Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

TU BERGAKADEMIE FREIBERG

Isotopenhydrologie

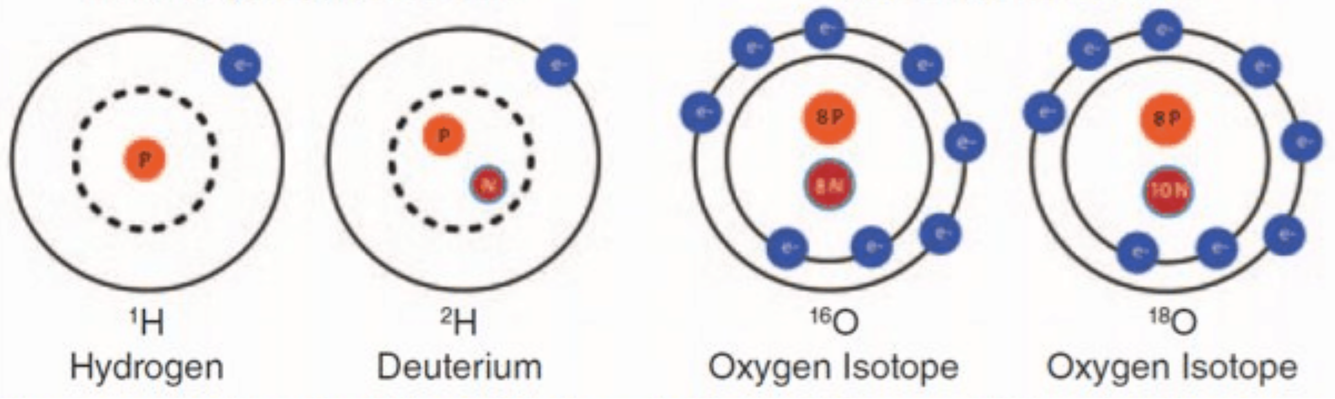
12

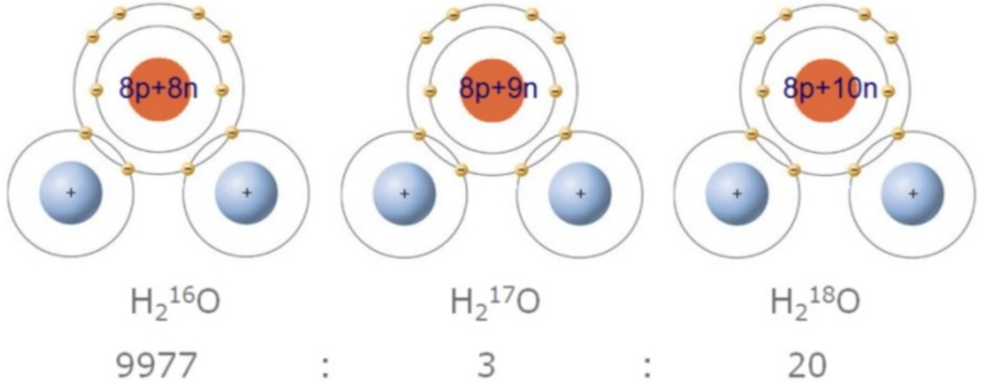
Grundlagen der Hydrologie
Primer in Hydrology

conrad.jackisch@tbt.tu-freiberg.de

Stabile Isotope des Wassers

ein ubiquitärer Tracer





- Isotope: atomare Unterschiede in der Anzahl der Neutronen → unterschiedliche Masse
- Stabil: kein spontaner nuklearer Zerfall, entsprechend keine Abbaurate
- H :: ^{1}H, ^{2}H
- O :: ^{16}O, ^{17}O, ^{18}O
- Tracer: Markierungsstoff

Konzentrationen und ∂-Notation

das Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW)

Element	Isotope	Abundance (%)	Ratio
Hydrogen	^{1}H	99.985	
	^{2}H (D)	0.015	150.022 e-6
Carbon	^{12}C	98.892	
	^{13}C	1.108	112.04 e-4
Oxygen	^{16}O	99.759	
	^{17}O	0.037	370.894 e-6
	^{18}O	0.204	2044.928 e-6

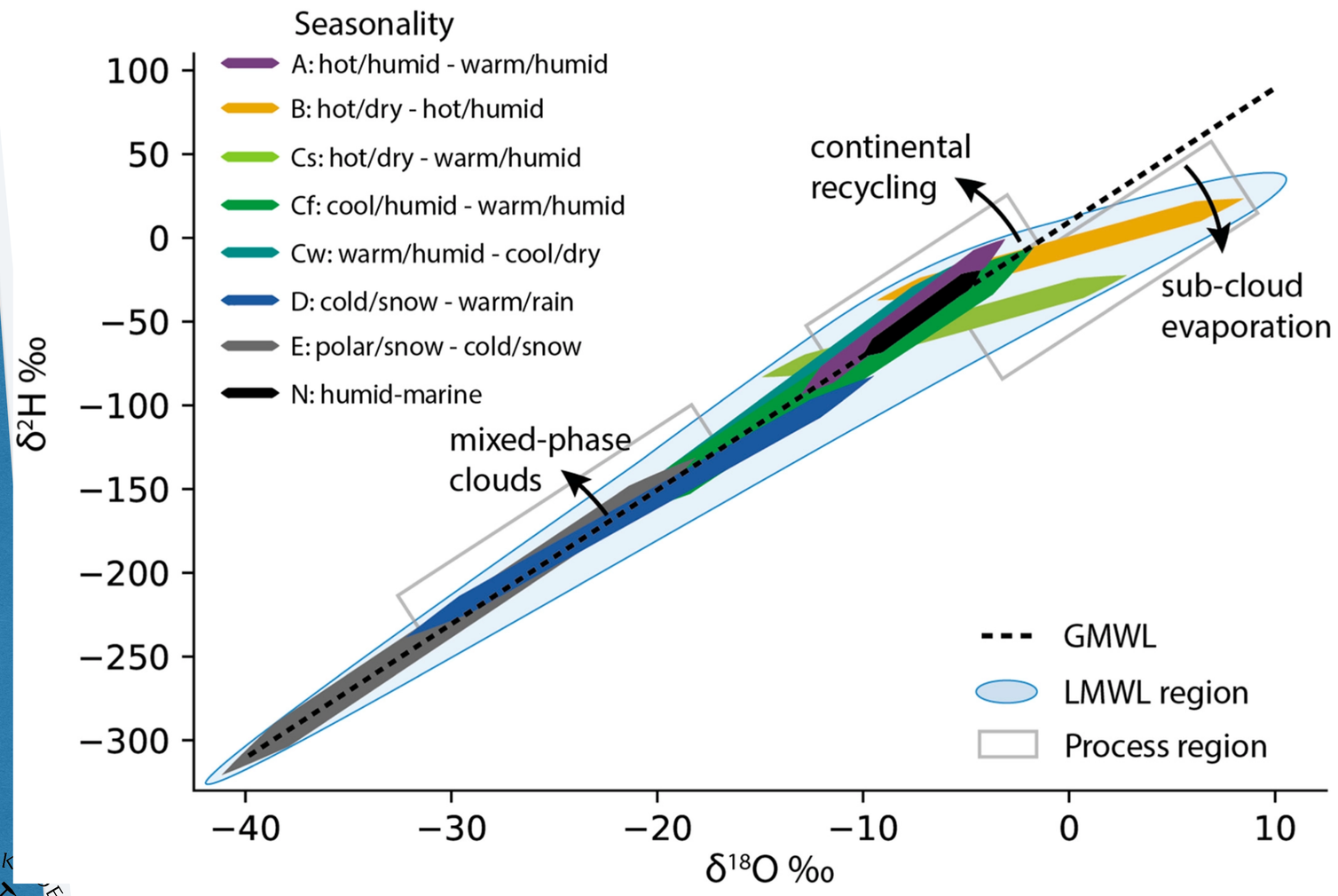
$$\delta^{18}O\ (‰) = \left[\frac{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O}\right)_{sample}}{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O}\right)_{standard}} - 1 \right] \times 1000$$

- analog mit anderen Isotopen

- Isotope sind eher selten
- kleine Konzentrationen
- einfacher als ∂-Notation
- braucht aber einen Standard (wie bei fast allen Messungen)
- negative Werte: leichter
- positive Werte: schwerer
- **VSMOW**:
- 2H/1H: 1/6420 = 0.15‰
- 18O/16O: 1/498.7 = 2‰

Zusammenhang ∂^2H und $\partial^{18}O$

die Meteoric Water Line(s)



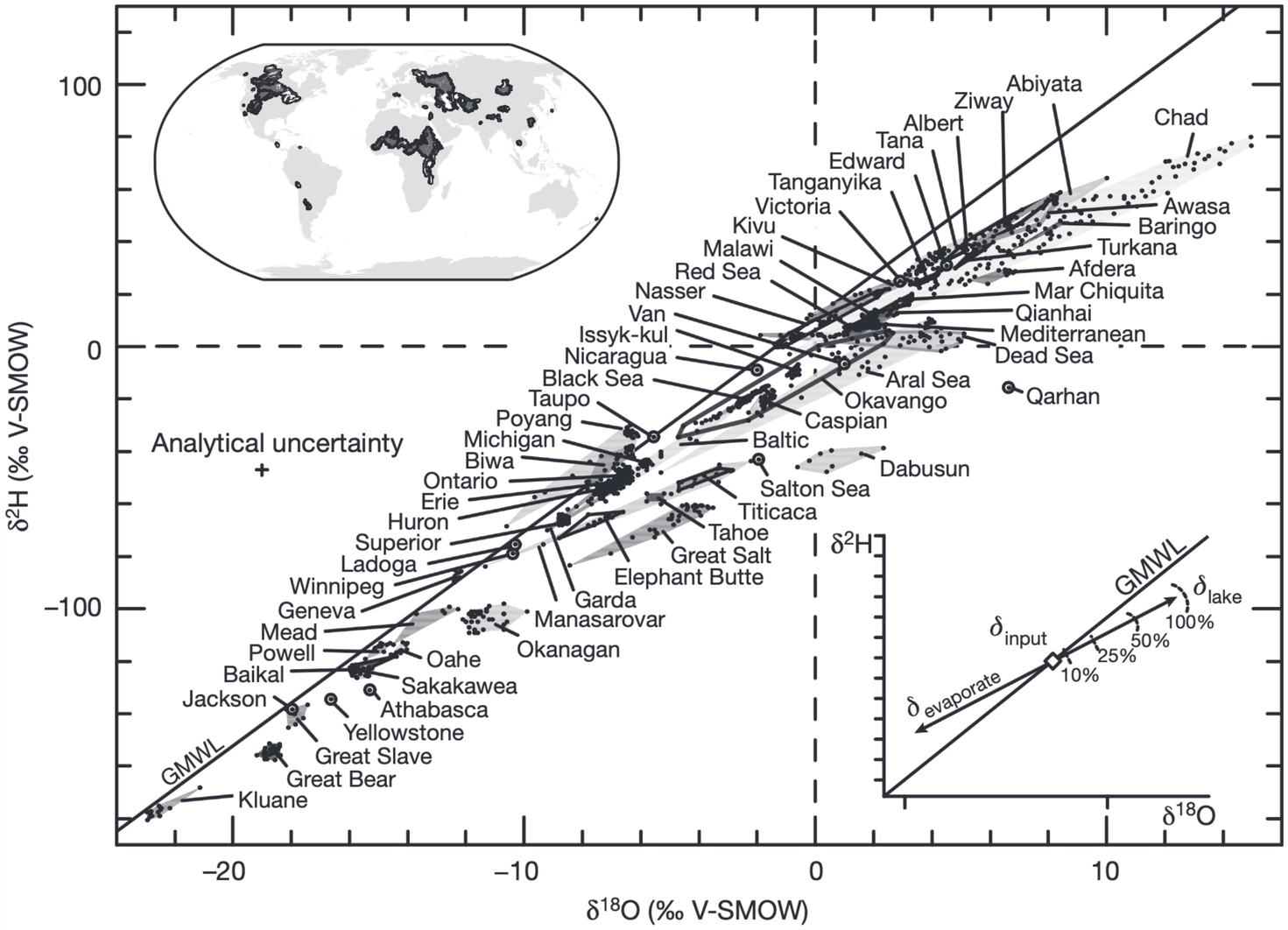
Weil H&O in Wasser gemeinsam festgelegt sind:

- Plot $\partial^{18}O$ vs. ∂^2H
- regionale Unterschiede der Isotopenkonzentrationen im Niederschlag
- liegen jedoch etwa auf einer Global Meteoric Water Line: $\partial^2H = 8.17\ \partial^{18}O + 11.27$

Putman, A. L., Fiorella, R. P., Bowen, G. J., and Cai, Z.: A Global Perspective on Local Meteoric Water Lines: Meta-analytic Insight Into Fundamental Controls and Practical Constraints, Water Resour Res, 55, 6896–6910, https://doi.org/10.1029/2019wr025181, 2019.
Jasechko, S., Sharp, Z. D., Gibson, J. J., Birks, S. J., Yi, Y., and Fawcett, P. J.: Terrestrial water fluxes dominated by transpiration., 496, 347–350, https://doi.org/10.1038/nature11983, 2013.

Zusammenhang ∂^2H und $\partial^{18}O$

die Meteoric Water Line(s)



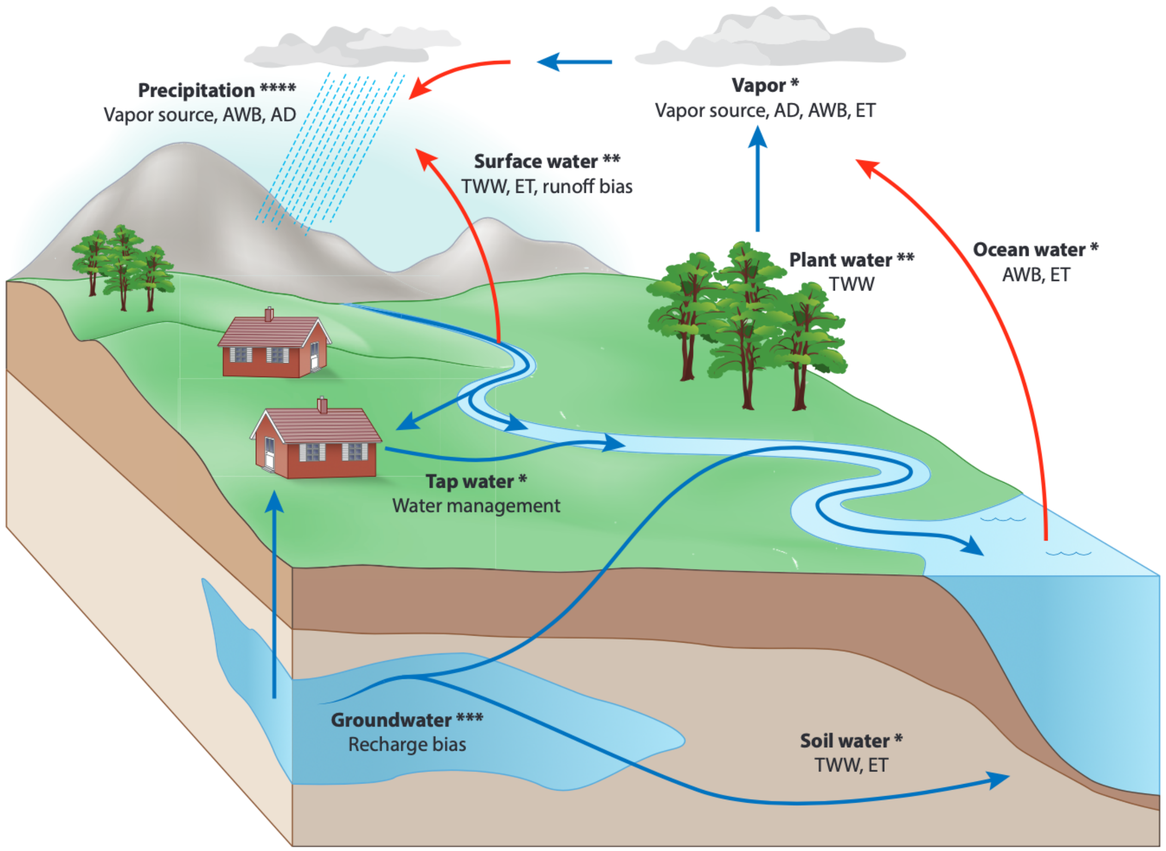
Weil H&O in Wasser gemeinsam festgelegt sind:

- Plot $\partial^{18}O$ vs. ∂^2H
- regionale Unterschiede der Isotopenkonzentrationen im Niederschlag
- liegen jedoch etwa auf einer Global Meteoric Water Line: $\partial^2H = 8.17\ \partial^{18}O + 11.27$

Putman, A. L., Fiorella, R. P., Bowen, G. J., and Cai, Z.: A Global Perspective on Local Meteoric Water Lines: Meta-analytic Insight Into Fundamental Controls and Practical Constraints, Water Resour Res, 55, 6896–6910, https://doi.org/10.1029/2019wr025181, 2019.
Jasechko, S., Sharp, Z. D., Gibson, J. J., Birks, S. J., Yi, Y., and Fawcett, P. J.: Terrestrial water fluxes dominated by transpiration., 496, 347–350, https://doi.org/10.1038/nature11983, 2013.

Fraktionierung

Wie sich die Isotopenkonzentrationen ändern



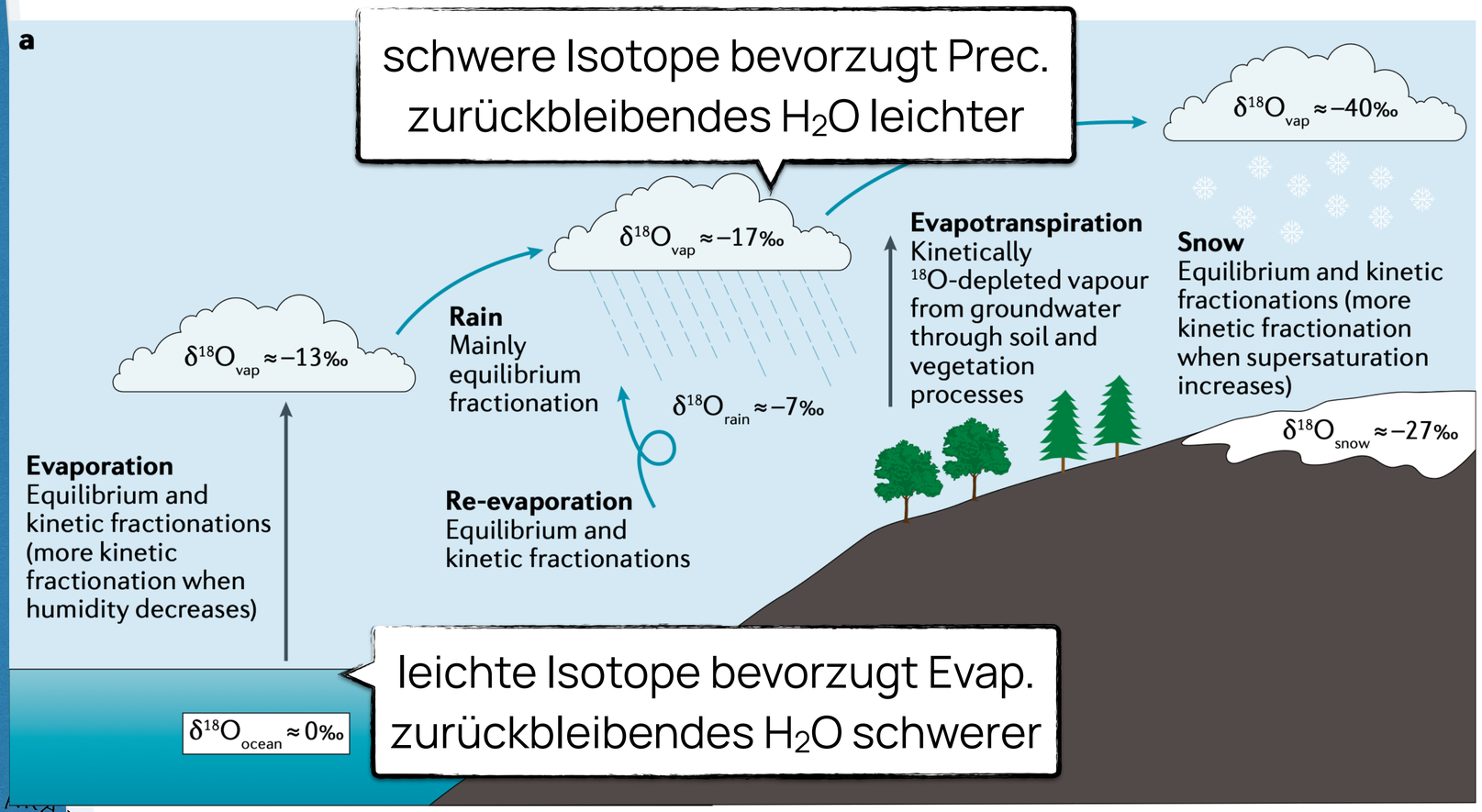
- Insb. physikalische Phasenänderung und bio-chemische Reaktionen ändern Isotopenverhältnis → **Fraktionierung**
- Phasenübergang (stärker bei niedrigen T) → **Kinetische Frakt.**
- Änderung auch durch Austausch mit Gasphase → **Equilibrium Frakt.**

Bowen, G. J., Cai, Z., Fiorella, R. P., and Putman, A. L.: Isotopes in the Water Cycle: Regional- to Global-Scale Patterns and Applications, Annu Rev Earth Pl Sc, 47, 1–27, https://doi.org/10.1146/annurev-earth-053018-060220, 2019.
Hillaire-Marcel, C., Kim, S.-T., Landais, A., Ghosh, P., Assonov, S., Lécuyer, C., Blanchard, M., Meijer, H. A. J., and Steen-Larsen, H. C.: A stable isotope toolbox for water and inorganic carbon cycle studies, Nat Rev Earth Environ, 2, 699–719, https://doi.org/10.1038/s43017-021-00209-0, 2021.

TU BERGAKADEMIE · FREIBERG

Fraktionierung

Wie sich die Isotopenkonzentrationen ändern

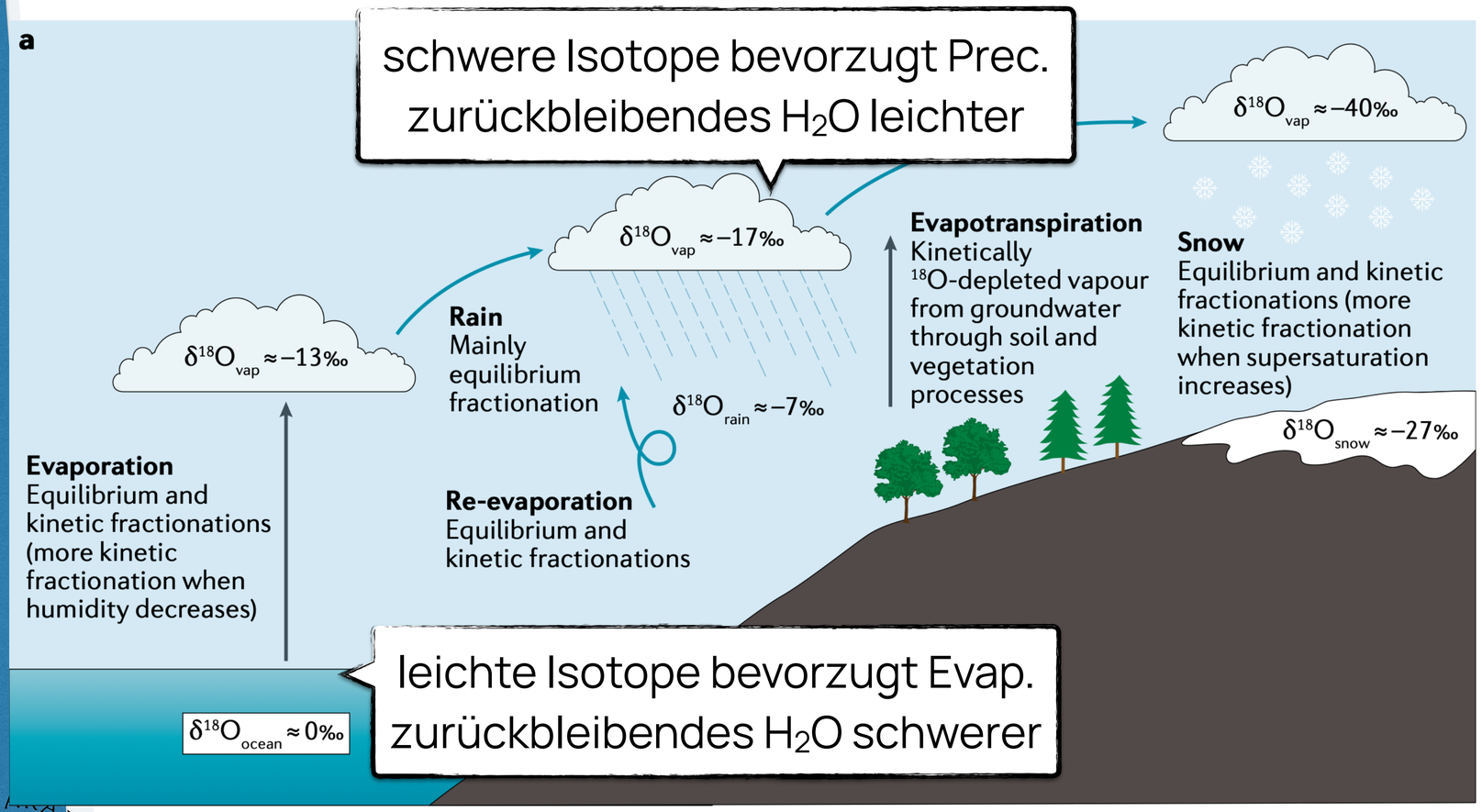


- Insb. physikalische Phasenänderung und bio-chemische Reaktionen ändern Isotopenverhältnis → **Fraktionierung**
- Phasenübergang (stärker bei niedrigen T) → **Kinetische Frakt.**
- Änderung auch durch Austausch mit Gasphase → **Equilibrium Frakt.**

Bowen, G. J., Cai, Z., Fiorella, R. P., and Putman, A. L.: Isotopes in the Water Cycle: Regional- to Global-Scale Patterns and Applications, Annu Rev Earth Pl Sc, 47, 1–27, https://doi.org/10.1146/annurev-earth-053018-060220, 2019.
Hillaire-Marcel, C., Kim, S.-T., Landais, A., Ghosh, P., Assonov, S., Lécuyer, C., Blanchard, M., Meijer, H. A. J., and Steen-Larsen, H. C.: A stable isotope toolbox for water and inorganic carbon cycle studies, Nat Rev Earth Environ, 2, 699–719, https://doi.org/10.1038/s43017-021-00209-0, 2021.

Fraktionierung

Wie sich die Isotopenkonzentrationen ändern

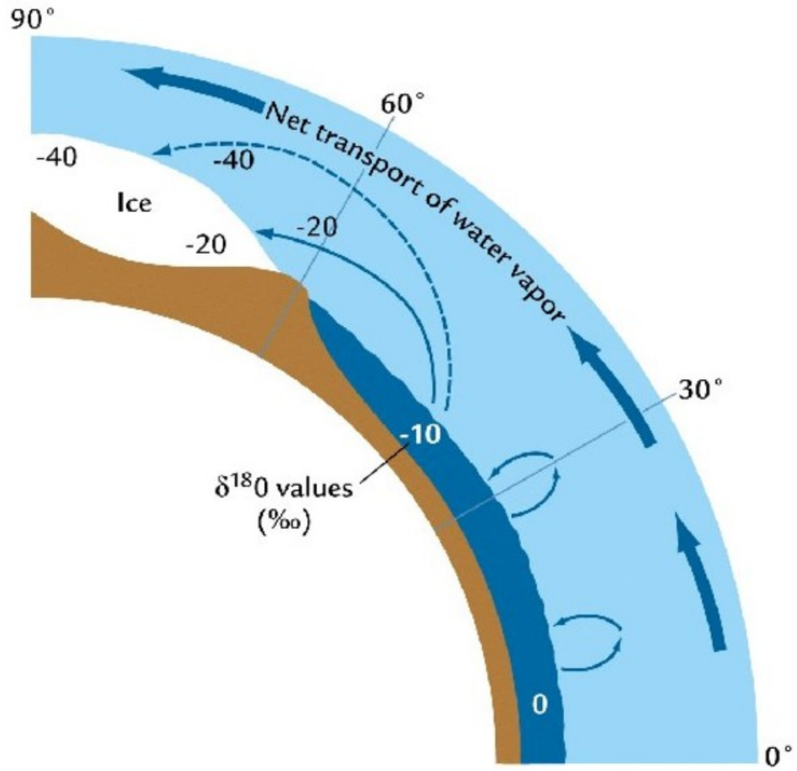


- Kondensat ist schwerer als Dampf
- Kontinentaleffekt: Prec. wird inlands zunehmend leichter
- Frakt. bei Evap. stark von Luftfeuchte beeinflusst: feuchter → weniger
- Netto-Effekt erzeugt Meteoric Water Line

Bowen, G. J., Cai, Z., Fiorella, R. P., and Putman, A. L.: Isotopes in the Water Cycle: Regional- to Global-Scale Patterns and Applications, Annu Rev Earth Pl Sc, 47, 1–27, https://doi.org/10.1146/annurev-earth-053018-060220, 2019.
Hillaire-Marcel, C., Kim, S.-T., Landais, A., Ghosh, P., Assonov, S., Lécuyer, C., Blanchard, M., Meijer, H. A. J., and Steen-Larsen, H. C.: A stable isotope toolbox for water and inorganic carbon cycle studies, Nat Rev Earth Environ, 2, 699–719, https://doi.org/10.1038/s43017-021-00209-0, 2021.

Fraktionierung

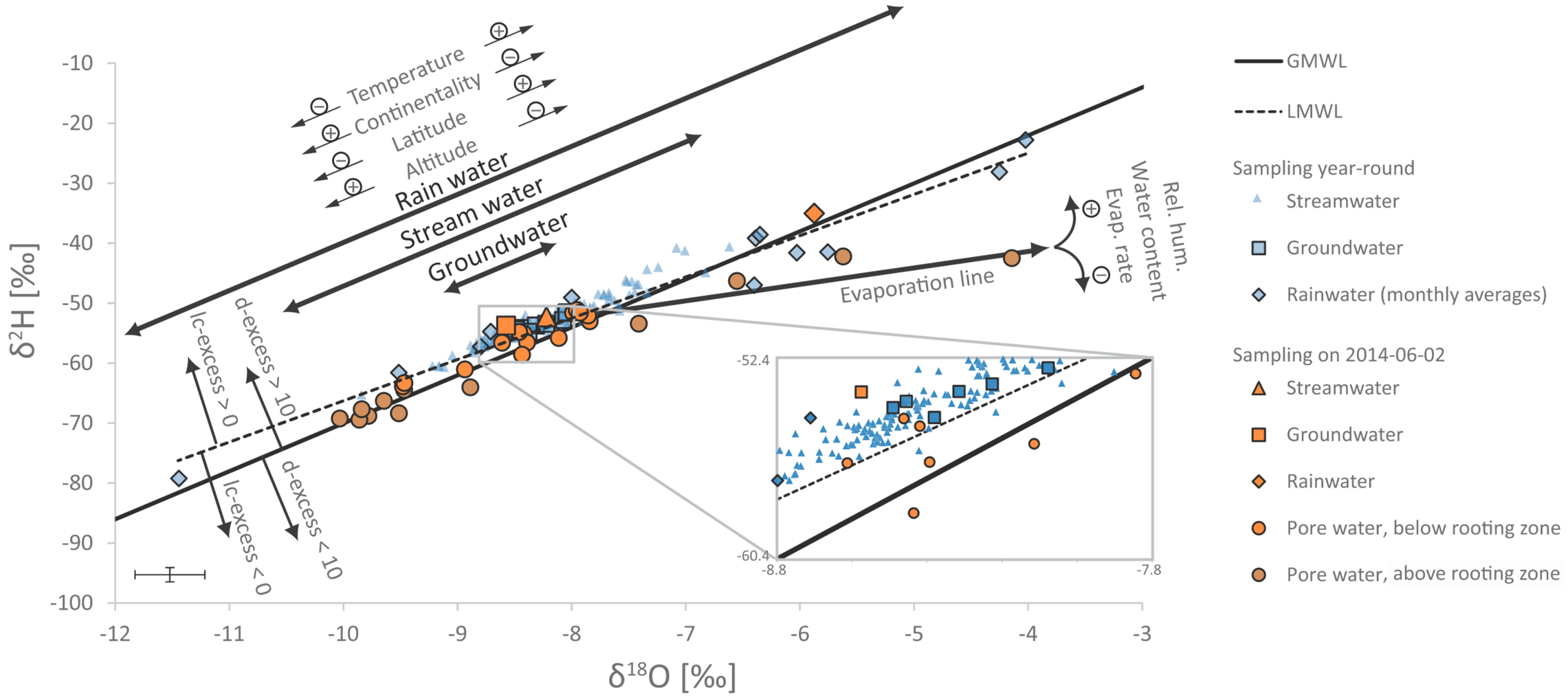
Wie sich die Isotopenkonzentrationen ändern



- Effekt des Breitengrads

- scheinbarer Temperatur-Effekt: Prec. schwerer mit T $\partial^{18}O$ + 0.5‰/K
- Mengeneffekt: Prec. wird während eines Events leichter
- Verdunstungseffekt: Prec. kann in trockener Luft verdunsten und dadurch schwerer werden
- Höheneffekt: auf Luv-Seite wird Niederschlag leichter mit Höhe
  $\partial^{18}O$ -0.15..-0.5‰/100m
  $\partial^{2}H$ -1.5..-4‰/100m

Orientierung im Dual-Isotope Plot

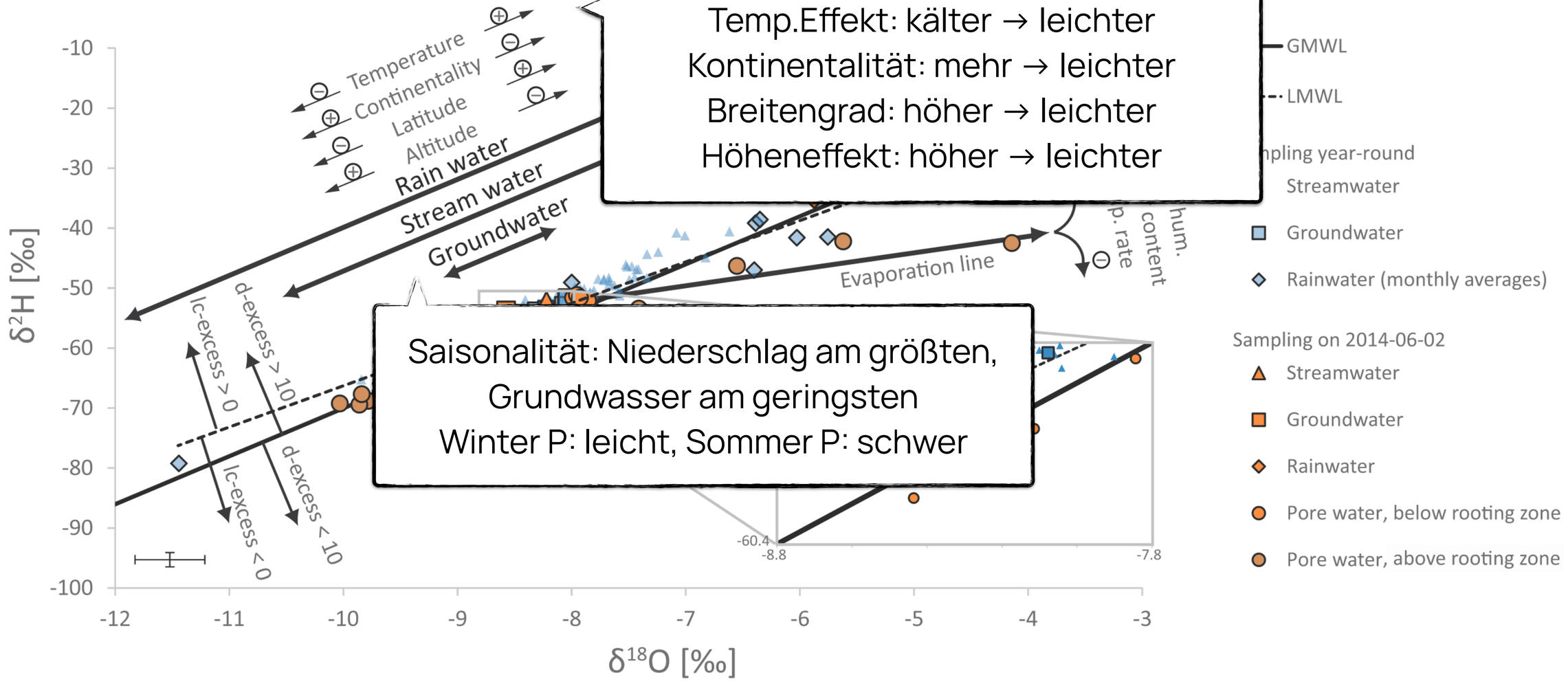


Sprenger, M., Leistert, H., Gimbel, K., and Weiler, M.: Illuminating hydrological processes at the soil-vegetation-atmosphere interface with water stable isotopes, 54, 674–704, https://doi.org/10.1002/2015rg000515, 2016.

Orientierung im Dual-Isotope Plot

Temp.Effekt: kälter → leichter
Kontinentalität: mehr → leichter
Breitengrad: höher → leichter
Höheneffekt: höher → leichter

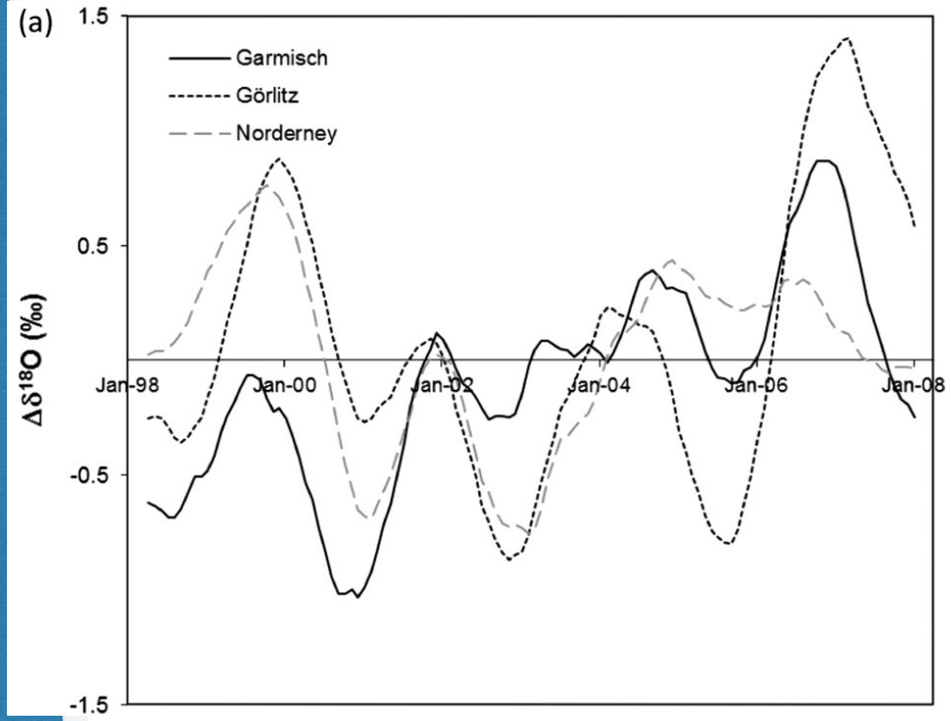
Saisonalität: Niederschlag am größten,
Grundwasser am geringsten
Winter P: leicht, Sommer P: schwer

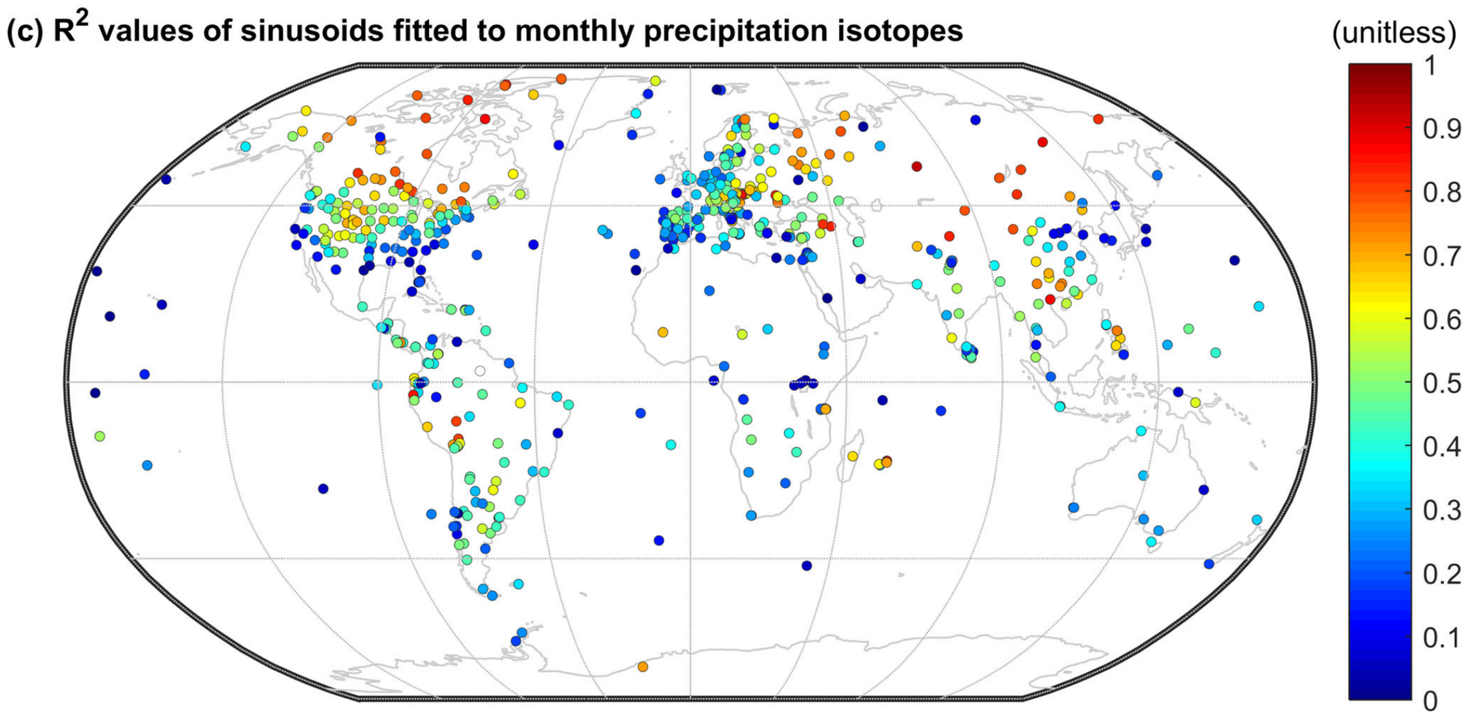


Sprenger, M., Leistert, H., Gimbel, K., and Weiler, M.: Illuminating hydrological processes at the soil-vegetation-atmosphere interface with water stable isotopes, 54, 674–704, https://doi.org/10.1002/2015rg000515, 2016.

Saisonalität im Niederschlag

Subtitle





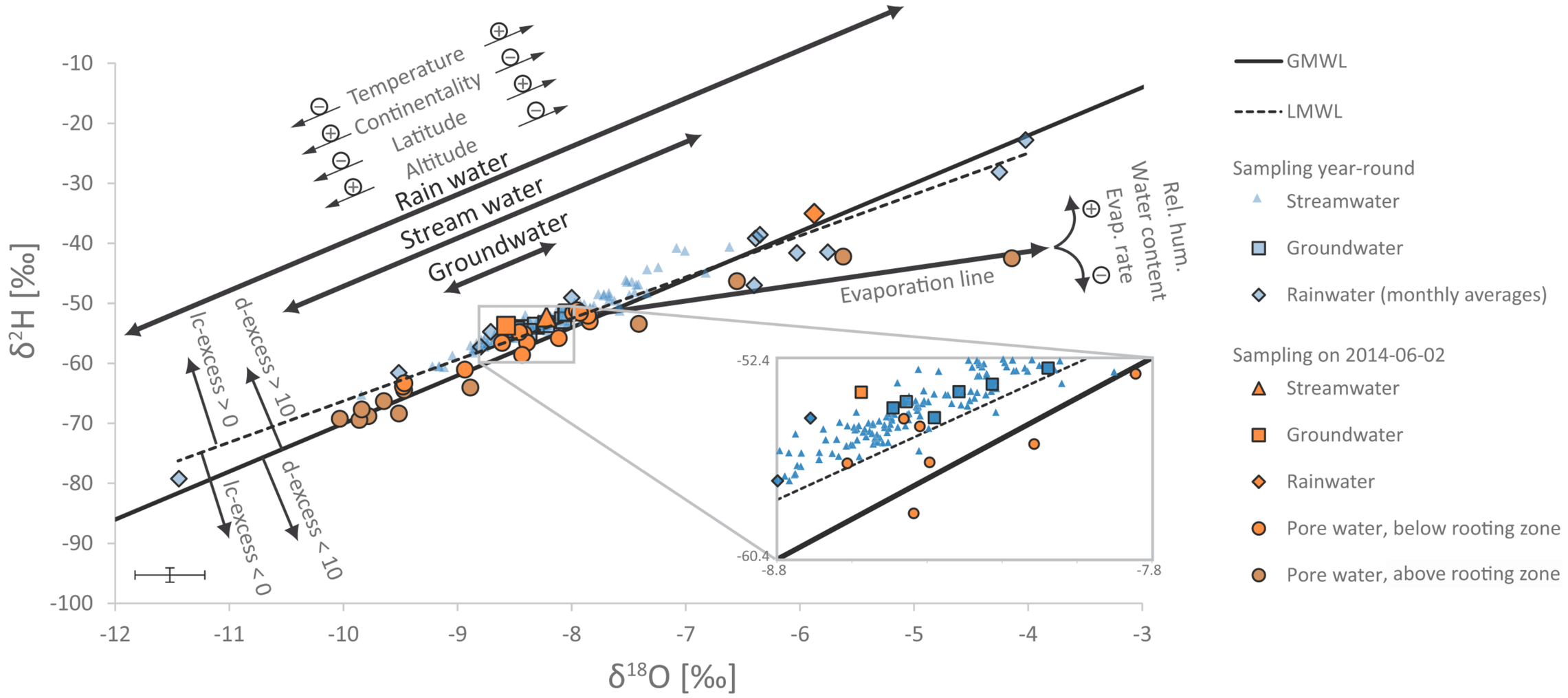
- es gibt mehr oder weniger ausgeprägte Jahresgänge
- lokal unterschiedlich

- auch global sieht man, dass nicht überall eine jährliche “Sinuskurve” abgebildet wird

Stumpp, C., Klaus, J., and Stichler, W.: Analysis of long-term stable isotopic composition in German precipitation, J Hydrol, 517, 351–361, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.034, 2014.
Allen, S. T., Jasechko, S., Berghuijs, W. R., Welker, J. M., Goldsmith, G. R., and Kirchner, J. W.: Global sinusoidal seasonality in precipitation isotopes, Hydrol Earth Syst Sc, 23, 3423–3436, https://doi.org/10.5194/hess-23-3423-2019, 2019.

TU BERGAKADEMIE · FREIBERG ·

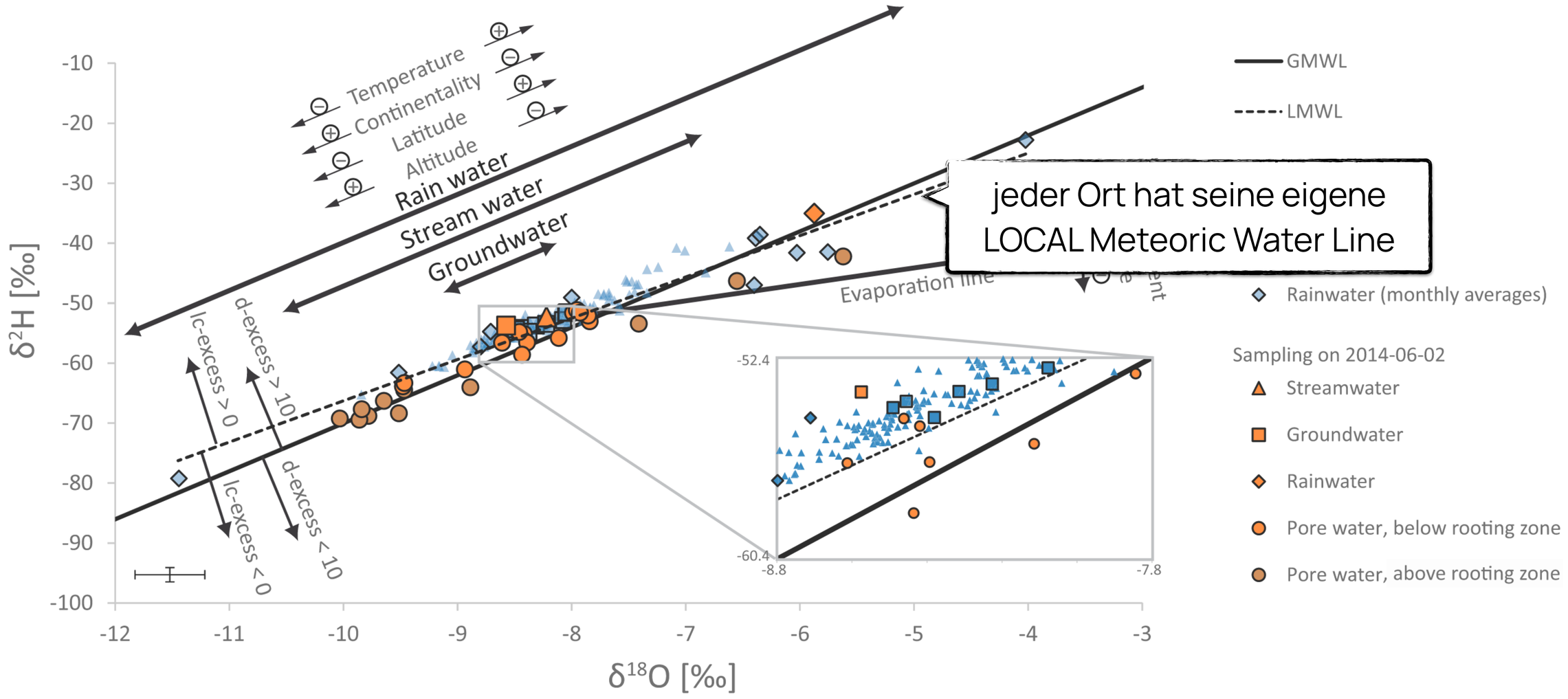
Orientierung im Dual-Isotope Plot



- mind. 2-3 Jahre Daten
- Daten von verschiedenen Stationen nicht interpolieren

Sprenger, M., Leistert, H., Gimbel, K., and Weiler, M.: Illuminating hydrological processes at the soil-vegetation-atmosphere interface with water stable isotopes, 54, 674–704, https://doi.org/10.1002/2015rg000515, 2016.

Orientierung im Dual-Isotope Plot

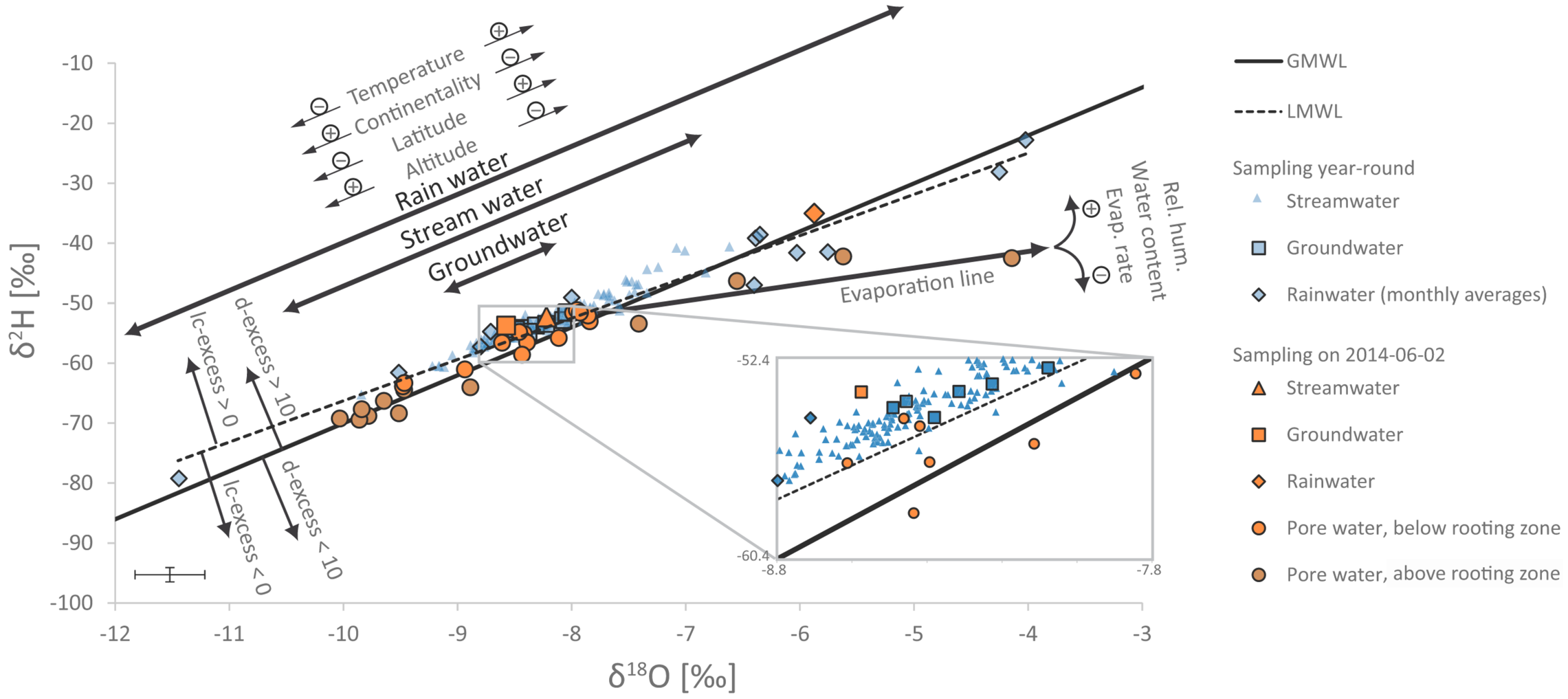


jeder Ort hat seine eigene LOCAL Meteoric Water Line

- mind. 2-3 Jahre Daten
- Daten von verschiedenen Stationen nicht interpolieren

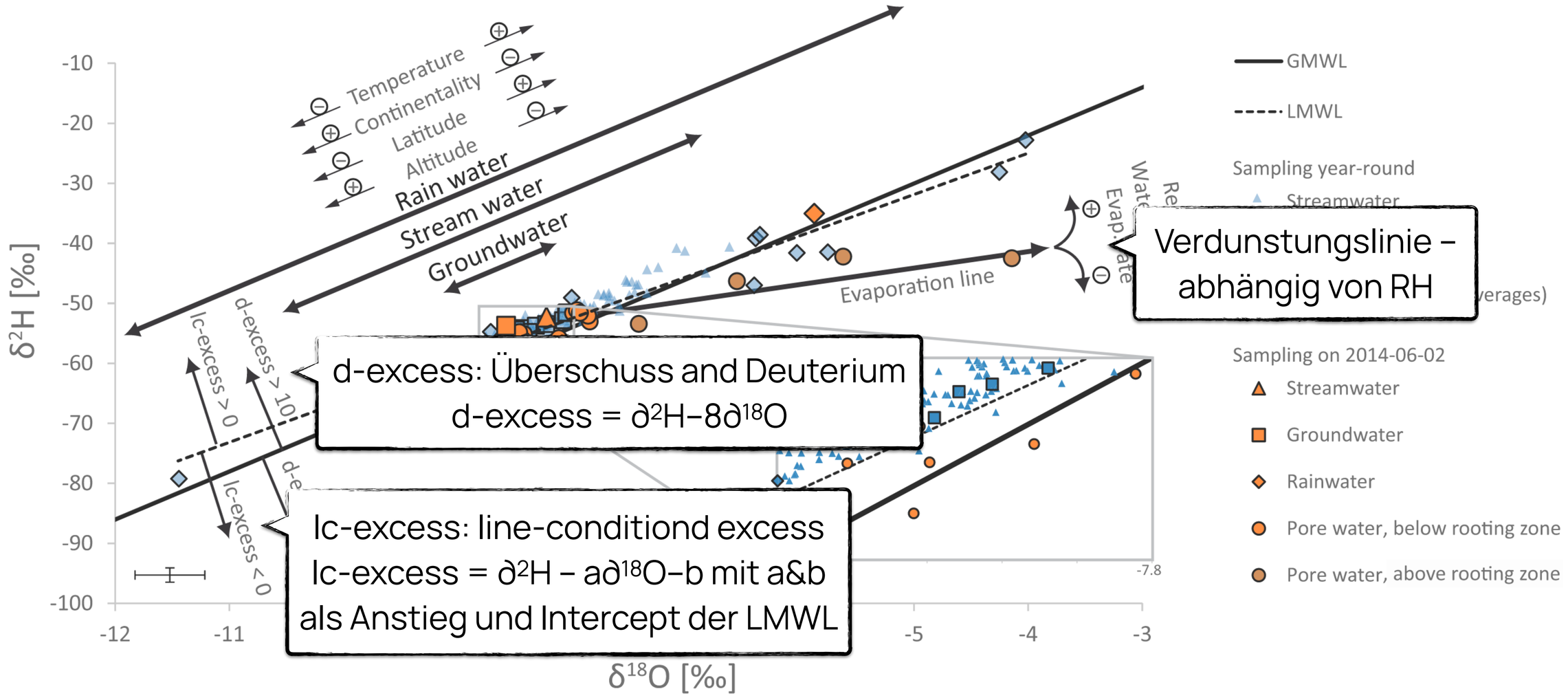
Sprenger, M., Leistert, H., Gimbel, K., and Weiler, M.: Illuminating hydrological processes at the soil-vegetation-atmosphere interface with water stable isotopes, 54, 674–704, https://doi.org/10.1002/2015rg000515, 2016.

Orientierung im Dual-Isotope Plot



Sprenger, M., Leistert, H., Gimbel, K., and Weiler, M.: Illuminating hydrological processes at the soil-vegetation-atmosphere interface with water stable isotopes, 54, 674–704, https://doi.org/10.1002/2015rg000515, 2016.

Orientierung im Dual-Isotope Plot



Verdunstungslinie – abhängig von RH

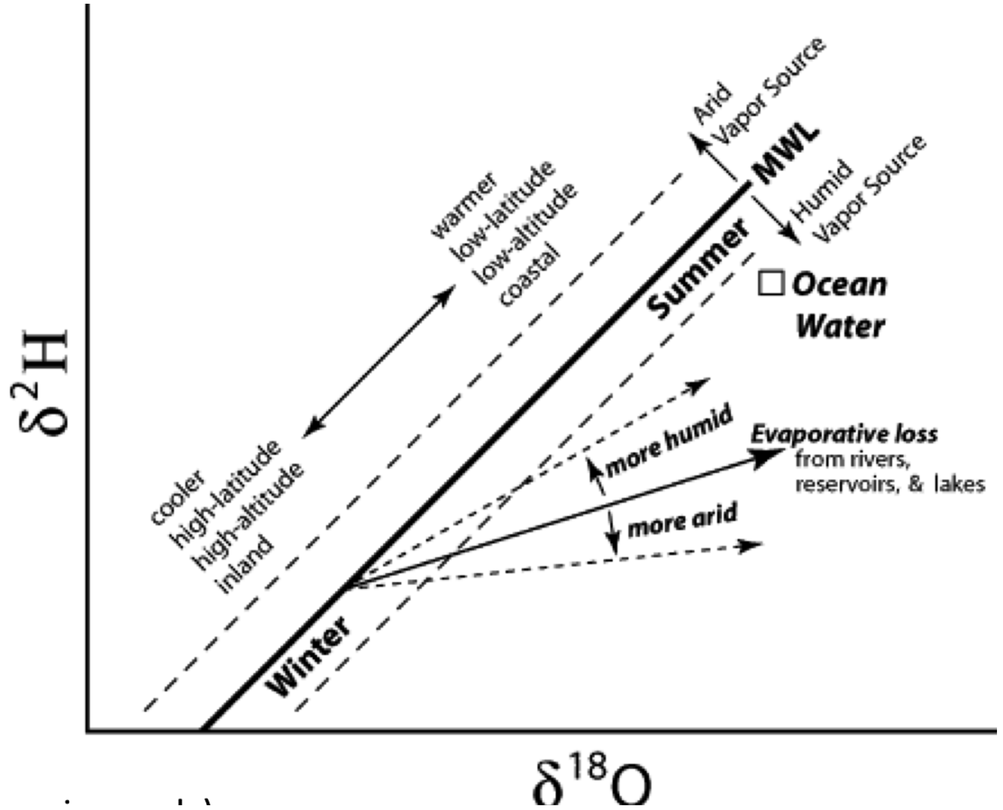
d-excess: Überschuss and Deuterium
d-excess = $\partial^2H - 8\partial^{18}O$

lc-excess: line-conditiond excess
lc-excess = $\partial^2H - a\partial^{18}O - b$ mit a&b
als Anstieg und Intercept der LMWL

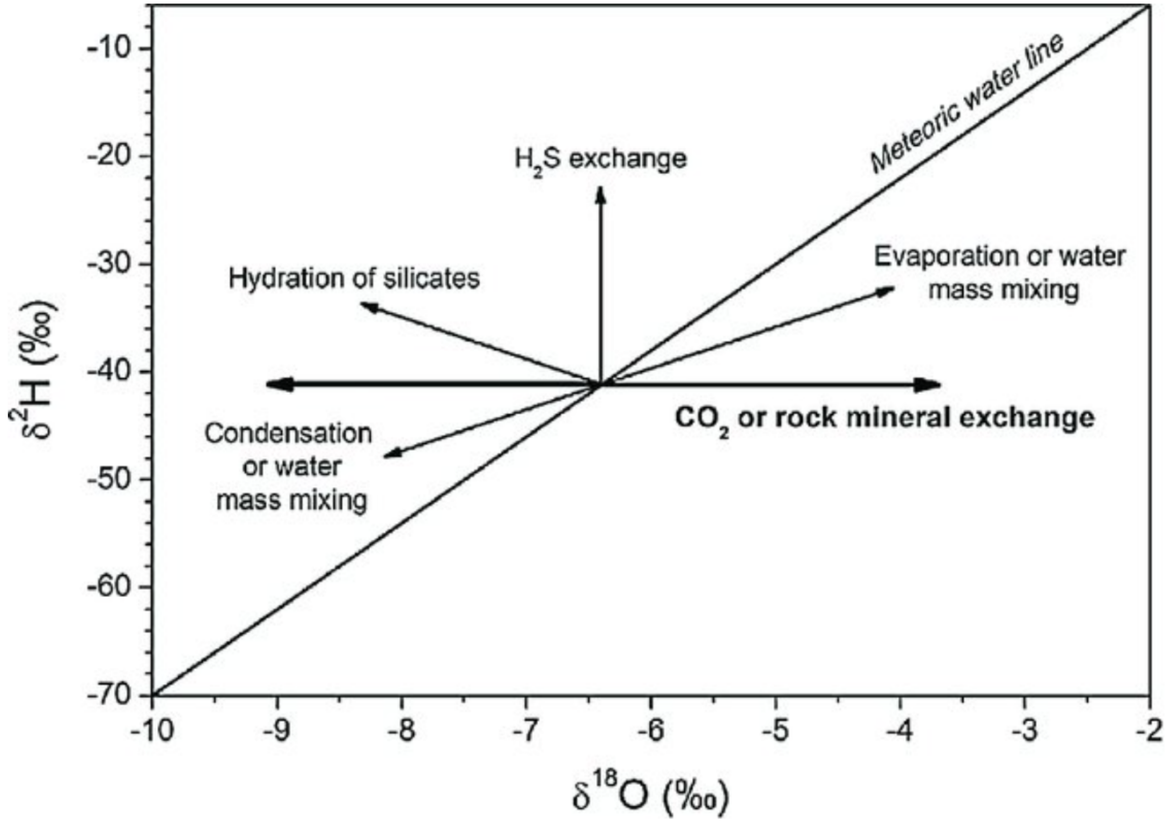
Sprenger, M., Leistert, H., Gimbel, K., and Weiler, M.: Illuminating hydrological processes at the soil-vegetation-atmosphere interface with water stable isotopes, 54, 674–704, https://doi.org/10.1002/2015rg000515, 2016.

Orientierung im Dual-Isotope Plot

im Wasserkreislauf

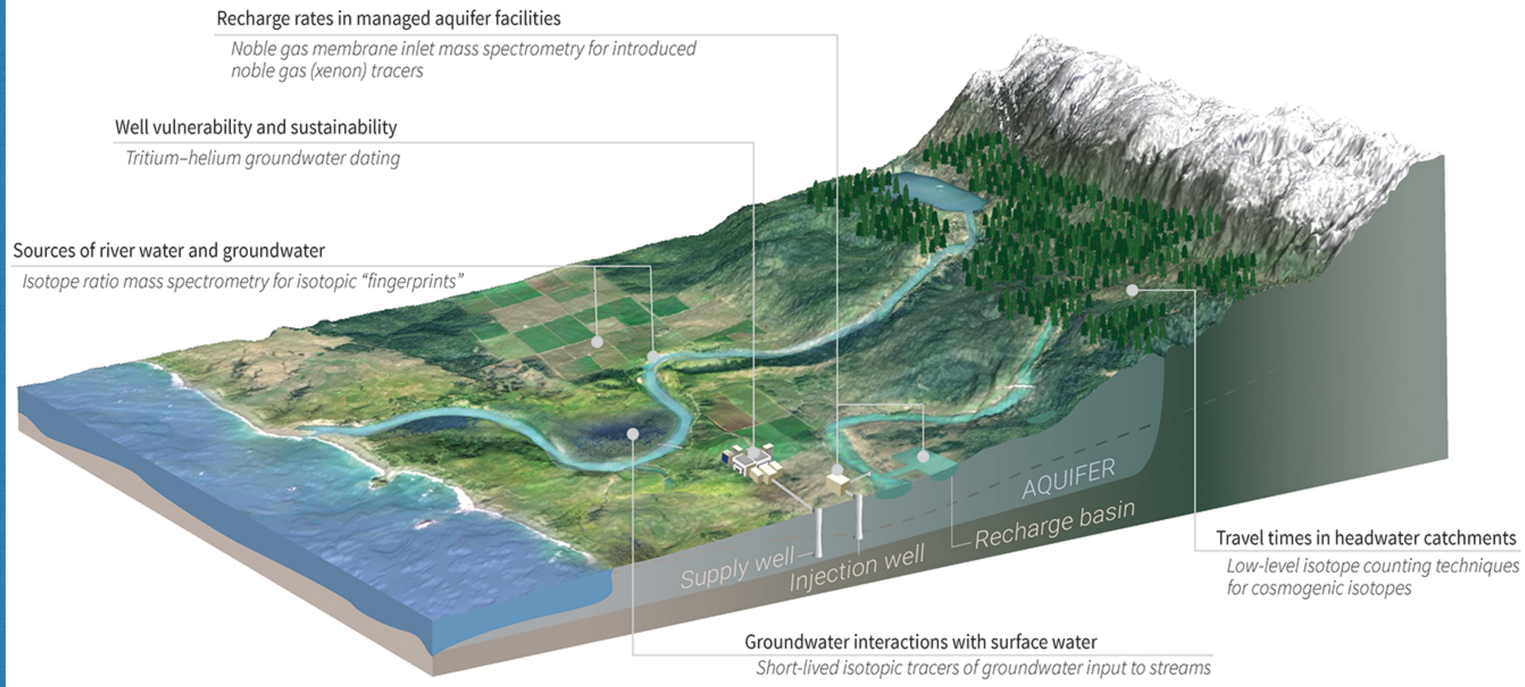


mit chemischer Interaktion



Anwendungsbeispiele

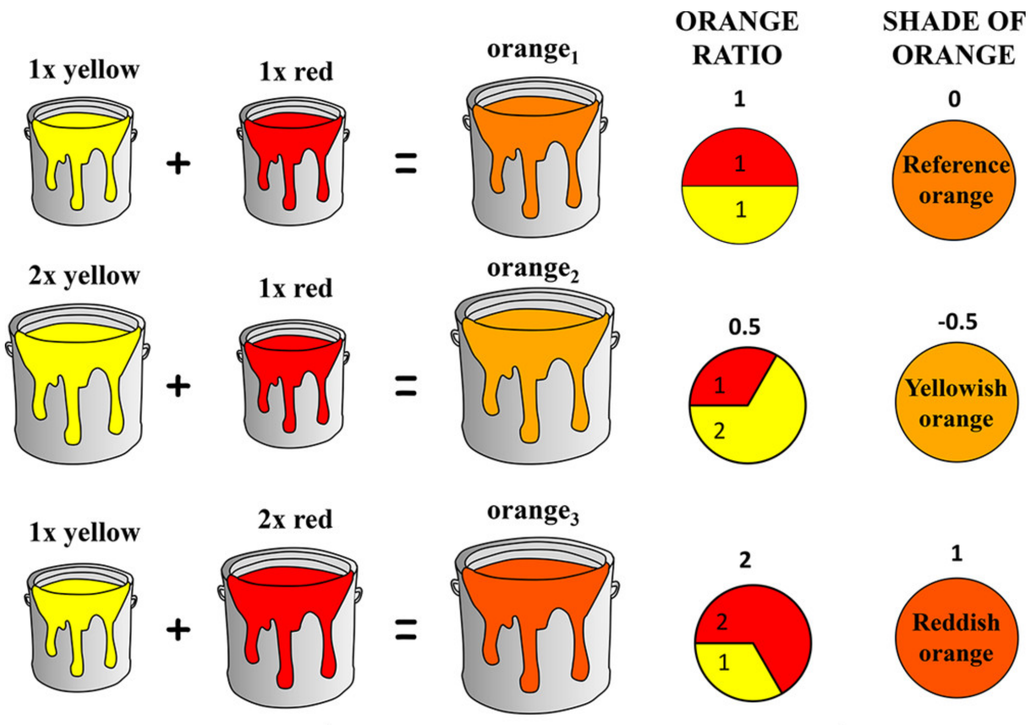
Was können wir mit Wasserisotopen lernen?



- Verweilzeiten und Transportpfade identifizieren
- Alter von (Grund)wasser bestimmen
- Interaktionen von Wasser unterschiedlichen Ursprungs bzw. in unterschiedlichen Teilsystemen ermitteln
- ...

Anwendungsbeispiele

End-Member/Source – Mixing

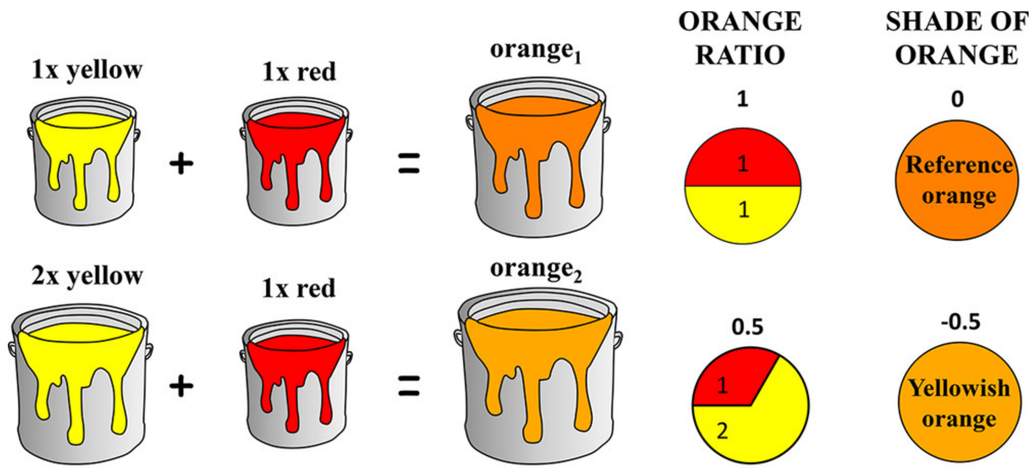


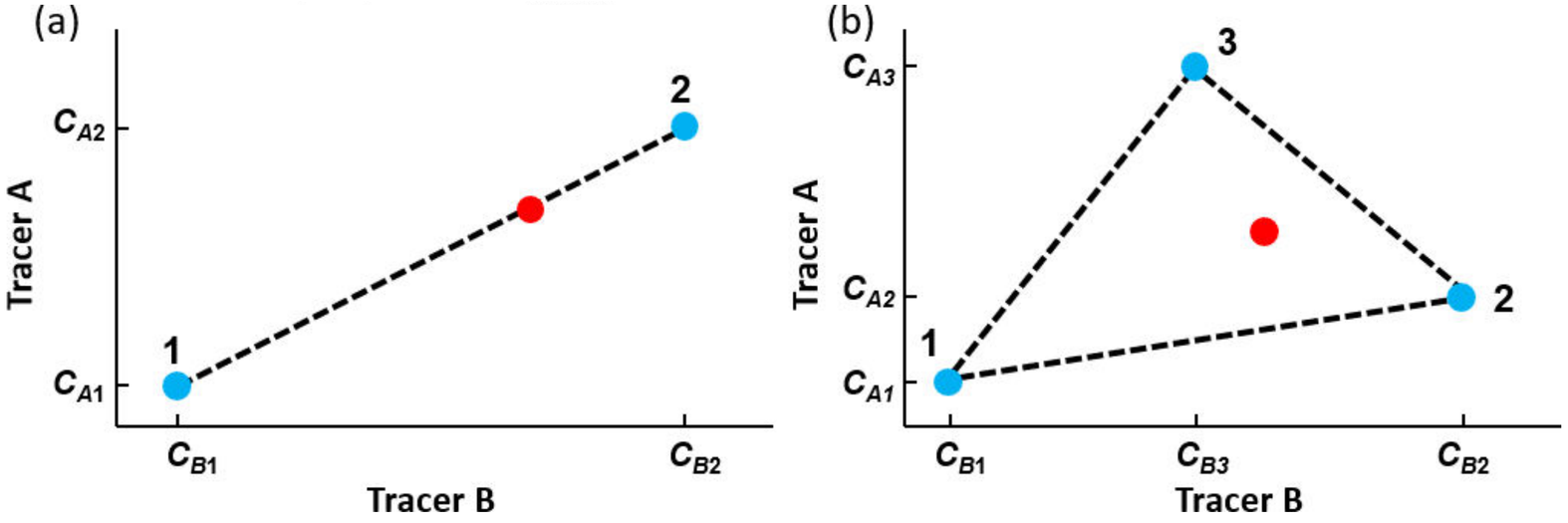
$$orange\ ratio = \frac{red}{yellow} \qquad Shade\ of\ orange = \frac{orange_x\ ratio}{orange_{reference}\ ratio} - 1$$

- Welches Wasser ist beteiligt?
- Mischungs-verhältnisse ergeben die beobachtete Konzentration

Anwendungsbeispiele

End-Member/Source – Mixing

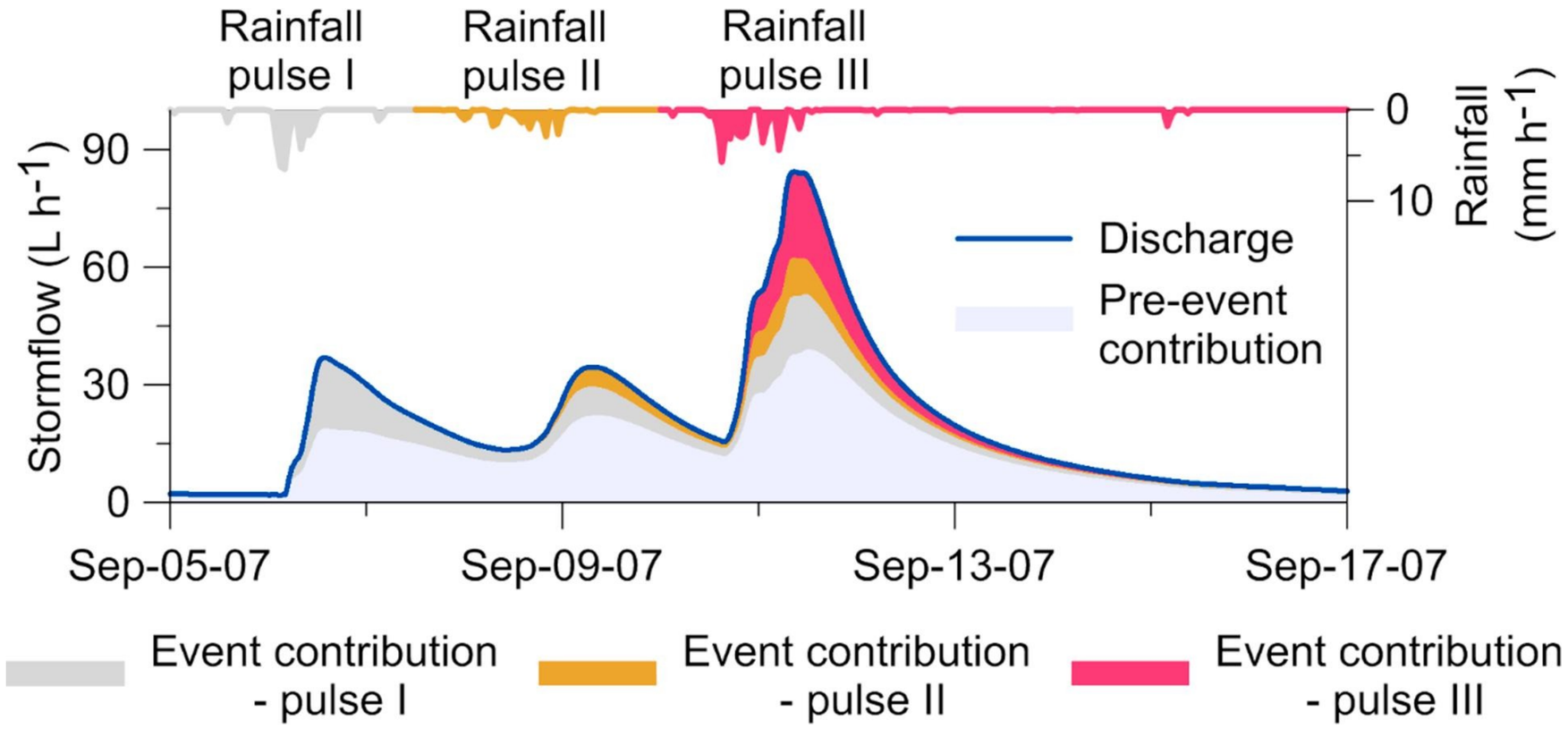




- Welches Wasser ist beteiligt?
- Mischungs-verhältnisse ergeben die beobachtete Konzentration

Anwendungsbeispiele

Ganglinienseparation

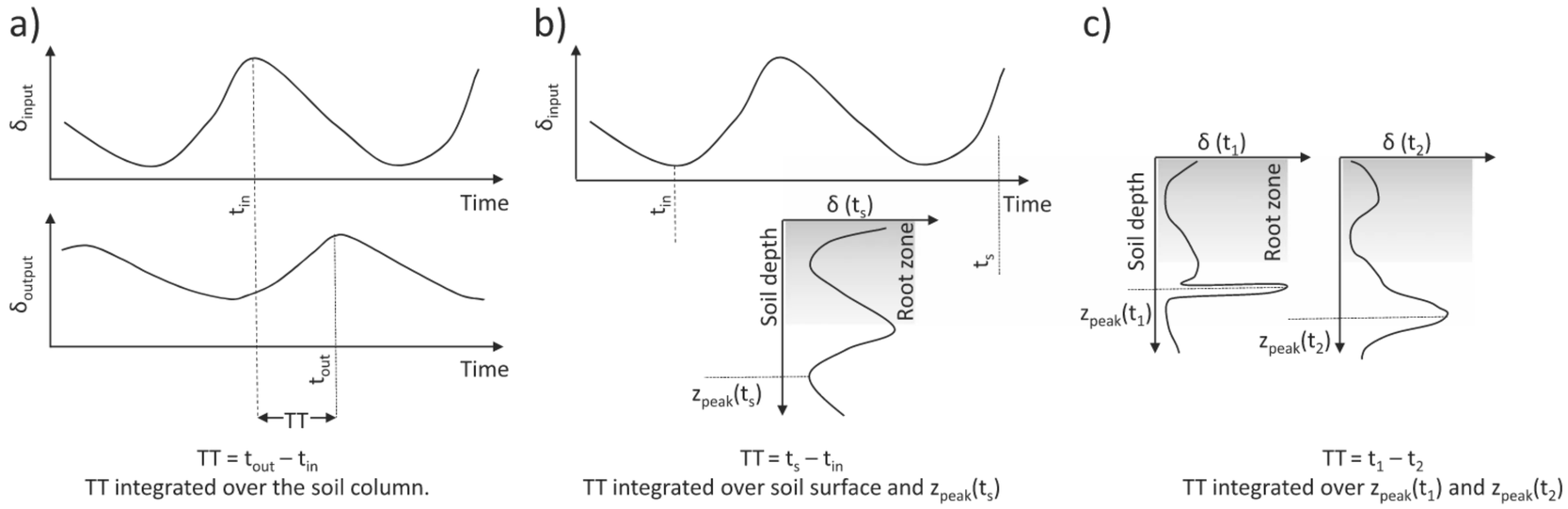


- Prec jeweils bekannt
- welche Mischungs-verhältnisse ergeben den beobachteten Konzentrations-verlauf?

Dusek, J. and Vogel, T.: Hillslope hydrograph separation: The effects of variable isotopic signatures and hydrodynamic mixing in macroporous soil, J Hydrol, 563, 446–459, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.05.054, 2018.

Anwendungsbeispiele

Peak-Shift Method für Verweilzeiten

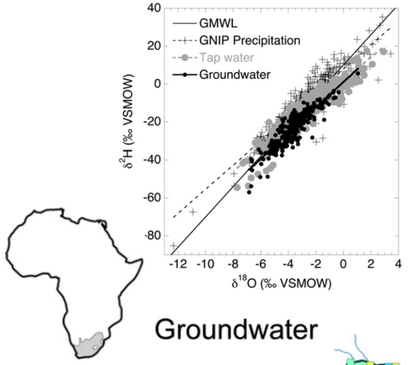


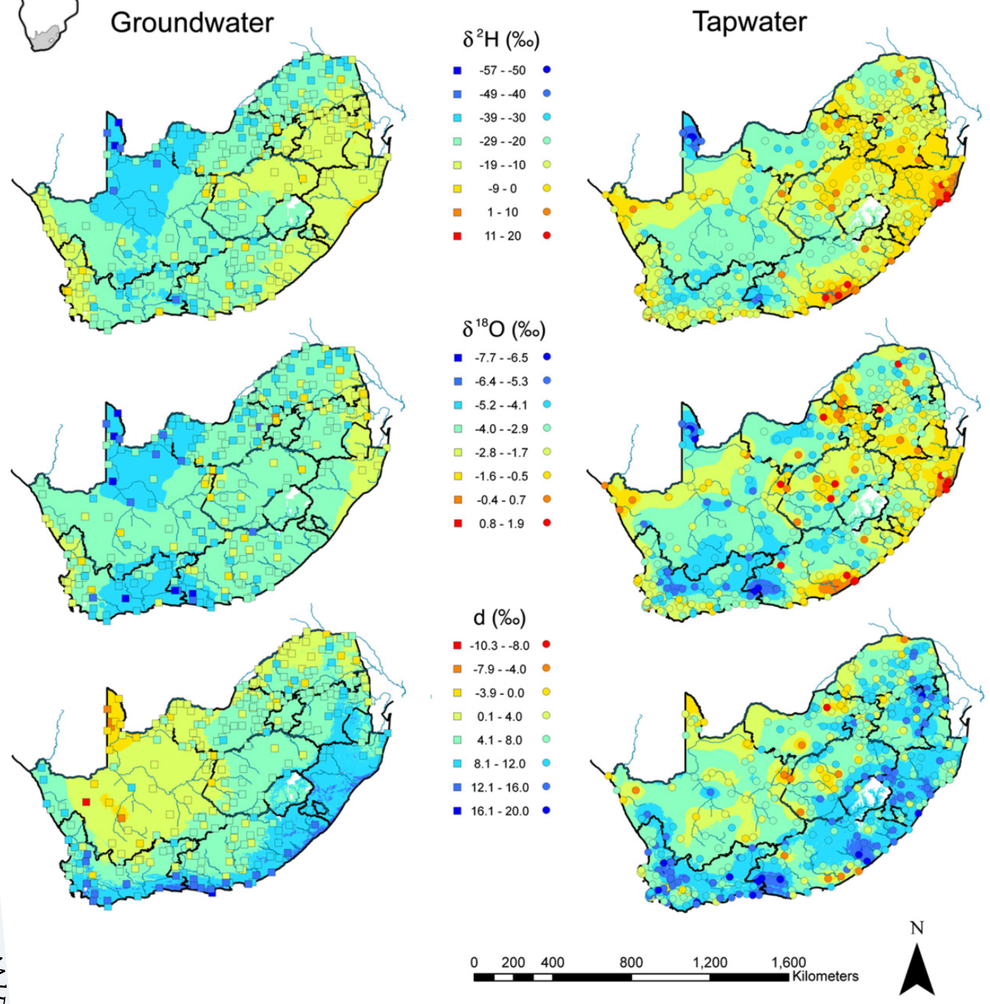
- wie groß ist der Zeitversatz zwischen Input-Peak und Peak-Durchgang im System?

Sprenger, M., Leistert, H., Gimbel, K., and Weiler, M.: Illuminating hydrological processes at the soil-vegetation-atmosphere interface with water stable isotopes, 54, 674–704, https://doi.org/10.1002/2015rg000515, 2016.

Anwendungsbeispiele

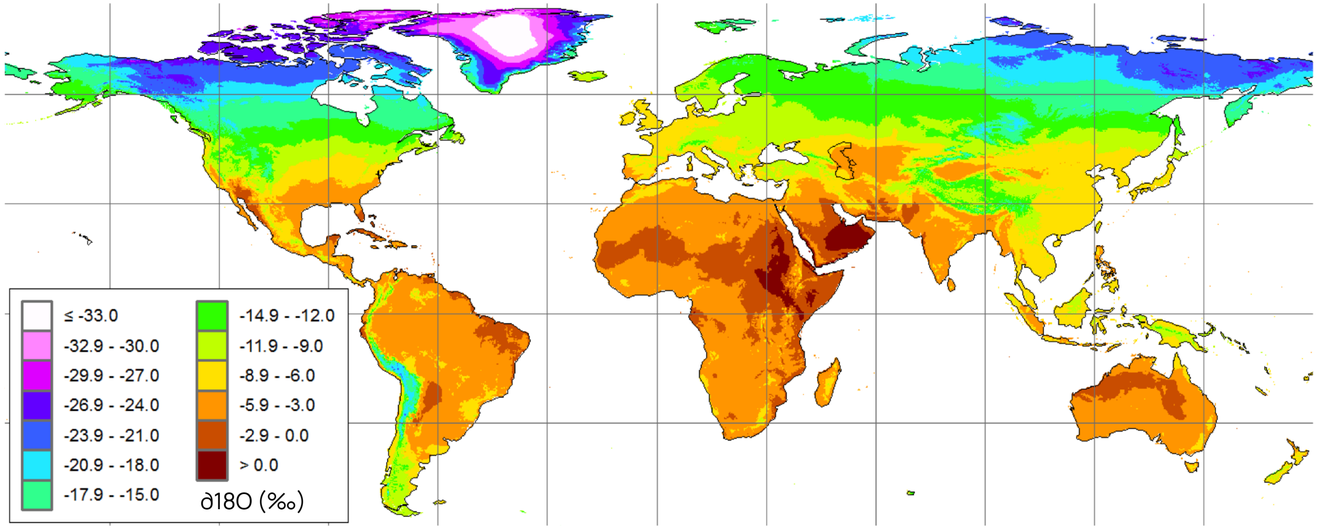
“Isoscapes”





Räumliche Verteilung von Isotopenkonzentrationen

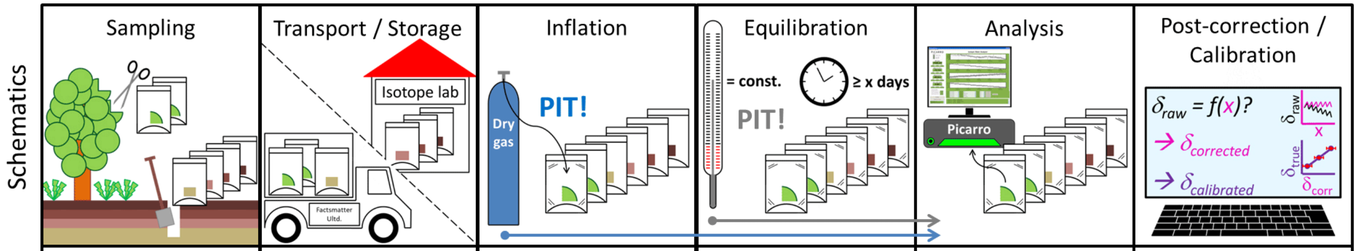
- “Fingerabdruck” für i) Prozesse und ii) Ursprung



West, A. G., February, E. C., and Bowen, G. J.: Spatial analysis of hydrogen and oxygen stable isotopes (“isoscapes”) in ground water and tap water across South Africa, J Geochem Explor, 145, 213–222, https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.06.009, 2014.
Terzer, S., Wassenaar, L. I., Araguás-Araguás, L. J., and Aggarwal, P. K.: Global isoscapes for δ18O and δ2H in precipitation: improved prediction using regionalized climatic regression models, Hydrol Earth Syst Sc, 17, 4713–4728, https://doi.org/10.5194/hess-17-4713-2013, 2013.

Anforderung an das Sampling

Eigentlich einfach, weil stabil…



Critical aspects	Sampling	Transport / Storage	Inflation	Equilibration	Analysis	Post-correction / Calibration
	•*Bag material* •*Bag size* •*Sample size* •Work speed	•*Max. duration* •Temperature	•*Bag closure* •*Volume* •Standards •Inflation atmosphere	•*Min./max. duration* •Temperature stability	•Temperature •Septum •Work discipline •Time window of data integration	•Concentration effects •Gas matrix changes •VOCs

- Fraktionierung vermeiden!
- Flaschen müssen unbedingt dicht und zuvor trocken sein
- Umso weniger Headspace desto besser
- auch mögliche Fraktionierung vor dem Abfüllen beachten

TU BERGAKADEMIE · FREIBERG ·