systemveränderungen	sehr hoch	hoch	gering	wahrscheinl.	gering
Korrosivität	sehr hoch	erhöht	niedrig	leicht erhöht	niedrig
Ausfällungen	sehr hoch	sehr hoch	niedrig	niedrig	niedrig
Mehrfachnutzung (Wärme +)	Strom	Strom + Balneologie + Quellkohlendioxid	Balneologie	Balneologie + Heil-/Mineral- wasser	Balneologie + Heil-/ Mineral- wasser



Zusammenfassung I

Informationen aus der Thermalwasserzusammensetzung /
Hydrochemischer, Isotopen- und gasphysikalischer Fingerprint

- Standortspezifische Charakterisierung des Thermalwassers
- Diskretisierung von Wasser-Gesteins-Gas-Wechselwirkungen
- Rückschlüsse auf die relevanten Speicher- und Aquifergesteine
- Bildungsbedingungen und Alterszusammensetzung
- Charakterisierung des Fließregimes
- Beurteilung der Systemstabilität (Langzeitnutzung!)
- Bestimmung spezifischer Problemstellungen (Korrosion, Ausfällungen, Radioaktivität etc...)
- Konzepte für Mehrfachnutzungssysteme



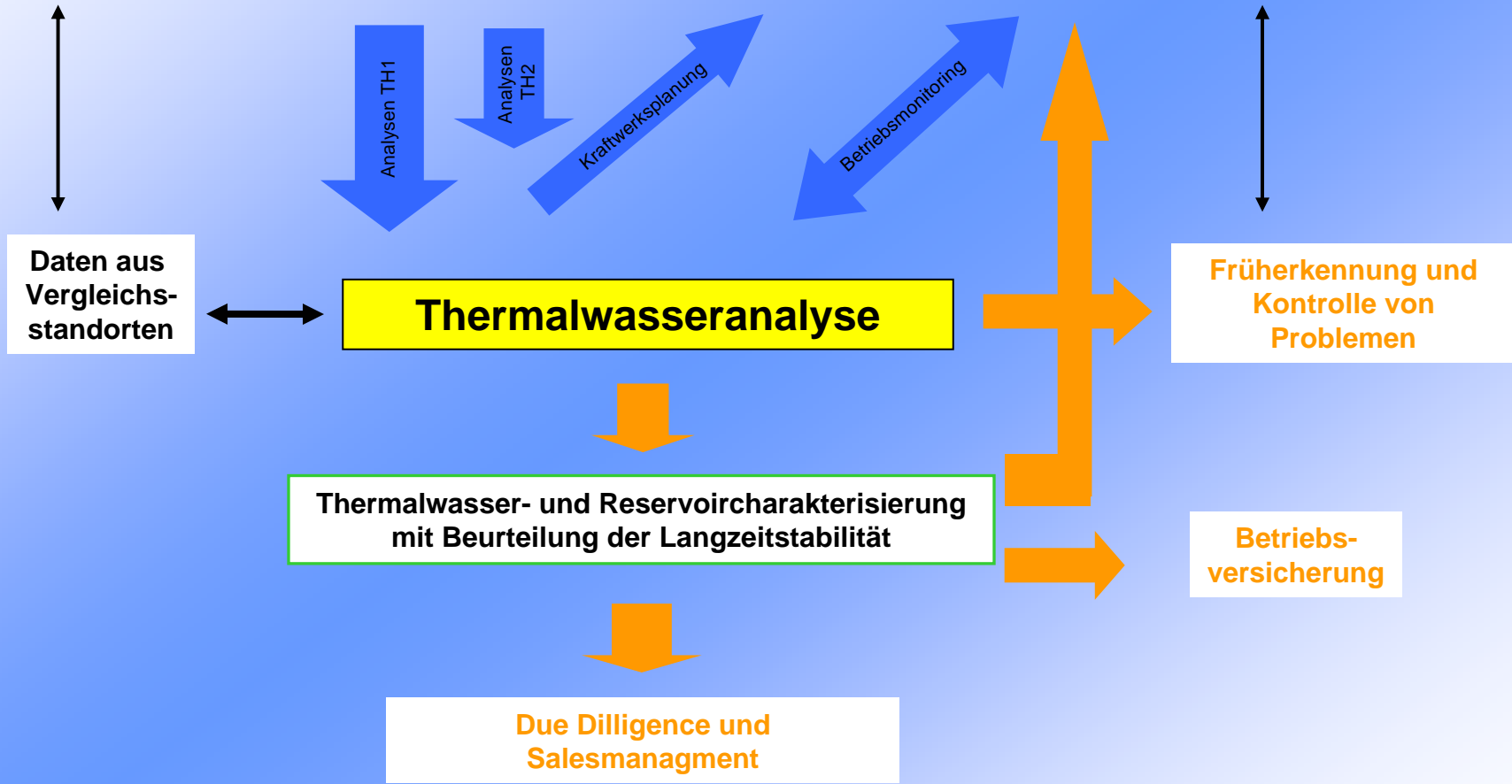
Zusammenfassung II

Analytische Vorgehensweise bei der Erschließung eines hydrothermalen Reservoirs:

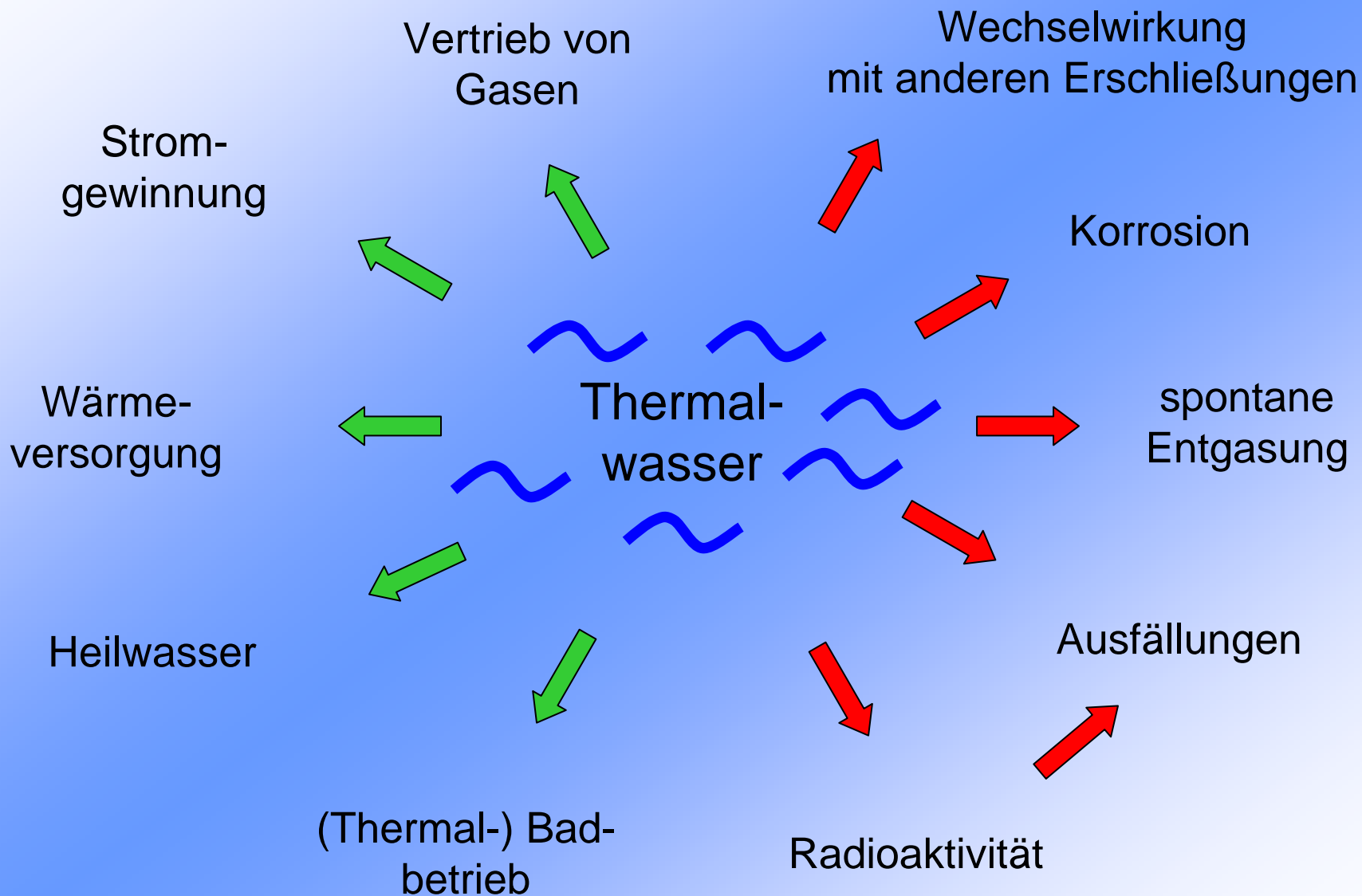
○ ●	Einzeluntersuchung	Voruntersuchungen	Pumpversuche		Betrieb		
	Mehrfachuntersuchung	Bohrvorgang / erste Tests	SPV, Anfang AQ- Test	Mitte/Ende AQ-Test	Inbetriebnahme	> 2a	> 5a
VorOrt-Untersuchungen	T, pH, LF, O ₂ , Redox, Sk-4,3, Bk-8,2, Sk-8,2	●	●	●	○	●	●
Hauptionen	Ca, Mg, Na, K, NH ₄ , Cl, SO ₄ , NO ₃ , NO ₂	●	●	●	○	●	●
Mikrobiologie	MTVO, ggf. Keimidentifikation	●	●	●	○	●	●
Spurenstoffe-Kurzprogramm	F, J, Li, PO ₄ , Si, Sr, S-Spezies, Fe-Spezies, Mn-Spezies, U	●	○	○	○	-	-
Spurenstoffe-Vollprogramm	Sb, Ba, B, Br, CN ges., F, J, Li, Mb, PO ₄ , Se, Ag, Si, Sr, S-Spezies., Va, Al, As-Spezies, Pb, Cd, Cs, Cr-Spezies., Co, Fe-Spezies, Cu, Mn-Spezies., Ni, Hg, Rb, U, Zn, Sn	-	○	○	○	○	○
Organik	DOC, KW, PAK	●	○	●	○	○	○
Isotope-Kurzprogramm	² H, ¹⁸ O, ³ H, ¹³ C-DIC, ¹⁴ C-DIC, ²²⁶ Ra, ²²⁸ Ra, ²²² Rn	●	○	○	-	●	●
Isotope-Vollprogramm	² H, ¹⁸ O, ³ H, ¹³ C-DIC, ¹⁴ C-DIC, ³⁴ S-SO ₄ , ¹⁸ O-SO ₄ , ³⁴ S-H ₂ S, ¹⁵ N-N ₂ , ¹³ C-CH ₄ , ² H-CH ₄ , ¹³ C-CO ₂ , ¹³ C-C ₂ H ₆ , ⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar, ²²³ Ra, ²²⁴ Ra, ²²⁶ Ra, ²²⁸ Ra, ²²² Rn, ²³⁴ U, ²³⁸ U	-	○	○	○	○	○
Gaszusammensetzung	O ₂ , N ₂ , CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , C _x H _y	●	○	○	○	○	○
Edelgasuntersuchungen	He, Ne, Ar, Kr, Xe	-	-	○	○	○	○



Zusammenfassung III

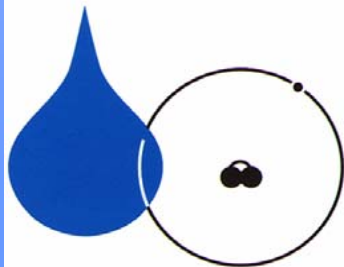


Zusammenfassung IV



*Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit*

Informationsträger



HYDROISOTOP gmbh

Laboratorium zur Bestimmung von Isotopen in Umwelt und Hydrologie

