

## Abstract

In Untertagebergwerken, Gruben und Gasspeichern können Wasserzuflüsse oft nur als offener Zufluss, Tropfstelle oder Kondensat beprobt werden. Dies limitiert die Möglichkeiten von Isotopenmethoden zur Charakterisierung von Herkunft oder Alter auf Parameter, die unempfindlich für Atmosphärenkontamination sind, wie z.B. Wasserisotope ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  und  $^3\text{H}$ ), Kohlenstoffisotope ( $^{14}\text{C}$ -DIC/ $\delta^{13}\text{C}$ ) oder Isotopensignaturen von Strontium- und Sulfat ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $\delta^{34}\text{S}/\delta^{32}\text{S}$ - $\text{SO}_4$ ). Da jedoch detaillierte Altersbestimmungen meist nur über die Kombination mit Gastracern, wie z.B.  $\text{SF}_6$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^3\text{He}_{\text{trit}}$  möglich sind, gestaltet sich die Anwendung von Isotopen bei Grubenwässern als herausfordernd. Die Fragestellungen hinter den Isotopenuntersuchungen sind hauptsächlich die Klärung, inwieweit es sich bei den Wasserzutritten um originäres Grund- oder Porenwasser der Grubenformation oder um jüngere Grundwässer bzw. evtl. sogar um schnell abfließende Niederschlags- oder Oberflächenwasserkomponenten handelt, die über durch Exposition und Abbautätigkeiten entstandene Wegsamkeiten zutreten.

## Bergbaugrube Clara

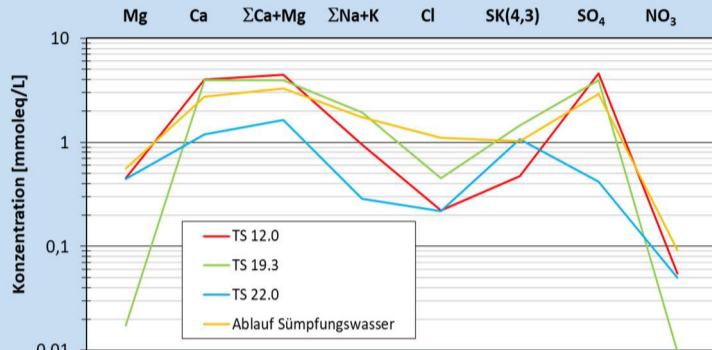
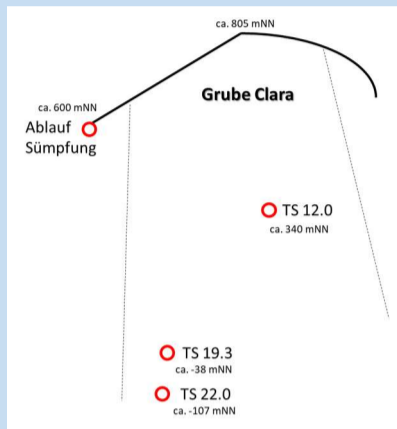


Fig. 2: Deutlich unterschiedliche hydrochemische Zusammensetzung der Wasserzutritte. Sumpfung, TS 12.0 und TS 19.3n zeigen Einfluss von Baumaterialien. TS 22.0 entspricht weitgehend erwarteten Verhältnissen des Gesteins (originäres Grundwasser).

Fig. 1: Wasserzutritte auf verschiedenen Sohlen. Untersuchung der Hauptionen,  $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$  und  $^3\text{H}$ .

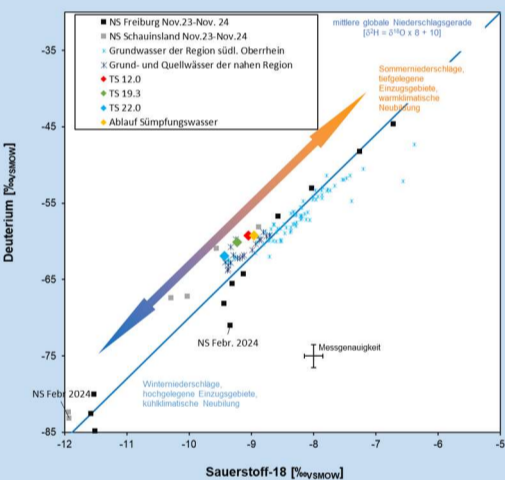


Fig. 3:  $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$  – typische Signaturen regionaler Neubildung. Kein Hinweis auf aktuelle Niederschläge.

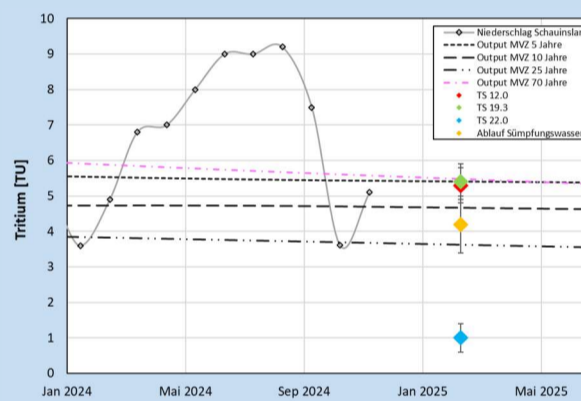


Fig. 4: Vergleich mit modellierten Tritium-Outputkurven: TS 12.0 und TS 19.3 junges Grundwasser, mittlere Verweilzeit entweder ca. 5 Jahre oder ca. 70 Jahre TS 22.0 Mischwasser aus ca. 70-90% altem Grundwasser (> 70 Jahre) und untergeordnet jungem Grundwasser Sumpfung: Mischung aus alten Grundwässern (wie TS 22.0) und jüngeren Grundwässern (wie TS 12.0 und TS 19.3)

## Chienbergtunnel

Beprobung und Untersuchung von Grundwasser-Messstellen außerhalb des Tunnels sowie Wasserzutritte im Tunnel. Durch Abdichtungsmaßnahmen konnten Wasserproben atmosphärenfrei gewonnen und auf Heliumisotope untersucht werden. Zusätzliche Untersuchungen umfassten Hydrochemie, Tritium, Kohlenstoffisotope etc.. Hintergrund der Untersuchungen ist das Risiko der Beeinflussung von Quellprozessen im Tunnelnahbereich durch eindringende Tiefengrundwässer.

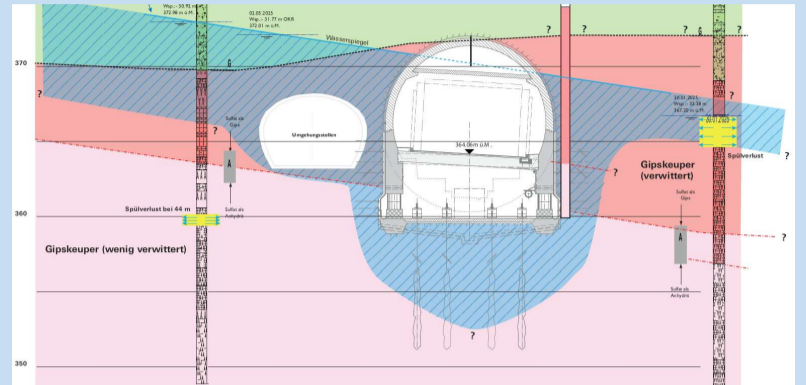


Fig. 1: Skizze des Chienbergtunnels mit außen gelegenen GW-Messstellen.

Fig. 2: Hydrochemische Zusammensetzung der Wasserproben zeigen nur geringe Unterschiede, z.T. Einfluss der Bauwerke (Kalium)

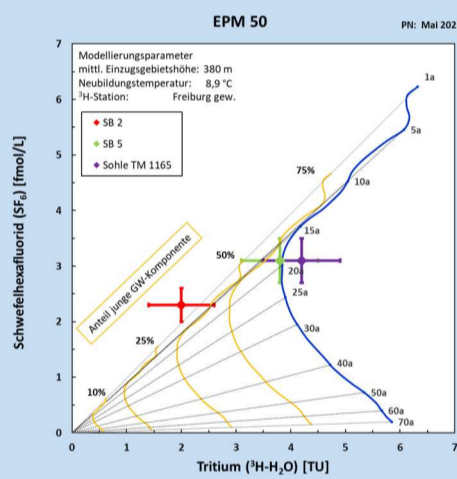
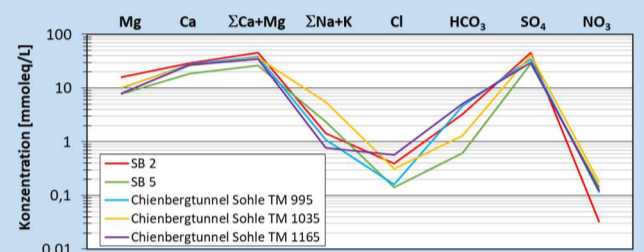
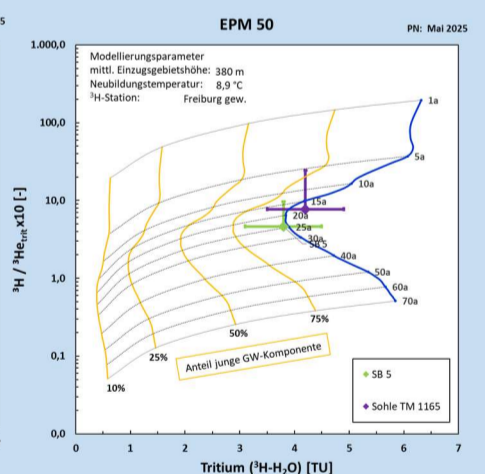
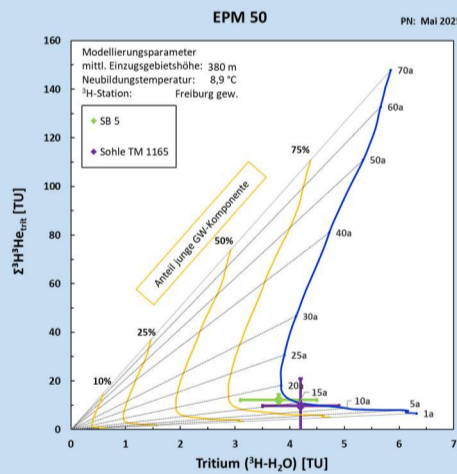


Fig. 3: Kombinierte Auswertung von Tritium mit Schwefelhexafluorid sowie tritigenem Helium zur Ermittlung des Jungwasseranteils und der mittleren Verweildauer.

Die Heliumisotope ermöglichen hier eine verbesserte Einordnung der mittleren Verweildauern.



## Fazit der kombinierten Untersuchungen:

Alle Wasserzutritte im Tunnel werden von jungem Grundwasser (<70 Jahre) dominiert. Jedoch erhalten alle Wasserzutritte auch untergeordnet Zuflüsse von älterem Tiefengrundwasser (einige tausend Jahre), wie es in höheren Anteilen in den außen gelegenen Messstellen vorgefunden wird.

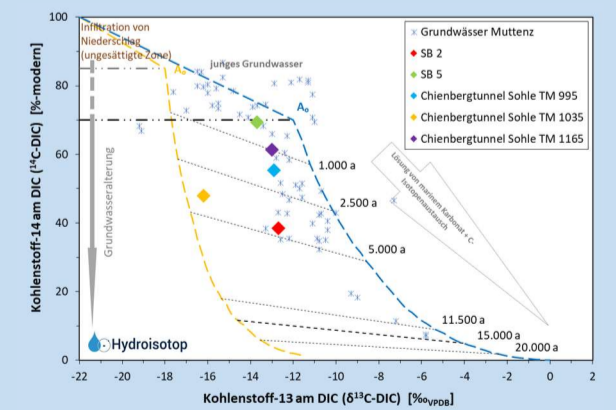


Fig. 4: Auswertung und graphische Darstellung der  $^{14}\text{C}$ -Modellalter

## Isotopenuntersuchungen an Lösungszutritten im Bergwerk Asse

Untersuchungen von Isotopensignaturen (u.a. Strontiumisotopenverhältnisse ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) und Sulfatisotope ( $\delta^{34}\text{S}$ - $\text{SO}_4$ )) an Salzlösungszutritten und Salzgesteinsproben in der Asse, Schacht II dienen den WissenschaftlerInnen der BGE als zusätzliches Instrument, die Migrationspfade der Salzlösungen zu erkunden.

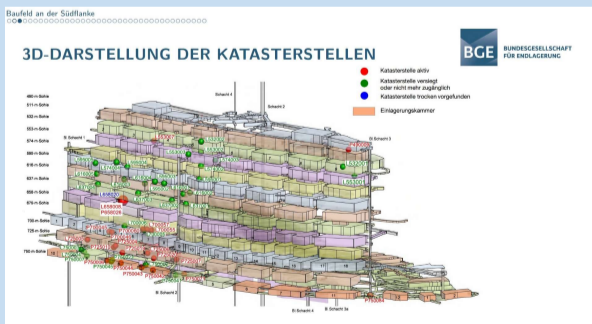


Fig. 1: Lösungsaustrittsstellen innerhalb des Grubengebäudes (Südfanke)

Quelle: Präsentation Remlingen Juni 2025, Wendling et al., BGE "Gebirgsbeobachtungsgespräch 2024, Geotechnisches, geophysikalisches Monitoringprogramm und Salzlösungsmonitoring" [https://www.bge.de/fileadmin/user\_upload/Asse/Vortraege/2025/20250626\_GBG-2024.pdf]

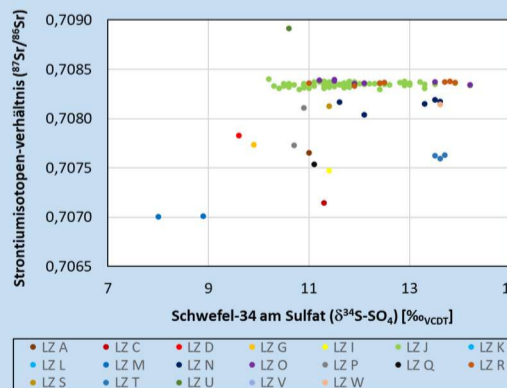


Fig. 2: Isotopensignaturen von Proben verschiedener Lösungszutritte (Signaturfarben entsprechen nicht Fig. 1)

## Fazit

Isotopenuntersuchungen von Wasserzutritten in Untertagebauwerken können zur Klärung der Herkunft beitragen, komplexe Wasserquellen, Mischungen und Sekundäreinflüsse schränken die Aussagen jedoch zusätzlich ein.



## Proben/Analyseergebnisse dieser Präsentation

Die dargestellten Proben und Analyseergebnisse entsprechen Beispielen von verschiedenen Industrieprojekten, die zur Wahrung der Vertraulichkeit teilweise anonymisiert wurden.  $^3\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$  und  $\delta^{13}\text{C}$ -DIC wurden von der Hydroisotop gemessen,  $^{14}\text{C}$ -DIC wurde sowohl bei der Hydroisotop als auch teilweise an der ETH Zürich,  $\text{SF}_6$  im Spurenstofflabor Dr. Oster, Heliumisotope an der Uni Bern und  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  bei Isoanalysis AG.



## Danksagung

Wir danken der Sachtleben Minerals GmbH & Co. KG, dem Bau- und Umweltschutzdirektion Kanton Basel-Landschaft, Geotechnisches Institut AG Basel und der BGE (Schacht Asse II) für die freundliche Genehmigung, Projektergebnisse präsentieren zu dürfen.