



Der Wasserhaushalt der Lausitz im Wandel

Chancen und Perspektiven durch isotopenhydrologische Untersuchungen

Maïke Gröschke, Anne Gädeke, Paul Königer, Axel
Horst, Christoph Neukum

10.06.2025

www.bgr.bund.de

Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe

Inhaltsverzeichnis



1. Vorstellung BGR und FEZB
2. Stabile Isotope – Eine kurze Einführung
 1. Wasserisotope
 2. Meilensteine der Isotopenhydrologie
3. Isotopenhydrologische Untersuchungen in der Lausitz
4. Erste Ergebnisse stabile Wasserisotope
 1. Übersicht
 2. Beispiele von drei Seen
5. Schwefelisotope und erste Ergebnisse
6. Ausblick

Die BGR



Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe ist eine wissenschaftlich-technische Oberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWE).



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Aufgaben der BGR



- Beratung der Bundesregierung und der deutschen Wirtschaft
- Förderung von Wissenschaft und Wirtschaft
- Nationale und internationale geowissenschaftliche und technische Zusammenarbeit
- Erhebung, Standardisierung, Harmonisierung und Bereitstellung geowissenschaftlicher und rohstoffwirtschaftlicher Fachdaten und entsprechende Koordinierungsarbeiten
- Erdbebendienst des Bundes
- Nationales Datenzentrum für den Kernwaffenteststopp

Organisationsplan der BGR



Präsident Vizepräsident		Interne Revision		Deutsche Kontrollstelle EU-Sorgfaltspflichten in Rohstofflieferketten (DEKSOR)	
Abteilung Z Zentrale Dienste	Abteilung 1 Rohstoffe	Abteilung 2 Grundwasser und Boden	Abteilung 3 Unterirdischer Speicher- und Wirtschaftsraum	Abteilung 4 Geowissenschaftliche Informationen, Inter- nationale Zusammenarbeit	
Z.1 Personal	1.1 Deutsche Rohstoffagentur (DERA)	2.1 Geophysikalische Erkundung, Technische Mineralogie	3.1 Nutzungspotenziale des geologischen Untergrunds	4.1 Internationale Zusammenarbeit	
Z.2 Betriebstechnik, Innerer Dienst	1.2 Geologie der mineralischen Rohstoffe	2.2 Informationsgrundlagen Grundwasser und Boden	3.2 Geologisch-geotechnische Erkundung	4.2 Geoinformationen, Stratigraphie, Bibliothek	
Z.3 Organisation	1.3 Geologie der Energieroh- stoffe, Polargeologie	2.3 Grundwasserressourcen – Beschaffenheit und Dynamik	3.3 Charakterisierung von Speicher- und Barrieregesteinen	4.3 Erdbebendienst des Bundes, Kernwaffenteststopp	
Z.4 Haushalt und Finanzmanagement	1.3 Marine Rohstofferkundung	2.4 Boden als Ressource – Stoffeigenschaften und Dynamik	3.4 Langzeitsicherheit	4.4 Gefährdungsanalysen, Fernerkundung	
Z.5 Beschaffung, Materialwirtschaft	1.3 Geochemie der Rohstoffe	2.5 Forschungs- und Entwicklungszentrum Bergbaufolgen (FEZB)	3.5 Geotechnische Sicherheitsnachweise		
Z.6 Zentrale Informationstechnik					
Z.7 Interne Kommunikation, Service-Z-Managem., Publikationen					
Z.8 Zentrales Controlling					
Referate	Fachbereiche				

Forschungs- und Entwicklungszentrum Bergbaufolgen - fachliche Ausrichtung



Die Forschungsthemen sind auf die Umweltmedien **Grundwasser** und **Böden** sowie auf **Sanierungsbergbau**, **Geotechnik** und **Umwelt-Monitoring** ausgerichtet:

- Hydrogeochemische Veränderungen in Grundwasser und Böden
- Angepasste Monitoring- und Prognosewerkzeuge
- Bewertung von Langzeitfolgen
- Gestaltung neuer Landschaften und geotechnische Sicherheit
- Langfristige Datenhaltung

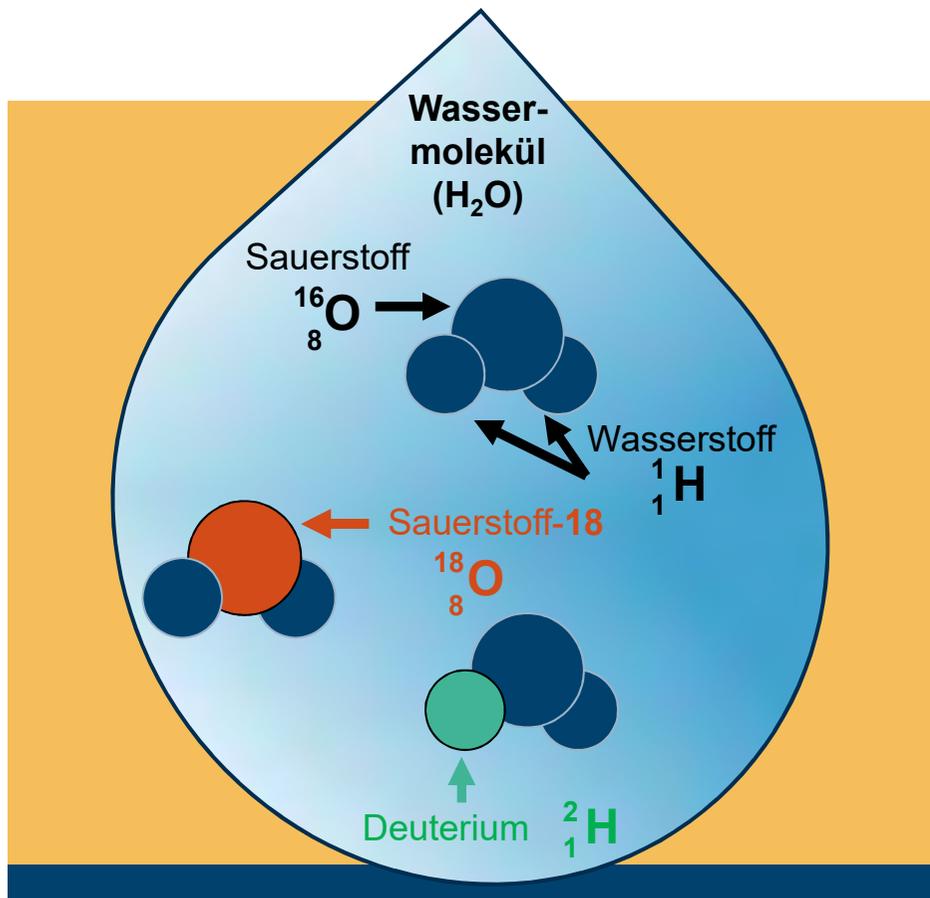
Stabile Isotope

Ein Schwerpunktthema des FEZB



- Bestimmung der Grundwasserneubildung
- Charakterisierung von Einzugsgebieten, Herkunft von Wässern
- Bestimmung von GW-OW Interaktionen
- Bestimmung von Mischungsanteilen
- Untersuchung von Paleo-Klima (fossiles Grundwasser, Eis-Bohrkerne, Paleo-Proxies)
- Untersuchung von Schichtung, Zirkulation und Grundwasserzufluss in Seen
- Tracer Tests, ^2H Markierung

Stabile Wasserisotope – eine kurze Einführung

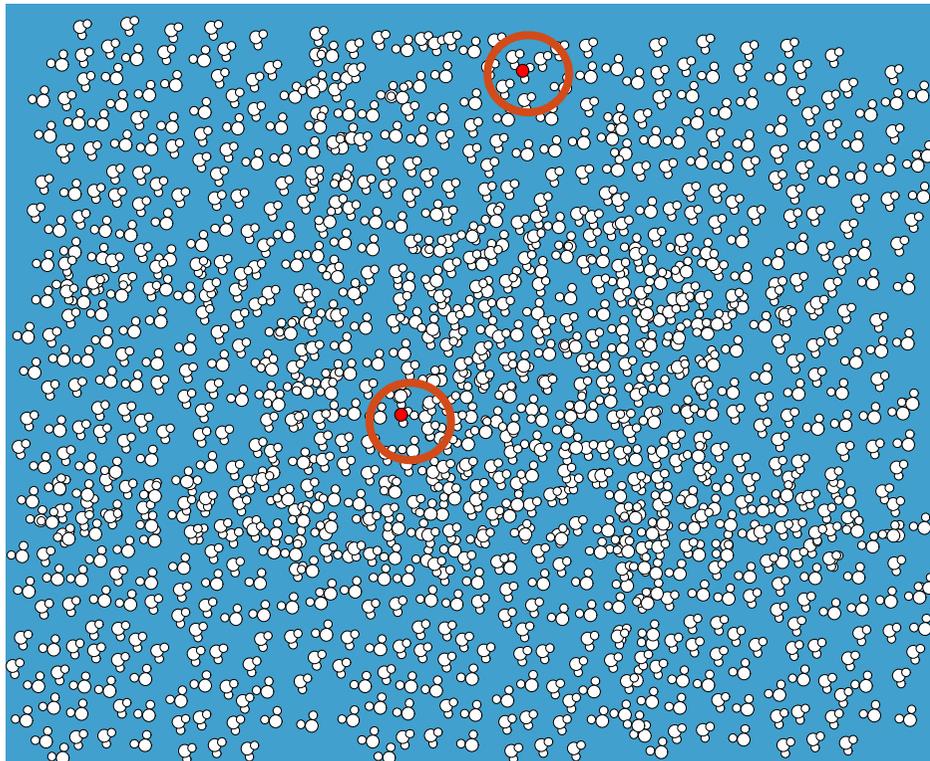


Isotope sind Atome eines Elements mit der **gleichen Anzahl von Protonen** aber einer **unterschiedlichen Anzahl von Neutronen** im Atomkern. Dadurch haben die Isotope eines Elements zwar die gleiche Ladung aber eine andere Masse.

Stabil bedeutet: kein Zerfall, keine Radioaktivität.

Wassermoleküle mit verschiedenen stabilen Isotopen des Wassers

Stabile Wasserisotope – eine kurze Einführung



„Schwere“ Isotope kommen nicht häufig vor, deshalb misst man sie nicht in absoluten Konzentrationen, sondern nur im Vergleich zu einem Standard (Meerwasser: V-SMOW).

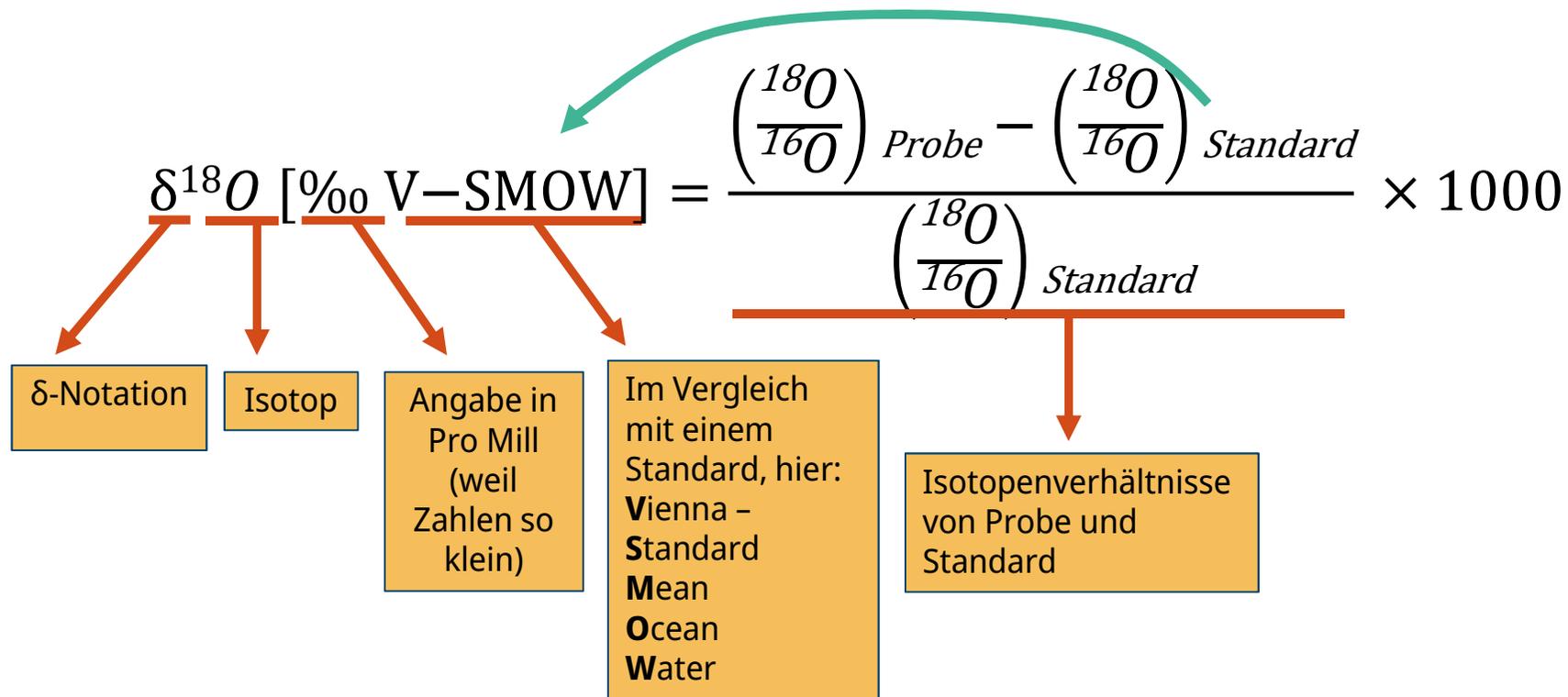
Sauerstoff-18 Konzentration
~**2 Atome in 1.000** oder 2.005 in 1.000.000
(2,005 ppm = Meerwasser)

Deuterium Konzentration
~**2 Atome in 10.000** oder 156 in 1.000.000
(156 ppm = Meerwasser)

Häufigkeit von dem Isotop ^{18}O (Sauerstoff-18)
im Meerwasser

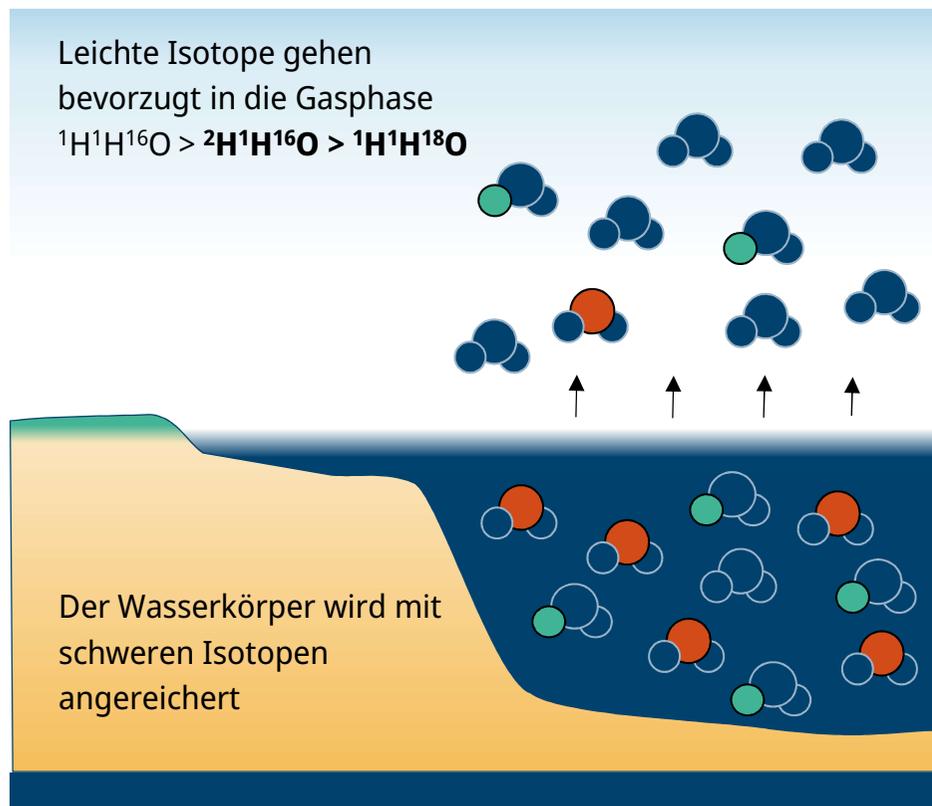
Stabile Wasserisotope - eine kurze Einführung

Die Delta-Notation



Stabile Wasserisotope – eine kurze Einführung

Isotopenfraktionierung



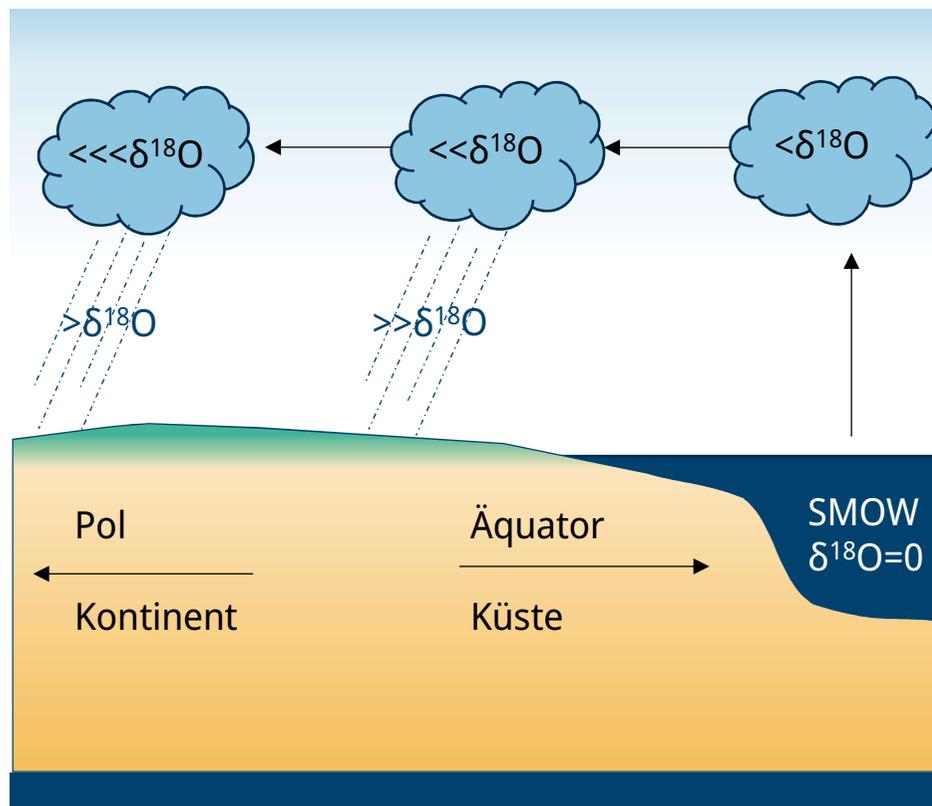
„Schwere“ Isotope (${}^2\text{H}$, ${}^{18}\text{O}$) sind weniger mobil als die leichteren Isotope (${}^1\text{H}$, ${}^{16}\text{O}$)

- „Leichte“ Isotope gehen schneller in die Gasphase über (z.B. bei Verdunstung)
- „Schwere“ Isotope gehen einfacher in die Flüssigphase über (z.B. bei Niederschlag)

Gleichgewichtsreaktionen und Kinetik bestimmen die Fraktionierung bei den Phasenübergängen.

Schematische Darstellung der Isotopenfraktionierung bei Verdunstung

Stabile Wasserisotope – eine kurze Einführung Isotopensignaturen im Niederschlag



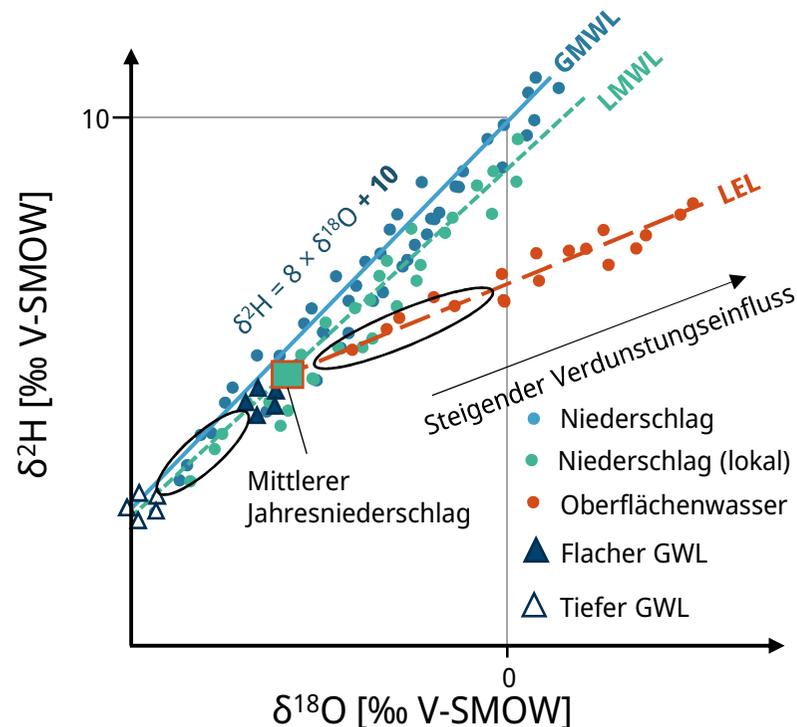
Die Isotopensignatur im Niederschlag variiert stark und wird beeinflusst von:

- Temperatur
 - Saisonaler Effekt
 - Höheneffekt
 - Breiteneffekt
- Dampfdruck
 - Mengeneffekt
 - Kontinentaleffekt

Schematische Darstellung des Breiten- und des Kontinentaleffekts – Die Isotopensignatur des Niederschlags wird zunehmend leichter

Stabile Wasserisotope – eine kurze Einführung

Die wichtigste Darstellung: „Dual-Isotope-Plot“



Darstellung von Isotopenanalysen, so dass Prozesse leicht identifiziert werden können

GMWL: Globale Niederschlagslinie (Global Meteoric Water Line),
Verhältnis $\delta^2\text{H} : \delta^{18}\text{O}$ ist hier 8 : 1 (Steigung ist 8)

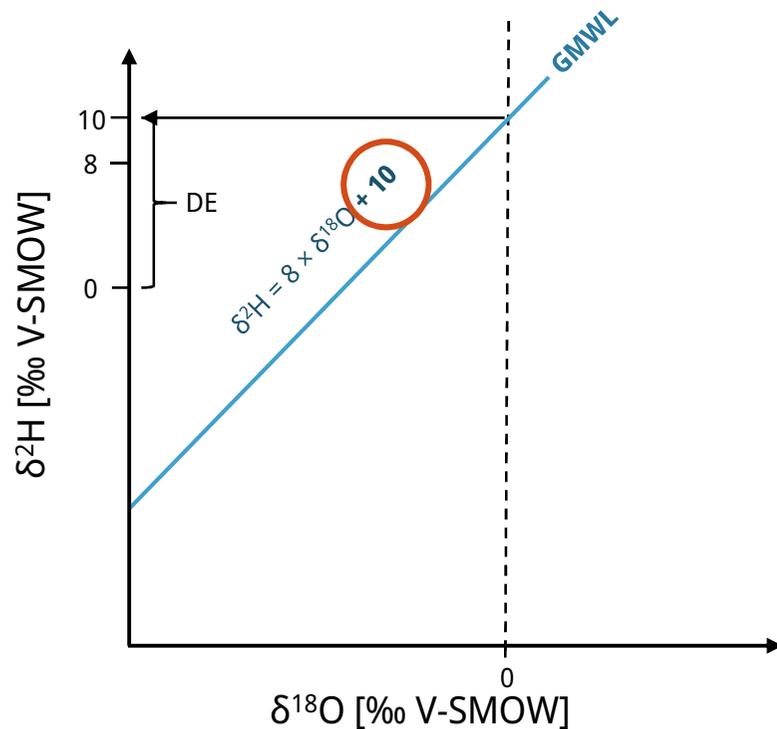
LMWL: Lokale Niederschlagslinie (Local Meteoric Water Line)

LEL: Lokale Verdunstungslinie (Local Evaporation Line)

Schema eines Dual-Isotope-Plots

Stabile Wasserisotope – eine kurze Einführung

D-Exzess: Ein sekundärer Isotopenparameter



Der Deuterium Exzess (DE) im Niederschlag beschreibt den «Überschuss» an ^2H relativ zu ^{18}O , der durch die größere Mobilität von $^2\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$ im Vergleich zu $^1\text{H}^1\text{H}^{18}\text{O}$ bei der Verdunstung entsteht.

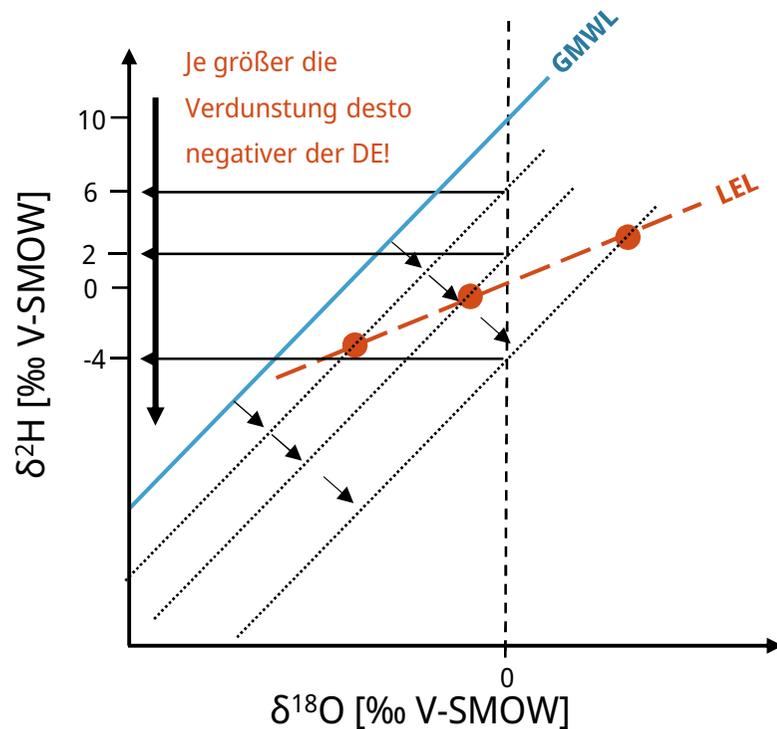
Er wird mit der Formel berechnet:

$$\text{DE} = \delta^2\text{H} - 8 \times \delta^{18}\text{O}$$

Der DE ist als Schnittpunkt der globalen Niederschlagslinie mit der y-Achse ($x=0$) definiert

Stabile Wasserisotope – eine kurze Einführung

D-Exzess als Maß für die Verdunstung



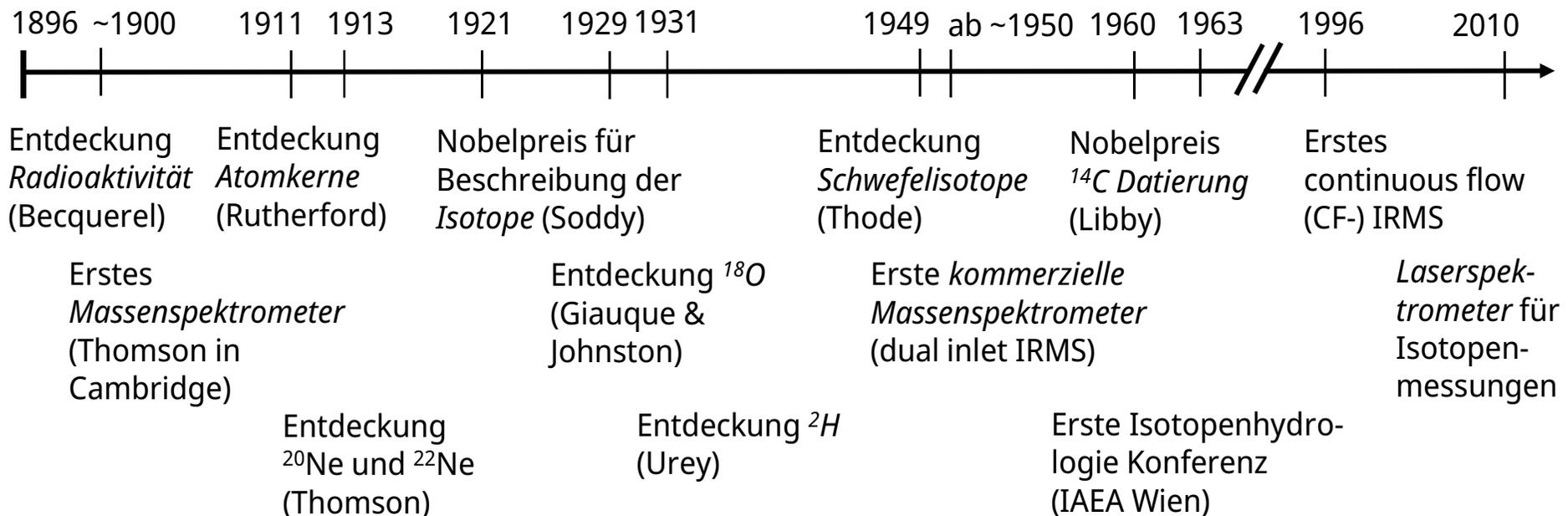
Während im Wasserdampf ein «Überschuss» an ^2H entsteht, entsteht im Wasserreservoir ein «Überschuss» an ^{18}O Atomen. Dieser wird mit zunehmender Verdunstung immer größer.

$$DE_{\text{Probe}} = \delta^{2\text{H}}_{\text{Probe}} - 8 \times \delta^{18\text{O}}_{\text{Probe}}$$

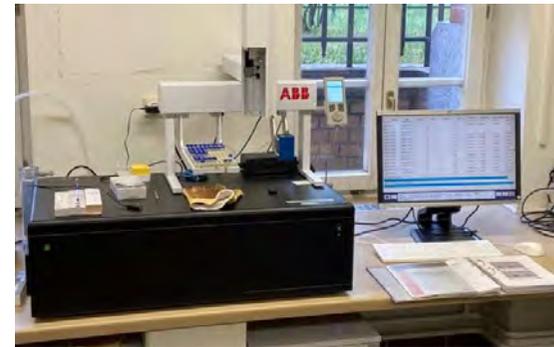
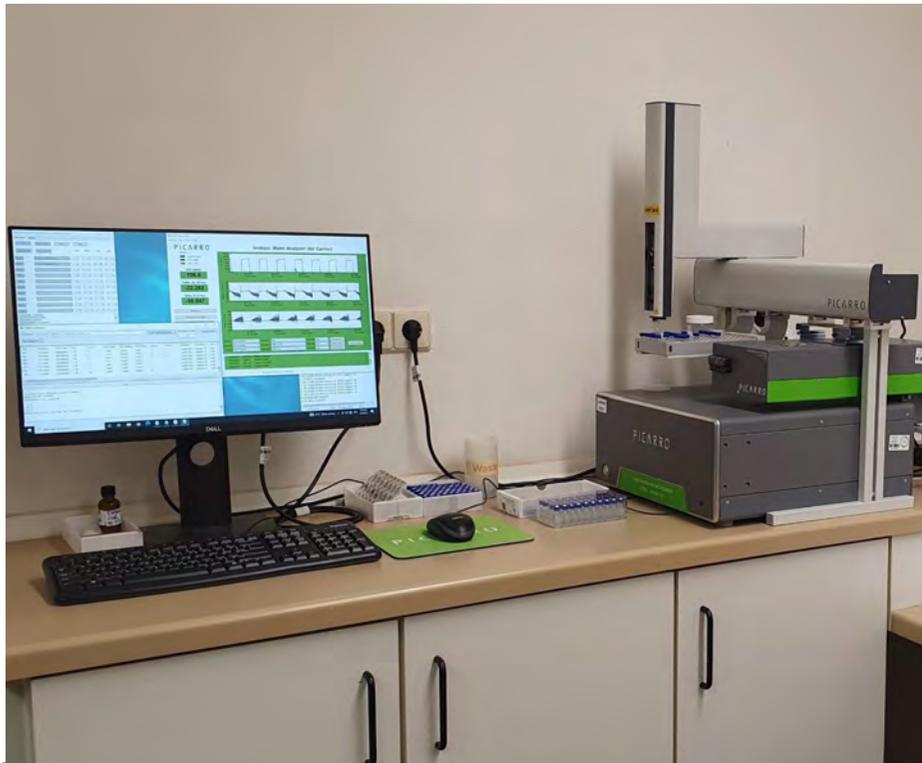
Der DE ist bei Wasserproben der Schnittpunkt der zur Probe verschobenen globalen Niederschlagslinie mit der y-Achse ($x=0$)

Stabile Isotope – eine kurze Einführung

Meilensteine der Isotopenhydrologie



Stabile Isotope – eine kurze Einführung BGR Isotopenlabor (Berlin)



Picarro L2130-i und Los Gatos TLWIA
Isotopenmessgeräte (Laserspektrometer)
seit 2011 an der BGR in Hannover und
2022 nach Berlin umgezogen

Isotopenhydrologische Untersuchungen in der Lausitz - Zielstellung

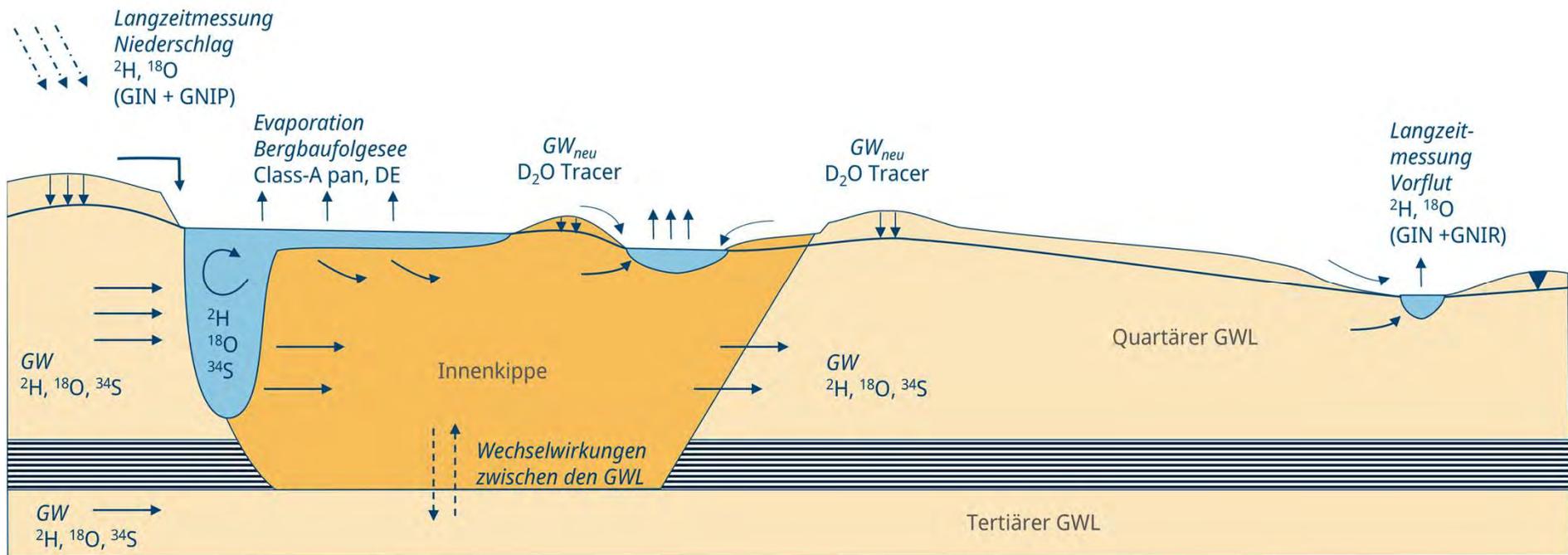


Quantifizierung der Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser anhand von hydrogeologischen, isotopenhydrologischen und hydrochemischen Untersuchungen

- Verbessertes Verständnis der Grundwasserfließwege, Verweilzeiten und Wasserbeschaffenheitsentwicklung bei der Passage der Bergbaufolgeseen
- Verbesserte Parameterdefinition und Kalibrierung/Validierung von Grundwasser- und Wasserhaushaltsmodellen



Isotopenhydrologische Untersuchungen in der Lausitz - zu untersuchende Prozesse



Isotopenhydrologische Untersuchungen in der Lausitz - Probenahmen im Rahmen des MHM 2024



1146 Proben aus LMBV Monitoring (Grundprogramm):

- 495 Proben aus 92 Bergbaufolgeseen
- 420 Grundwasserproben aus 381 Grundwassermessstellen
- 273 Proben aus 63 Fließgewässern

Probenahmen wurden durchgeführt von den Firmen: SGL Spezial- und Bergbau-Servicegesellschaft Lauchhammer mbH, IWB GmbH, LUG Engineering GmbH

Isotopenproben aus dem LMBV MHM 2024

Isotopenhydrologische Untersuchungen in der Lausitz - Probenahmen am FEZB

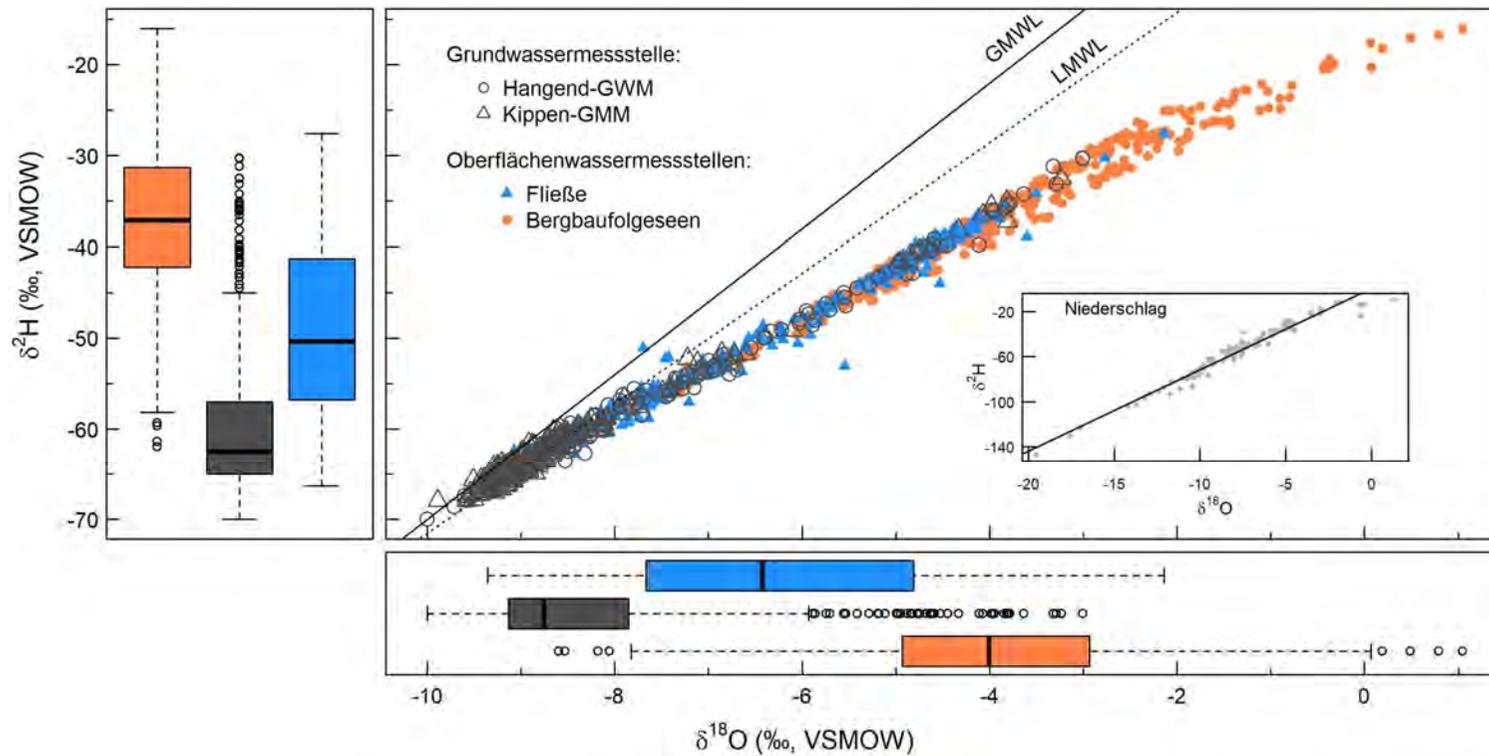


Probenahmen für Isotopenuntersuchungen ($\delta^{18}\text{O}$ & $\delta^2\text{H}$):

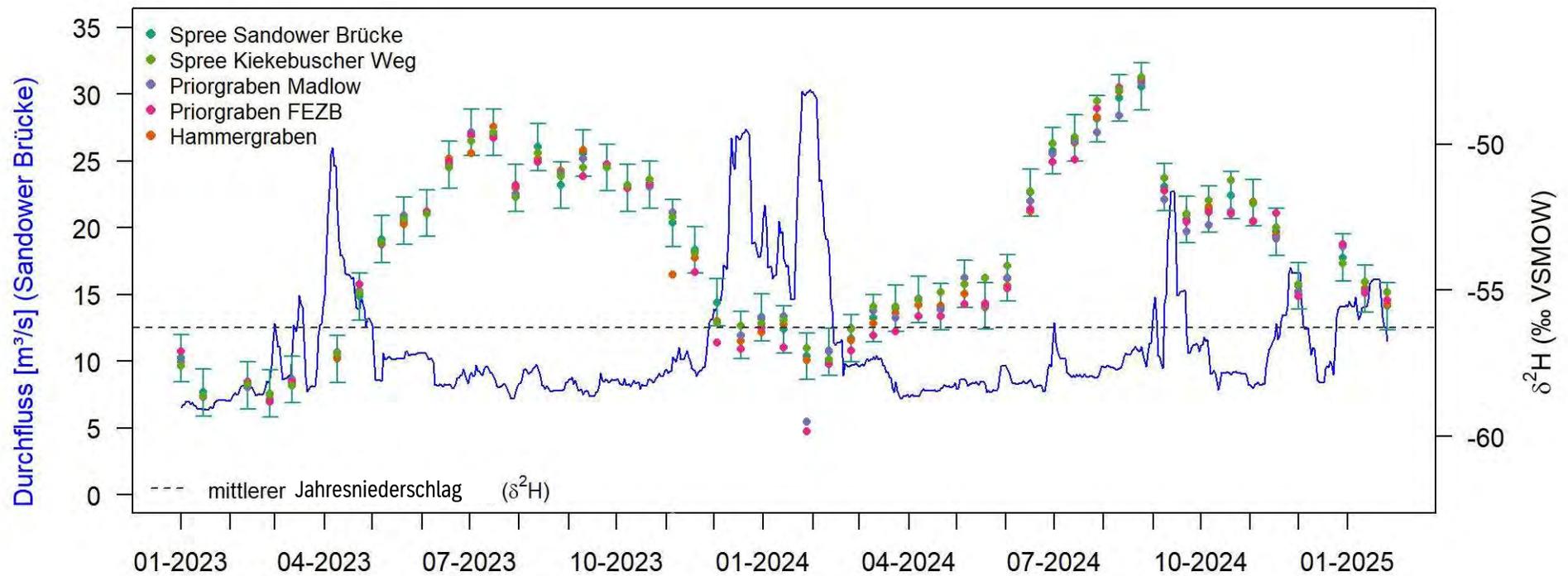
- Niederschlag (wöchentlich & monatlich, seit Anfang 2023) DWD Station Cottbus (94 Proben)
- Oberflächengewässern (monatlich: Spree, Hammergraben, Priorgraben seit Anfang 2023, 264 Proben)

DWD Station Cottbus mit Niederschlagssammler des FEZBs und mobiler Wetterstation

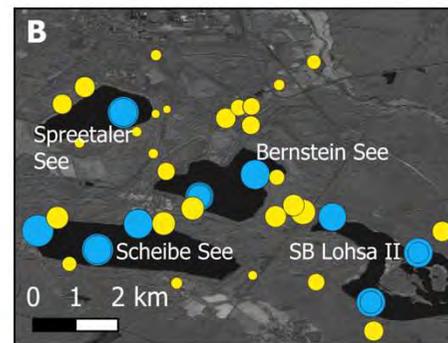
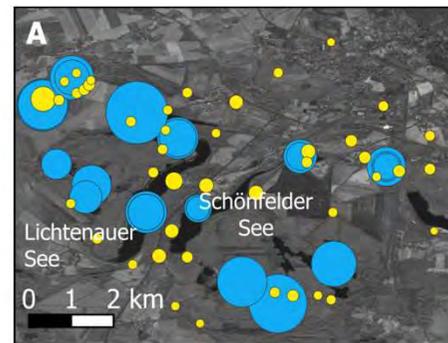
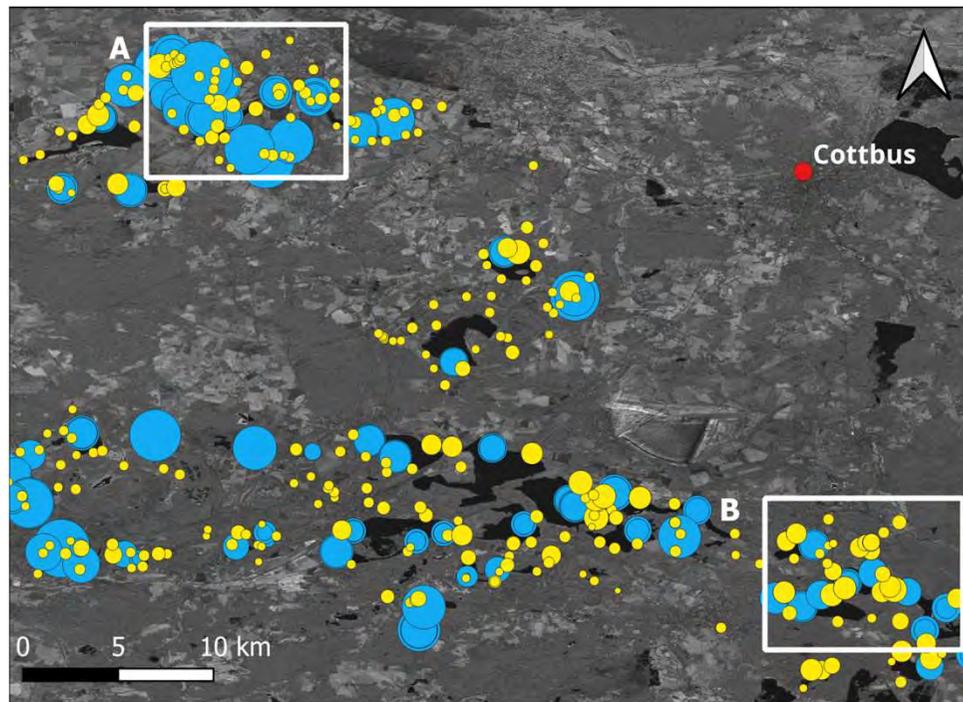
Erste Ergebnisse stabile Wasserisotope Dual-Isotope Plot aller Proben



Erste Ergebnisse stabile Wasserisotope Zeitreihe Spreeprobenahme

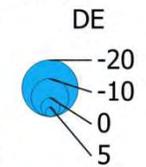


Erste Ergebnisse stabile Wasserisotope Übersicht Deuterium-Exzess Werte (DE)

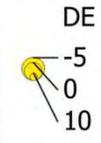


Legende

Proben Bergbaufolgeseen (Q3)

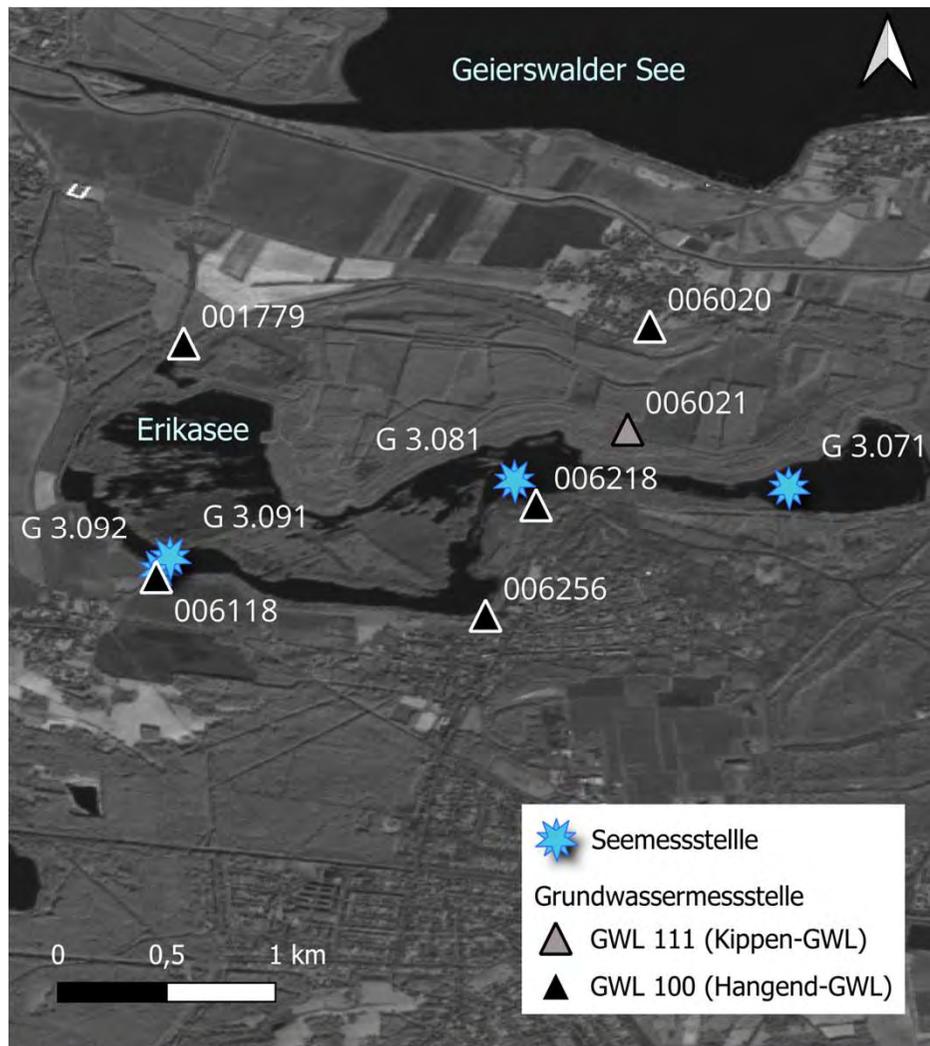


Proben GW (Q1-Q4)
GWL 100, 150, 111



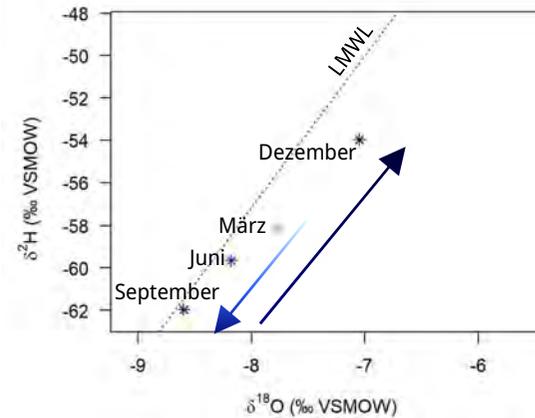
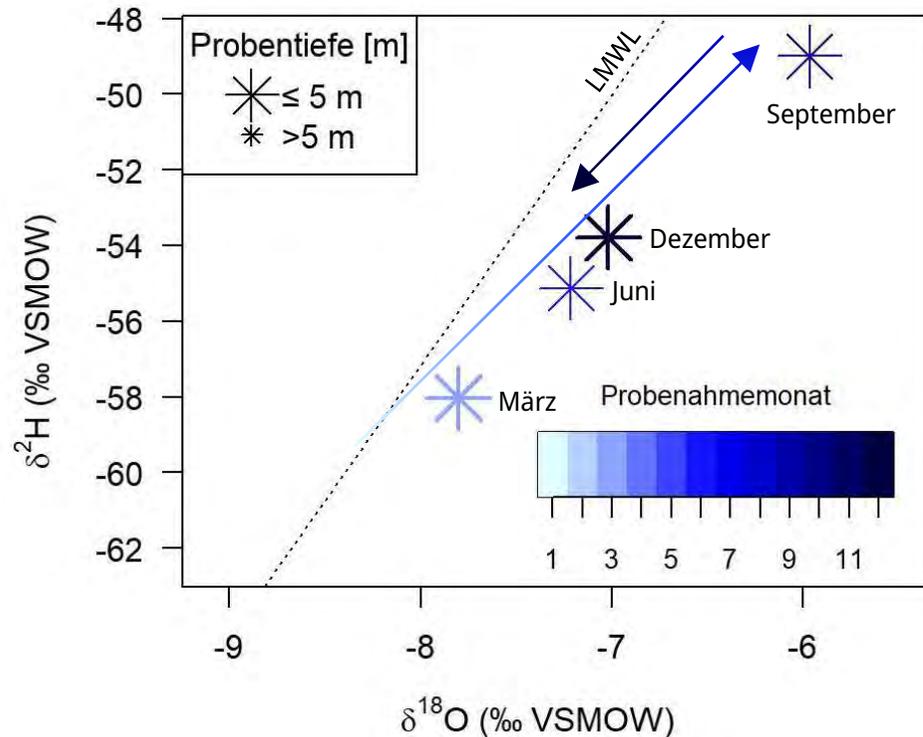
Erikasee

Hintergrund: Copernicus Sentinel-2 Daten (2025)
Informationen See- und GWmesstellen: LMBV



Beispiel Erikasee

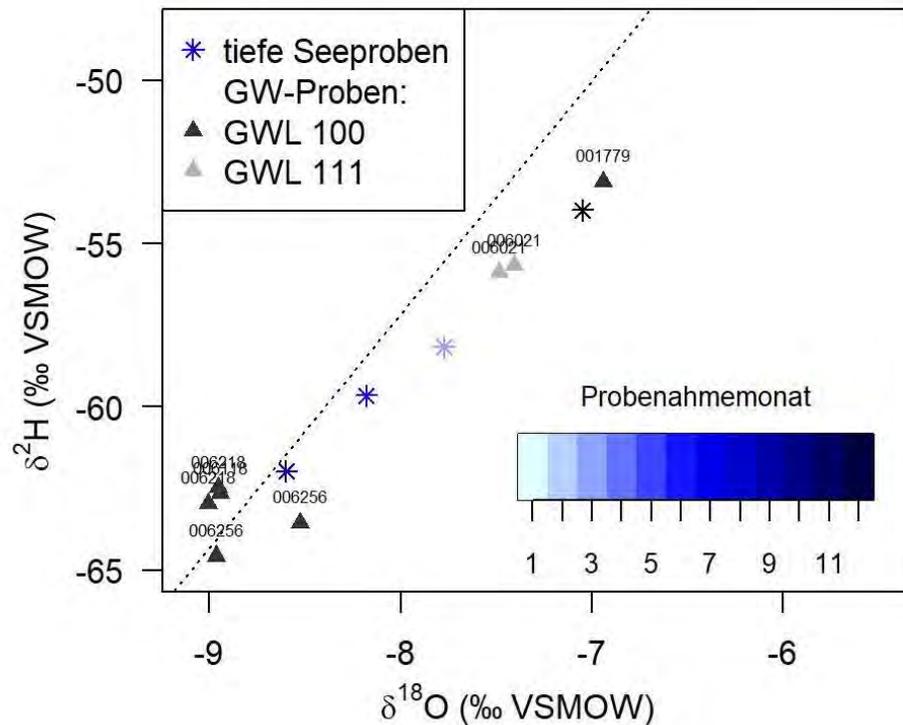
Vergleich flache und tiefe Seeproben (G 3.091)



Die oberflächennahen Proben werden bis zur Mischung im Herbst immer „schwerer“, die tiefen Proben werden bis zur Mischung immer „leichter“.

Beispiel Erikasee

Tiefe Seeproben (G 3.091) und Grundwasser



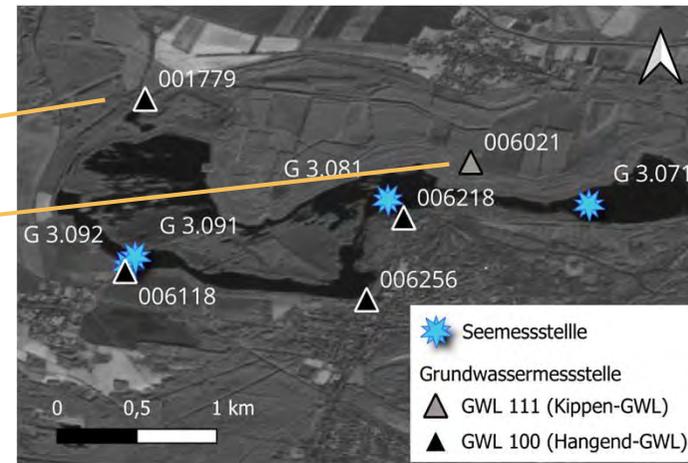
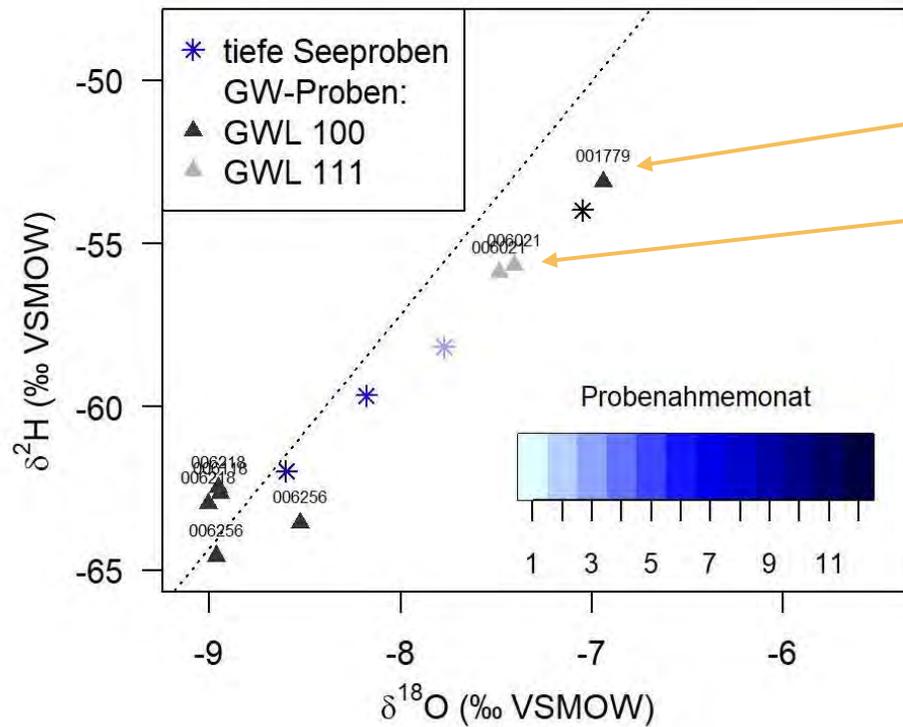
Grundwassermessstellen im Anstrom befinden sich nahe der lokalen Niederschlagslinie: Kein Einfluss von Verdunstung oder Mischung.

Die Hypothese des Grundwasserzustroms wird durch die Isotopensignatur vom Grundwasser gestützt.

Die Grundwassermessstellen im Abstrom zeigen einen deutlichen Einfluss des Seewassers.

Vergleich Seeproben mit Grundwasserproben aus verschiedenen Grundwassermessstellen im Zustrom und Abstrom

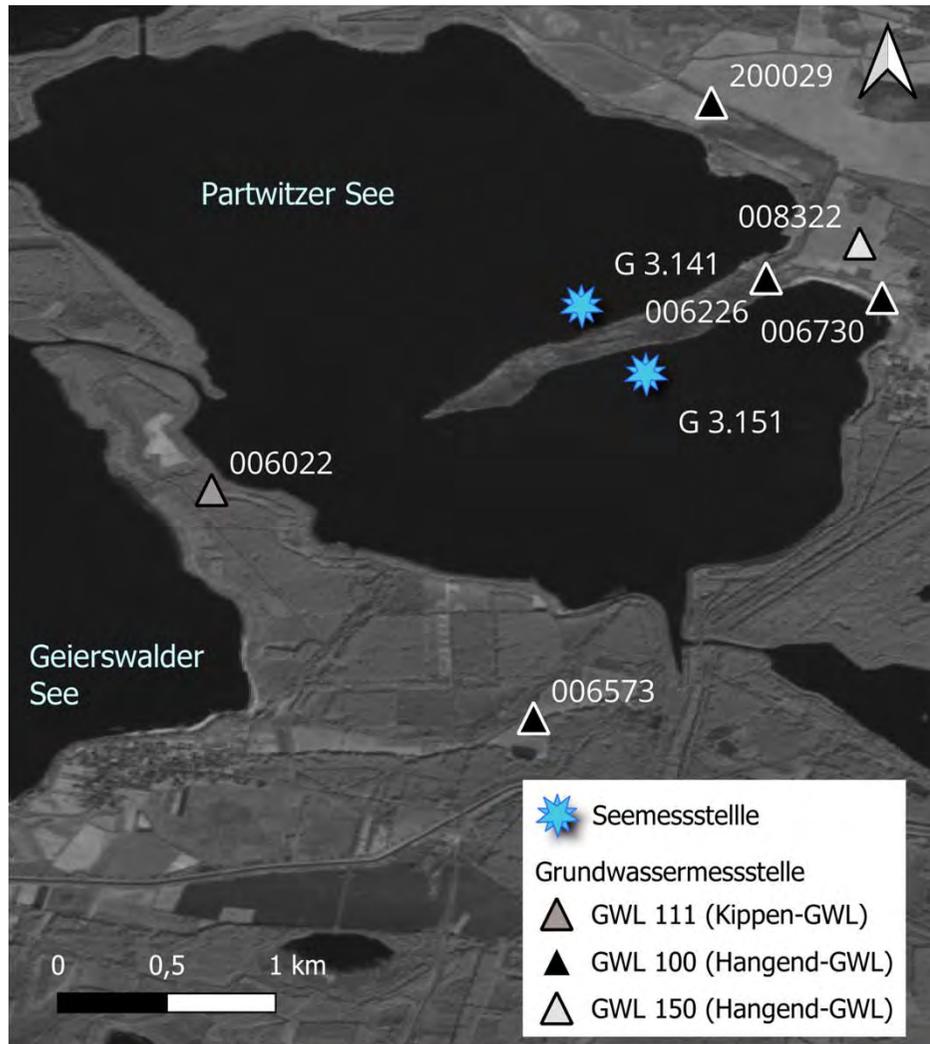
Beispiel Erikasee Tiefe Seeproben (G 3.091) und Grundwasser



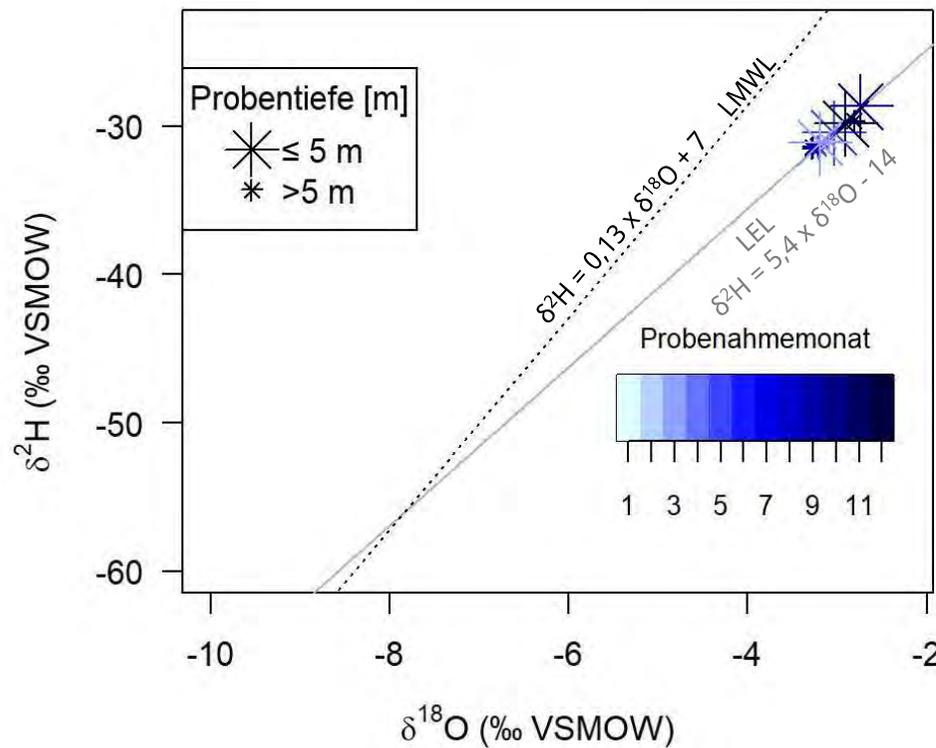
Isotopenergebnisse der Erikaseeproben und Lage der Messstellen.

Partwitzer See

Hintergrund: Copernicus Sentinel-2 Daten (2025)
Informationen See- und GWmesstellen: LMBV



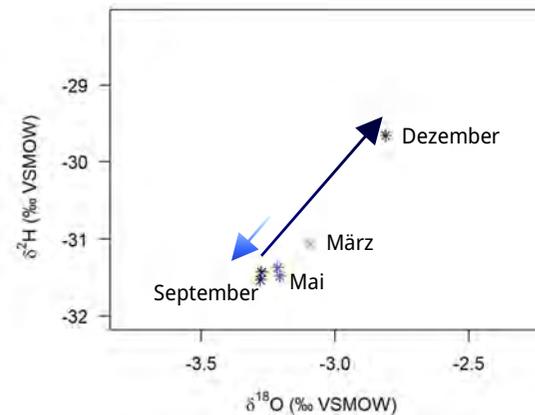
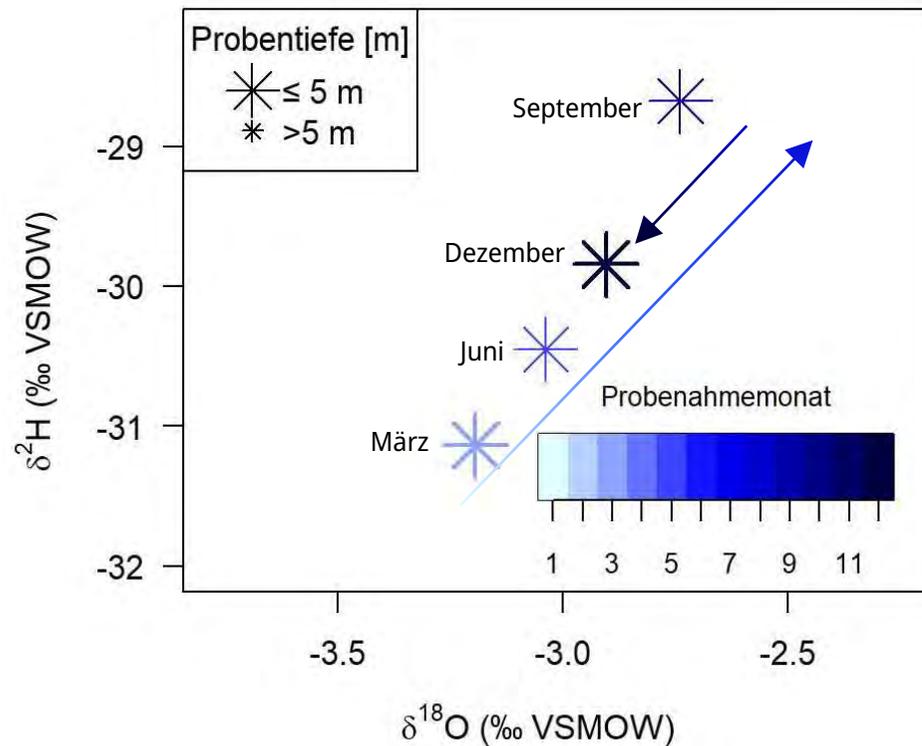
Beispiel Partwitzer See Proben aus Messstelle (G 3.141)



An der Lage der Proben auf der Verdunstungslinie (LEL) ist zu erkennen, dass der See stark von Verdunstung beeinflusst ist.

Proben aus Messstelle G 3.141 im Dual-Isotope-Plot

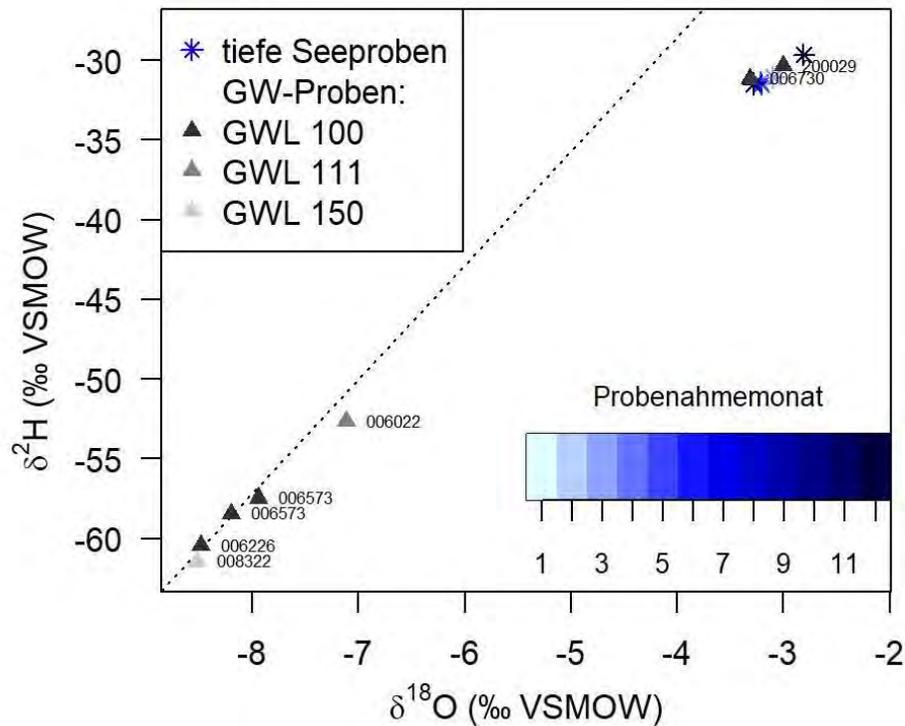
Beispiel Partwitzer See Oberflächennahe und tiefe Seeproben (G 3.141)



Oberflächennahe Proben (links) zeigen Verdunstung und Mischung, tiefe Proben (rechts) deuten auf nur wenig Grundwasserzufluss hin.

Beispiel Partwitzer See

Tiefe See-Proben (G 3.141) und Grundwasser

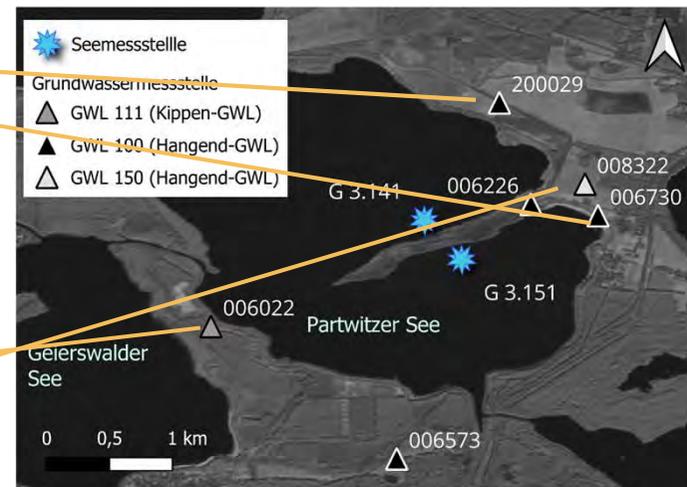
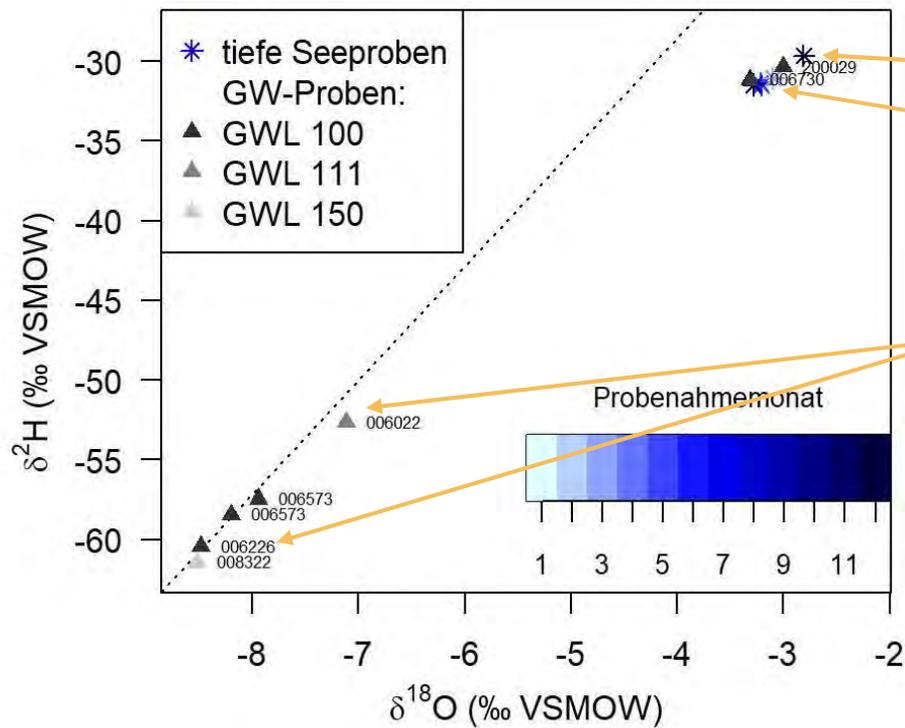


Die Grundwassermessstellen im Anstrom zeigen eine unbeeinflusste Isotopensignatur.

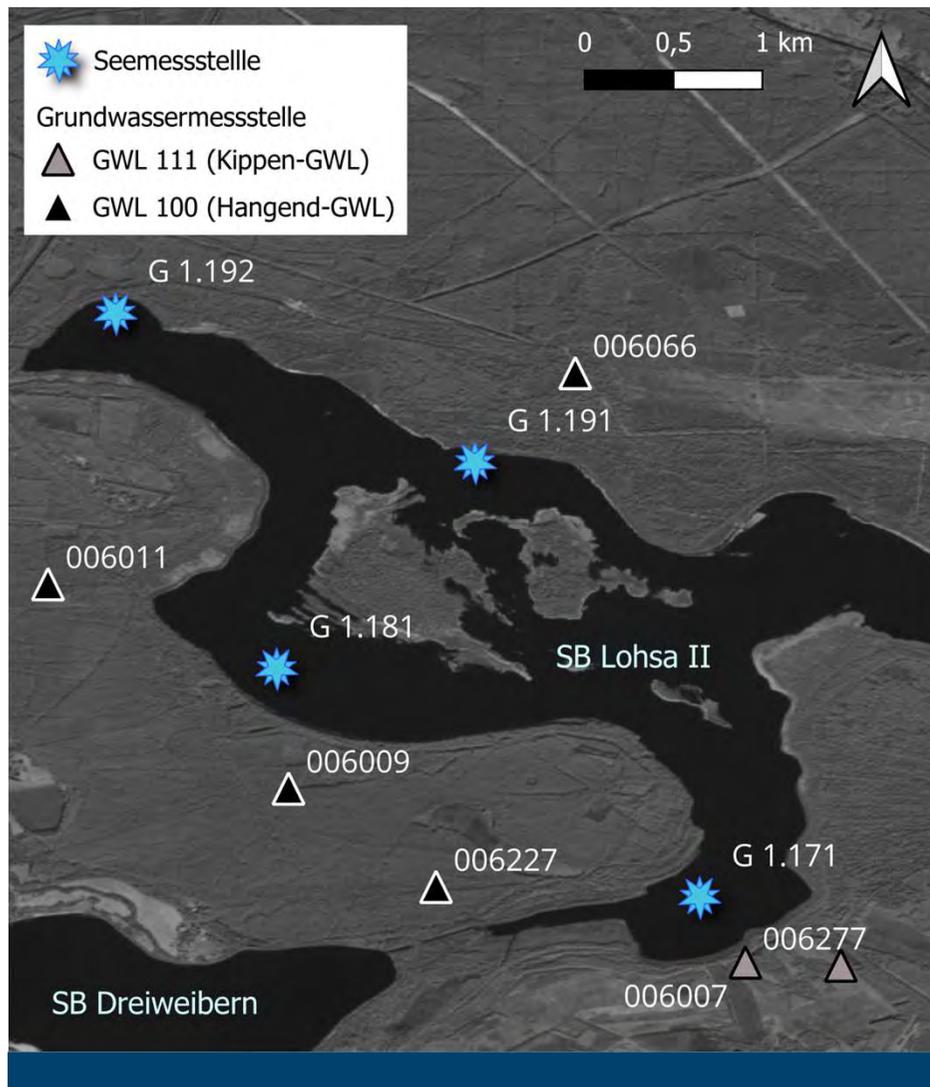
Zwei Grundwassermessstellen im Abstrom (GWL 100) zeigen einen deutlichen Einfluss des Seewassers. Die Grundwassermessstelle im GWL150 ist unbeeinflusst.

Vergleich Seeproben mit Grundwasserproben aus verschiedenen Grundwassermessstellen im Zustrom und Abstrom

Beispiel Partwitzer See Tiefe See-Proben (G 3.141) und Grundwasser



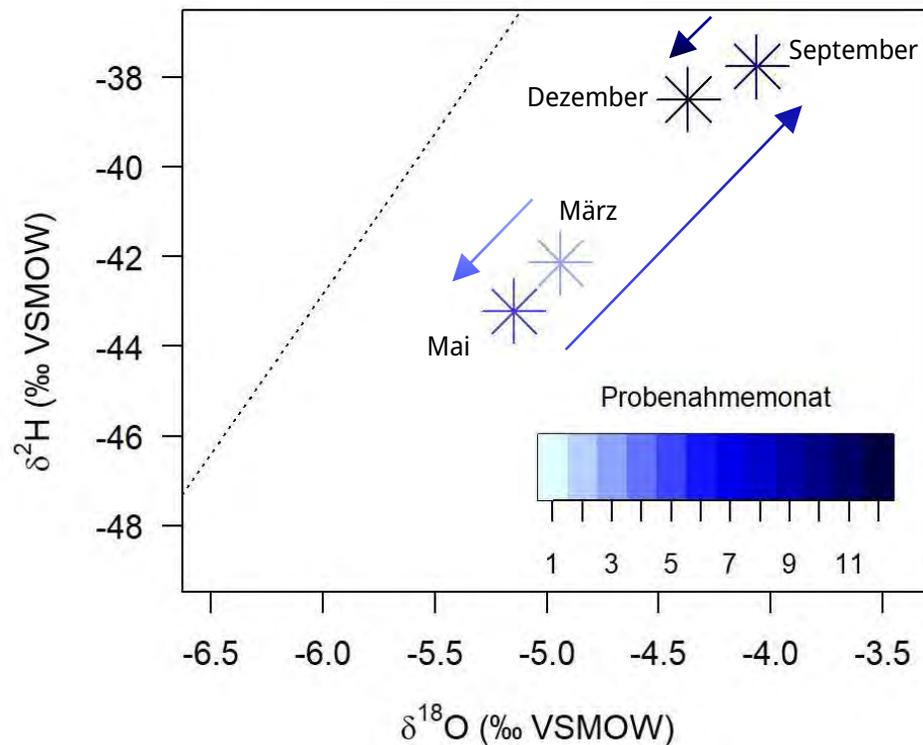
Isotopenergebnisse der Partwitzer See-Proben und Lage der Messstellen



SB Lohsa II

Hintergrund: Copernicus Sentinel-2 Daten (2025)
Informationen See- und GWmesstellen: LMBV

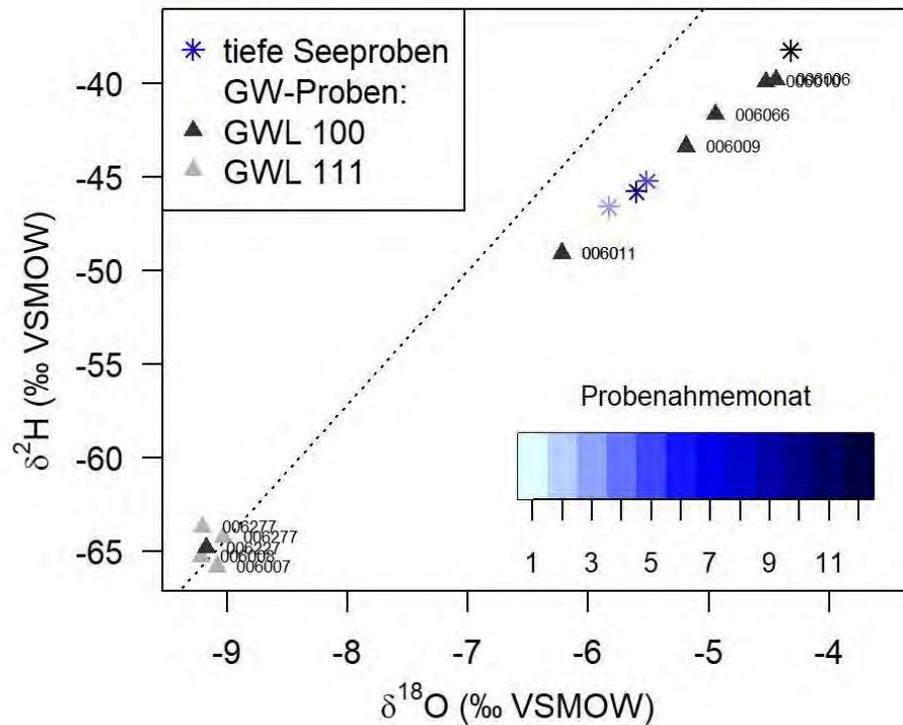
Beispiel SB Lohsa II Oberflächennahe Proben (G 1.171)



Hier weichen die oberflächennahen Seeproben von dem „üblichen Schema“, das die meisten Seen aufweisen, ab. Dies könnte ein Hinweis auf die Bewirtschaftung des Speicherbeckens sein.

Oberflächennahe Proben aus dem SB Lohsa II zeigen eine andere Dynamik als die Mehrheit der Bergbaufolgeseen.

Beispiel SB Lohsa II (G 1.152) Tiefe Seeproben mit GW-Proben

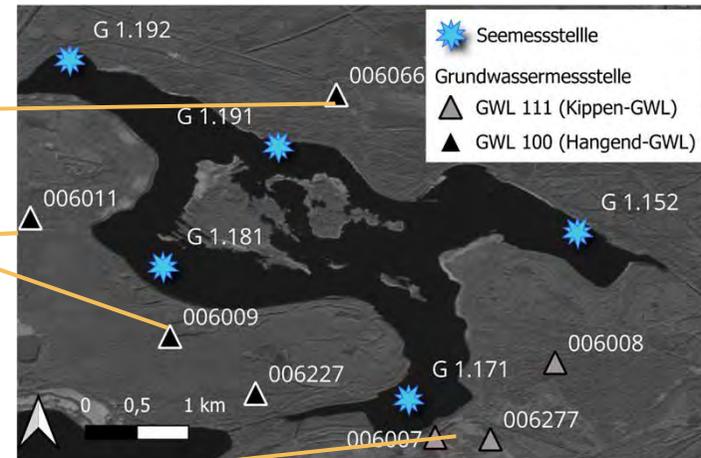
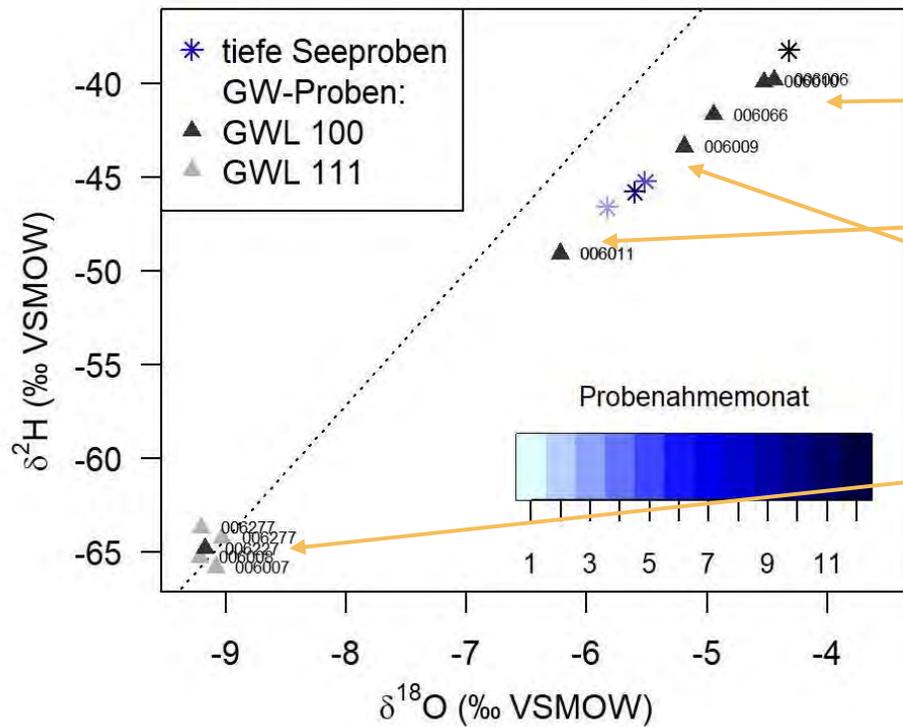


Die Grundwassermessstellen im Anstrom (alle im GWL 111) sind vom Seewasser unbeeinflusst. Die Messstelle 006227 im GWL 100 ist ebenso unbeeinflusst.

Die Grundwassermessstelle im Abstrom (006066) sowie einige im Zustrom (006011, 00609, 00606), die im Abstrom des SB Dreiweibern liegen, sind deutlich von Seewasser beeinflusst.

Vergleich Seeproben mit Grundwasserproben aus verschiedenen Grundwassermessstellen im Zustrom und Abstrom

Beispiel SB Lohsa II (G 1.152) Tiefe Seeproben mit GW-Proben



Isotopenergebnisse der SB Lohsa II-Proben und Lage der Messstellen

Stabile Schwefelisotope – eine kurze Einführung Anwendungsmöglichkeiten



Eisen fällt als $\text{Fe}(\text{OH})_3$ aus und verockert Fließgewässer



Pyrit (Fe_2S)

Oxidation

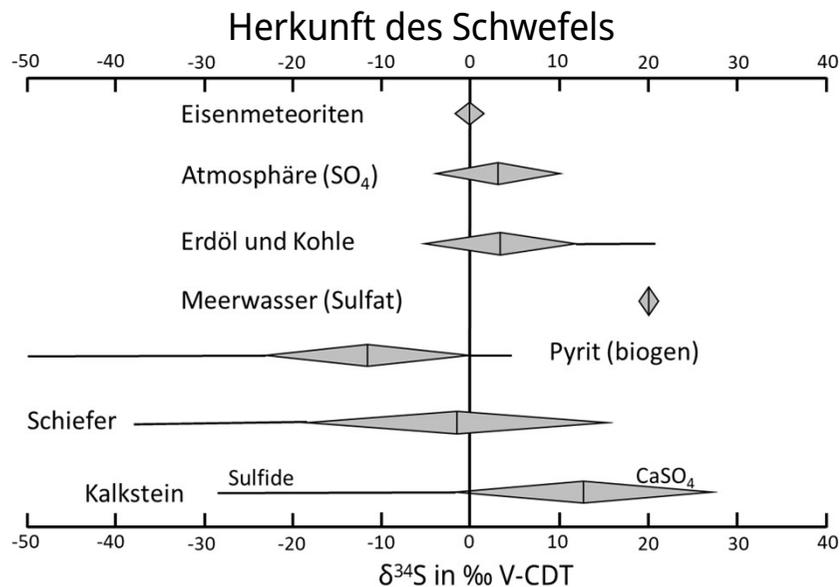
Fe

SO_4

Sulfat bleibt gelöst

Isotope im Sulfat können Aufschluss über Herkunft und ablaufende Prozesse geben

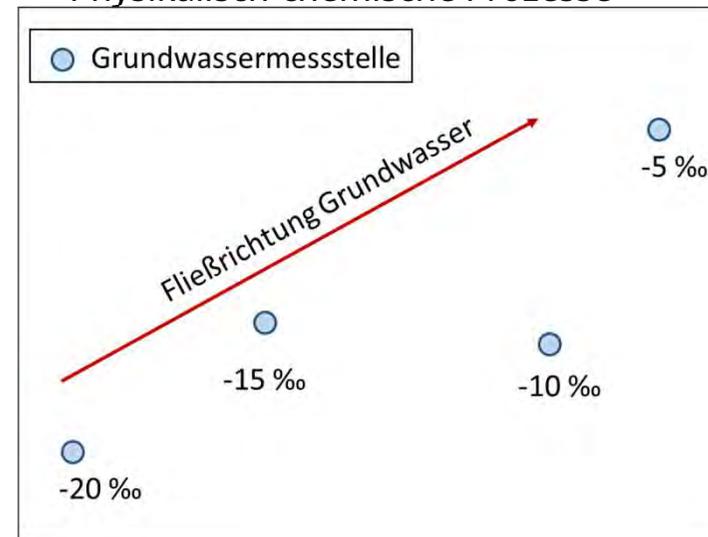
Stabile Schwefelisotope – eine kurze Einführung Anwendungsmöglichkeiten



verändert nach Clark und Fritz (1997)

- je nach Herkunft unterschiedliche $\delta^{34}\text{S}$ -Werte
- Rückschlüsse auf Fließpfade des Wassers

Physikalisch-chemische Prozesse



- Veränderungen sind Hinweise auf physikalische oder (bio)-chemische Prozesse

BGR Isotopenlabor Methodik Schwefelisotopenmessung



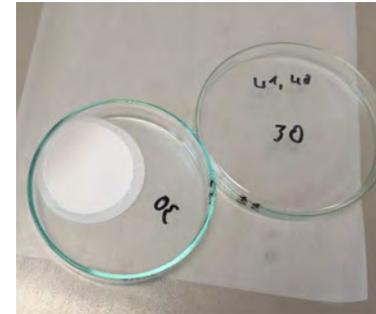
Probenahme



Extraktion des Schwefels



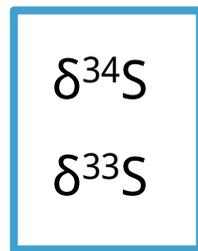
Filtration



Einwiegen in Zinnkapseln



Messung: Elementaranalysator gekoppelt an MC-ICPMS



Erste Ergebnisse – Schwefelisotopen Übersicht

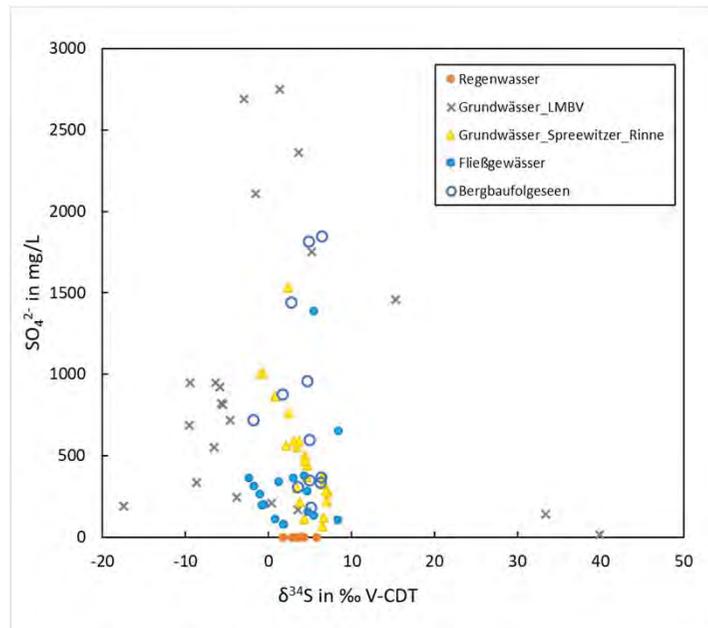


81 Proben in Grundwasser, Bergbaufolgeseen und Fließgewässern

Ziel: erster Überblick über Variabilität

→ Isotopenmethoden sind nur anwendbar, wenn es deutliche Unterschiede in Isotopensignaturen gibt

Erste Ergebnisse – Schwefelisotopen Übersicht



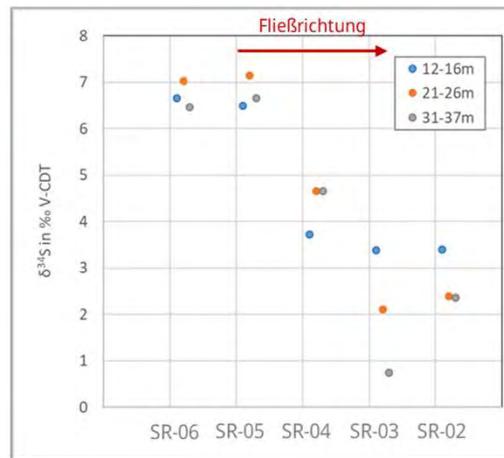
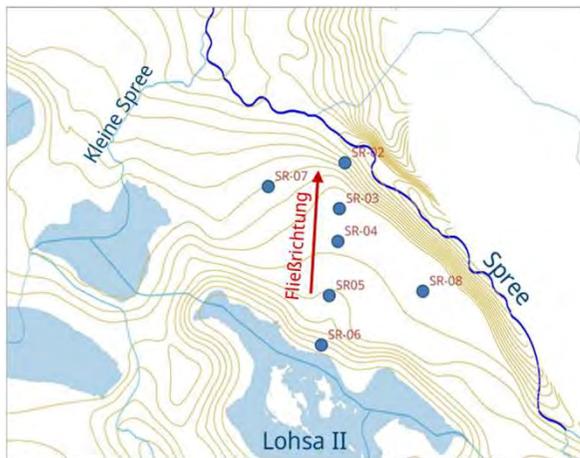
Unterschiede von bis zu 57‰

Größte Unterschiede in Kippenwässern nahe der Tagebaurestseen (LMBV)

Für weitere Differenzierung wird Isotopensignatur des Pyrits benötigt (Primärquelle)

Physikalisch-chemische Prozesse können mit Sauerstoffisotopen im Sulfat identifiziert werden (derzeit noch nicht gemessen)

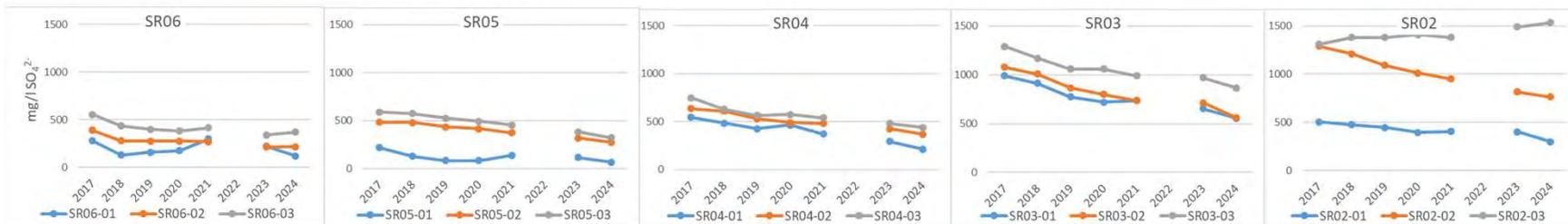
Erste Ergebnisse – Schwefelisotopen Spreewitzer Rinne



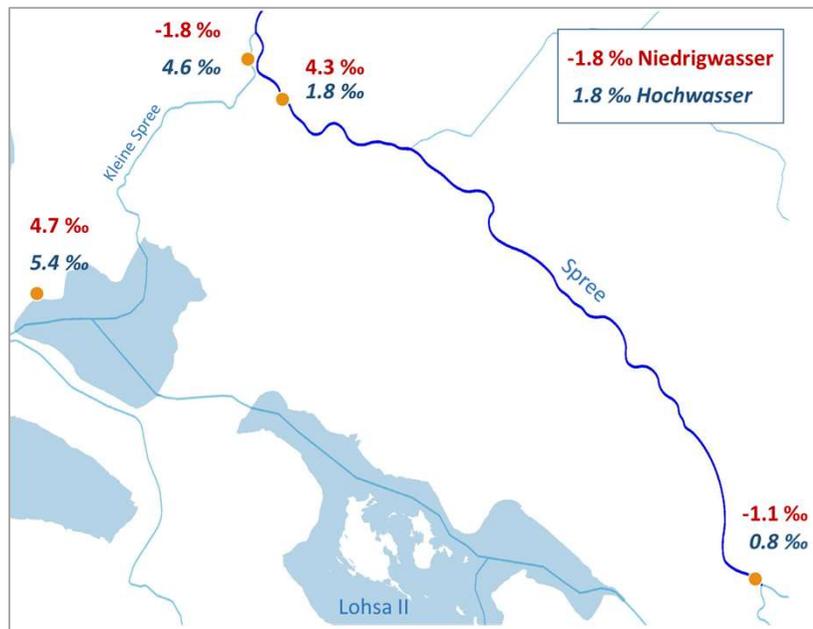
$\delta^{34}\text{S}$ - Werte nahe Speicherbecken Lohsa II (SR06 und SR05) in den drei beprobten Tiefen einheitlich

In Fließrichtung sind die $\delta^{34}\text{S}$ - Werte ab SR04 deutlich niedriger und variieren stärker

Sulfatkonzentrationen nehmen in Fließrichtung zu



Erste Ergebnisse – Schwefelisotopen Spree, Kleine Spree (Spreewitzer Rinne)



Abhängigkeit des $\delta^{34}\text{S}$ von Durchflussmenge bzw. Niederschlagsereignissen

- bei Hochwasser könnte Sulfat aus Spreewitzer Rinne verstärkt ausgetragen werden, niedrigerer $\delta^{34}\text{S}$ in der Spree
- Kleine Spree zeigt nahe Mündung gegensätzlichen Trend, hier möglicherweise abnehmender Einfluss von Grund-, Kippenwasser

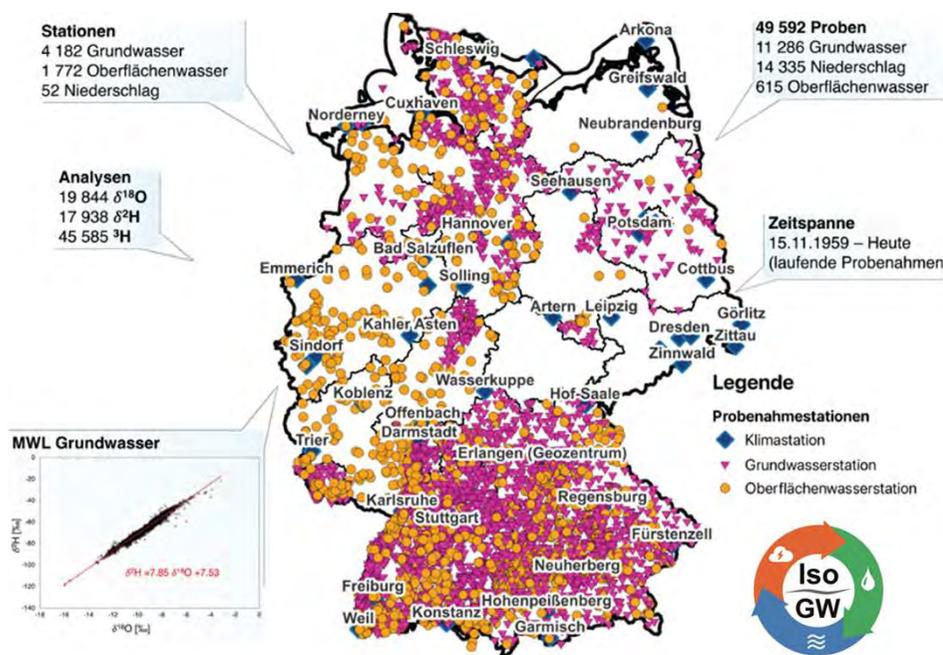
Ausblick

Chancen und Perspektiven



- Die Isotopie im Niederschlag, OW und GW unterscheiden sich deutlich → Hinweis auf Herkunft
- Zeitliche Variabilität: Die Untersuchung von Isotopen hilft, saisonale oder jahreszeitliche Veränderungen in den Wasserverhältnissen zu erkennen und Fließprozesse zu identifizieren
- Quantifizierung von Austauschprozessen: Isotope liefern quantitative Daten über den Austausch (Mischung) von Wasser zwischen Oberflächengewässern und dem Grundwasser
- Verbesserte Modellierung: Durch isotopenbasierte Daten können hydro(geo)logische Modelle unterstützt werden
- Identifizierung von biochemischen Reaktionen

Ausblick Datenaustausch mit dem GIN Netzwerk



Das deutsche Isotopen Netz (German Isotope Network) misst an mehreren Klima- und Oberflächenwasserstationen regelmäßig Isotope. Im Rahmen des IsoGW Projekts werden diese Daten sowie GW Daten der Länder und Universitäten ausgewertet.

Impressum



Herausgeber:

Bundesanstalt für Geowissenschaften und
Rohstoffe
Stilleweg 2
30655 Hannover

Kontakt:

Prof. Dr. habil. Christoph Neukum
Christoph.neukum@bgr.de

Titelbild: © BGR
Bildnachweise: © BGR



**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit!**