

## Einfluss des Klimawandels auf den Bodenwasserhaushalt im mitteldeutschen Trockengebiet – Zukünftige Herausforderungen



Werisch, S.

Kooperation  
Lysimeter



# Lysimeterstation Brandis

- Nordwest Sachsen
- kontinuierlicher Betrieb seit Nov. 1980
- Rand des mitteldeutschen Trockengeb.



**Abb. 1:** Lage der Lysimeterstation Brandis in Sachsen (links), sowie Blick über das mit Winterweizen bestellte Lysimeterfeld im Februar 2019

# Lysimeterstation Brandis

- in Vergangenheit wissenschaftliche Betreuung durch UFZ
- Heute: Teil des sächsischen Umweltmessnetzes
- Betrieben von Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL)

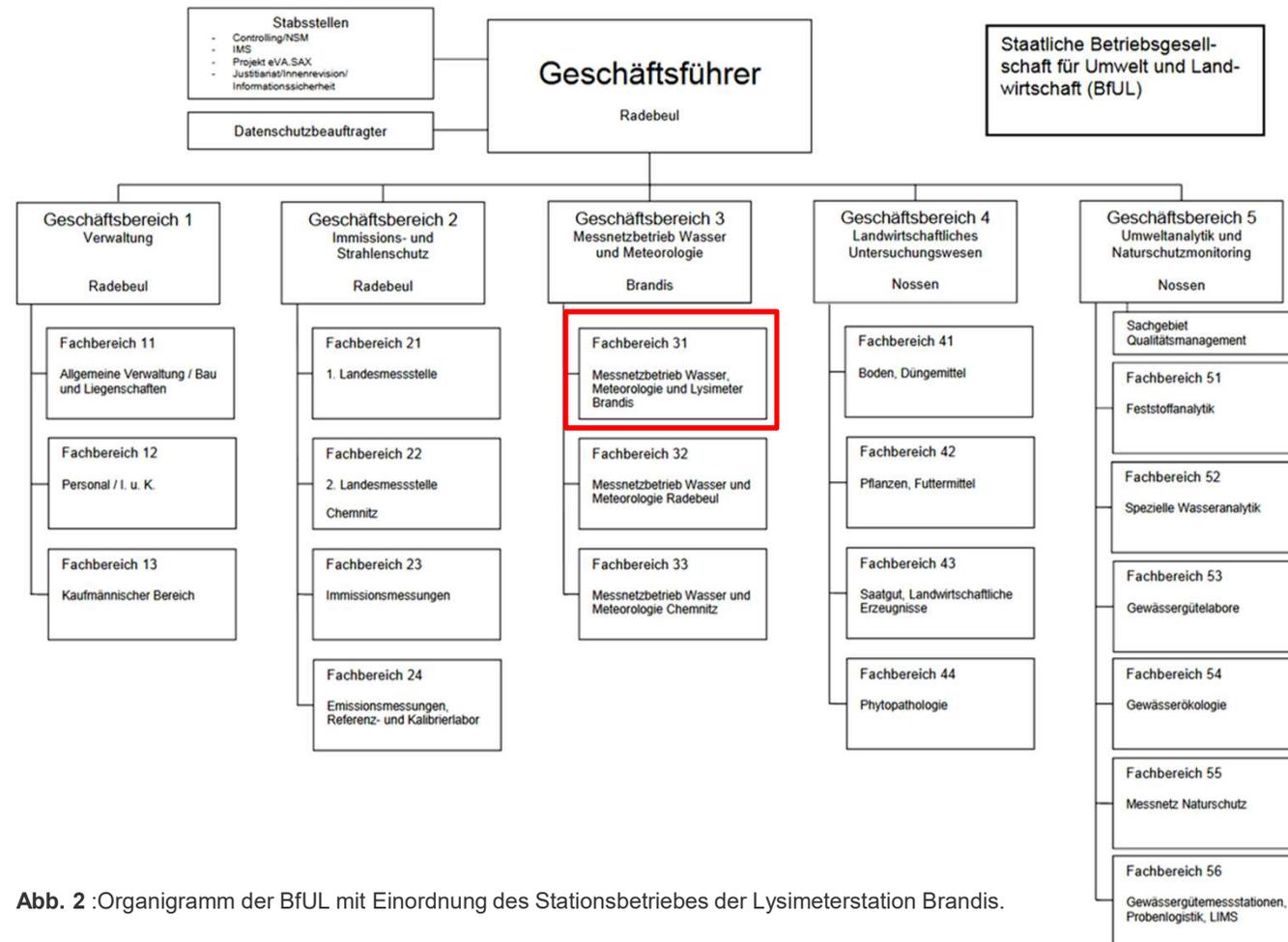
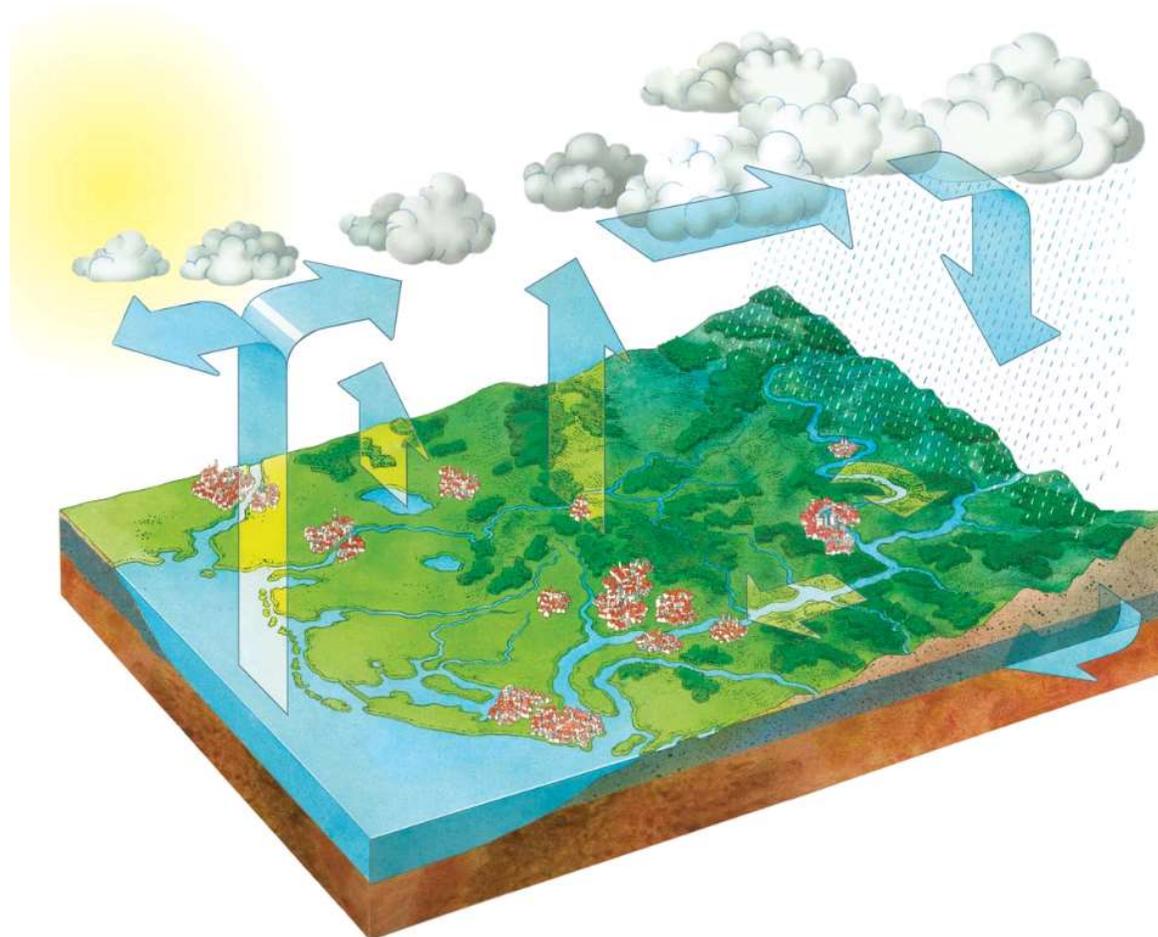


Abb. 2 :Organigramm der BfUL mit Einordnung des Stationsbetriebes der Lysimeterstation Brandis.

## Warum Lysimeter ?



# Warum Lysimeter ?

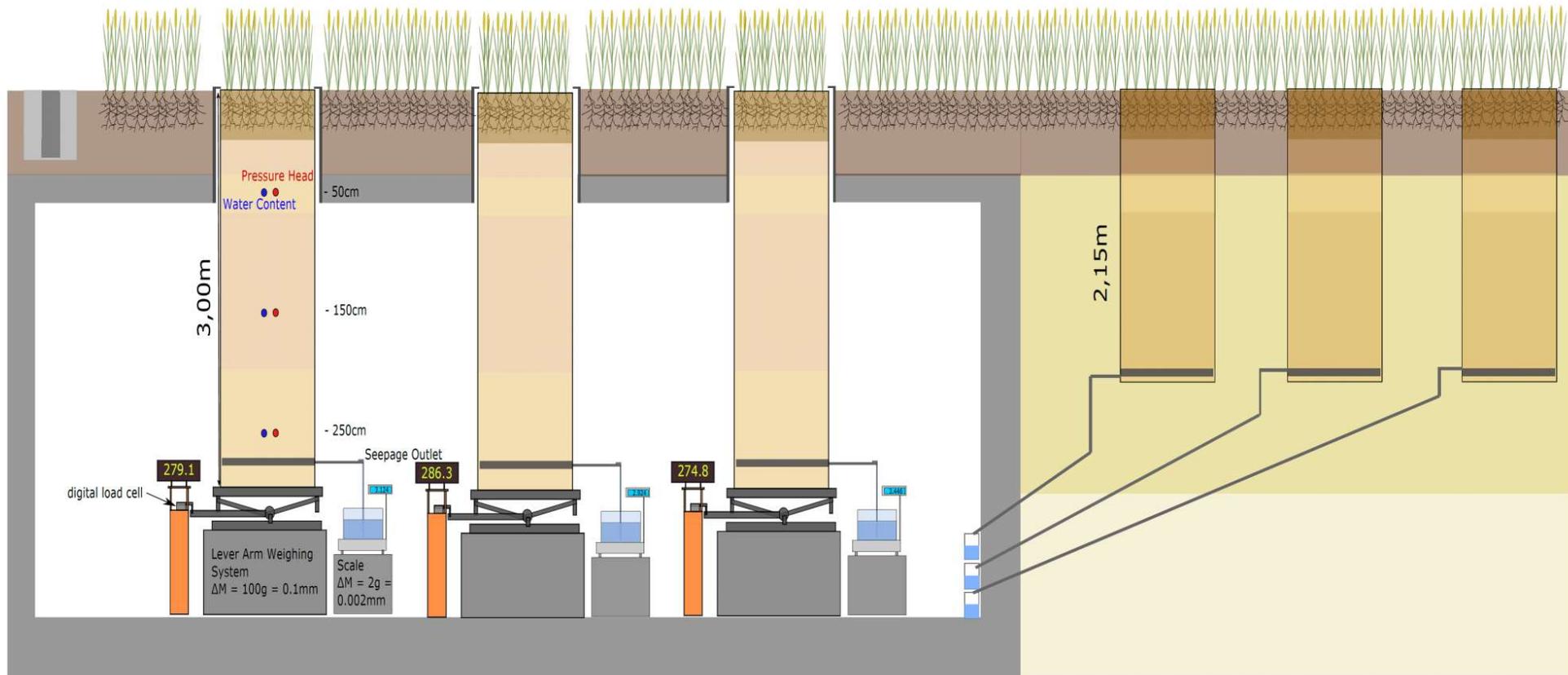


**Abb. 4:**  
Schematische  
Darstellung des  
Wasserkreislaufs

# Lysimeter

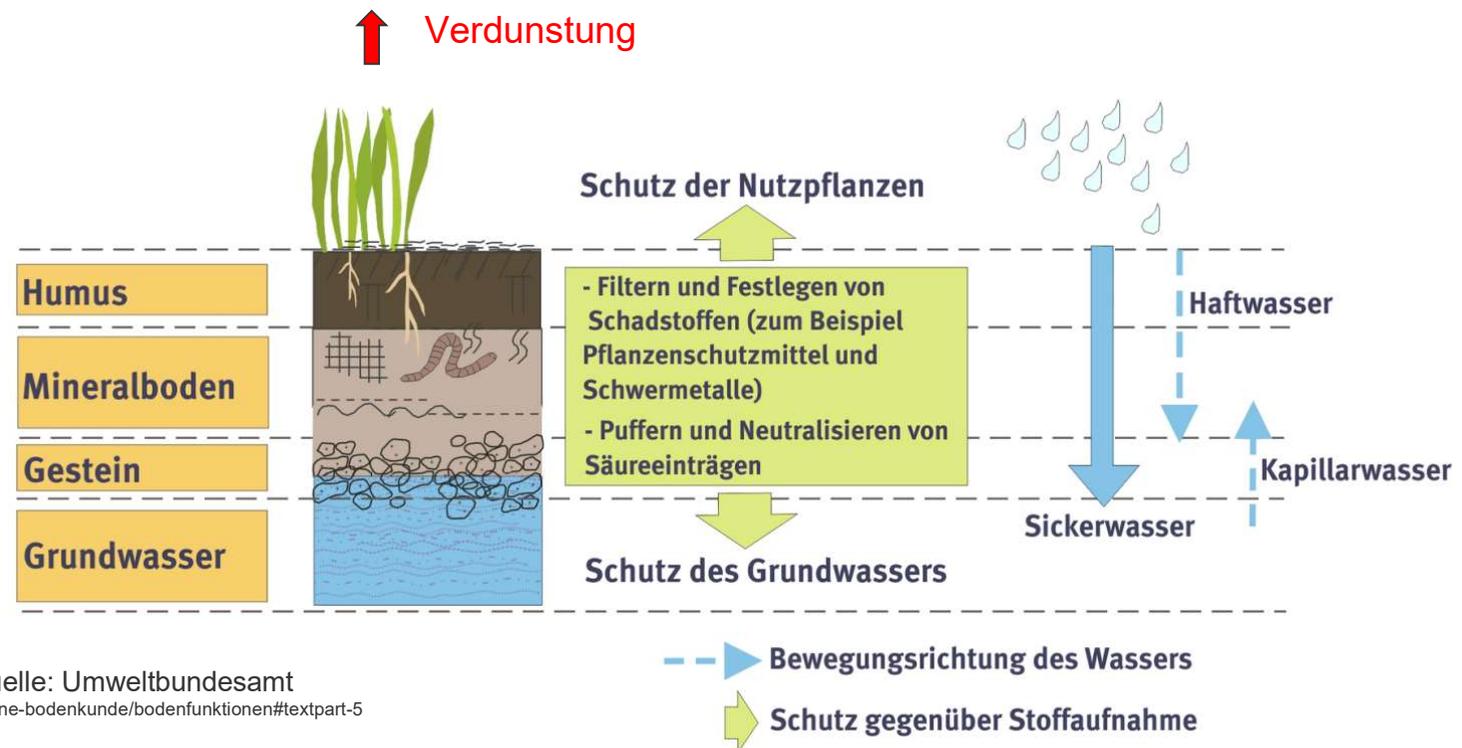
- Jeder Bodentyp durch 2-3 Lysimeter (und 3 Versickerungsmesser) repräsentiert

$$A = 1\text{m}^2$$



# Warum Lysimeter ?

- Boden ist ein komplexer aber langsamer Reaktor der vielfältige Funktionen erfüllt und vielfältigen Belastungen ausgesetzt ist
- Im Zusammenspiel mit Bewirtschaftung und der Vegetation steuert der Boden die Wassermenge und Wasserqualität die dem Grundwasser zufließt
- der Zustrom zum Grundwasser wird mit Lysimetern direkt messbar, in Quantität und Qualität



**Abb. 3:** Der Boden und seine Funktionen, Quelle: Umweltbundesamt  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/kleine-bodenkunde/bodenfunktionen#textpart-5>

# Lysimeterstation Brandis

- 10(12) verschiedene Böden
  - Ackerzahlen von 35 bis 90
- landwirtschaftliche Bewirtschaftung entsprechend der regionaltypischen Fruchtfolgen und Düngestrategien
- Lysimeter:
  - monolithisch gewonnen (ungestört)
  - Tiefe: 3m
  - Oberfläche  $A = 1\text{m}^2$
- Bestimmung der täglichen Wasserhaushaltskomponenten
  - Niederschlag (1m, bodengleich)
  - reale Evapotranspiration
  - Grundwasserneubildung
    - Sickerwasserqualität



**Abb. 4:** Blick über das Lysimeterfeld mit Lysimetern im Vordergrund und Versickerungsmessern im Hintergrund

# Lysimeterstation Brandis - Aufgaben

- Erfassung langfristiger Wasserhaushaltsbilanzen zur Quantifizierung der Einflüsse:
  - veränderlicher landwirtschaftlicher Randbedingungen
  - des Klimawandels
- Untersuchungen zum Stoffhaushalt mit besonderem Blick auf die WRRL
  - Erfassung stofflicher Einflüsse der Landwirtschaft auf das Sickerwasser
  - Auswirkung des Klimawandels auf den Wasser- und Stoffhaushalt und dessen Dynamik mit besonderem Augenmerk auf Stickstoff und Phosphat

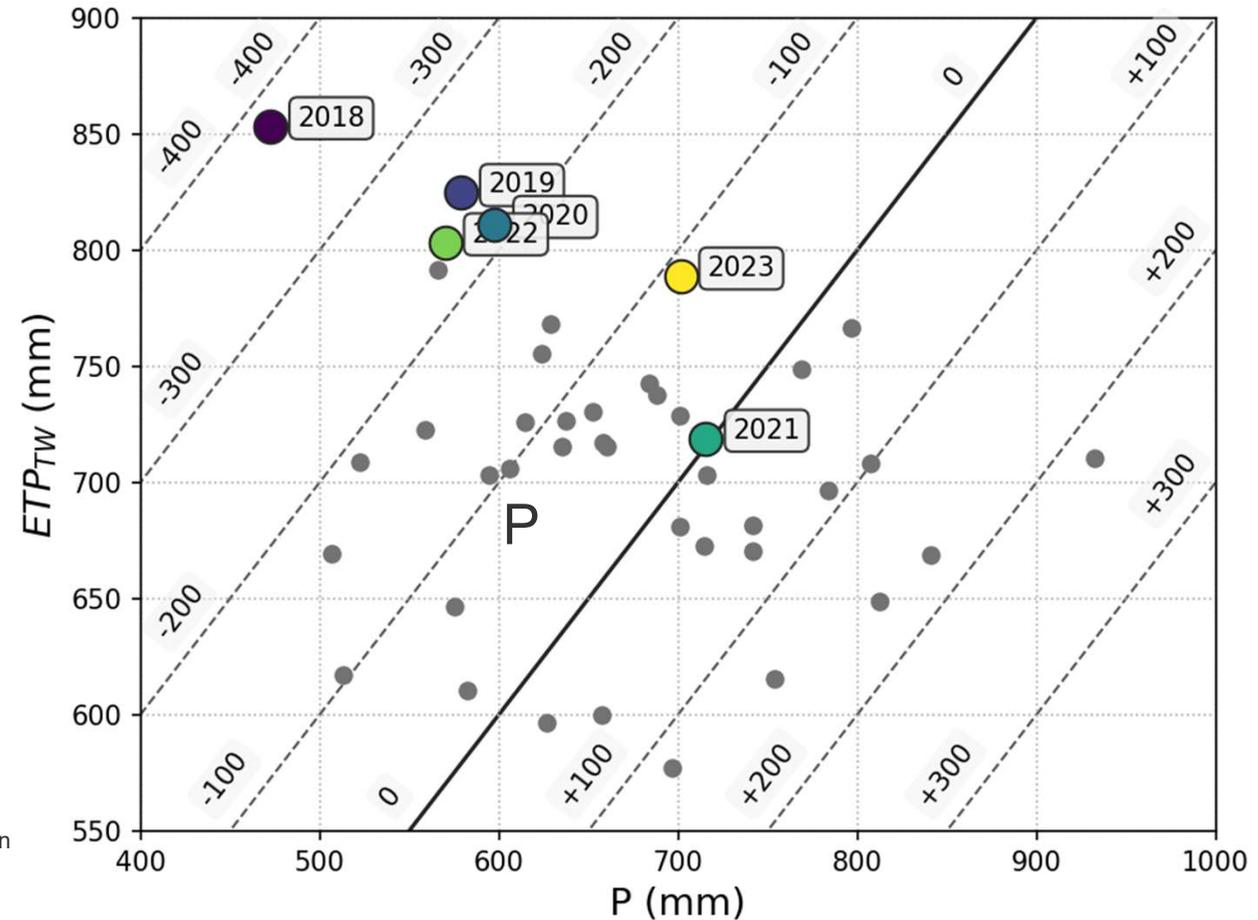


## Klimatische Randbedingungen



# Klimatische Randbedingungen

- Rand des mitteldeutschen Trockengebietes
- Wasserhaushaltskomponenten  
1981 – 2020:
  - Jahresniederschlag:  $P = 667\text{mm}$
  - Pot. Verdunstung:  $ET_p = 705\text{mm}$
  - klim. Wasserbilanz:  $kWB = -38$
- **Landwirtschaft stark vom  
Wasserspeichervermögen des Bodens  
abhängig**



**Abb. 5:** Gegenüberstellung der jährlichen Einzelkomponenten Niederschlag und potentielle Evapotranspiration der klimatischen Wasserbilanz für den Standort Brandis der Jahre 1981 -2022

# Klimatische Randbedingungen

- deutliche Temperaturzunahmen durch den Klimawandel
- deutliche Zunahmen der Sonnenscheindauern durch:
  - verbesserte Luftqualität (Wild, 2009)
  - trockenere Luft
- Kombination beider Faktoren resultiert in deutlich gesteigener potentieller Evapotranspiration

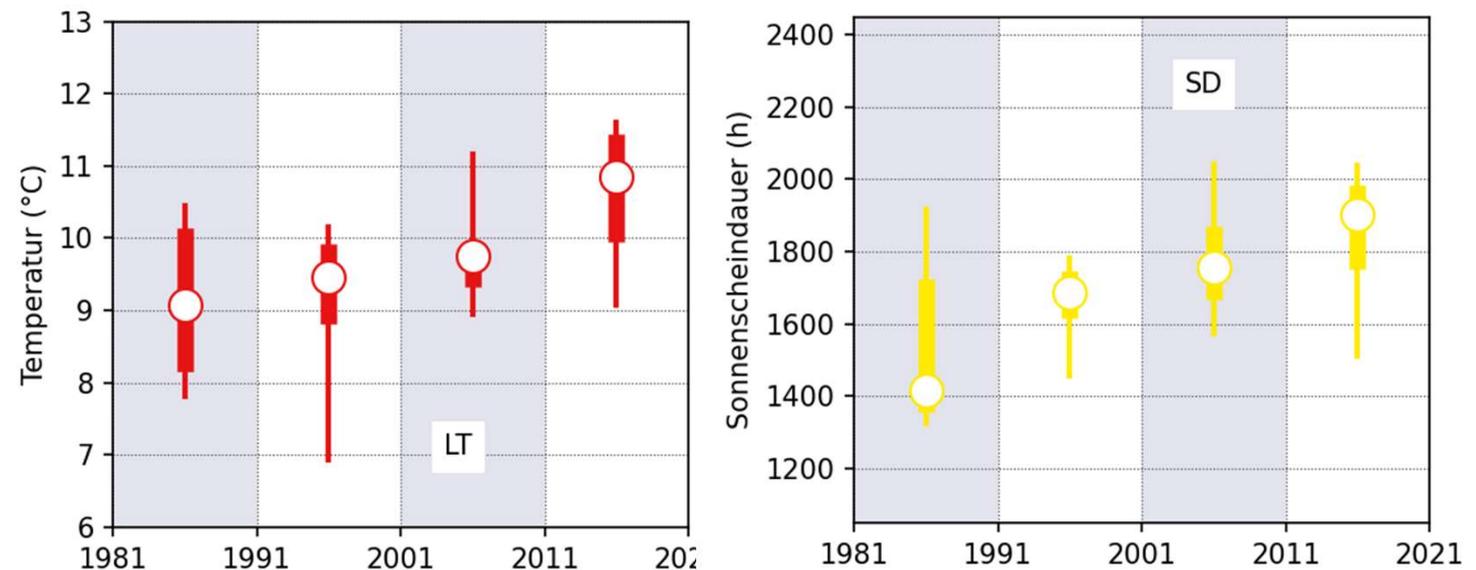


Abb. 6: Dekadenstatistiken der gemessenen Lufttemperatur (links) und Sonnenscheindauern (rechts) am Standort Brandis.

# Klimatische Randbedingungen

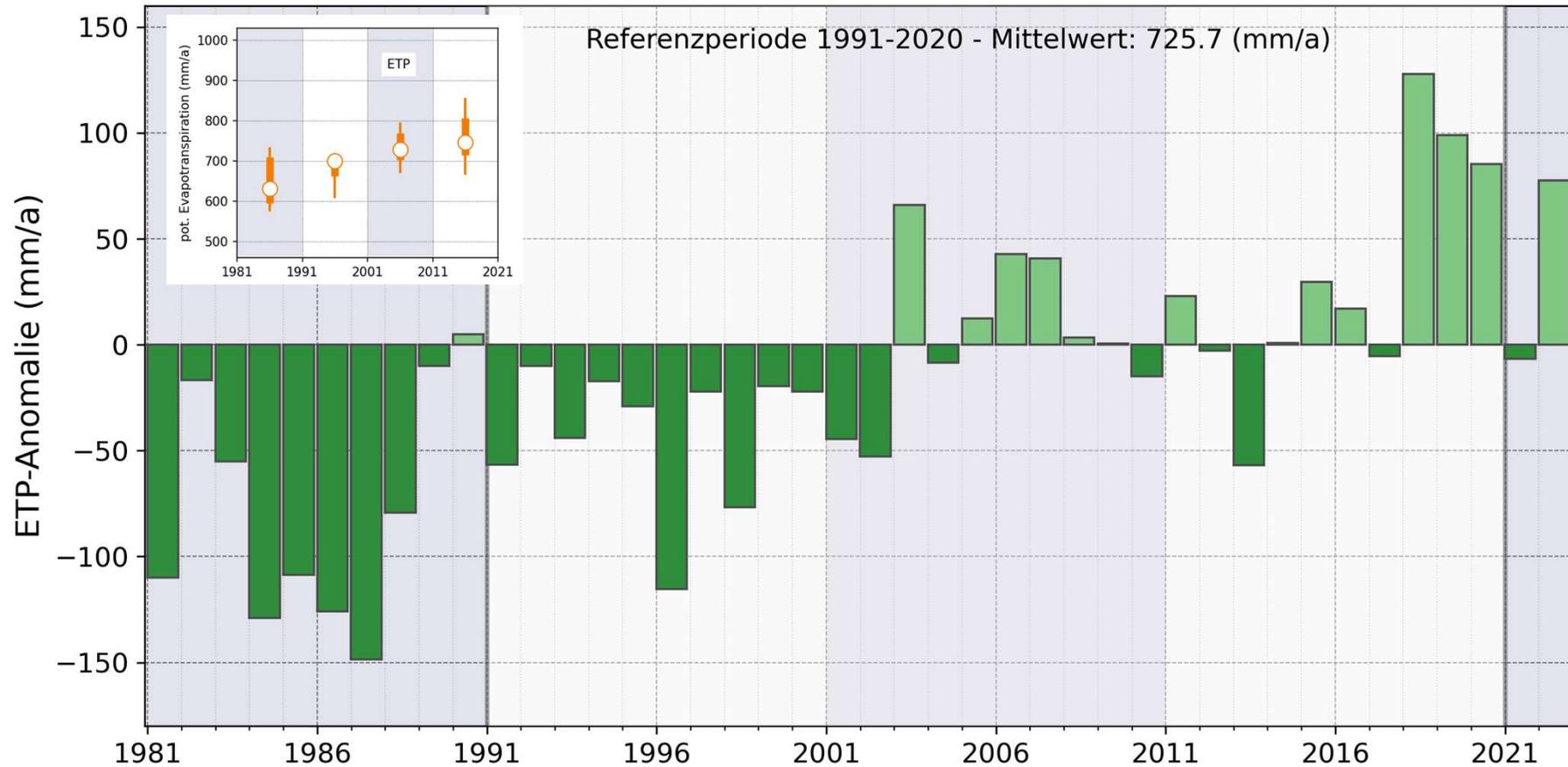


Abb. 7: Anomaliedarstellung der potentiellen Evapotranspiration (nach Turc-Wendling (1991)) für den Standort Brandis.

# Klimatische Randbedingungen

- deutliche Zunahme der Jahresmitteltemperaturen, Sonnenscheindauern und Globalstrahlung
- keine klaren Tendenzen im Niederschlag
- deutliche Zunahme der ETp
- klimatische Wasserbilanz wird defizitärer
- Tendenz zur Frühjahrstrockenheit (insbesondere April)

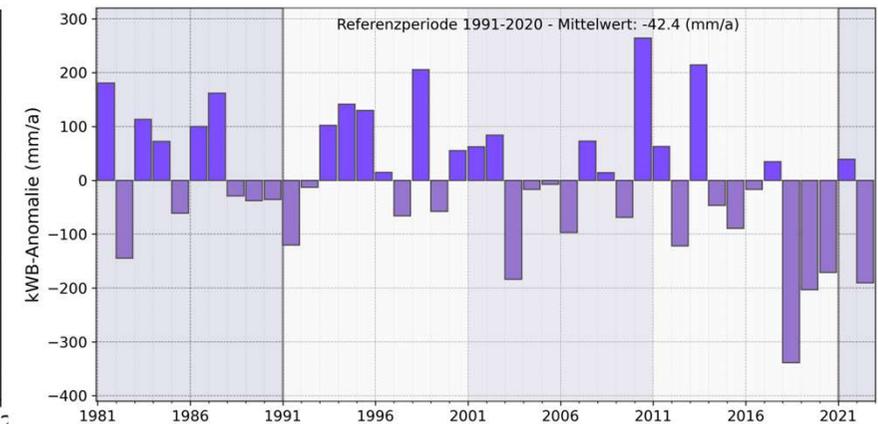
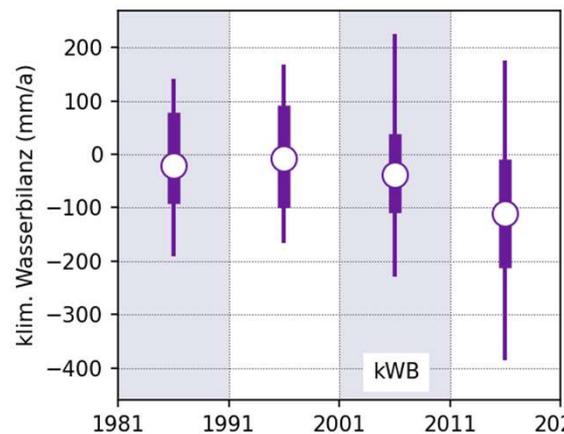
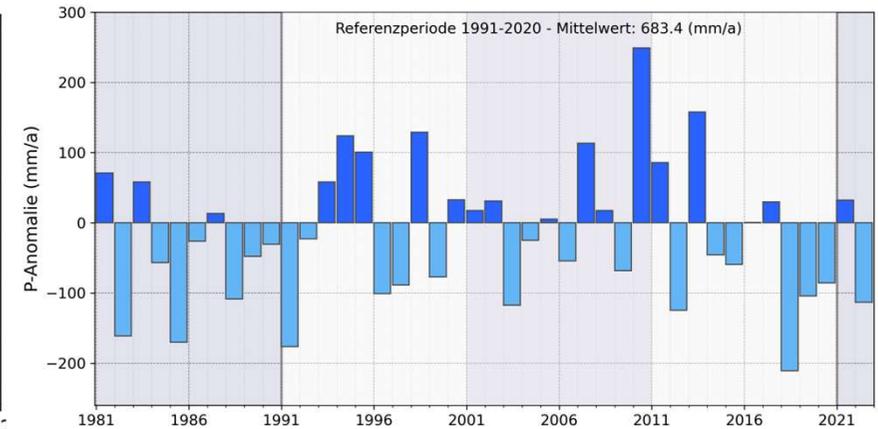
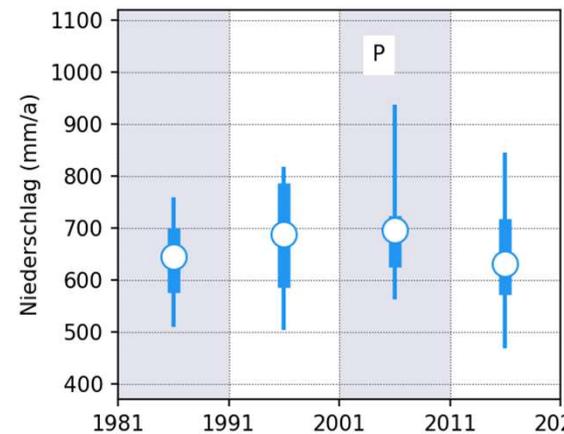


Abb. 8: Dekadenstatistiken und Anomaliedarstellung des Niederschlags (oben) und der klimatischen Wasserbilanz für den Standort Brandis.

# Böden

## I Untersuchung verschiedener Bodengruppen mit einem breiten hydrologischen Spektrum

**Tab. 1:** Hauptcharakteristika der in Brandis untersuchten Böden aufgeschlüsselt nach Gruppe und Bodenart. Die Charakteristika umfassen die mittlere jährliche Sickerwassermenge ( $Q$ ), die nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum ( $nFK_w$ ), die mittlere Austauschrate des Bodenwassers in der Wurzelzone ( $AR$ ), die mittlere Verlagerungsgeschwindigkeit ( $V$ ) sowie eine qualitative Einschätzung des Verlagerungsrisikos ( $VR$ ).

Lysimeter- gruppe	Bodenart	$\sum Q$ [mm a <sup>-1</sup> ]	$nFK_w$ [mm] (max.)	AR[%]	$\overline{V}_V$ [dma <sup>-1</sup> ]	VR
5	IS/D3	189	53 (75)	356	15	groß
8	sL/D3	151	89 (142)	169	11	mittel
4	sL/D5	146	93 (142)	157	9	niedrig
1	sL/D6	125	105 (167)	119	7	niedrig
7	sL/D4	111	117 (178)	95	5	sehr niedrig
9	L/Lö3	58	170 (450)	34	2,5	sehr niedrig
10	L/Lö1	47	192 (490)	25	2,1	Sehr niedrig

# Wasserhaushaltsbeobachtungen

- Auswirkung auf reale Evapotranspiration verschiedener Böden
- Reale Evapotranspiration folgt nicht den Zunahmen der pot. ET:
  - Bewirtschaftung
  - Wasserlimitierung der Vegetation

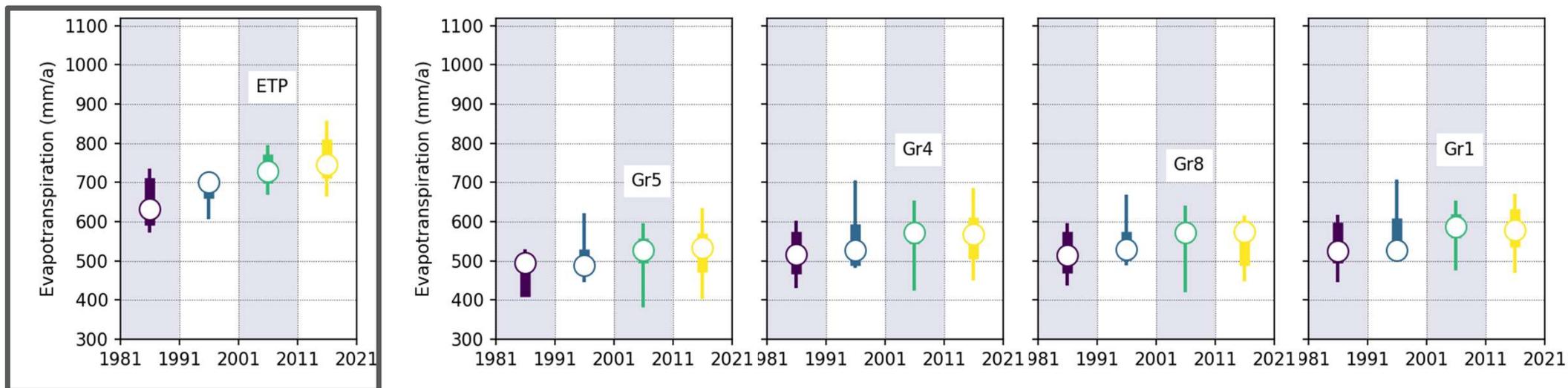


Abb. 9: Dekadenstatistiken der potentiellen und realen Evapotranspiration verschiedener Böden.

# Wasserhaushalt

- Böden besitzen spezifisches Wasserspeichervermögen, welches die real. ET begrenzt
- Unterschiede zwischen den Jahren ergeben sich aus:
  - klimatischen Bedingungen
  - Kulturpflanzen (Wurzelentwicklung)

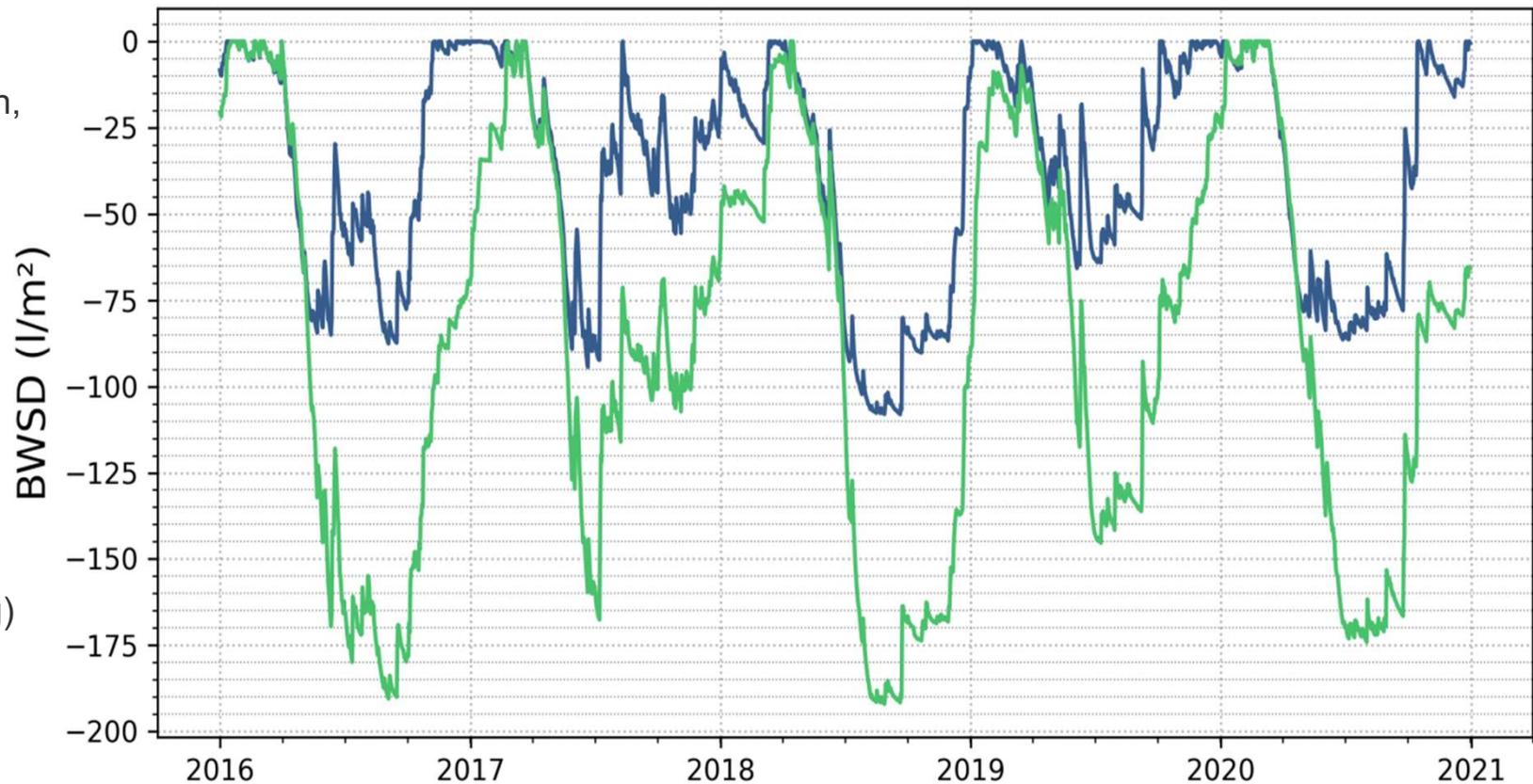


Abb. 12: Verlauf des täglichen Bodenwasserspeicherdefizits für zwei ausgewählte Böden im Zeitraum 2016 - 2021

# Wasserhaushalt

- Auswirkung auf das mittlere Bodenwasserspeicherdefizit verschiedener Böden
- Zunahmen der mittleren Defizite ab der 2. Dekade
- Insbesondere 4. Dekade enthält relevante Bewirtschaftungseffekte:

- Zwischenfruchtanbau

- Auf leichten (5 & 4) und mittleren (1) Böden kaum noch Steigerungen der mittleren Defizite möglich

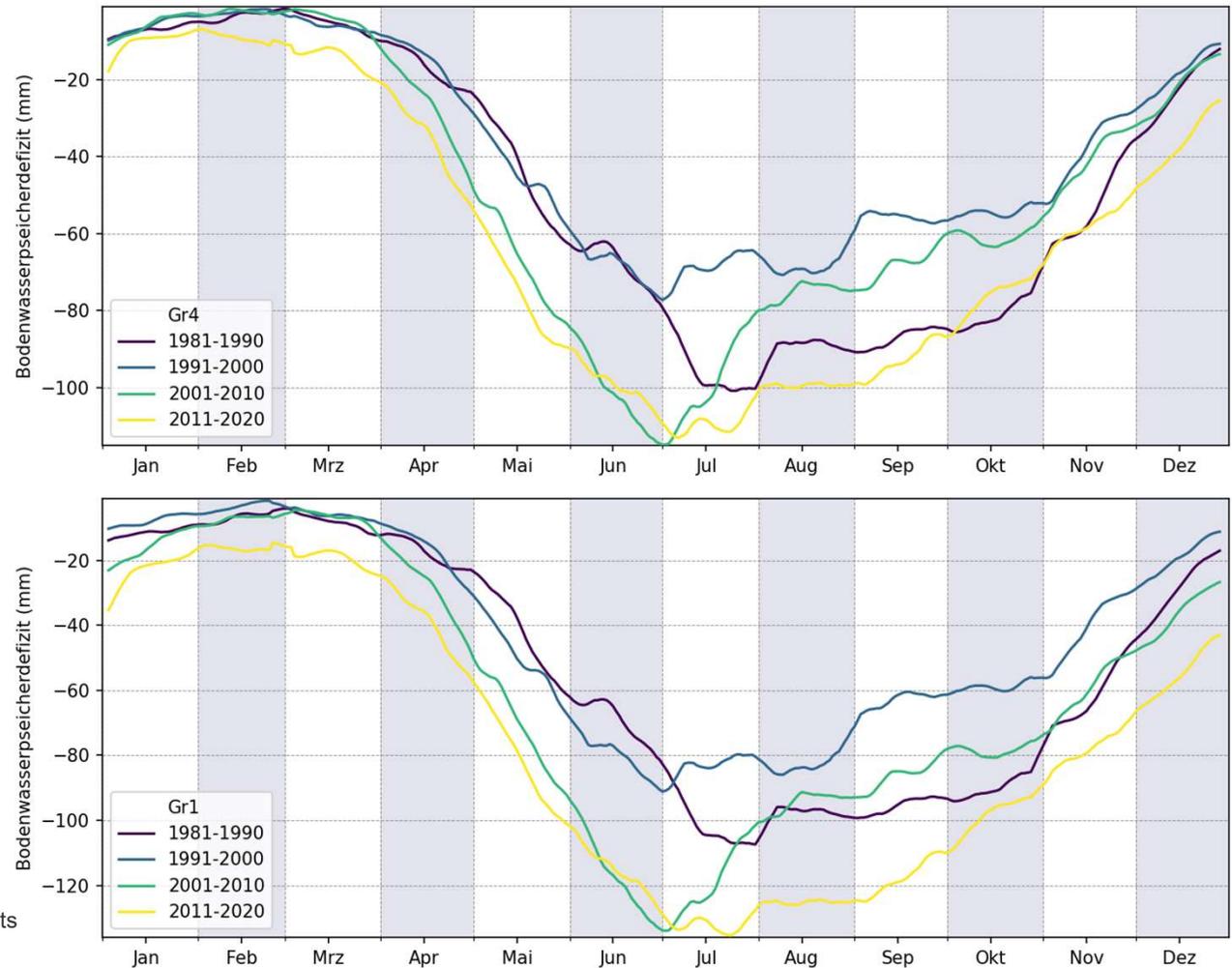


Abb. 13: mittlere Jahresverläufe des Bodenwasserspeicherdefizits für 2 verschiedene Bodengruppen der Brandiser Lysimeter

# Wasserhaushaltsbeobachtungen

- Auswirkung auf reale Wasserbilanz verschiedener Böden
- reale WB mit erheblichen Unterschieden zur KWB:
  - Bewirtschaftung
  - Wasserlimitierung

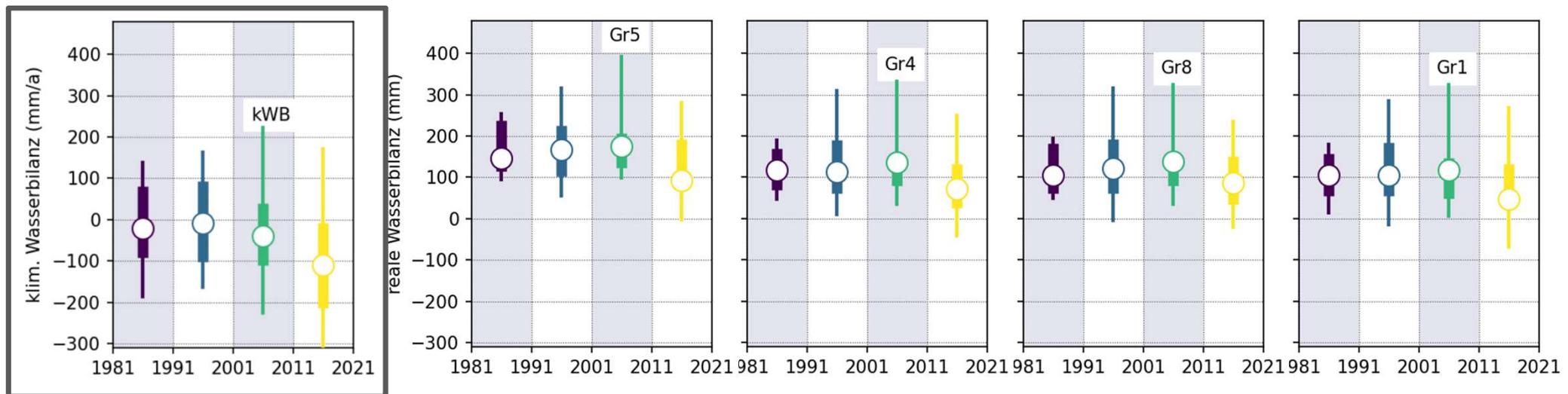


Abb. 10: Dekadenstatistiken der klimatischen und realen Wasserbilanz verschiedener Böden.

# Wasserhaushaltsbeobachtungen

- Auswirkung auf die Sickerwassermenge verschiedener Böden
- Abnahme der Sickerwassermengen in 4. Dekade feststellbar

- aber: kein reiner Klimawandeleffekt
- Zwischenfruchtanbau mindert Sickerwasserbildung deutlich
- Bewirtschaftung kann relevanten Einfluss auf Sickerwasserbildung haben

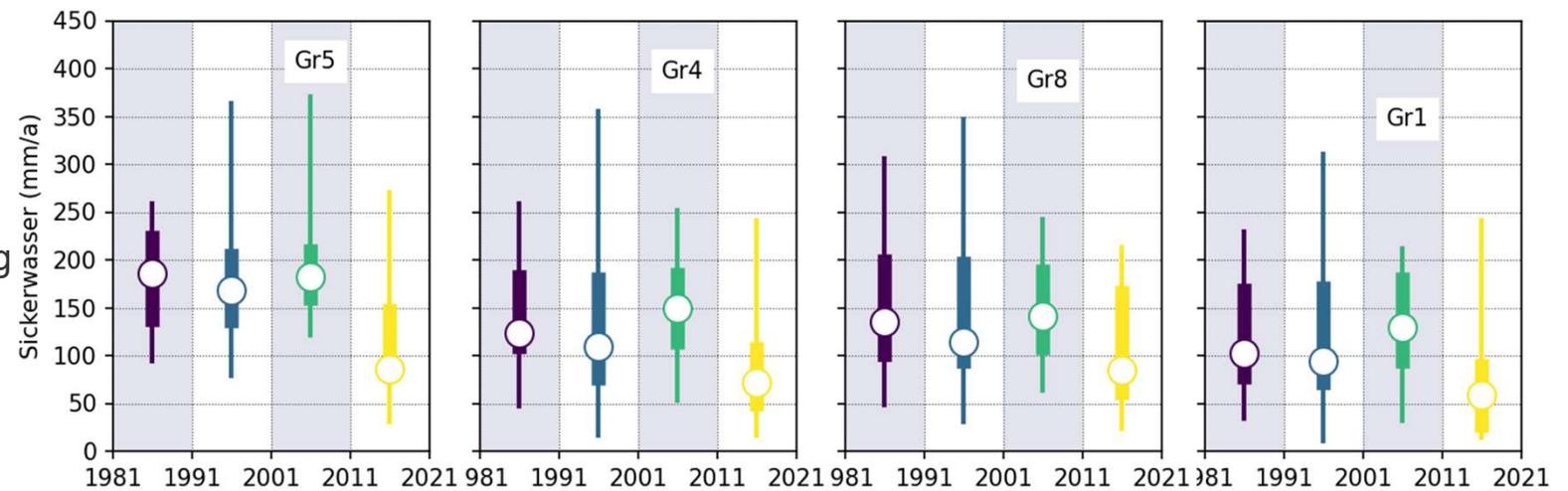


Abb. 14: Dekadenstatistiken der jährlichen (hydrologische Jahre) Sickerwassermengen verschiedener Böden.

# Zusammenfassung Wasserhaushalt

- durch die Zunahme der Lufttemperatur ist vor allem ein erhöhter Verdunstungsanspruch der Atmosphäre zu erwarten, welcher auf den untersuchten Böden:
  - aufgrund limitierter Wasserverfügbarkeit in der Wurzelzone wahrscheinlich nicht in erhöhten realen Verdunstungen resultieren wird,
  - Zeitiger, häufiger und länger in der Vegetationsperiode zur Trockenstress der Vegetation führen wird,
  - nicht in erhöhten maximalen Bodenwasserspeicherdefiziten resultieren wird, da bereits unter aktuellen Bedingungen vollständige Zehrungen der Wurzelzone beobachtet werden
- Die zukünftige Entwicklung der Sickerwasserbildung wird auf den leichten und mittleren Böden vor allem:
  - von der Entwicklung der Herbst-, Winter- und Frühjahresniederschläge abhängen,
  - dem Bewuchs in der Sickerwasserperiode abhängen (Zwischenfrüchte)

## Zwischenfrüchte und Wasserhaushalt



# Grundlagen

- | Grundlage für Biomasseaufbau ist Photosynthese
  - | Photosynthese braucht Wasserdampfaustausch -> Verdunstung
  - | **Hypothese:** zusätzliche Wasserentnahme für Verdunstung fehlt Versickerung
- | zusätzliche Bedeckung durch abgestorbene (oder gewalzte) Zwischenfrüchte kann Bodenevaporation verringern
  - | **Hypothese:** Bedeckung wirkt positiv auf Bodenwasservorrat im Frühjahr vor Hauptfrucht
- | Netto-Effekt schwer zu schätzen und abhängig von:
  - | Fruchtart
  - | Trockenmasseproduktion
  - | Bedeckung
  - | Zeitpunkt der Inaktivierung der Zwischenfrucht

## Zwischenfruchtanbau Brandis

- Anbau von Zwischenfrüchten spielt in der letzten Dekade eine größere Rolle durch häufigeren Maisanbau
  - 2013/2014: Ölrettich
  - 2017/2018: Phacelia
  - 2021/2022: Zwischenfruchtmischung

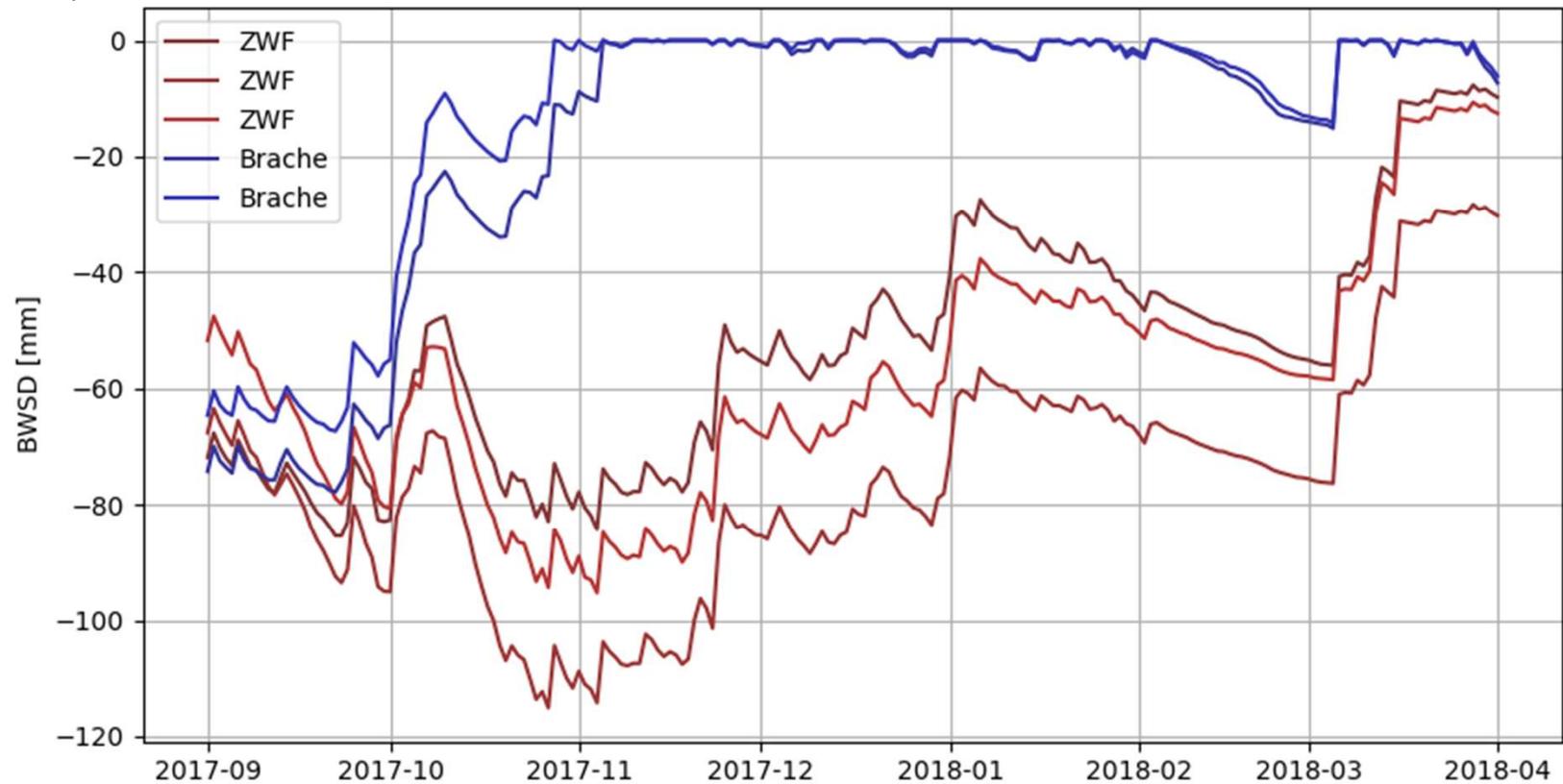


**Abb. 8:** Ölrettichbestände auf den Lysimetern im Dezember 2013

**Abb. 9:** Phacelia auf dem Lysimeter  
9/1 im Dezember 2017

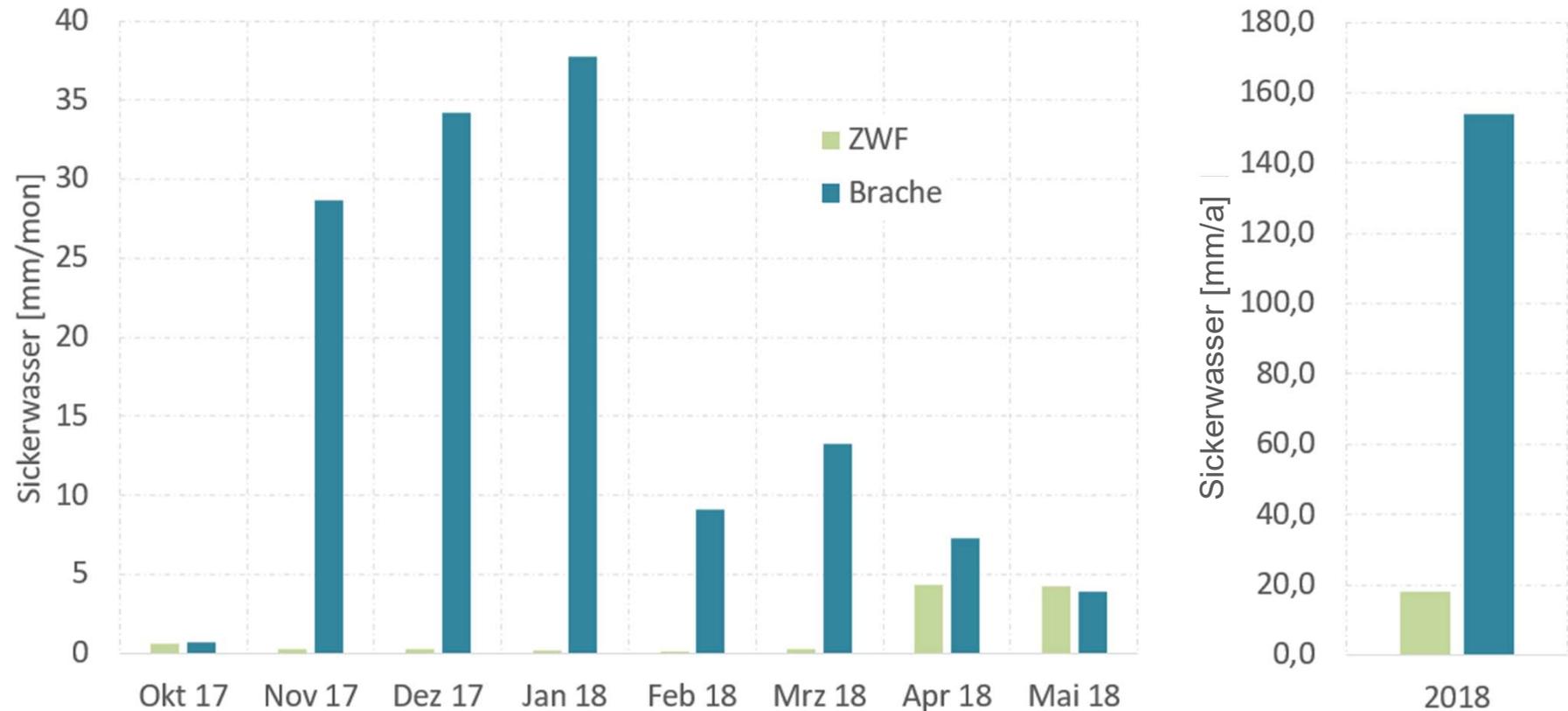
## 2017/2018 Phacelia

- Bodenwasserspeicherdefizit unter Zwischenfrüchten (Lys. Gr. 4) deutlich ausgeprägter als unter Brache (Lys. Gr. 8)



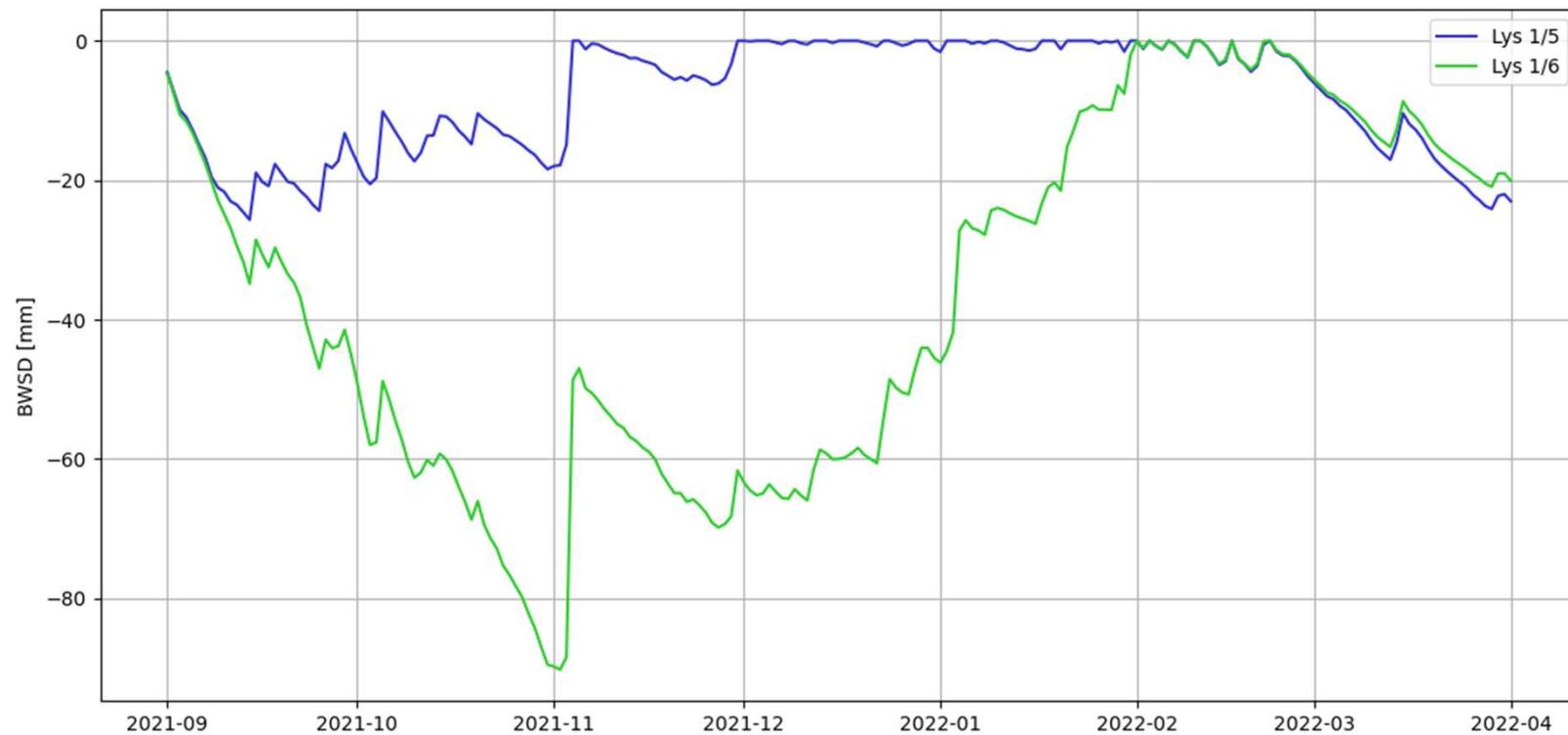
**Abb. 18:** Entwicklung des Bodenwasserspeicherdefizits im Vergleich zwischen Lysimetern mit Phacelia (Lysimetergruppe 4) und Winterbrachen (Lysimetergruppe 8)

## 2017/2018 Phacelia



**Abb. 22:** Vergleich der monatlichen Sickerwassermengen zwischen bewachsenen Lysimetern der Gruppe 4 und den Winterbrachen der Versickerungsmesser der Gruppe 4 im Winter 2017/2018

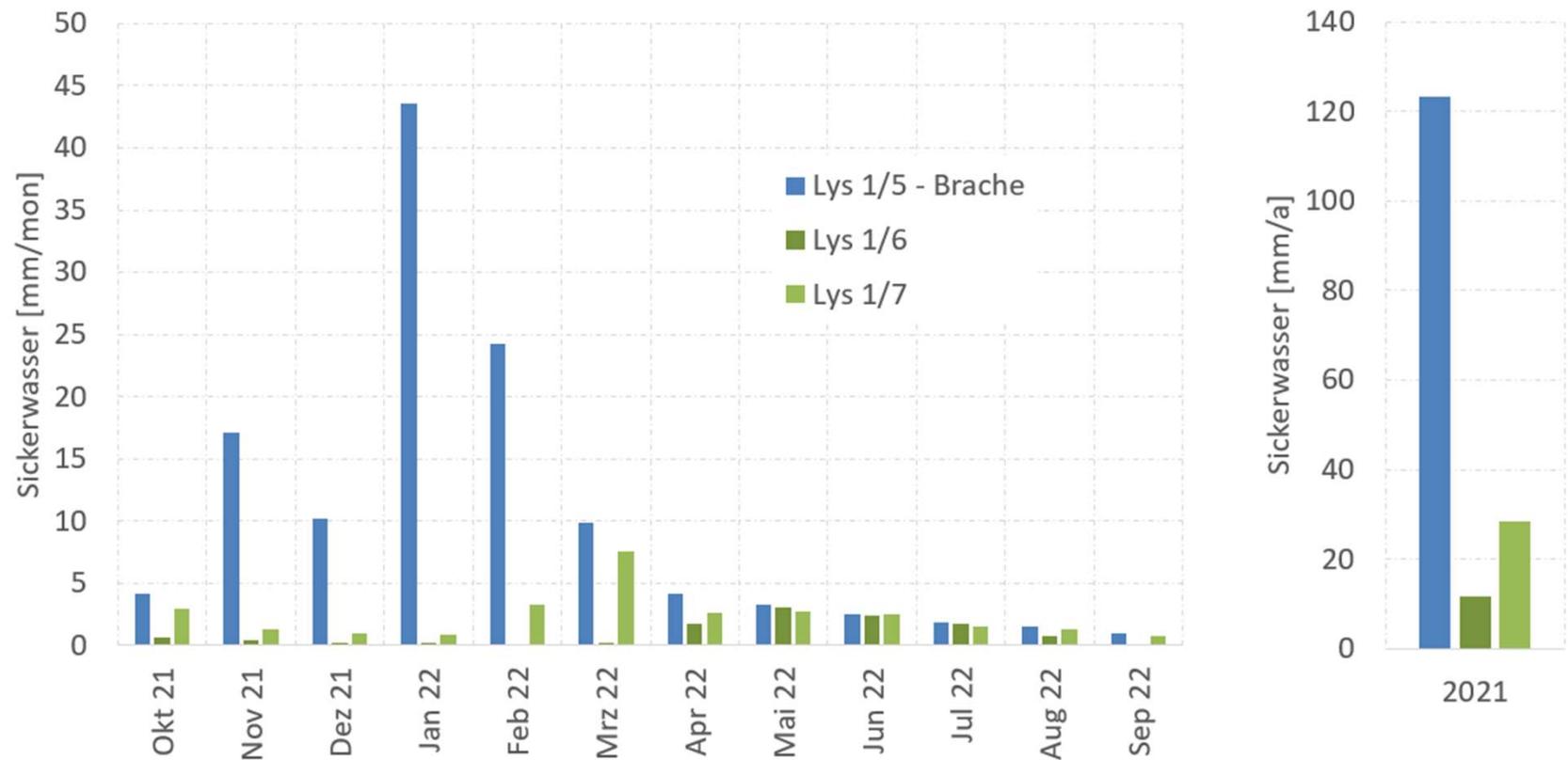
## 2021/2022 ZWF-Mischung



**Abb. 27:** Vergleich der Tagesgänge des Bodenwasserspeicherdefizits zwischen dem bewachsenen Lysimeter 1/6 und der Winterbrache auf dem Lysimeter 1/6 der Bodengruppe 1.

# 2021/2022 ZWF-Mischung

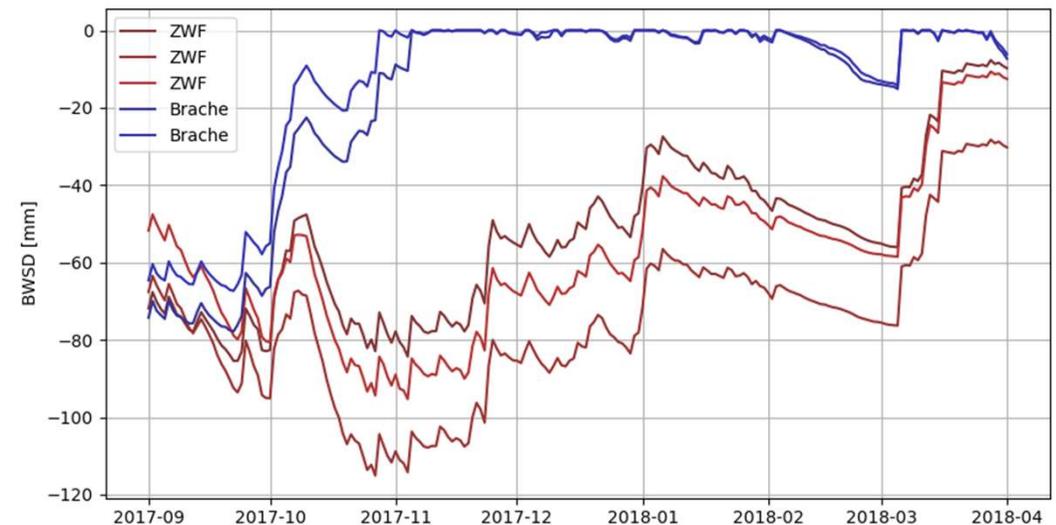
erneut deutliche Unterschiede in Sickerwasserbildung feststellbar



**Abb. 28:** Vergleich der monatlichen Sickerwassermengen (links) und der Jahressumme (rechts) zwischen bewachsenen Lysimetern der Gruppe 1 und der Winterbrache des Lysimeters 1/5 im hydrolog. Jahr 2022

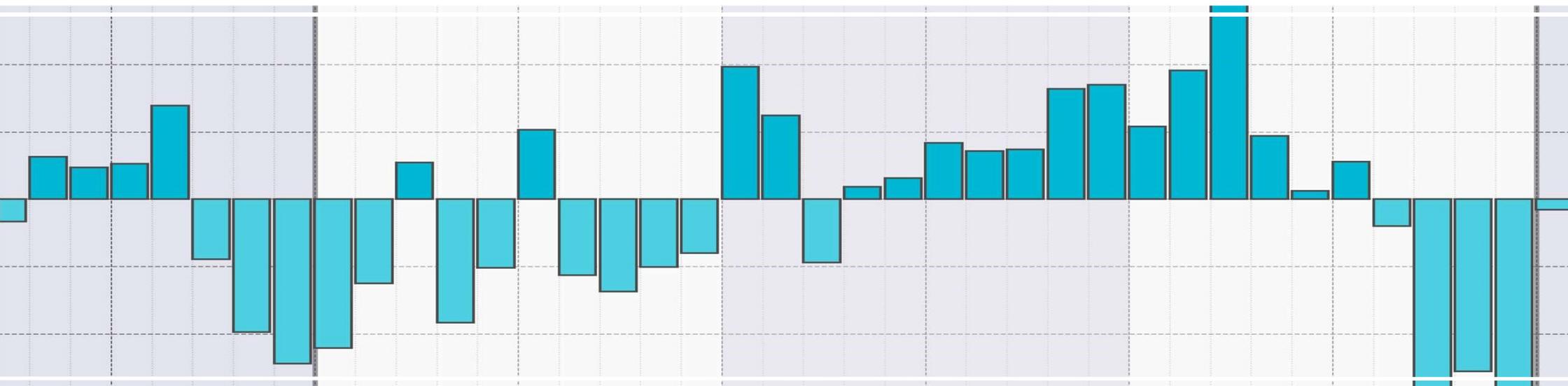
# Zusammenfassung

- in Abhängigkeit der Bestandesetablierung und Entwicklung haben Zwischenfrüchte einen deutlichen Einfluss auf den Bodenwasserhaushalt
- höhere Evapotranspirationen der Zwischenfrüchte werden aus dem Bodenwasserspeicher im Herbst gedeckt und fehlen folglich der Sickerwasserbildung im Winter und Frühjahr
- im Sinne der Grundwasserneubildung erscheint bodenwasserschonendes Zwischenfruchtmanagement wichtig
- auf leichten Böden bisher keine negativen Folgen für Wasserverfügbarkeit der Folgefrucht zu beobachten
- auf schwereren Böden teilweise unvollständige Auffüllungen der zusätzlichen Bodenwasserspeicherzehrung durch Zwischenfrüchte



**Abb. 30:** Entwicklung des Bodenwasserspeicherdefizits im Vergleich zwischen Lysimetern mit Phacelia (Lysimetergruppe 4) und Winterbrachen (Lysimetergruppe 8)

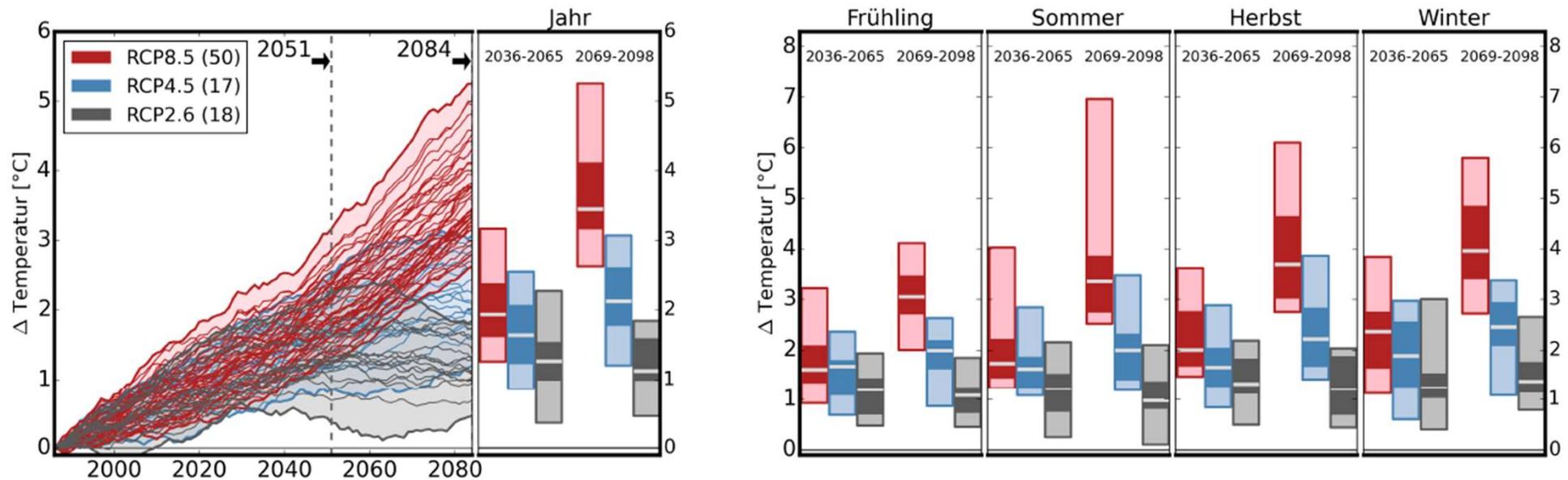
## Klimawandel – Erwartungen an den Wasserhaushalt



# Klimawandel

- es ist von deutlichen Zunahmen der Jahresmitteltemperaturen auszugehen, diese werden bereits beobachtet
- insbesondere die Vegetationsperioden im Frühjahr und Sommer sind betroffen

## Temperatur

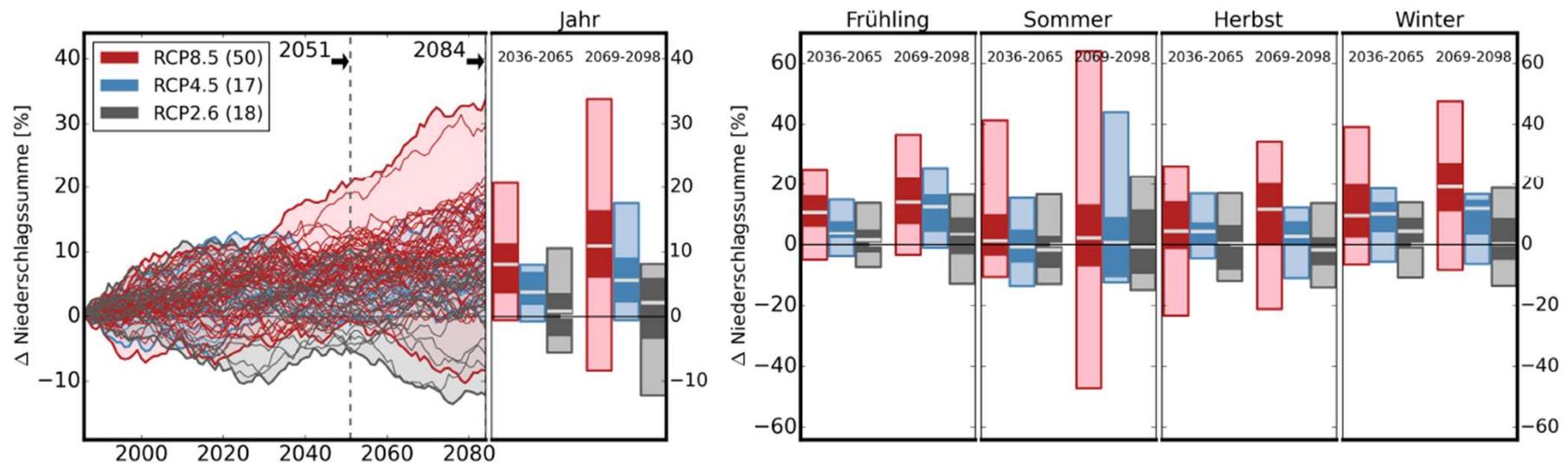


**Abb. 15:** Projizierte Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen (links) und der jahreszeitlichen Mitteltemperaturen (rechts) für verschiedene RCPs für die Region Süd-Leipzig (Quelle: Climate Service Center Germany (GERICS), [www.climate-service-center.de](http://www.climate-service-center.de))

# Klimawandel

- projizierte Niederschlagszunahmen vor allem im Winter und Frühling
- Sommer keine klaren Trends
- im Sinne der Grundwasserneubildung positive Klimawandeleffekte (Zunahme der Winterniederschläge) zu erwarten

## Niederschlag



**Abb. 16:** Projizierte Entwicklung der Jahresniederschlagssummen (links) und der jahreszeitlichen Niederschlagssummen (rechts) für verschiedene RCPs für die Region Süd-Leipzig (Quelle: Climate Service Center Germany (GERICS), [www.climate-service-center.de](http://www.climate-service-center.de))

# Wasserhaushaltsreaktionen auf Extreme

- Trockenperiode 2014 bis 2020 besonders ausgeprägt
- deutlich zu warm, trocken und strahlungsreich

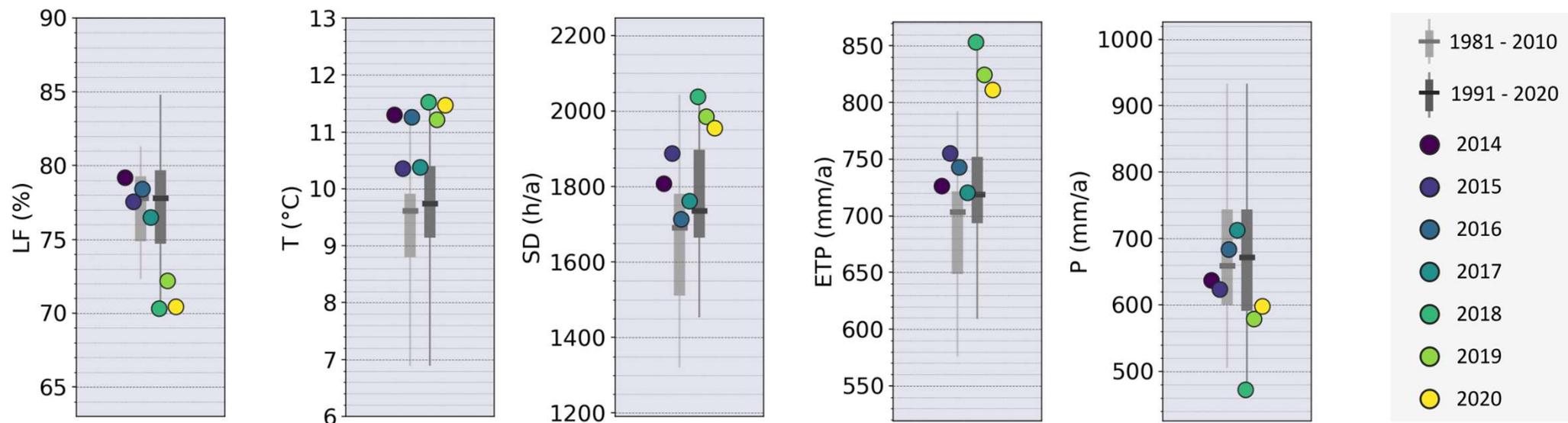


Abb. 17: Jahreswerte verschiedener klimatischer Größen der „Trockenjahre“ 2014- 2020 am Standort Brandis, mit Darstellung der Statistiken der Referenzperioden 1981-2010 und 1991 -2020

# Wasserhaushaltsreaktionen auf Extreme

- übermäßige potentielle Verdunstungsansprüche können auf leichten und mittleren Böden nicht erfüllt werden
  - zeitige Zehrung des verfügbaren Bodenwasserspeichers
  - massiver Trockenstress bereits in zeitigen Entwicklungsstadien
- Kippverhalten in realer Verdunstung:
- stark überdurchschnittliche ETP resultiert in unterdurchschnittlicher ETr

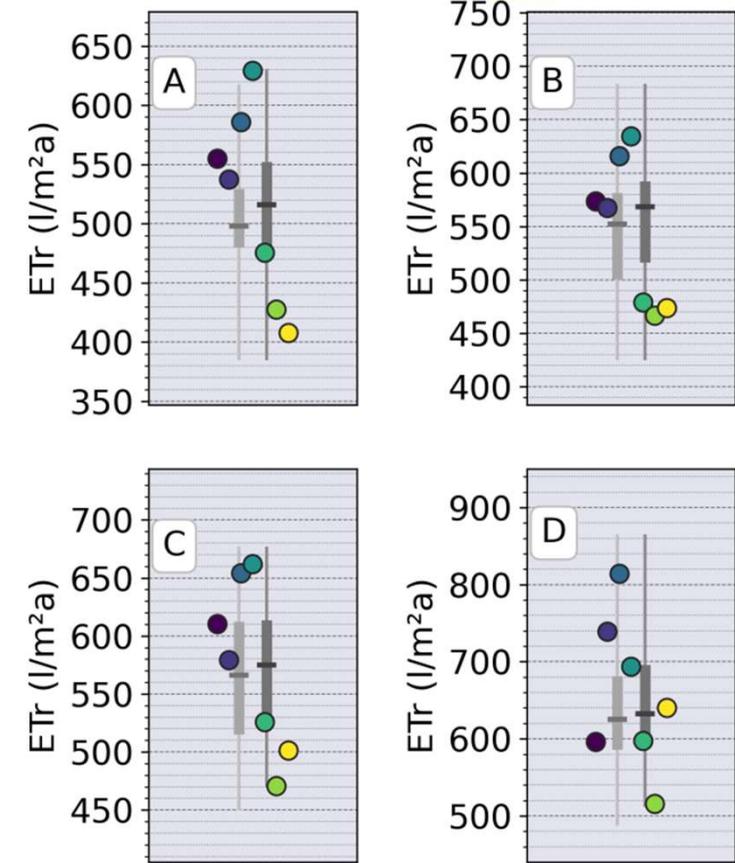
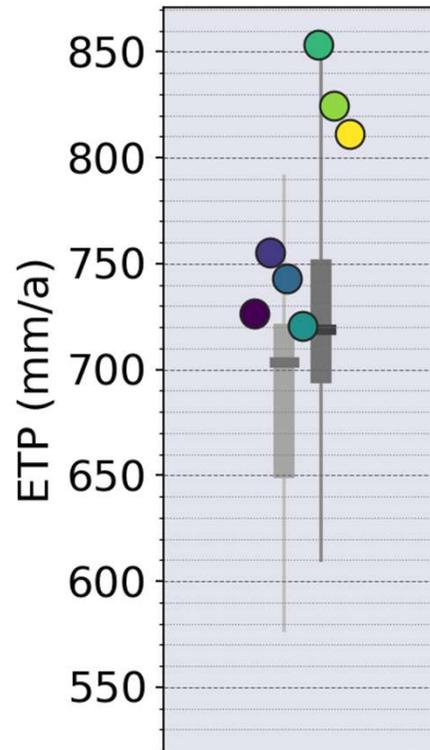


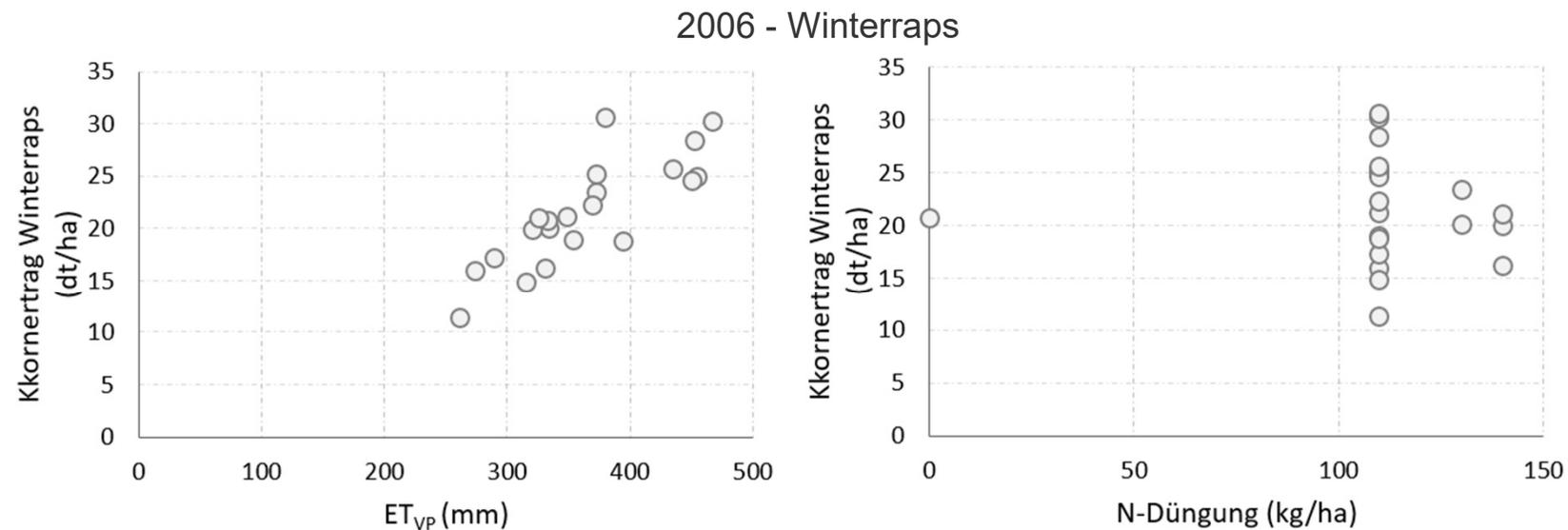
Abb. 18: Jahreswerte der potentiellen Verdunstung (links) und beobachteter realer Verdunstungen der „Trockenjahre“ 2014- 2020 am Standort Brandis, mit Darstellung der Statistiken der Referenzperioden 1981-2010 und 1991 -2020 für 4 Pedohydrotope

# Klimawandel und Landwirtschaft

- aufgrund höherer Temperaturen wird von deutlicher Zunahme der **potentiellen** Evapotranspiration ausgegangen
- **keine Kompensation** durch Niederschlagszunahme **in Vegetationsperiode** zu erwarten
- Entwicklung der **realen Evapotranspiration zeigt „Kippverhalten“** aufgrund limitierter Bodenwasserspeicher
- **Sickerwasserbildung ist unabhängig von sommerlicher Trockenheit** (leichte und mittlere Böden) sondern von:
  - Winterniederschlägen
  - Bewuchs in der Herbst/Winterperiode
- **Wasserversorgung der Kulturpflanzen wird** zukünftiger noch **kritischer**
- für Landwirtschaft im Nordwesten Sachsens ist von erschwerten Anbaubedingungen auszugehen
  - Zunahme der Dürreperioden erwartet!
  - durch Beobachtungen gedeckt

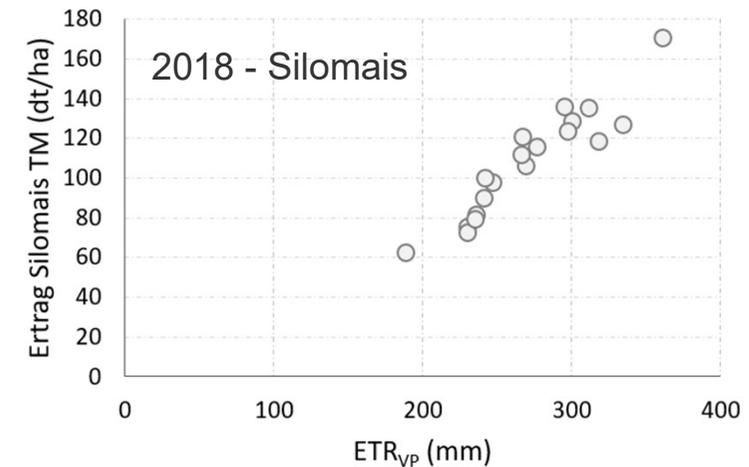
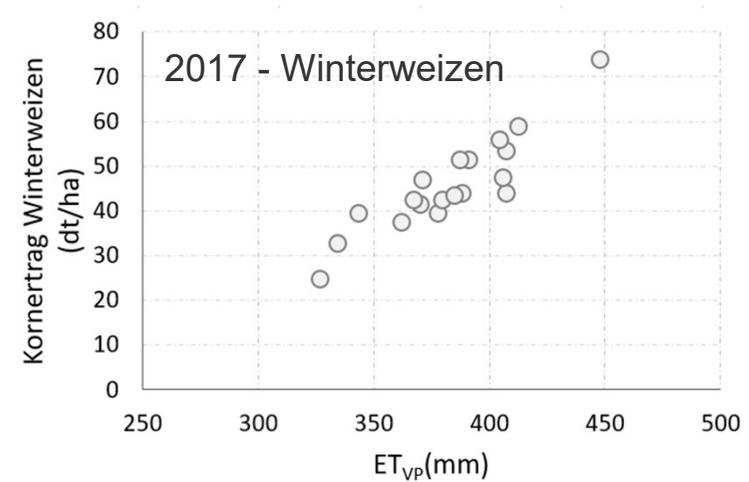
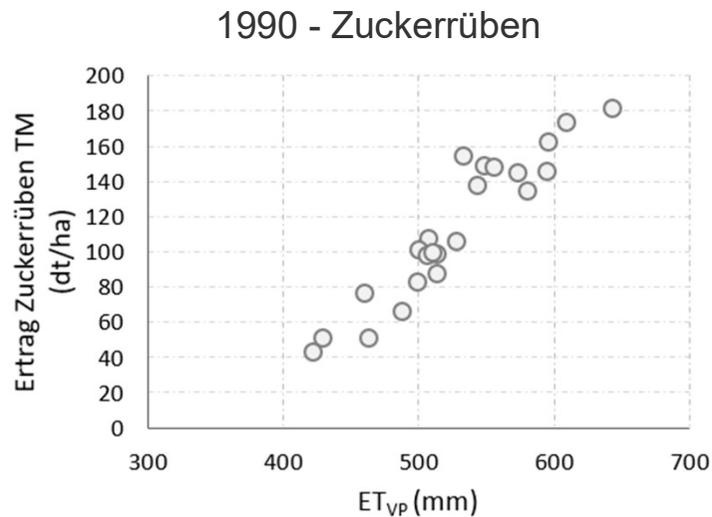
# Klimawandel und Landwirtschaft

- Vegetation wird zeitiger im Jahr im Trockenstress geraten
- auch außerhalb extremer Dürrezustände erzeugen Trockenstressphasen Wachstums- und damit Ertragsdefizite
- auf wasserlimitierten Standorten ist die Wasserverfügbarkeit der Vegetation der maßgebliche Parameter für Ertragsbildung



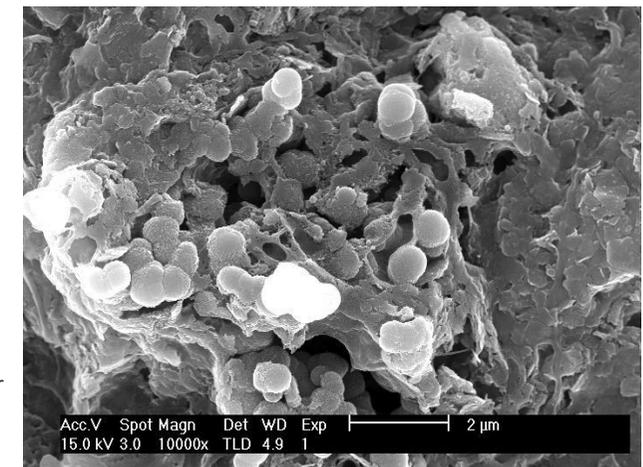
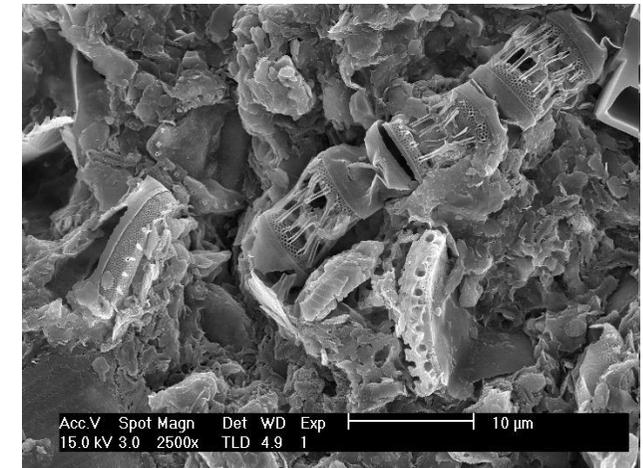
# Klimawandel und Landwirtschaft

- Wasserverfügbarkeit als maßgeblicher Effekt lässt sich in nahezu allen Kulturen beobachten
- auch in vermeintlich feuchteren Jahren ein wesentlicher Effekt für Ertragsbildung



# Ausblick Nährstoffhaushalt im Klimawandel

- Erwärmung der Böden, Wasserverfügbarkeit und das auftreten von Dürreperioden wird auch direkt auf den Nährstoffhaushalt der Böden wirken, da diese:
  - direkt auf die mikrobielle Aktivität der wirken (Blankinship et al., 2011),
  - maßgeblichen Einfluss auf die Prozesse der Mineralisierung und Immobilisierung haben (Canarini et al., 2021),
  - in Kombination mit Dürreperioden auf die mikrobiellen Bodenorganismen wirken und deren Zusammensetzung verändern können (Siebert et al., 2019)



**Abb. 19:** Beispielhafte Aufnahmen eines Rasterelektronenmikroskops einer Bodenoberfläche zur Darstellung der mikrobiellen Vielfalt in Böden, Quelle: <http://www.soil-net.com/sm3objects/casestudies>

# Herausforderungen an die Landwirtschaft

- Herausforderungen für den Bodenschutz im Klimawandel:
  - Erhalt und Steigerung des Wasserspeichervermögens von Böden
  - Erhalt des Infiltrationsvermögens (Wasserspeicherung und Erosionsschutz)
  - längere Mineralisierungsphasen durch längere Vegetationsperioden und Brachezeiten von Böden vermeiden
    - → erhöhtes Nährstoffverlustpotential (C/N)
  - Erhalt der Nährstoffe und Nährstoffkreisläufe unter trockeneren Sommern und nasseren Wintern
  - durch Einfluss auf Wasserhaushalt Schutz guter Böden (Wasserspeichervermögen) besonders dringlich für landwirtschaftliche Produktion



**Abb. 20:** Erosionsrinne in einem Weizenfeld, Washington, USA, Quelle: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Erosion.jpg>



**Vielen Dank für die  
Aufmerksamkeit !**

**BLANKINSHIP, J., NIKLAUS, HUNGATE, B. (2011):** A meta-analysis of responses of soil biota to global change.- *Oecologia* 165: pp. 553-565, <https://doi.org/10.1007/s00442-011-1909-0>

**CANARINI, A., SCHMIDT, H., FUCHSLEGGER, L., MARTIN, V., HERBOLD, C., ZEZULA, D., GÜNDLER, P., HASIBEDER, R., JECMENICA, M., BAHN, M., RICHTER, A. (2021):** Ecological memory of recurrent drought modifies soil processes via changes in soil microbial community.- *Nature Communications* 12: 5308, <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25675-4>

**SIEBERT, J., SÜNNEMANN, M., AUGÉ, H., BERGER, S., CESARZ, S., CIOBANU, M., GUERRERO-RAMIREZ, N., EISENHAUER, N., (2019):** The effect of drought and nutrient addition on soil organisms vary across taxonomic groups, but are constant across seasons.- *Scientific Reports* 9: 639, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36777-3>

**WENDLING, U., SCHELLIN, H.-G., THOMÁ, M. (1991):** Bereitstellung von täglichen Informationen zum Wasserhaushalt des Bodens für Zwecke des agrarmeteorologischen Beratung.- *Zeitschrift für. Meteorologie* 34: pp. 82-85

**WILD, M. (2009):** Global dimming and brightening: a review.- *Journal of Geophysical Research* 114: pp. D00d16, <https://doi.org/10.1029/2008JD011470>