

Wasser als zentraler Standortsfaktor im Wald

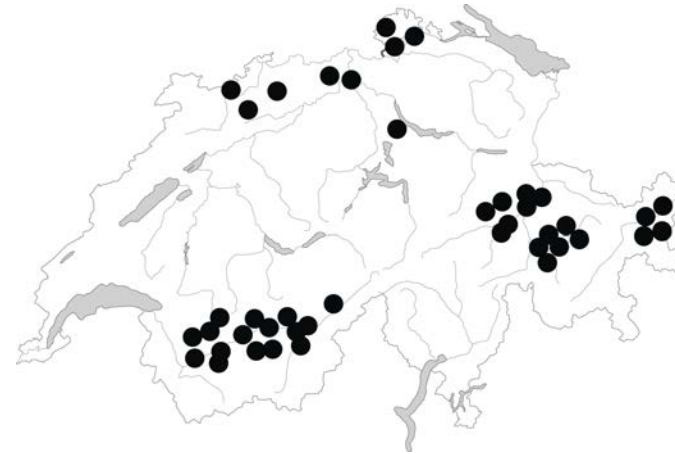
Runder Waldtisch, 17. März 2026, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Lorenz Walther



Datengrundlage und Inhalt

Datengrundlage

- Bodenwassermessnetz mit 44 Waldstandorten
- seit 2014

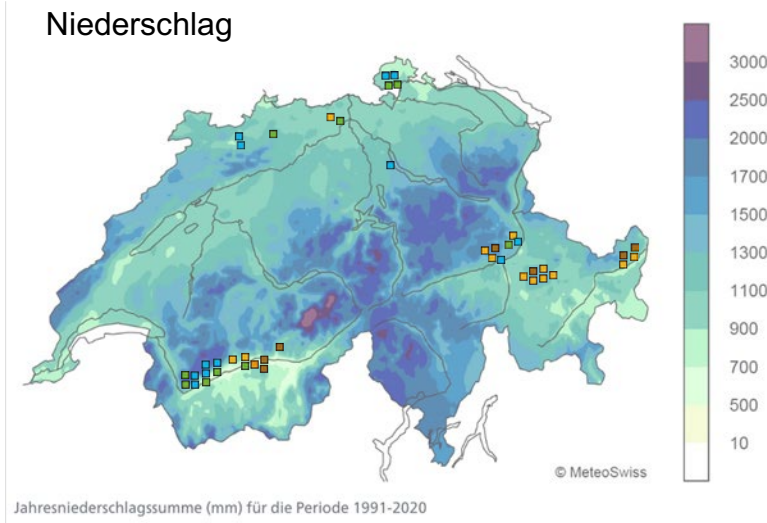


Teil 1 Einführung ins Thema

Teil 2 Wasserhaushalt von Waldböden (Wasserspeicherung und Austrocknung)

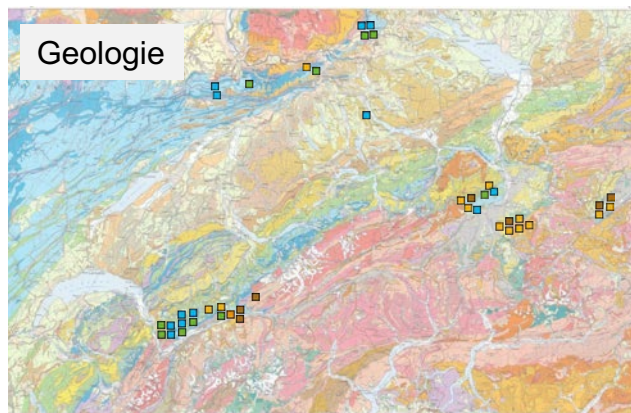
Teil 3 Reaktion der Bäume auf Trockenheit

Monitoring des Bodenwassers an 44 Waldstandorten seit 2014



Messnetz

- 44 Flächen (GR, VS, SO, SH, AG, ZH)
- Buche (13 Flächen), Eiche (10), Fichte (7), Waldföhre (14)
- stündlich seit 2014
 - Lufttemperatur und -feuchtigkeit
 - Bodenwasserpotential
 - Veränderungen des Stammradius (25 Flächen, **TreeNet**)
- grosse Vielfalt der Standortsbedingungen



Ziele des Monitorings

- Dynamik der Bodenwasserverfügbarkeit im Wald
- Trockenheits-Empfindlichkeit der Baumarten
- Kalibrierungsdaten für Wasserhaushaltsmodelle

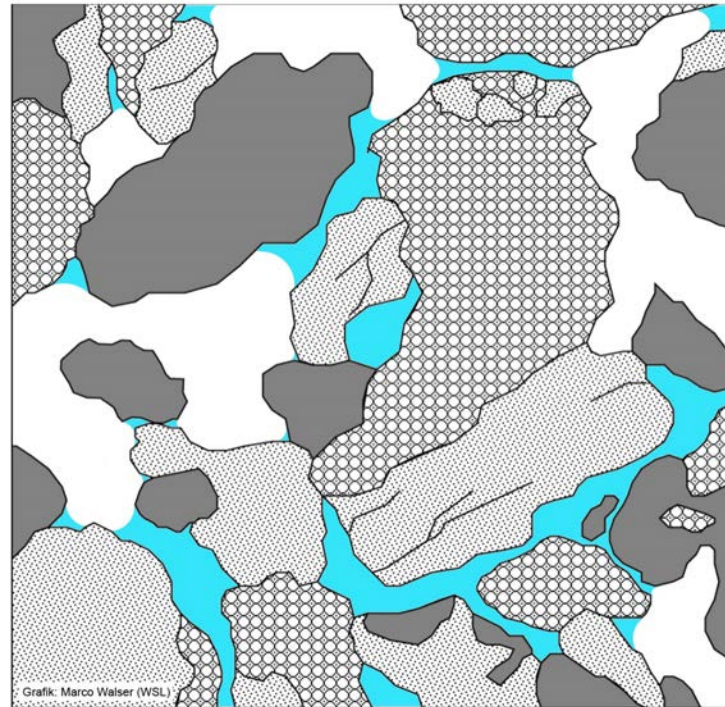
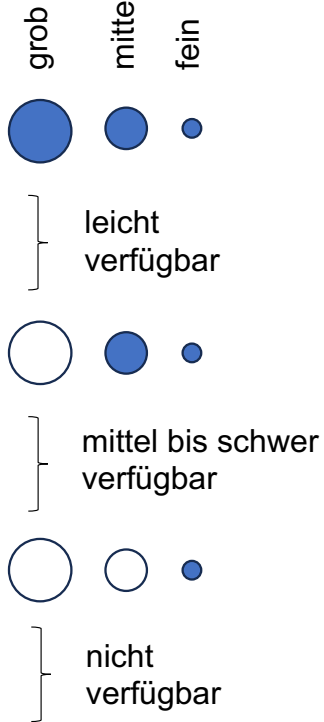
Das Bodenwasserpotential: Mass für die Wasserverfügbarkeit



Porengrösse



extrem trocken mässig trocken nass



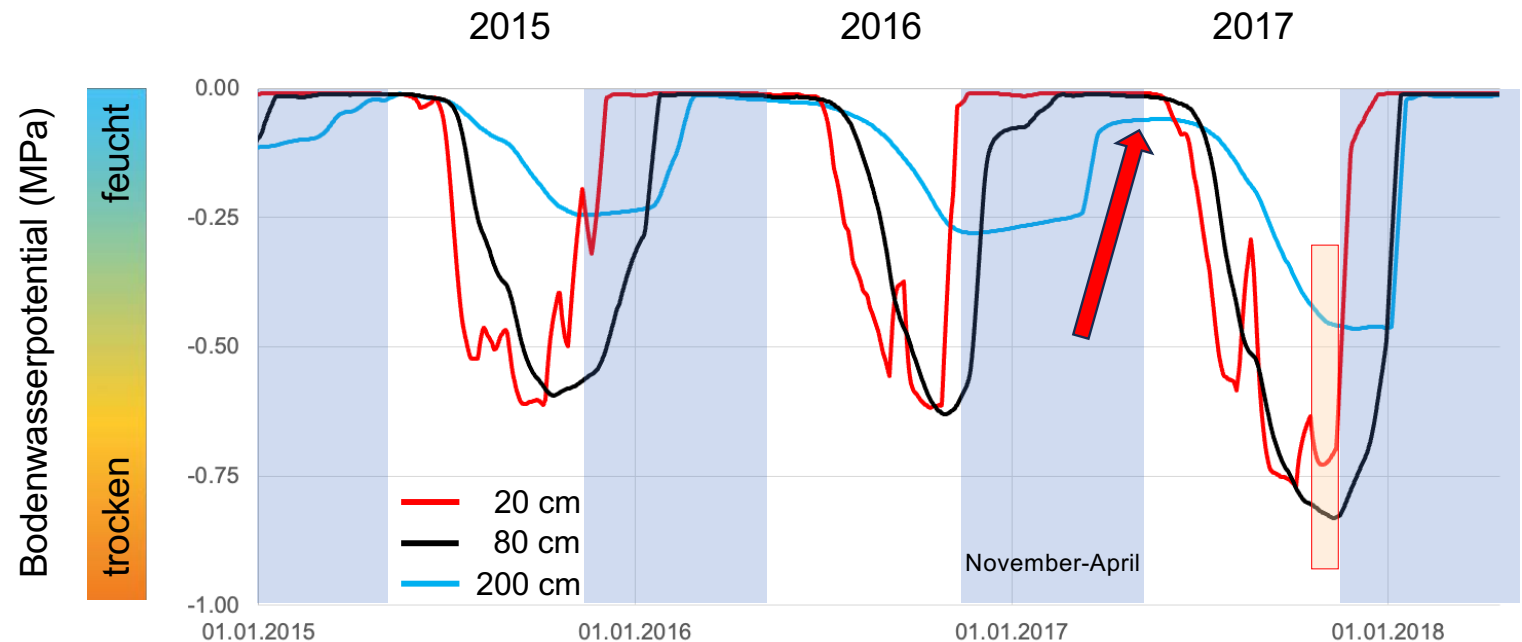
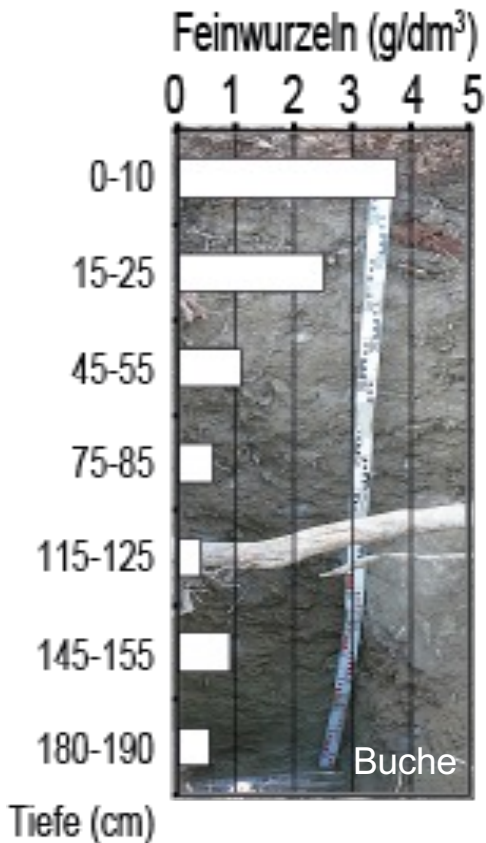
Bodenausschnitt:

- Humuspartikel,
- Mineralerdekörner,
- leere und wassergefüllte Poren

Messung des Wasserpotentials im Boden

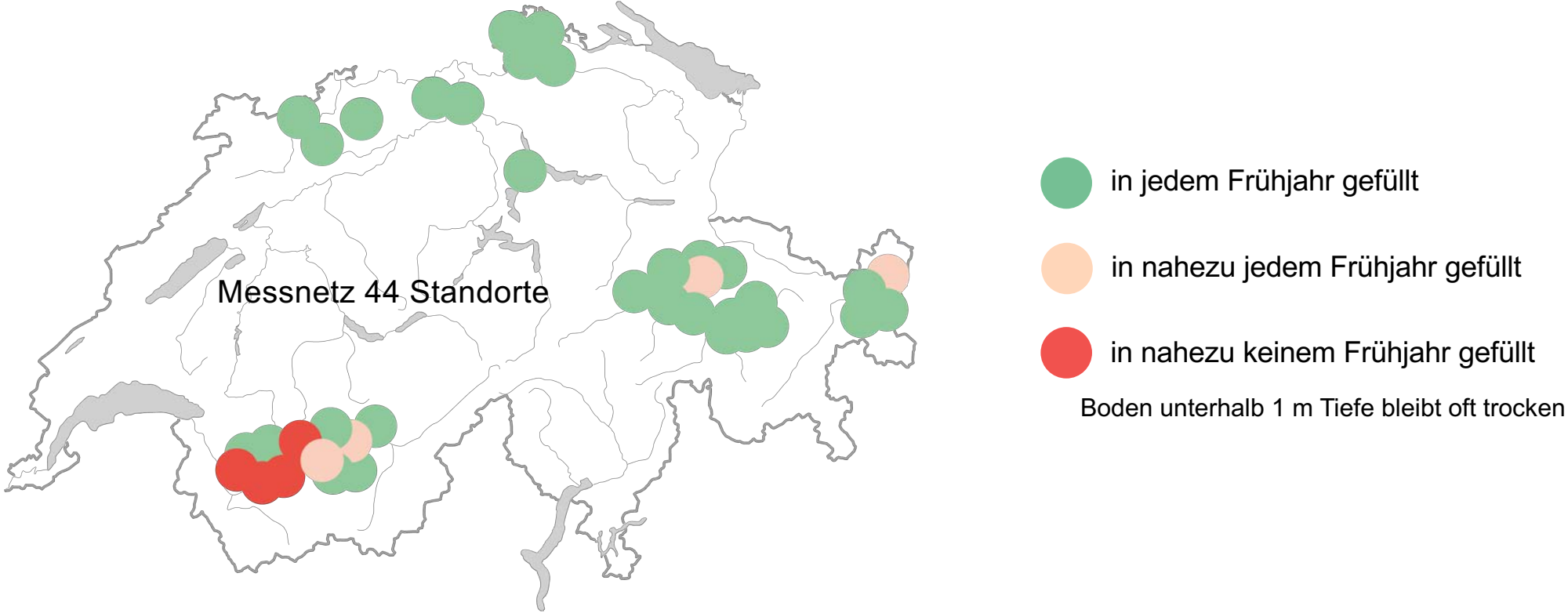


Saisonale Austrocknung und Wiederbefeuchtung des Waldbodens



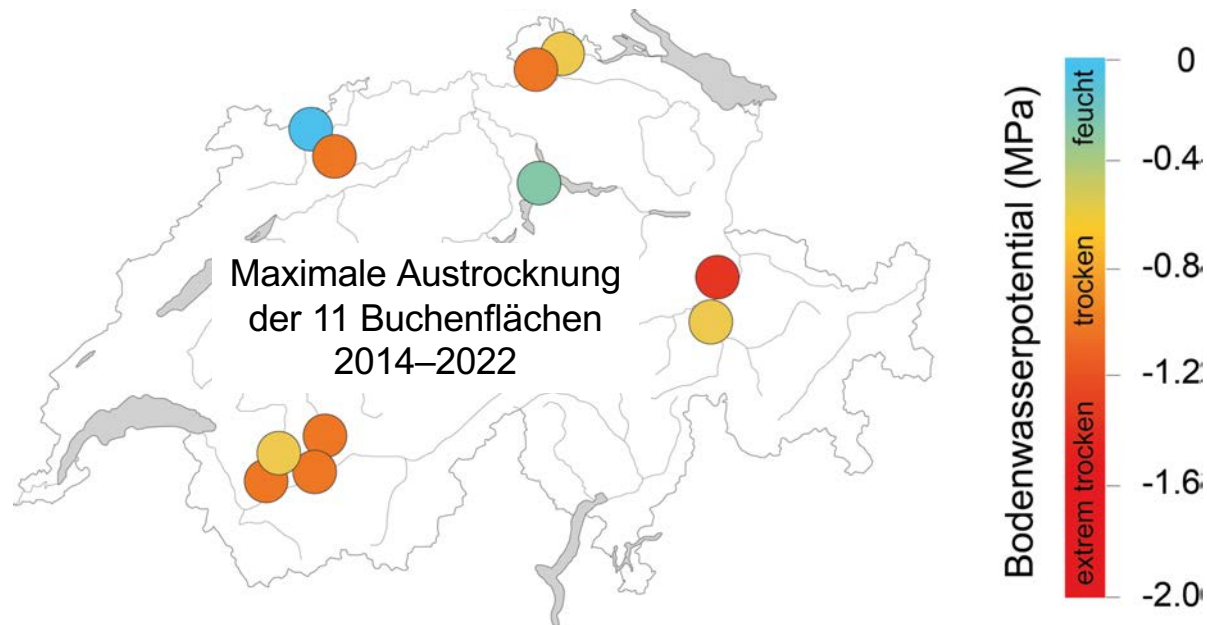
- Bodenaustrocknung va durch Transpiration (Wasseraufnahme der Wurzeln)
- Je mehr Feinwurzeln, desto schneller die Austrocknung
- Tief greifende Bodenaustrocknung infolge tiefer Durchwurzelung
- Wiederbefeuchtung des Unterbodens oft erst im Winter (oder gar nicht)

Füllstand des Bodenwasserspeichers im Frühjahr (2014–2022)



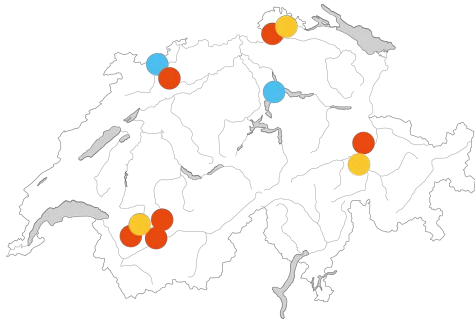
Ausmass der Bodenaustrocknung im Sommer

- Waldböden können in der gesamten Schweiz stark austrocknen
- Einige Waldstandorte sind sehr resistent gegenüber Austrocknung (selbst im 2018 und 2022 !)
- Bodentrockenheit kann stark variieren in benachbarten Waldgebieten
- Nicht nur das Klima, sondern Relief, Boden und Baumart bestimmen das Ausmass der Bodenaustrocknung

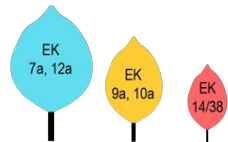


Minimales Wasserpotential (Q 0.05) in 20-80 cm Bodentiefe von Juni-September 2014-2022

Je trockener der Boden, desto kleiner sind die Buchen

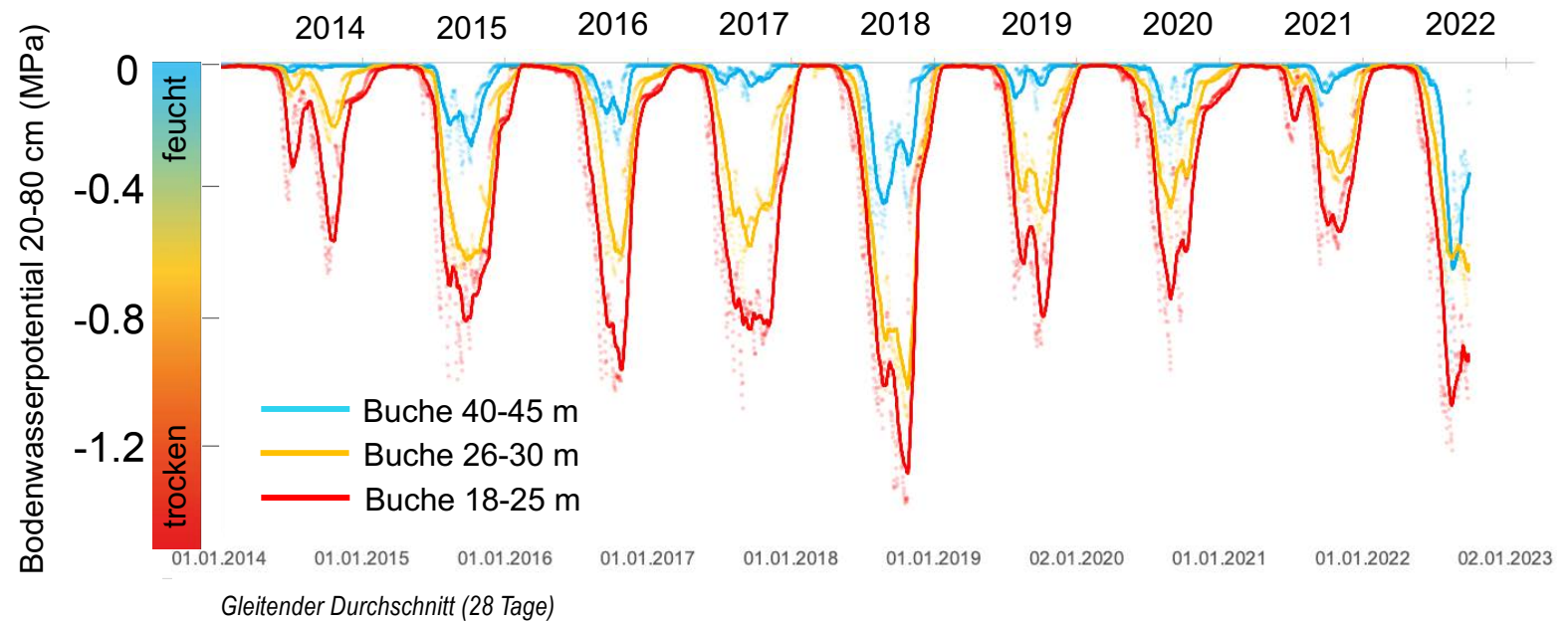


- 11 Buchen- und Buchenmischwälder
- Baumalter > 80 Jahre
 - ähnliche Temperatur / Höhenlage

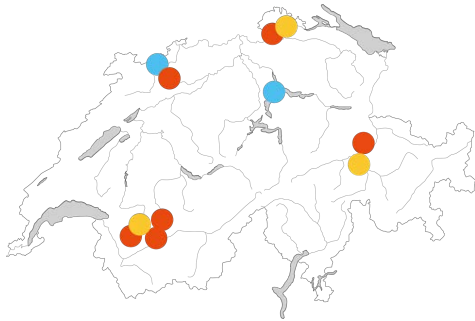


Baumart	Buche	Buche	Bu-Ei
Bestandeshöhe (m)	40-45	26-30	18-25
BHD-Zuwachs (mm/J)	5.0	4.0	3.5

EK: Waldgesellschaft nach Ellenberg & Klötzli (1972)



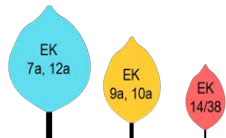
Je trockener die Luft, desto kleiner sind die Buchen



- Es scheint einen engen Zusammenhang zu geben zwischen der Wasserverfügbarkeit in der Atmosphäre und im Boden und der Produktivität der Buche
- Diese Messungen geben aber keinen Einblick in den Wasserhaushalt der Bäume (was passiert im Baum?)

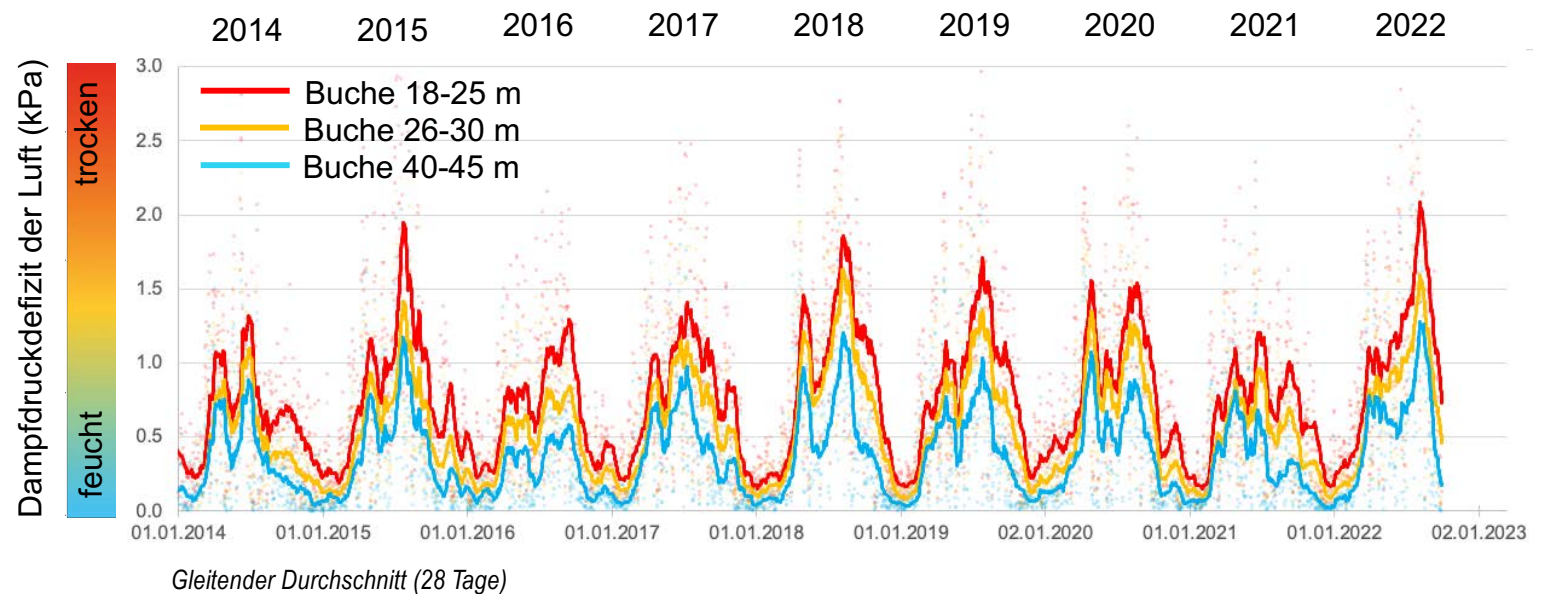
11 Buchen- und Buchenmischwälder

- Baumalter > 80 Jahre
- ähnliche Temperatur / Höhenlage

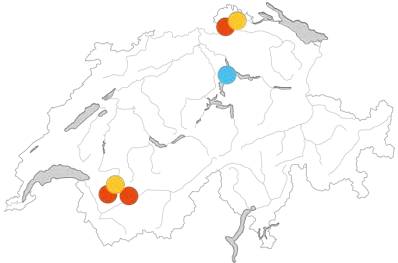


Baumart	Buche	Buche	Bu-Ei
Bestandeshöhe (m)	40-45	26-30	18-25
BHD-Zuwachs (mm/J)	5.0	4.0	3.5

EK: Waldgesellschaft nach Ellenberg & Klötzli (1972)



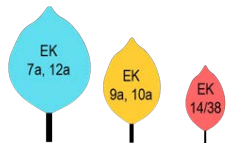
Kleinwüchsige Buchen haben oft starken Wassermangel



- Dendrometer können den Wasserhaushalt des Baumes grob erfassen
- Je grösser die Stammschrumpfung, desto grösser ist Baumwasserdefizit (Wassermangel)
- Wassermangel reduziert das Wachstum
 - zu niedriger Zelldruck (Turgor) im Kambium → kein oder vermindertes Zellwachstum
 - Spaltöffnungen schliessen → reduzierte Aufnahme von CO₂ → weniger Assimilate

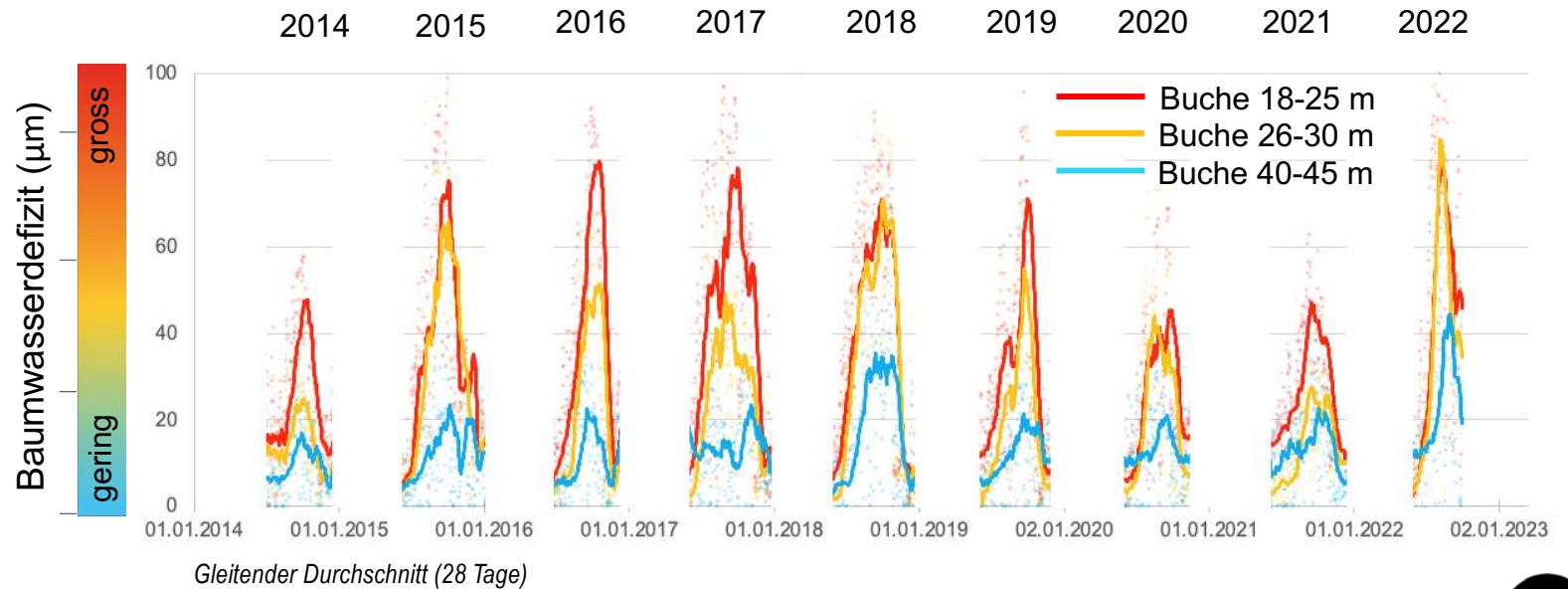
6 Buchen- und Buchenmischwälder

- Baumalter > 80 Jahre
- ähnliche Temperatur / Höhenlage

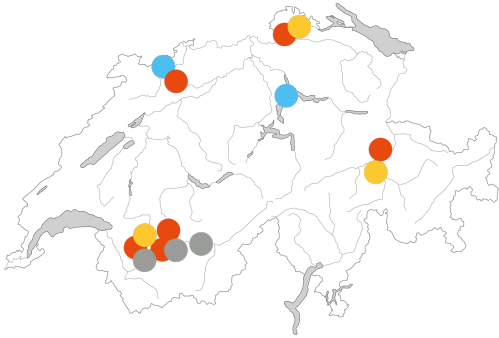


Baumart	Buche	Buche	Bu-Ei
Bestandeshöhe (m)	40-45	26-30	18-25
BHD-Zuwachs (mm/J)	5.0	4.0	3.5

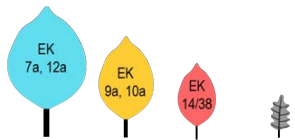
EK: Waldgesellschaft nach Ellenberg & Klötzli (1972)



Keine Buchen auf sehr trockenen Böden

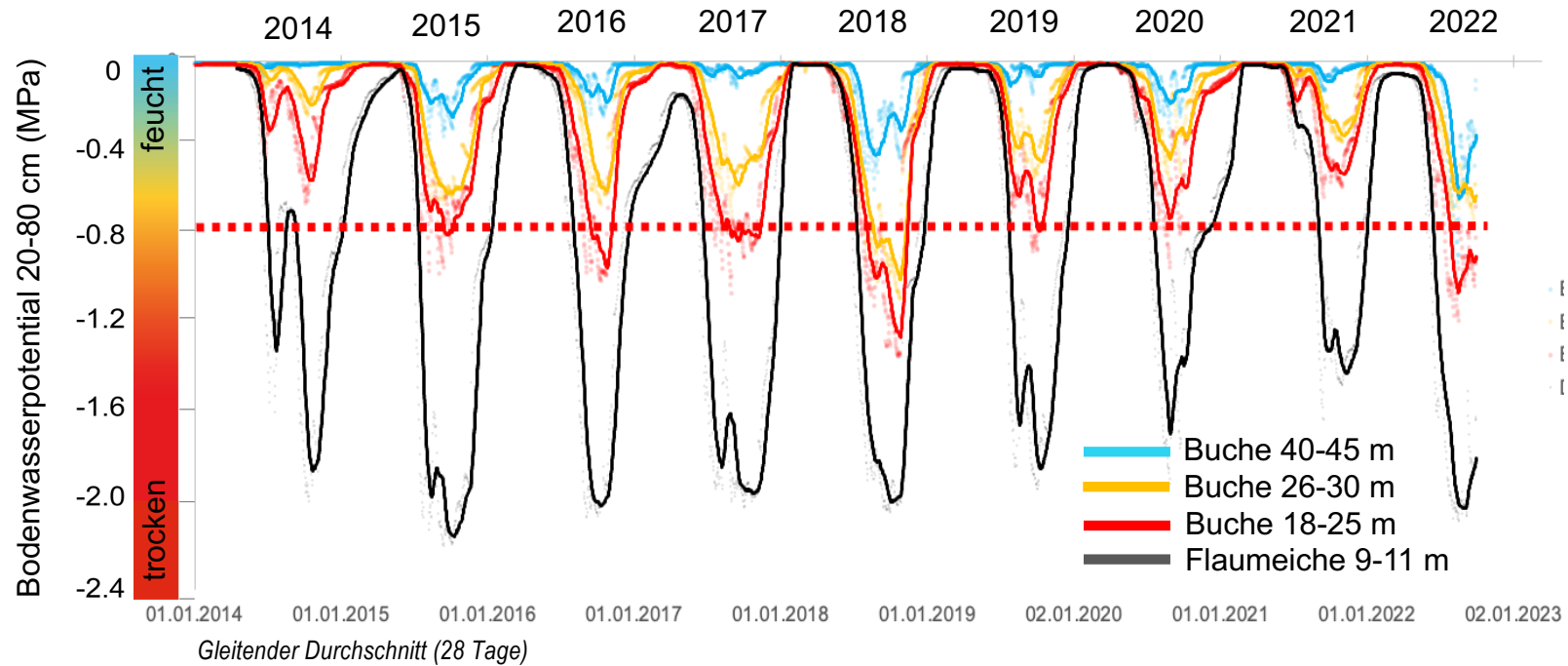


- 11 Buchenmischwälder
- 3 Flaumeichenwälder
- Baumalter > 80 Jahre
- ähnliche Höhenlage



Baumart	Buche	Buche	Bu-Ei	Flaumeiche
Bestandeshöhe (m)	40-45	26-30	18-25	9-11
BHD-Zuwachs (mm/J)	5.0	4.0	3.5	2.5

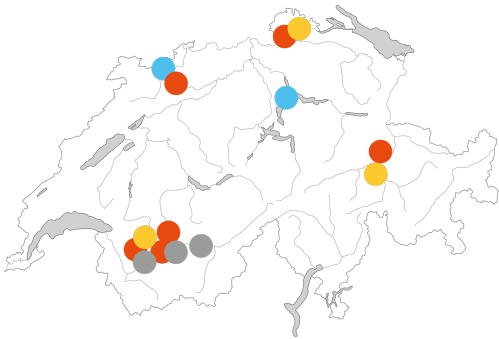
EK: Waldgesellschaft nach Ellenberg & Klötzli (1972)



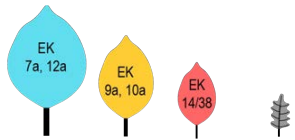
..... Kritische Trockenheit für die Buche (-0.8 MPa)

Warum fehlt die Buche auf sehr trockenen Böden?

Physiologischer Stress → suboptimales Wachstum → Absterben der Buche?

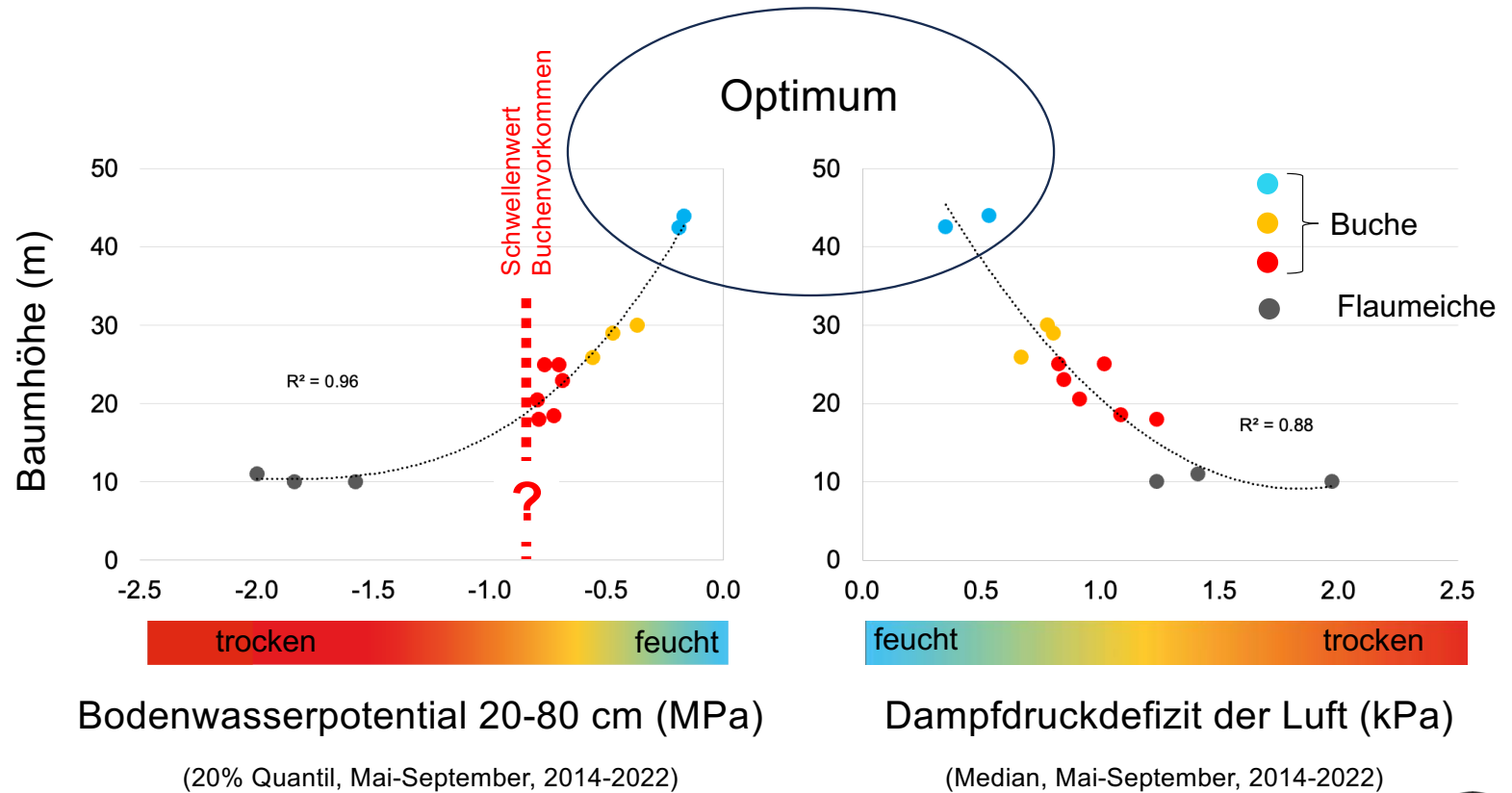


- 11 Buchenmischwälder
- 3 Flaumeichenwälder
- Baumalter > 80 Jahre
- ähnliche Höhenlage



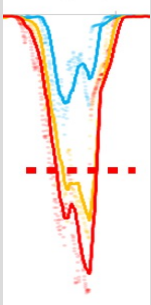
Baumart	Buche	Buche	Bu-Ei	Flaumeiche
Bestandeshöhe (m)	40-45	26-30	18-25	9-11
BHD-Zuwachs (mm/J)	5.0	4.0	3.5	2.5

EK: Waldgesellschaft nach Ellenberg & Klötzli (1972)

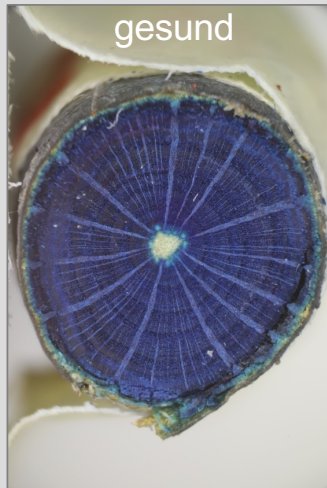


Indikatoren von grossem Trockenstress bei der Buche (Jahr 2018)

2018



Kritischer Schwellenwert
Bodenwasserpotential -0.8 MPa
mehrere Wochen unterschritten



gesund



geschädigt

Kavitierte Leitgefässe (Embolien)

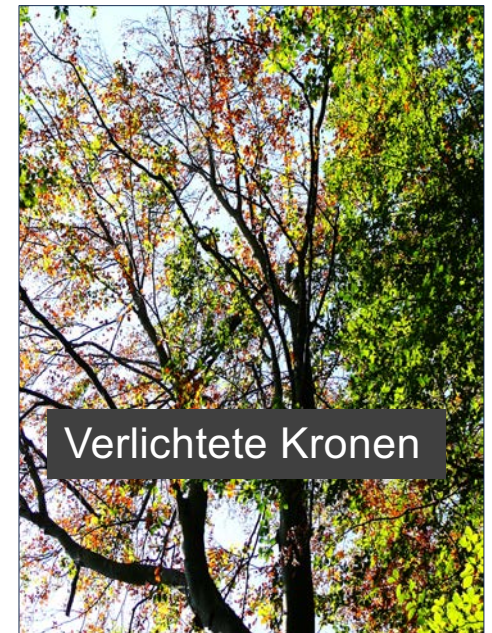
August 2018: bis 80% der Gefässe sind entleert



Laubfall im Sommer



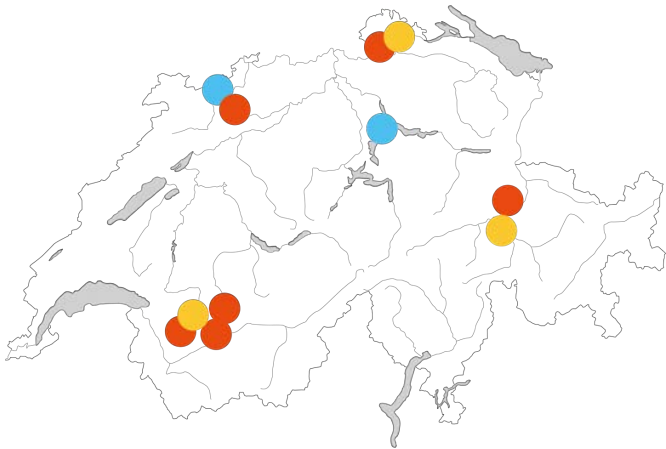
Abstossen von
grünen Ästen



Verlichtete Kronen

Buchen sterben vor allem auf schlecht wüchsigen Standorten ab

Schäden an jungen und ausgewachsenen Buchen auf den 11 Untersuchungsflächen (2017–2019)



Waldgesellschaften nach Ellenberg und Klötzli (1972)

- EK 7a: Typischer Waldmeister-Buchenwald
- EK 9a: Typischer Lungenkraut-Buchenwald
- EK 10a: Lungenkraut-Buchenwald mit Immenblatt
- EK 12a: Typischer Zahnwurz-Buchenwald
- EK 14/38: Übergang Weissseggen-Buchenwald zu Flaumeichenwald



Bis 50% Mortalität

Starke Bodenaustrocknung

Quantil 0.2, Mai-Sept, 2014–2022: -0.65 bis -0.75 MPa



Wenig verfrühter Blattfall / Blattverfärbung

Mässige Bodenaustrocknung

Quantil 0.2, Mai-Sept, 2014–2022: -0.35 bis -0.55 MPa

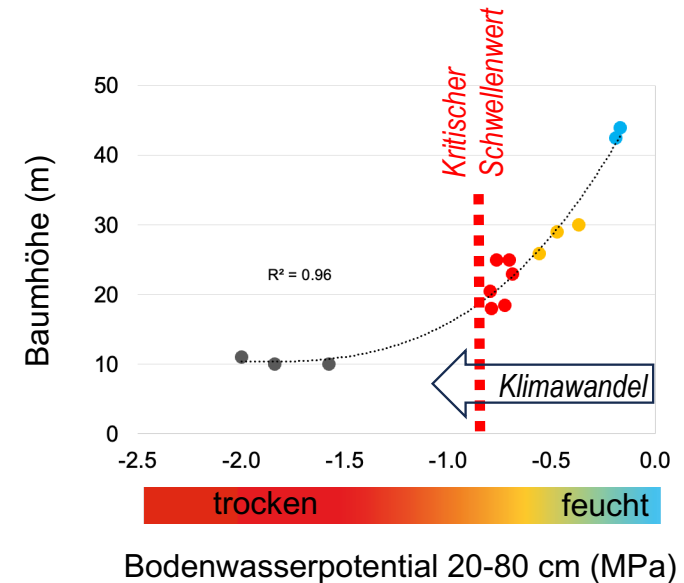
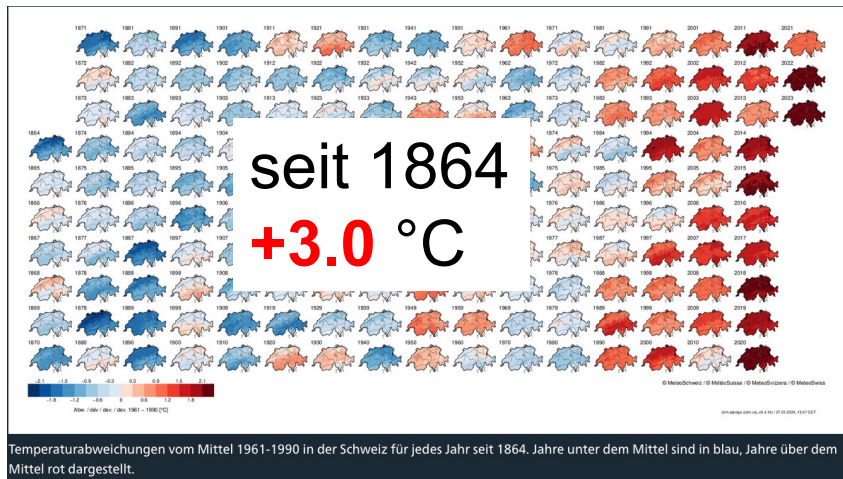


Keine verfrühter Blattfall, keine sichtbaren Schäden

Geringe Bodenaustrocknung

Quantil 0.2, Mai-Sept, 2014–2022: -0.1 bis -0.2 MPa

Klimawandel in der Schweiz: Zukunft der Buche?



Die Luft wird nicht nur wärmer, sondern auch trockener

- grössere Evapotranspiration (Verdunstung)
- stärkere Bodenaustrocknung
 - Schlechtwüchsige Standorte: zuehmende Mortalität
 - Wüchsige Standorte: weniger hohe Bäume

In Zukunft kann der Wald weniger Kohlenstoff fixieren

- C-Freisetzung durch absterbende Bäume
- Niedrigere und lichtere Wälder
- Kohlenstoff im Boden ? → Mathias Mayer

Zusammenfassung

Viele Waldböden in der Schweiz trocknen im Sommer stark und bis in grosse Tiefen aus

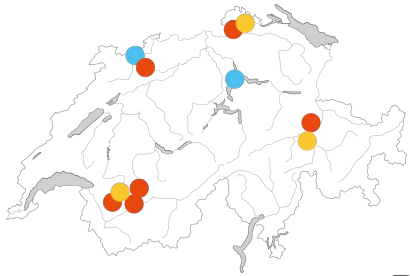
Zurzeit werden diese Böden im Winter noch vollständig befüllt (Ausnahme Wallis)

Die Produktivität der Buche (und anderer Baumarten) hängt stark von der Bodenwasserverfügbarkeit ab

Bei mässigem Wassermangel stoppt das Wachstum (Buche reagiert plastisch auf Trockenheit)

Bei extremem Wassermangel sterben Buchen ab

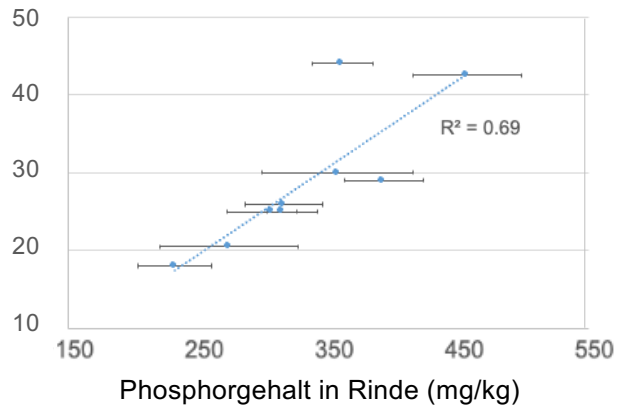
Künftige, niedrigere Wälder speichern oberirdisch weniger Kohlenstoff



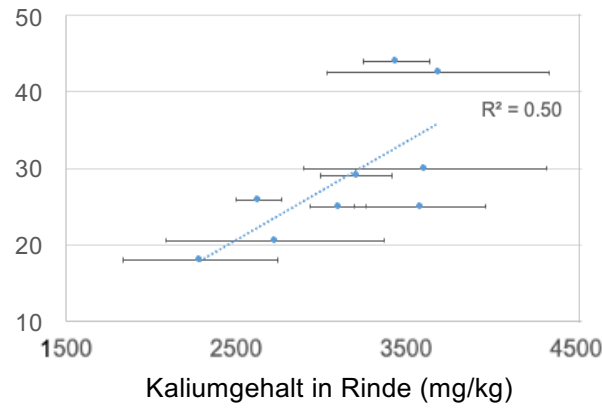
Wie stark bestimmt die Wasserverfügbarkeit die Nährstoffversorgung der Buche?

Baumhöhe (m)

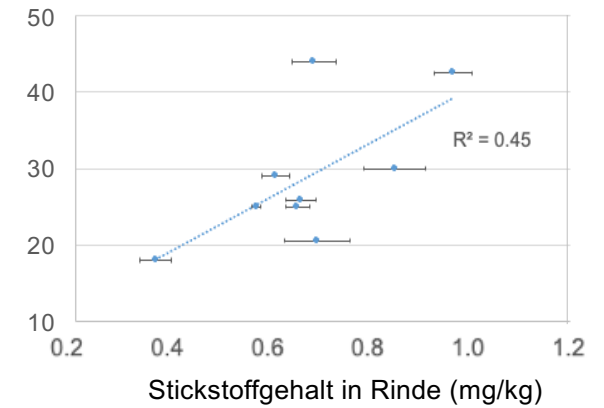
Phosphor



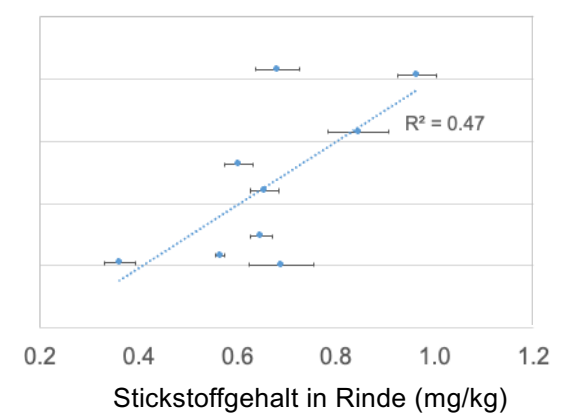
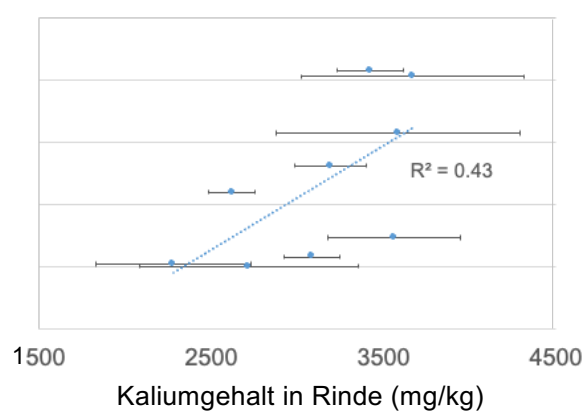
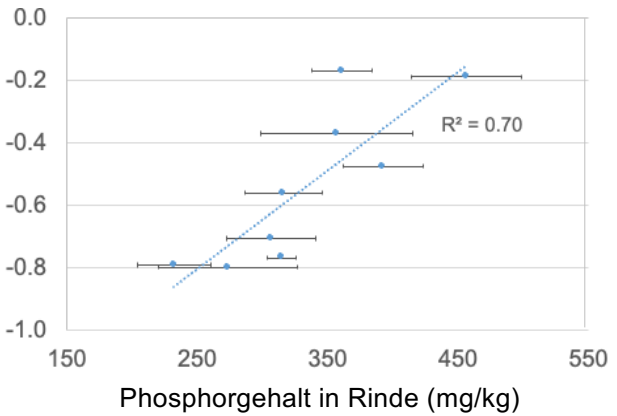
Kalium



Stickstoff



Bodenwasserpotential (MPa)



Abnehmende klimatische Wasserbilanz

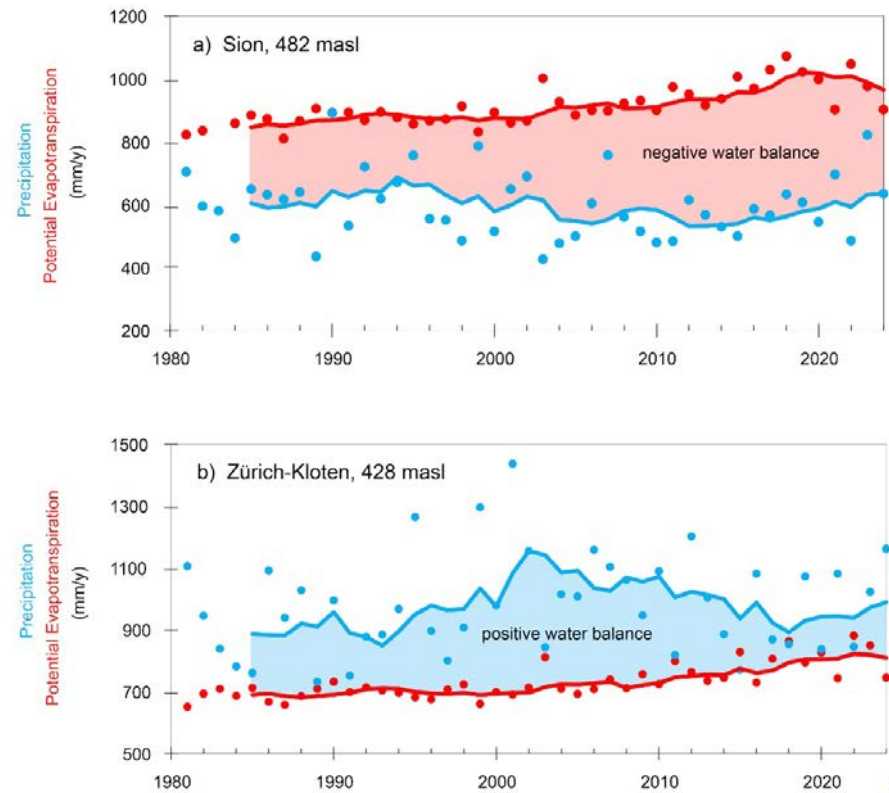


Figure S1: Climatic water balance. The courses of precipitation (P), potential evapotranspiration (PET, according to the FAO standard based on the Penman-Monteith equation), and climatic water balance (P-PET) are shown as five-year moving average from 1981 to 2023. These values were assessed at the MeteoSwiss stations a) Sion (which is close to the Saillon study site) and b) Zurich-Kloten (which represents the moister study sites). The climatic water balance refers to the sum of precipitation and evapotranspiration over the course of a calendar year.

