

## Einfluss des Klimawandels auf den Bodenwasserhaushalt im mitteldeutschen Trockengebiet



# Lysimeterstation Brandis

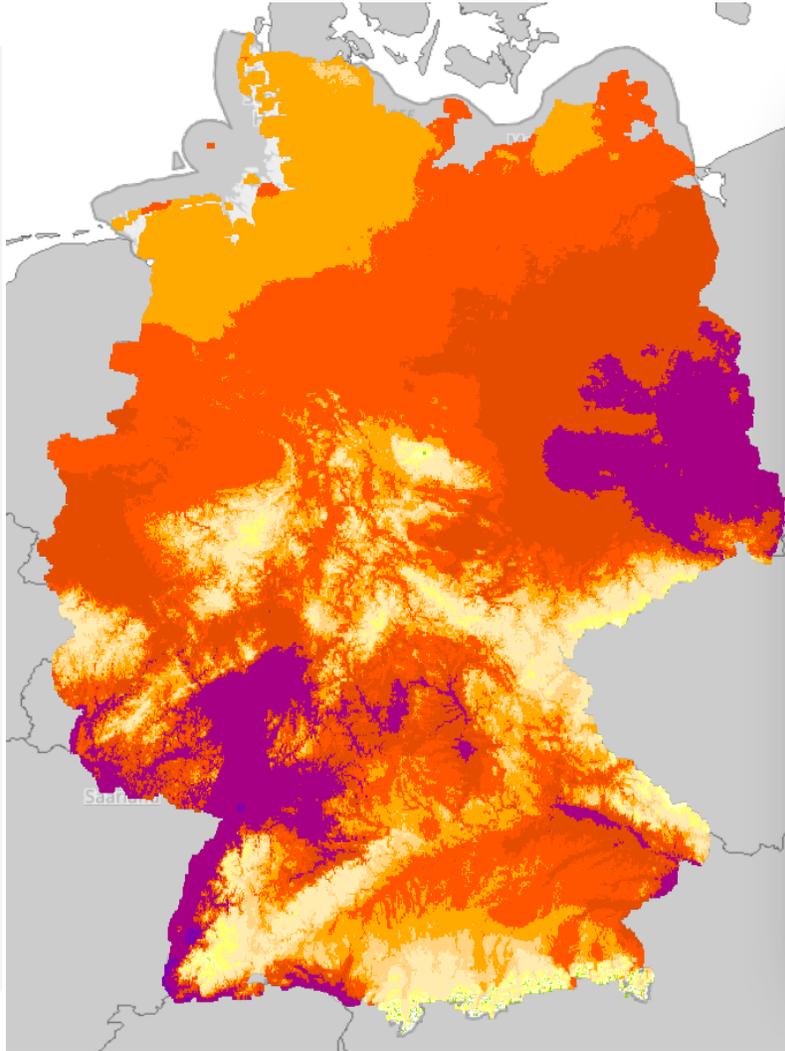
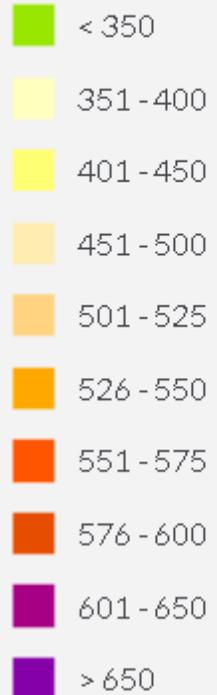
- | Nordwest Sachsen
- | kontinuierlicher Betrieb seit Nov. 1980
- | Rand des mitteldeutschen Trockengeb.



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

# Lysimeterstation Brandis

Verdunstungshöhe  
Gras  
Referenzverdunstung  
( $E_t0$ ) [mm]



Niederschlagshöhe [mm]

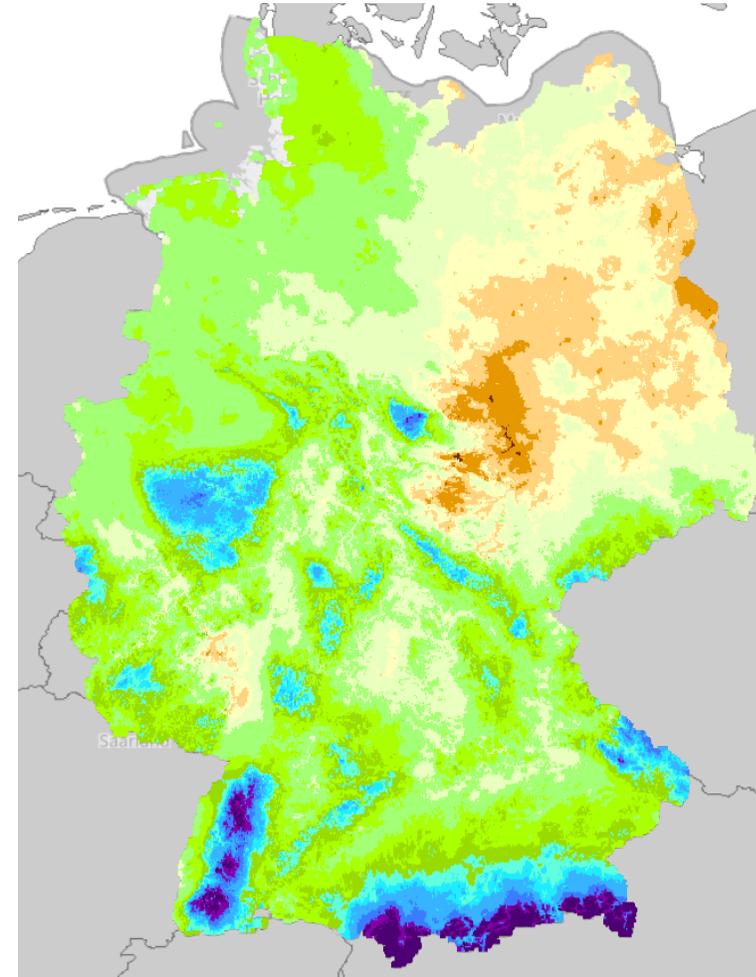
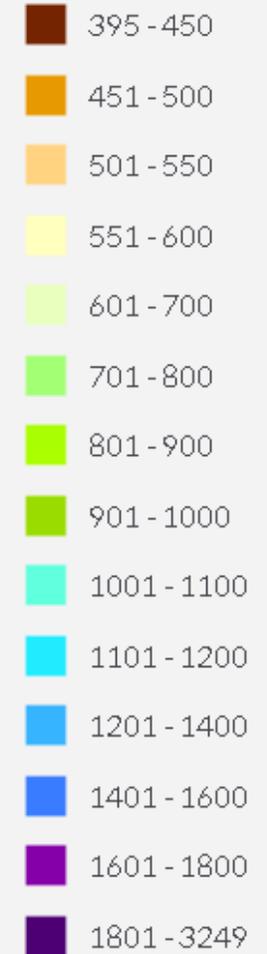
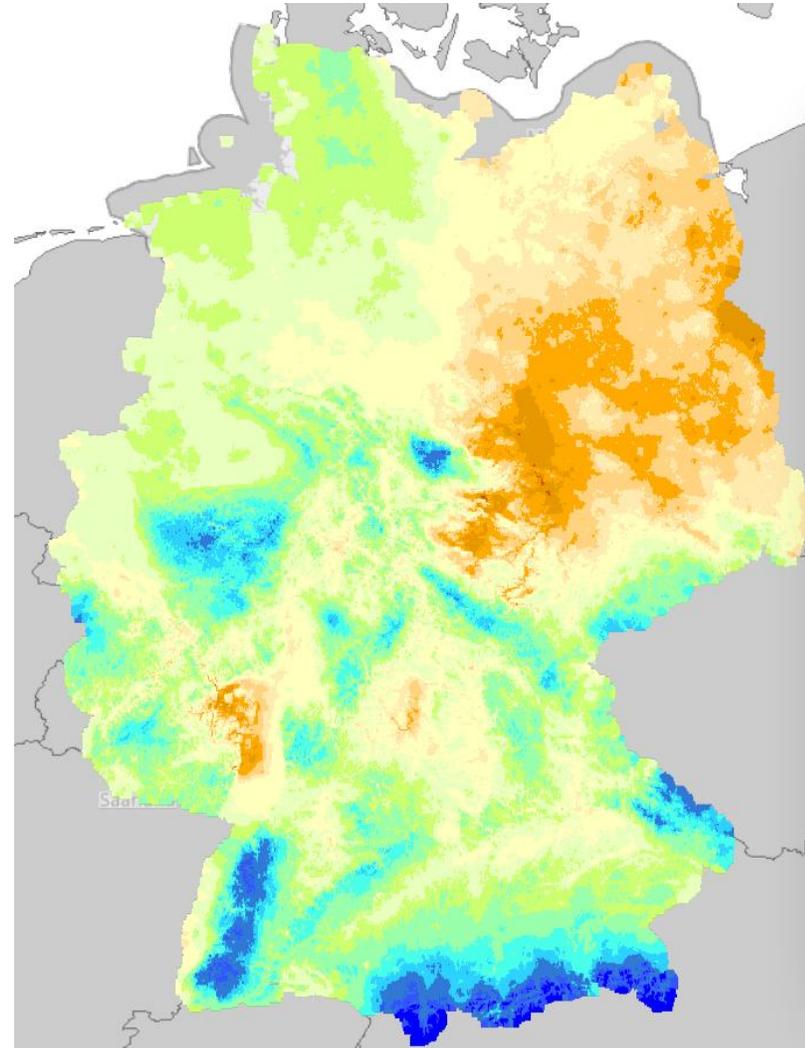
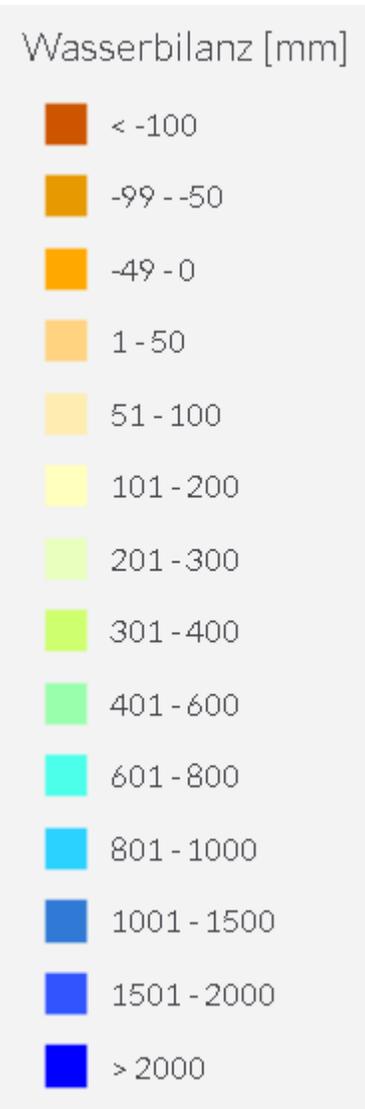


Abb. 2: mittlerer korrigierter Jahresniederschlag in Deutschland (Quelle: Hydrologischer Atlas Deutschland, BfG)

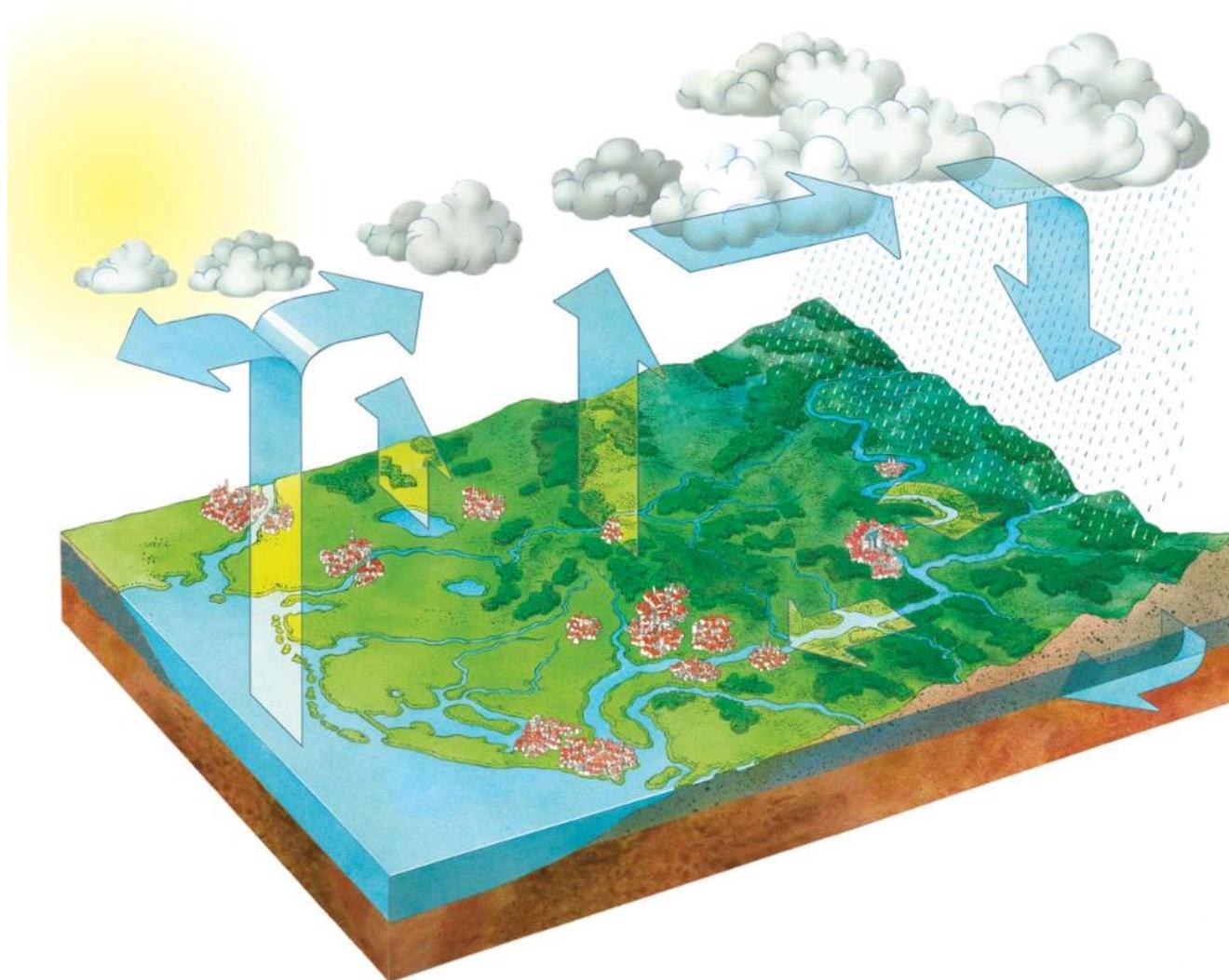
# Lysimeterstation Brandis



## Warum Lysimeter ?



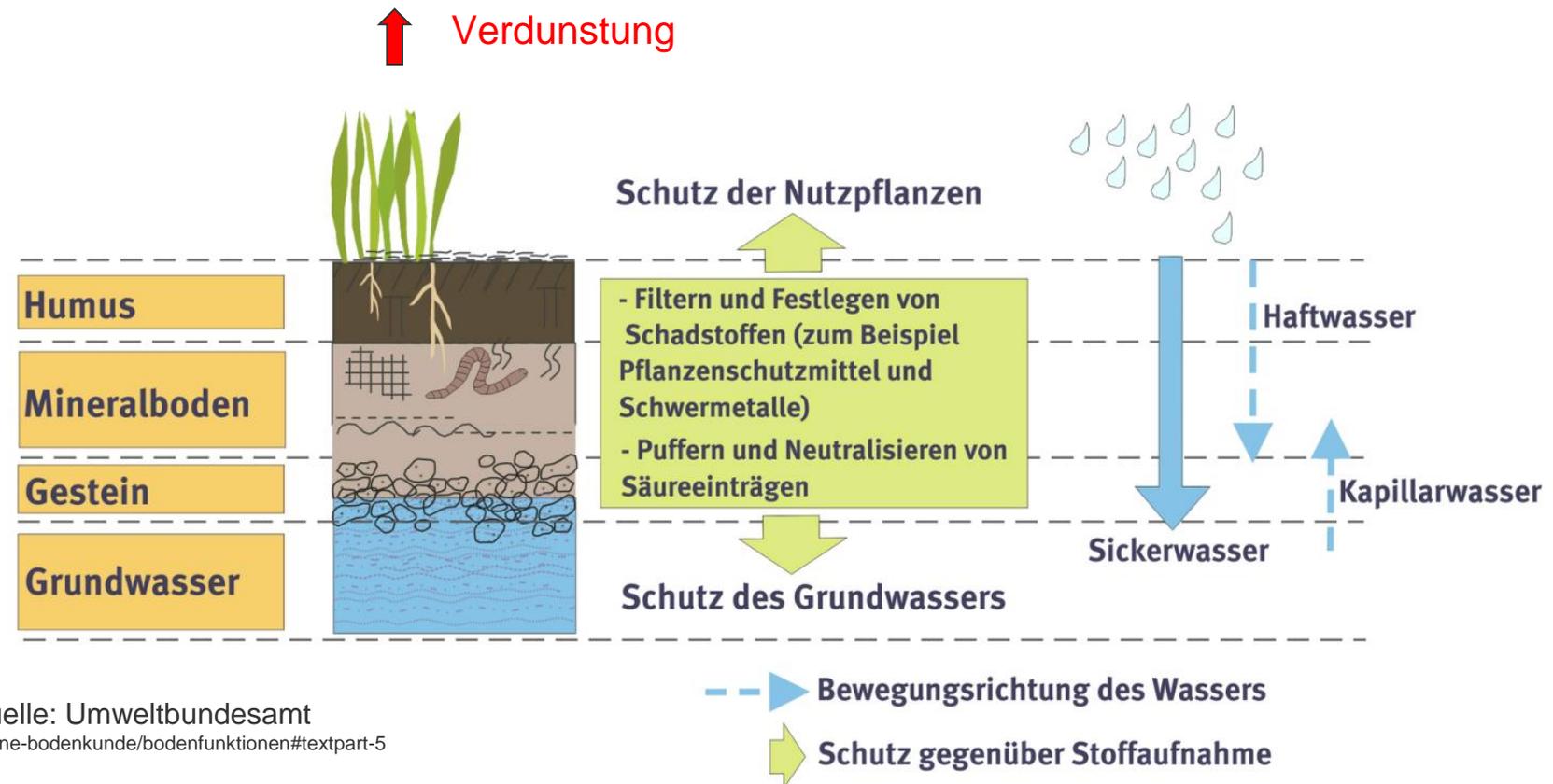
# Warum Lysimeter ?



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

# Warum Lysimeter ?

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



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

# 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



# 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

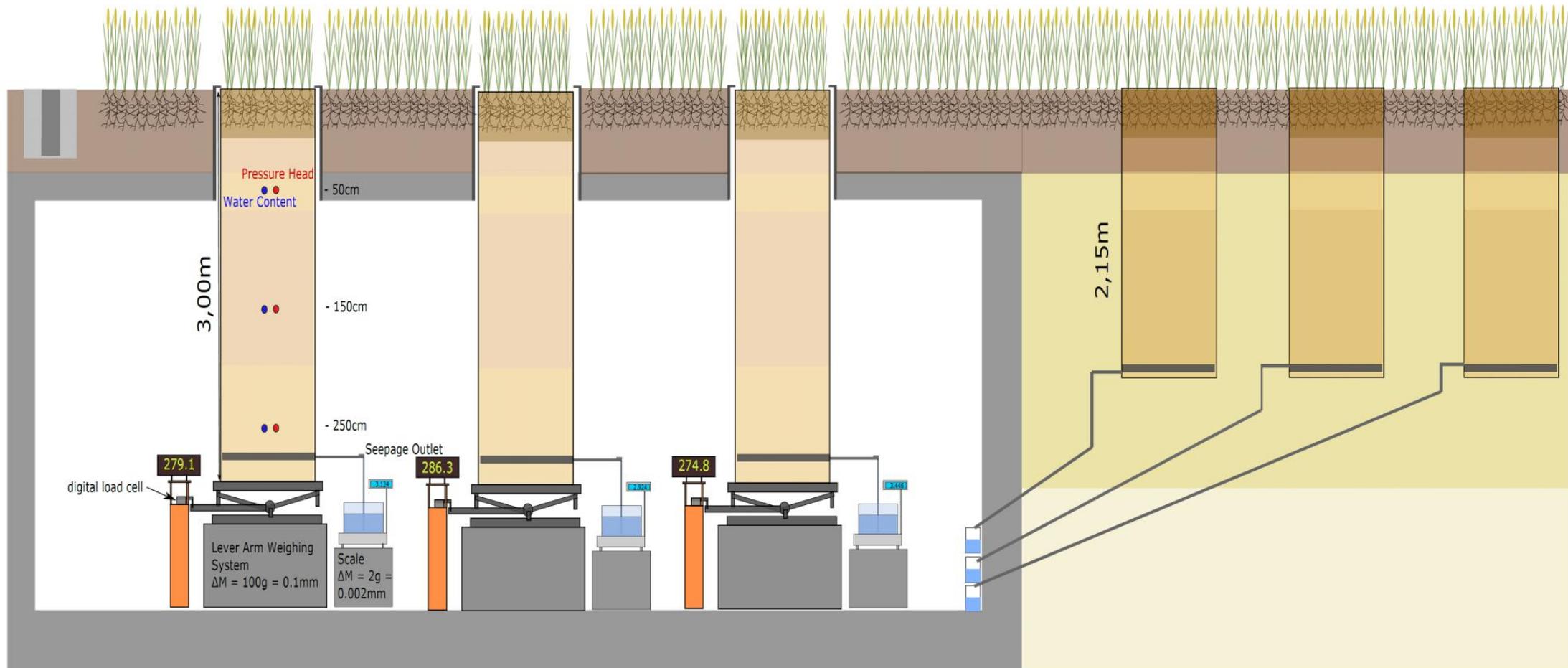


**Abb. 6:** Blick über das Lysimeterfeld mit Lysimetern im Vordergrund und Versickerungsmessern im Hintergrund

# Lysimeter

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

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



# Bewirtschaftungshistorie



# Bewirtschaftungsregime

Bewirtschaftungsform	intensive, konventionelle Bewirtschaftung	1980
Düngung	mineralisch & organisch	
Fruchtfolge	Hackfrüchte & Wintergetreide	
$N_{\text{Dep.}}$	49 kg/ha	
Bewirtschaftungsform	Flächenstilllegung & ökologischer Landbau	1992
Düngung	Stalldung & Leguminosen	
Fruchtfolge	Stilllegungsmaßnahmen anschl. ökologischer Landbau	
$N_{\text{Dep.}}$	29 kg/ha	
Bewirtschaftungsform	konventionelle Bewirtschaftung mit Düngebedarfsermittlung	1998
Düngung	mineralisch	
Fruchtfolge	Winterweizen und Winterraps, zunehmend Zwischenfrüchte	
$N_{\text{Dep.}}$	15 kg/ha	2019

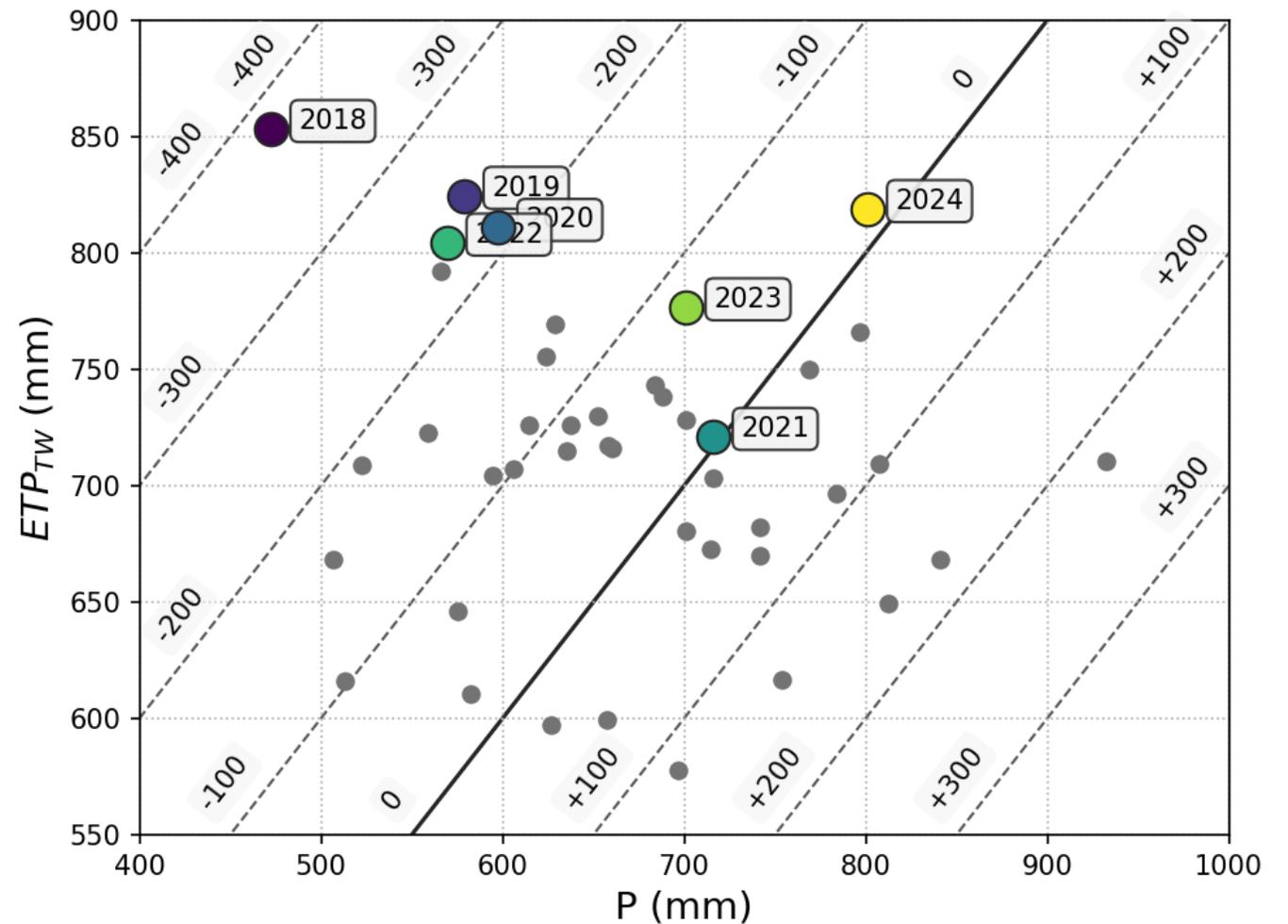
**Abb. 7:**  
Bewirtschaftungshistorie  
der Lysimeterstation  
Brandis

## 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**

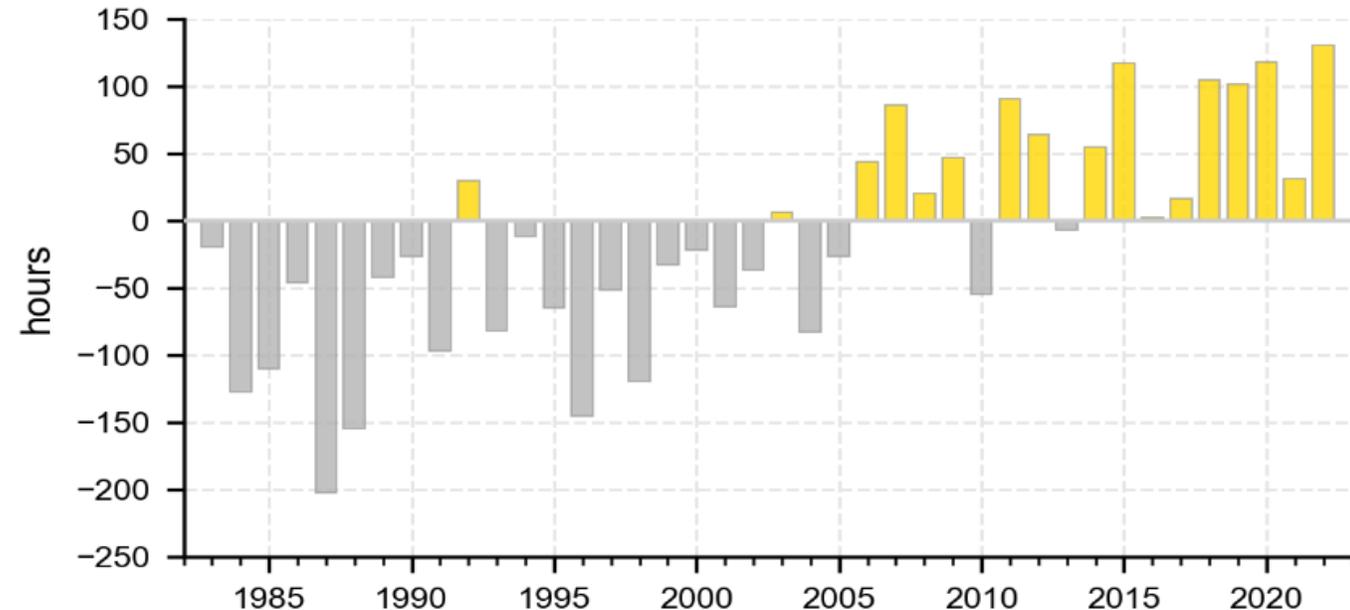


**Abb. 8:** Gegenüberstellung der jährlichen Einzelkomponenten Niederschlag und potentielle Evapotranspiration der klimatischen Wasserbilanz für den Standort Brandis der Jahre 1981 -2022

# Klimatische Randbedingungen

- I deutliche Temperaturzunahmen durch den Klimawandel
- I deutliche Zunahmen der Sonnenscheindauern durch:
  - I verbesserte Luftqualität (Wild, 2009) – „global brightning“
  - I zunehmend veränderte Zirkulationsmuster (Lüdecke et al., 2024)
- I Kombination beider Faktoren resultiert in deutlich gesteigener potentieller Evapotranspiration

**Annual sunshine duration anomalies for European land**



**Abb. 10:** Anomalie der Sonnenscheindauer in Europa (Quelle: EU Copernicus, <https://climate.copernicus.eu/esotc/2022/clouds-and-sunshine-duration>, Data source: SARAH-2.1 CDR/ICDR. Credit: EUMETSAT CM SAF)

# Klimatische Randbedingungen

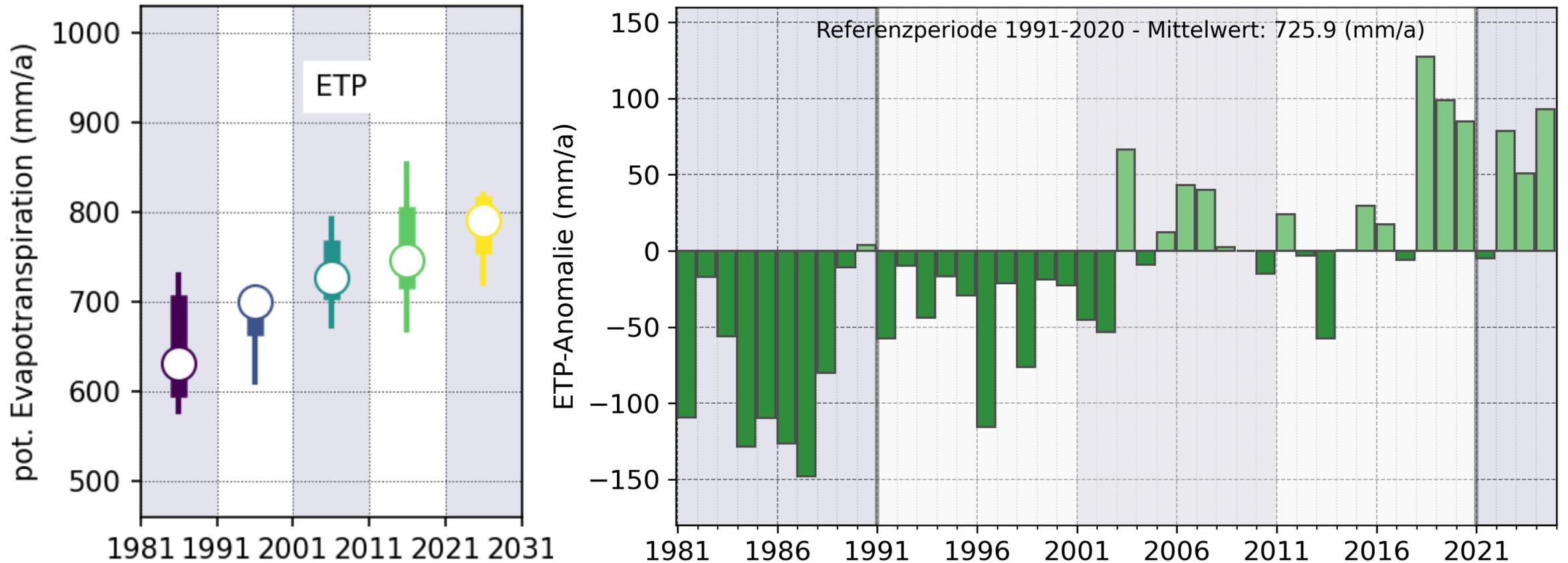


Abb. 11: Dekadenstatistik (links) und Anomaliedarstellung (rechts) der potentiellen Evapotranspiration (nach Turc-Wendling (1991)) für den Standort Brandis.

# Klimatische Randbedingungen

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

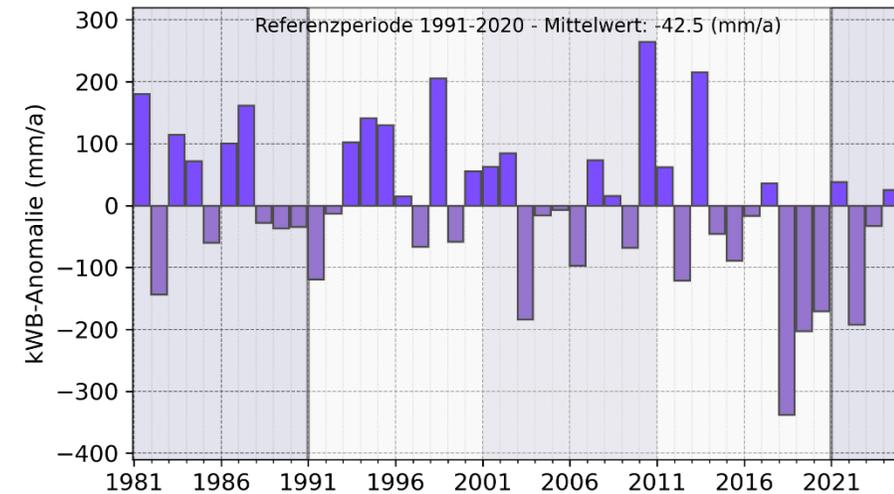
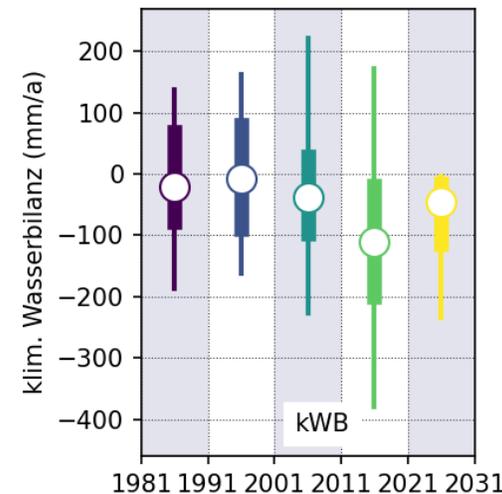
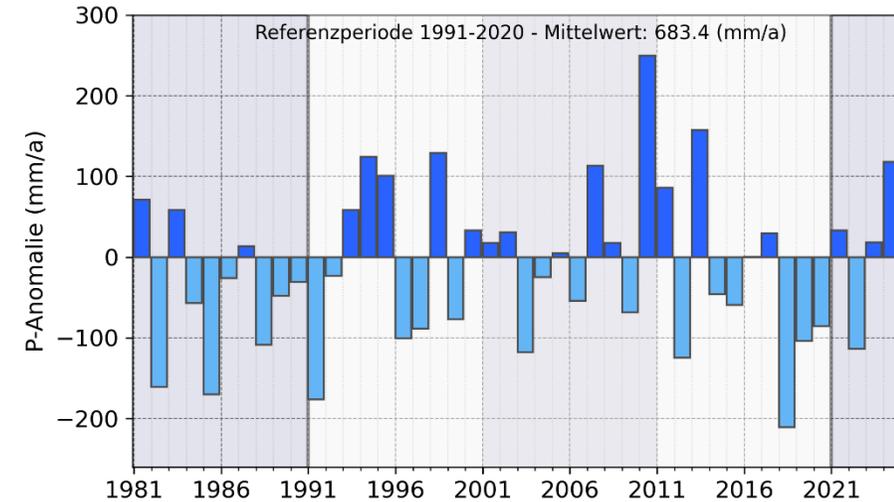
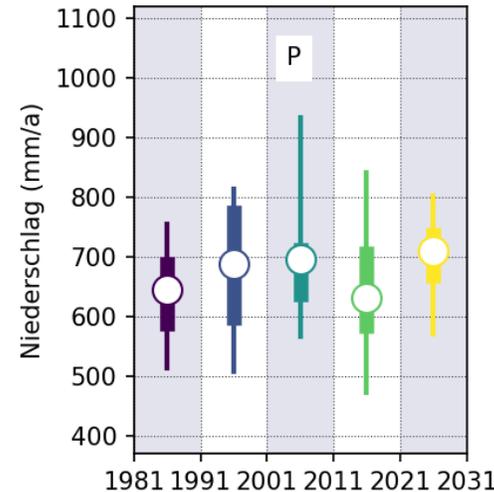


Abb. 12: Dekadenstatistiken und Anomaliedarstellung des Niederschlags (oben) und der klimatischen Wasserbilanz für den Standort Brandis.

## Wasserhaushalt



# Wasserhaushaltsbeobachtungen

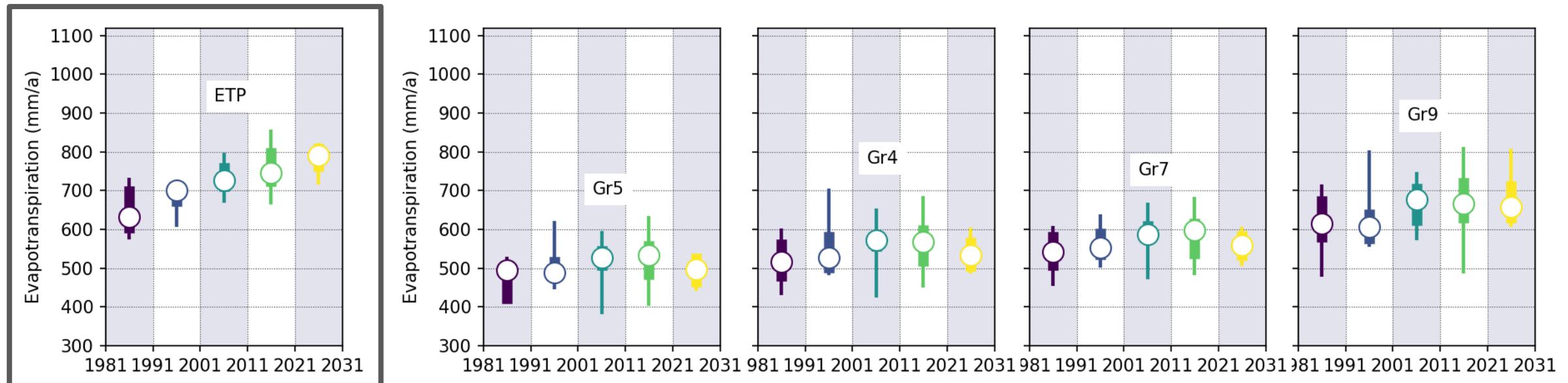
- I Reaktion des Standortwasserhaushaltes auf klimatische Shifts und Zunahme der Verdunstungsansprüche ist stark vom Bodenwasserspeichervermögen abhängig

**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[%]	$\overline{V}$ [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

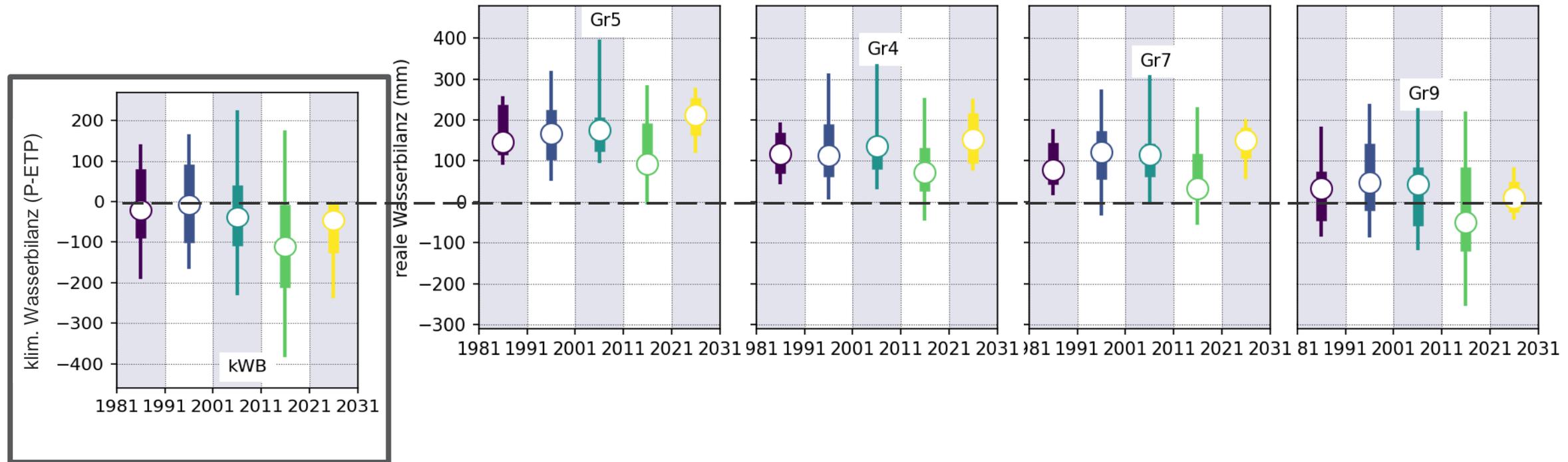
# Wasserhaushaltsbeobachtungen

- I Auswirkung auf Jahressummen der realen Evapotranspiration verschiedener Böden
- I reale Evapotranspiration folgt nicht den Zunahmen der ETP, da Bewirtschaftungseffekte und Wasserlimitierung wichtige Faktoren darstellen



# Wasserhaushaltsbeobachtungen

- reale Wasserbilanz auf fast allen Böden durchweg positiv, Ausnahme schwere Lößböden mit  $nFK_w > 200\text{mm}$
- reale WB mit erheblichen Unterschieden zur kWB, da Bewirtschaftungseffekte und Wasserlimitierung entscheidend



# Wasserhaushalt

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

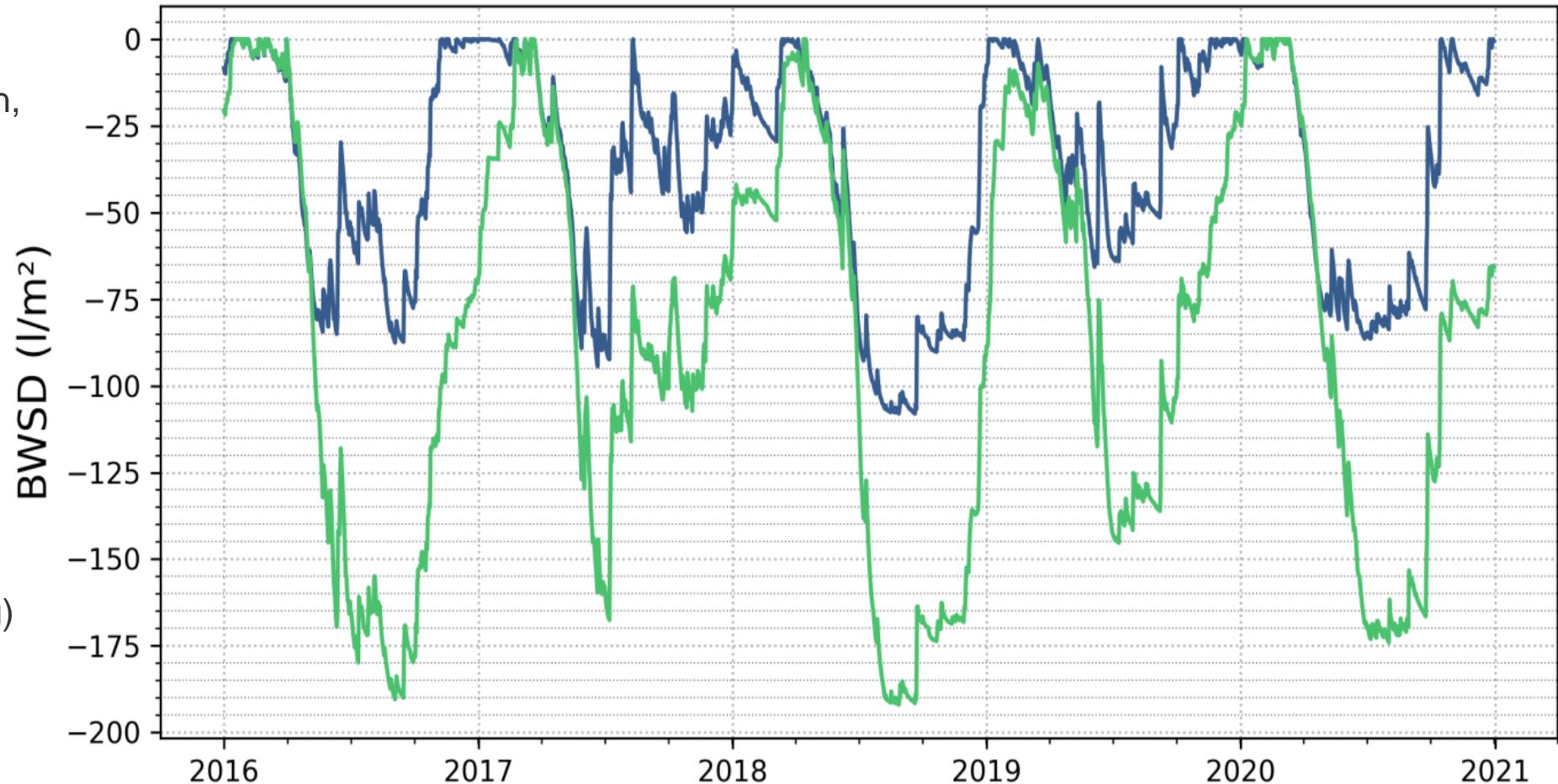
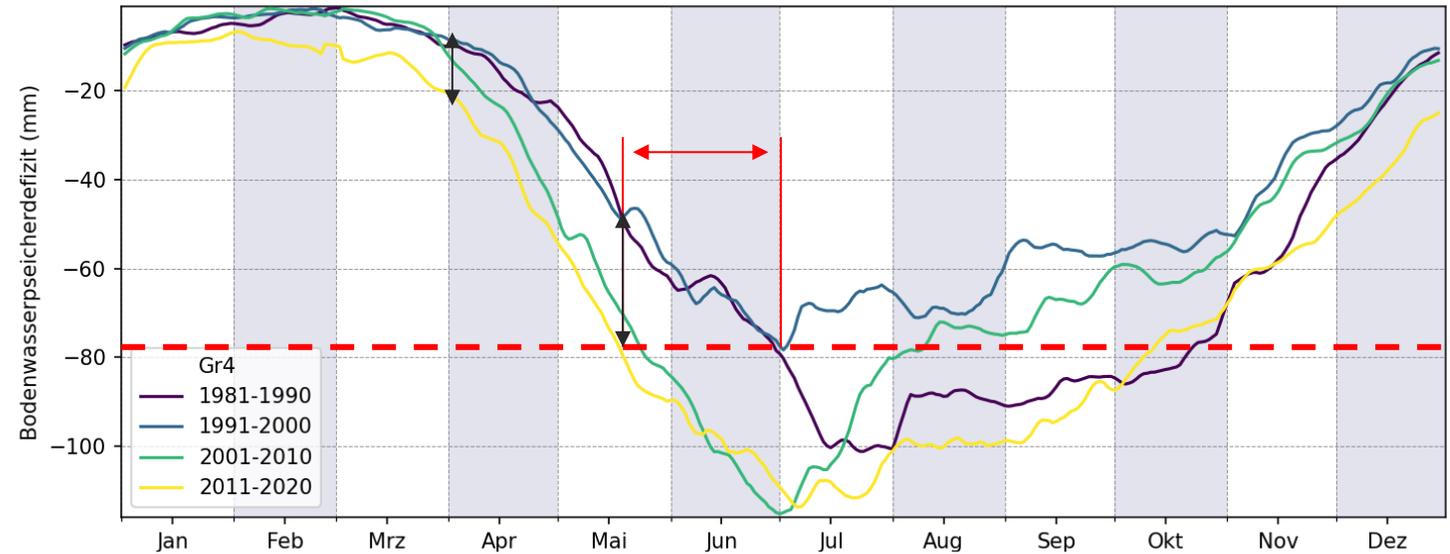


Abb. 15: Verlauf des täglichen Bodenwasserspeicherdefizits für zwei ausgewählte Böden im Zeitraum 2016 - 2021

# Wasserhaushalt

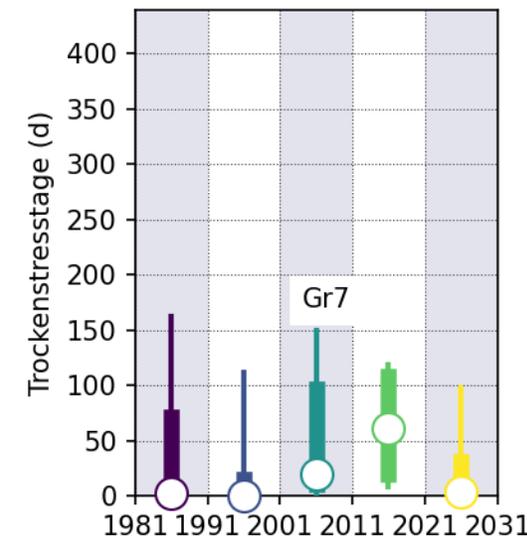
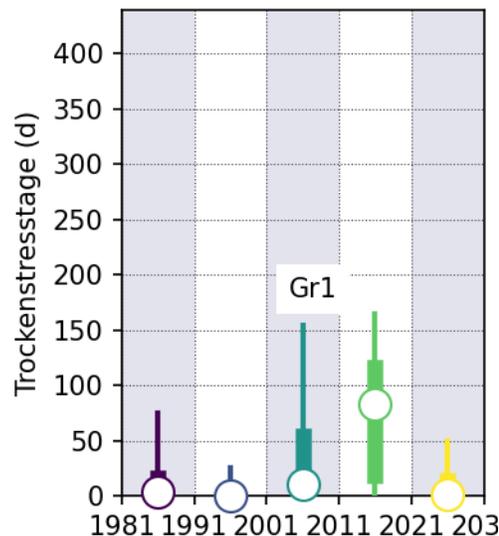
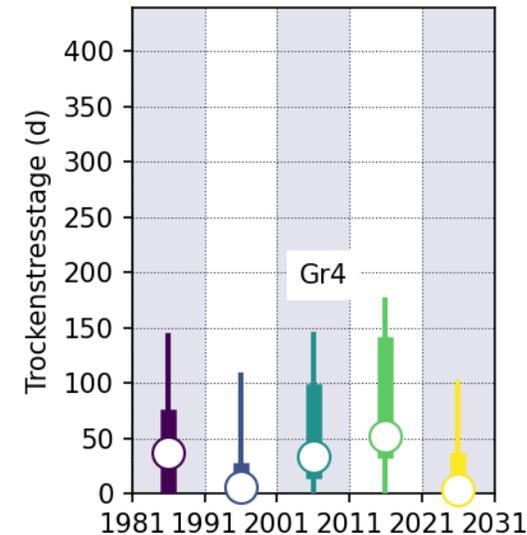
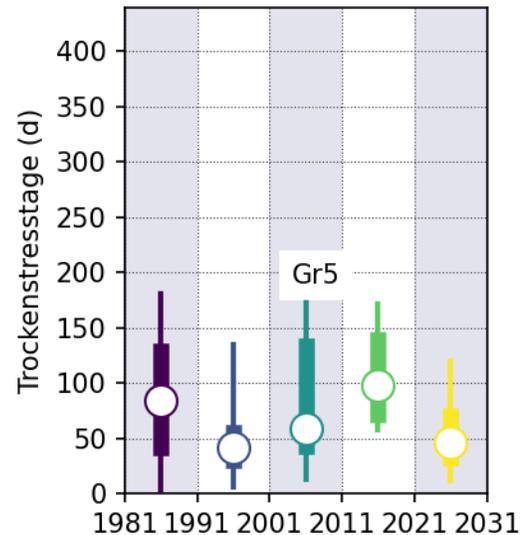
- I Auswirkung auf das mittlere Bodenwasserspeicherdefizit verschiedener Böden
- I Zunahmen der mittleren Defizite ab der 2. Dekade
- I auf leichten (5 & 4) und mittleren (7) Böden kaum noch Steigerungen der mittleren Defizite möglich
- I relevante Ausschöpfungen treten bereits früher im Jahr auf
- I Ausschöpfungen erfolgen schneller



**Abb. 16:** mittlere Jahresverläufe des Bodenwasserspeicherdefizit für 2 verschiedene Bodengruppen der Brandiser Lysimeter

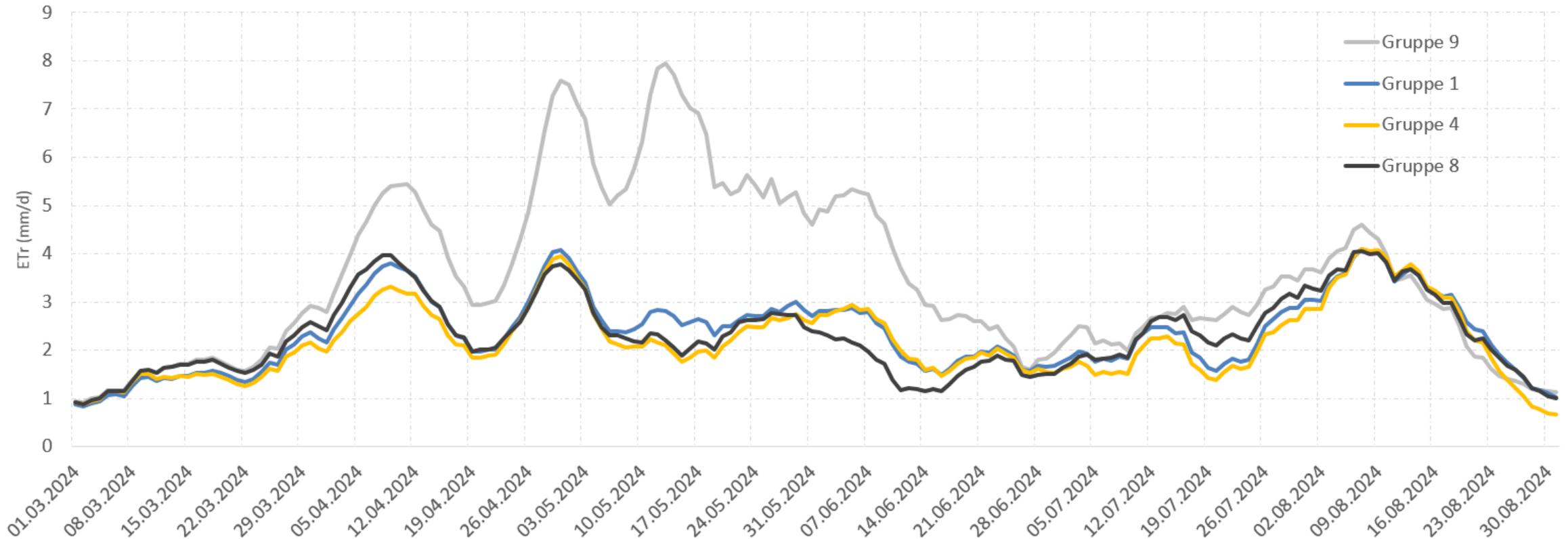
# Wasserhaushalt

- I Anzahl Trockenstresstage in einem Jahr
- I Trockenstresstag wenn Bodenwasserspeicher <  $\frac{1}{4}$  nFK
- I auf leichten (5 & 4) bereits früher problematisch, da Bodenwasserspeicher sehr gering
- I auf mittleren Böden (1 & 7) zunehmend problematisch
- I in richtigen Dürrejahren ist Maß nicht sensitiv, da Vegetation vertrocknet bevor Wurzeln kompletten Wurzelraum erschließen können



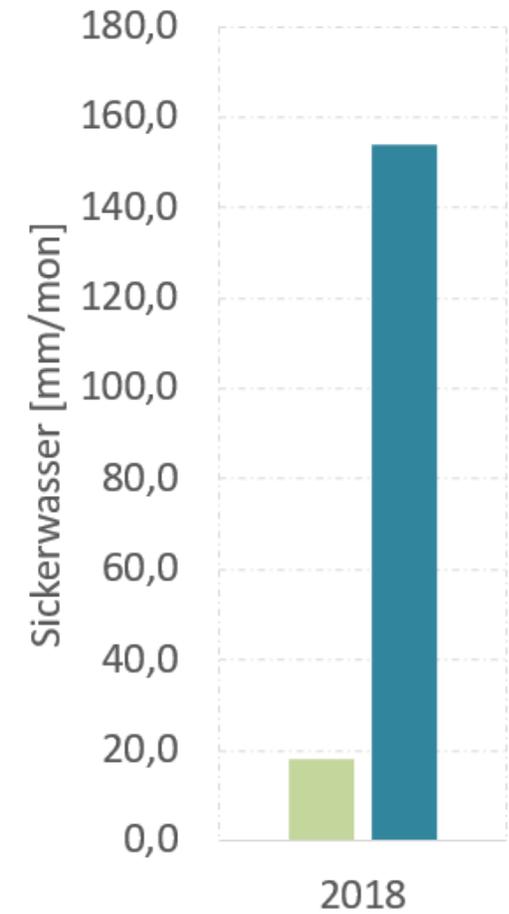
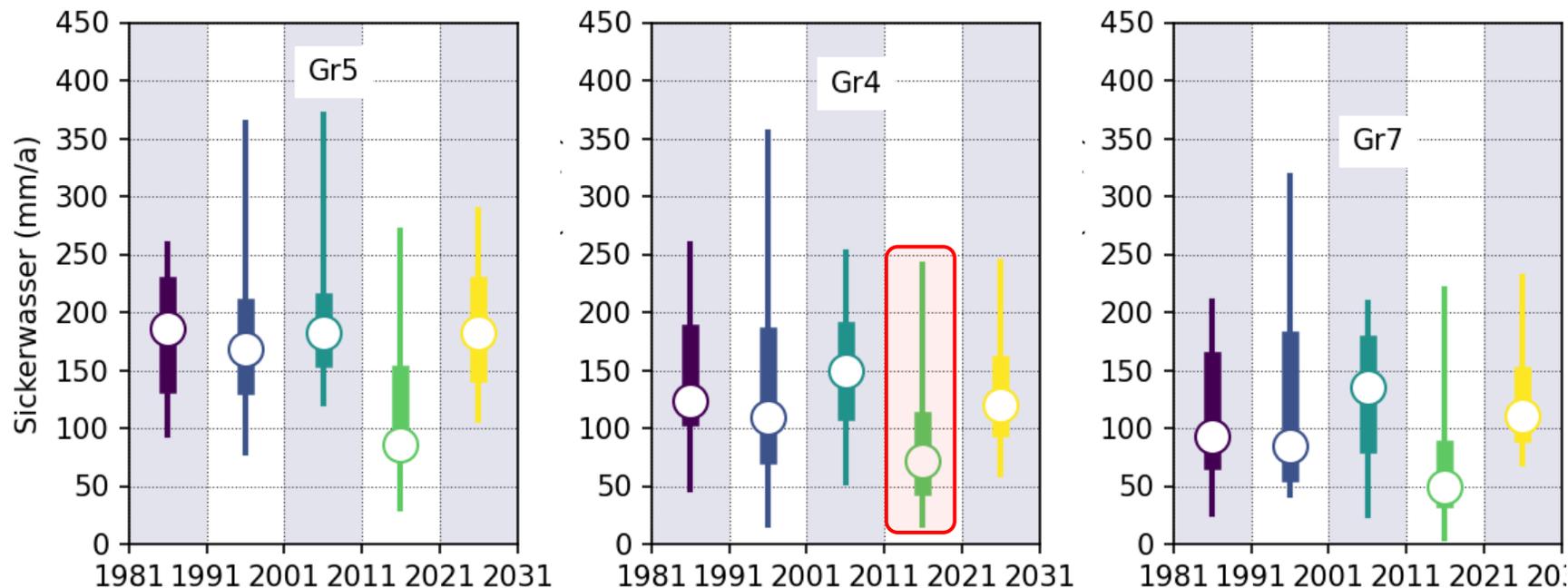
**Abb. 17:** Dekadenstatistiken der Trockenstresstage in einem Jahr für verschiedene Böden, Trockenstresstage sind definiert als Tage an denen der Bodenwasserspeicher <  $\frac{1}{4}$ nFK ist

# Untersuchungsergebnisse - Evapotranspiration



# Wasserhaushaltsbeobachtungen

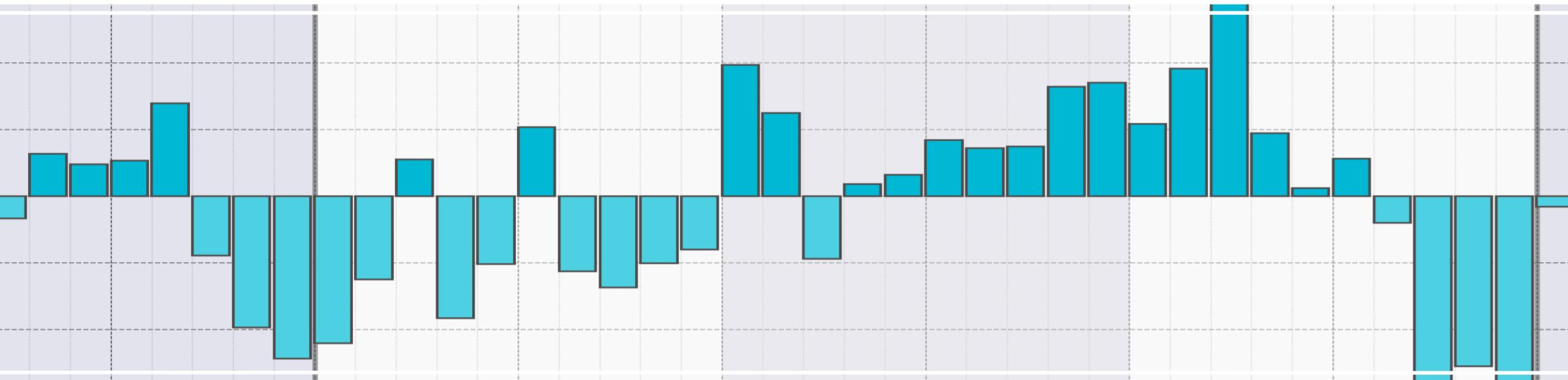
- | trotz negativer kWB auf allen Böden Sickerwasserbildung zu beobachten:
  - | limitierte Bodenwasserspeicherdefizite der Böden im Sommer
  - | Ausnahme: tiefenentwickelte Lößböden (Gr. 9)
- | Dekade 2011 – 2020 enthält Bewirtschaftungsartefakt: Sickerwasserminderung durch Zwischenfruchtanbau (Meyer et al., 2019; Spiess et al., 2011)



# 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)

## Klimawandel – Erwartungen an den Wasserhaushalt



# Klimawandel

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

## Temperatur

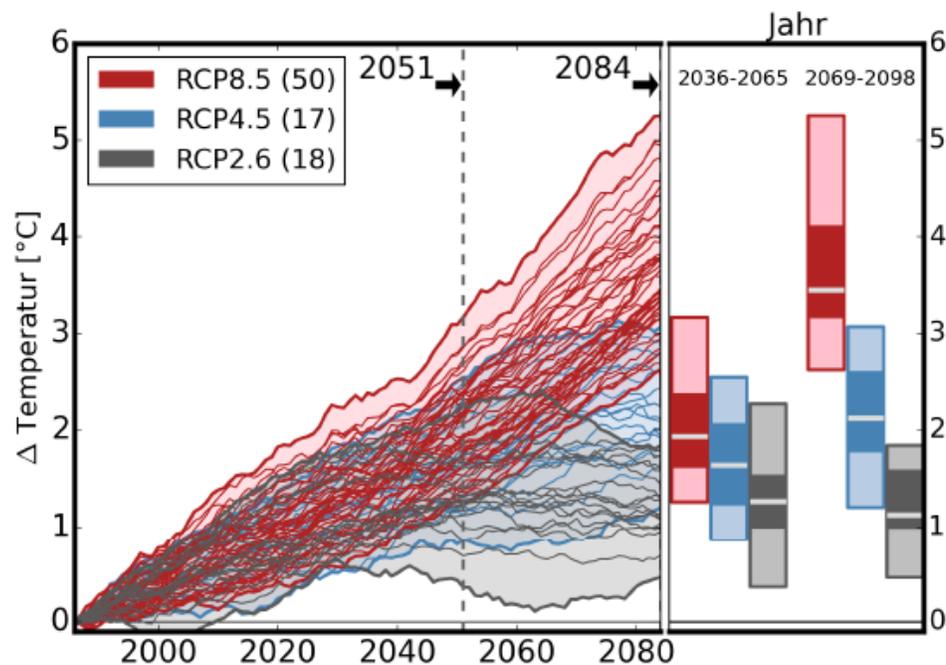


Abb. 19: Projizierte Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen (links) und der jahreszeitlichen Mitteltemperaturen (rechts) für verschiedene RCPs für die Region Süd-Leipzig (Quelle: Climate Service Center Germany (GERICS), [www.climate-service-center.de](http://www.climate-service-center.de))

# Klimawandel

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

## Niederschlag

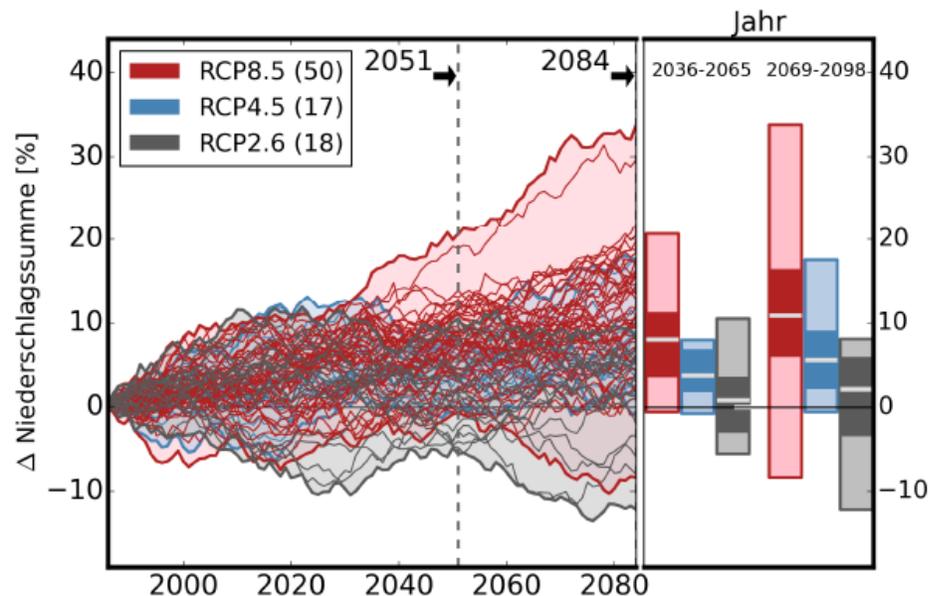


Abb. 20: Projizierte Entwicklung der Jahresniederschlagssummen (links) und der jahreszeitlichen Niederschlagssummen (rechts) für verschiedene RCPs für die Region Süd-Leipzig (Quelle: Climate Service Center Germany (GERICS), [www.climate-service-center.de](http://www.climate-service-center.de))

# Wasserhaushaltsreaktionen auf Extreme

- I Analyse Trockenperiode 2014-2020 (LfULG 2024)
- I übermäßige potentielle Verdunstungsansprüche können auf leichten und mittleren Böden nicht erfüllt werden
  - I zeitige Zehrung des verfügbaren Bodenwasserspeichers
  - I massiver Trockenstress bereits in zeitigen Entwicklungsstadien
- I Kippverhalten in realer Verdunstung:
- I stark überdurchschnittliche ETP resultiert in unterdurchschnittlicher ETr

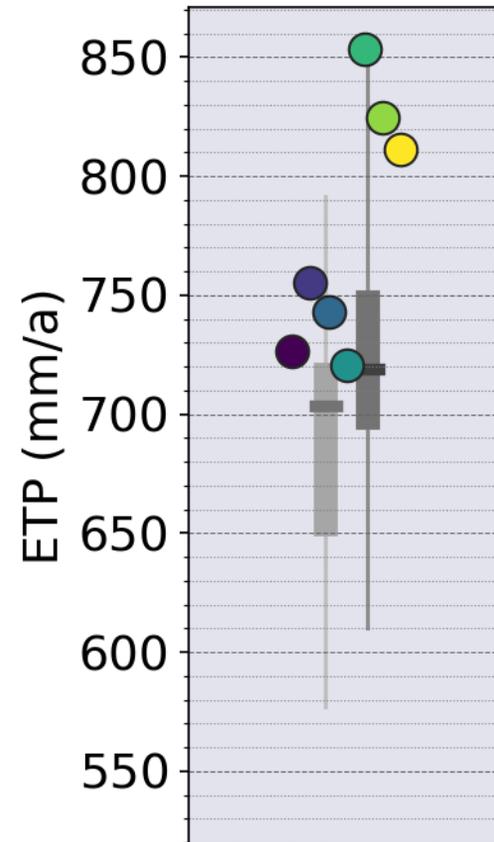


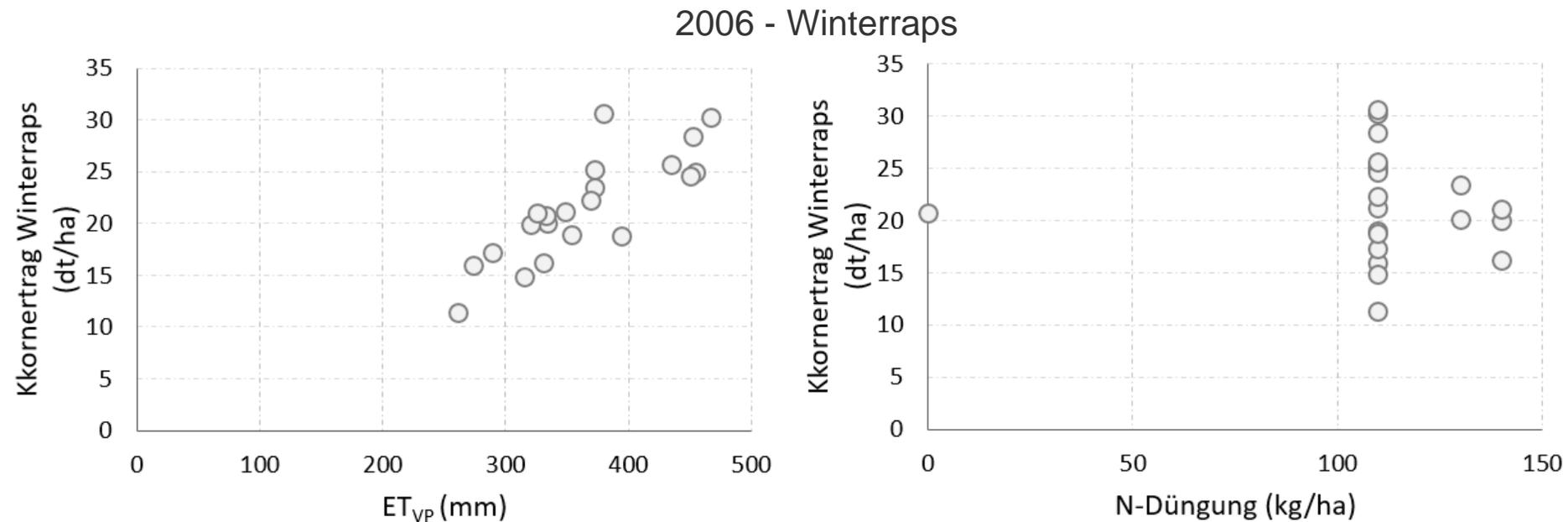
Abb. 21: Jahreswerte der potentiellen Verdunstung (links) und beobachteter realer Verdunstungen der „Trockenjahre“ 2014- 2020 am Standort Brandis, mit Darstellung der Statistiken der Referenzperioden 1981-2010 und 1991 -2020 für 4 Pedohydrotope

# 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 mitteldeutschen Trockengebiet ist von erschwerten Anbaubedingungen auszugehen
  - | Zunahme (Länge, Intensität, Häufigkeit) der Dürreperioden erwartet!
  - | durch Beobachtungen gedeckt

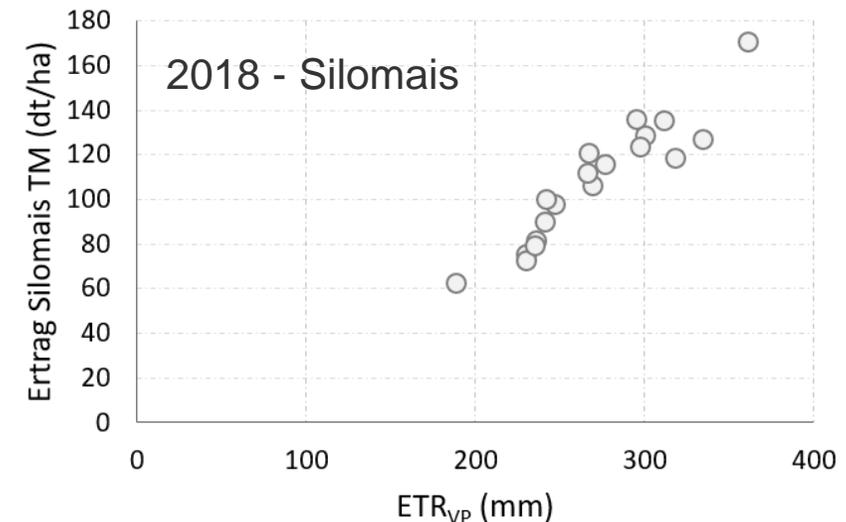
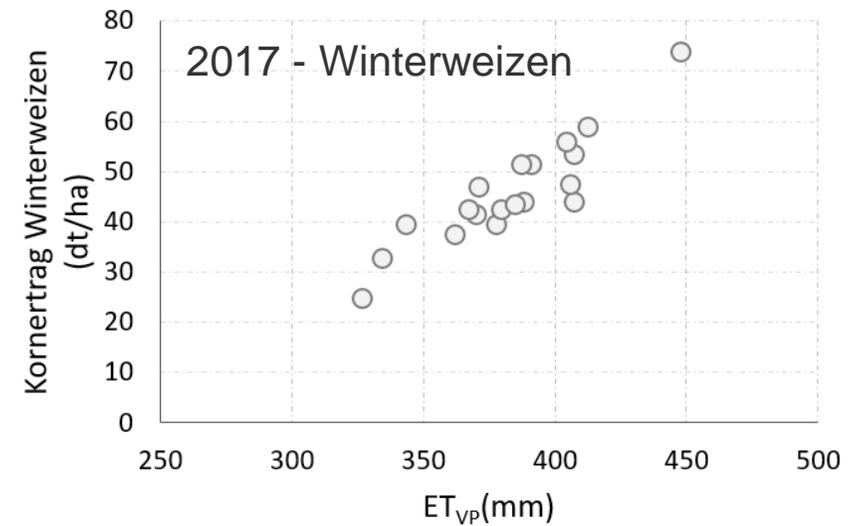
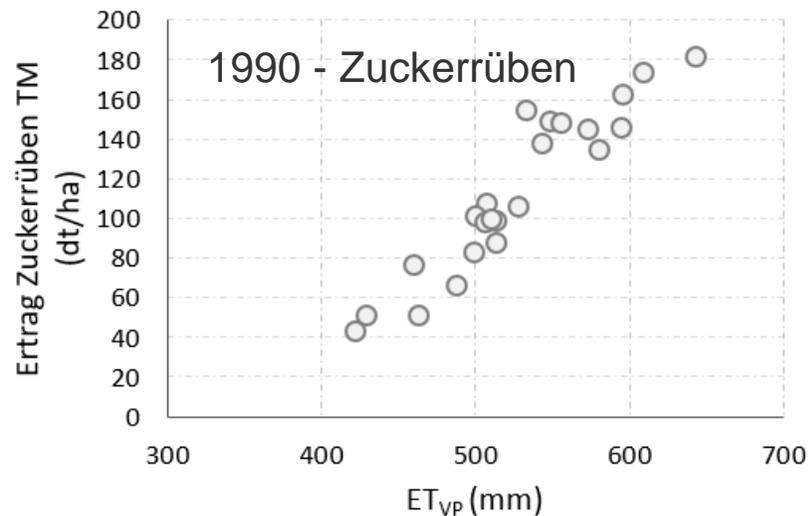
# Klimawandel und Landwirtschaft

- Vegetation wird zeitiger im Jahr und in früheren Wachstumsstadien in 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



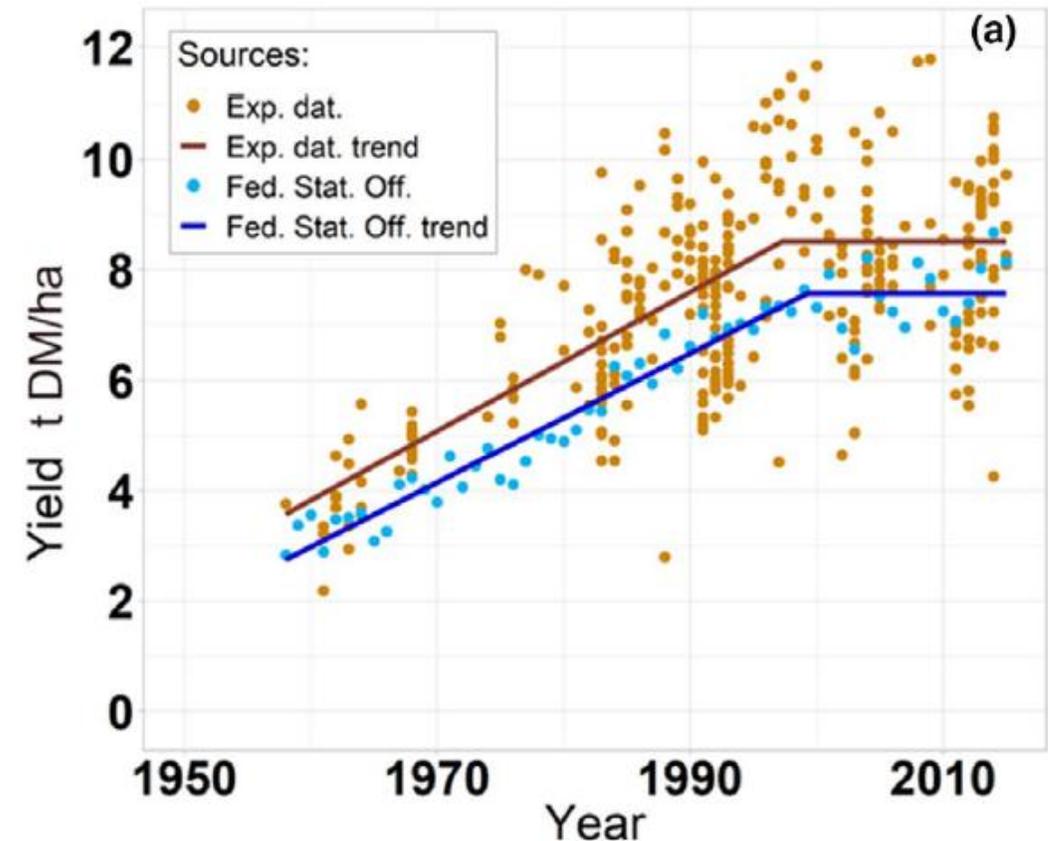
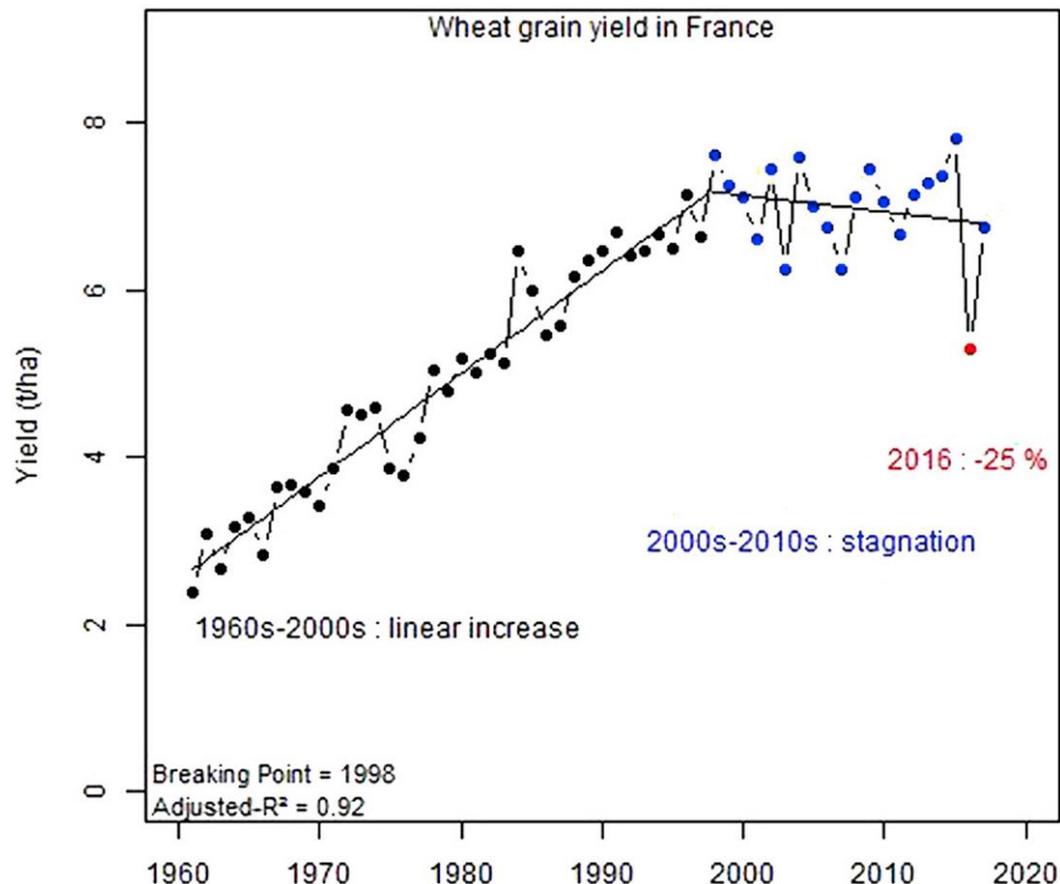
# Klimawandel und Landwirtschaft

- Wasserverfügbarkeit als maßgeblicher Effekt lässt sich in nahezu allen Kulturen beobachten
- auch in vermeintlich feuchteren Jahren ein wesentlicher Effekt für Ertragsbildung
- Wasserlimitierung wird immer stärkeres und verbreitetes Problem



# Klimawandel und Landwirtschaft

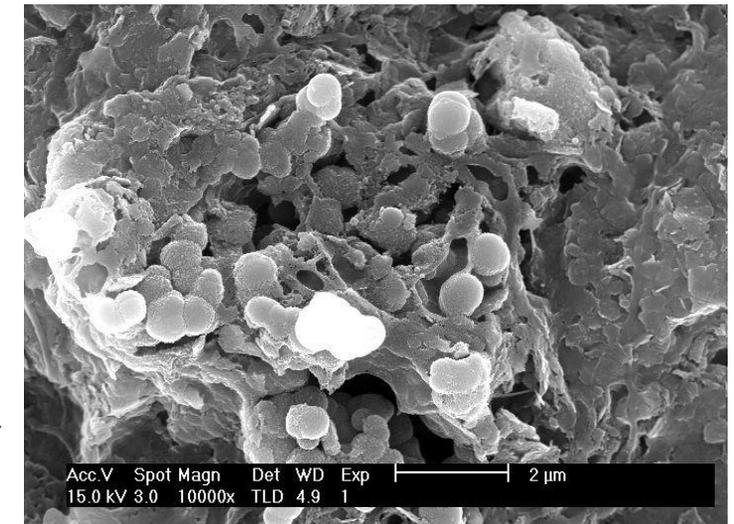
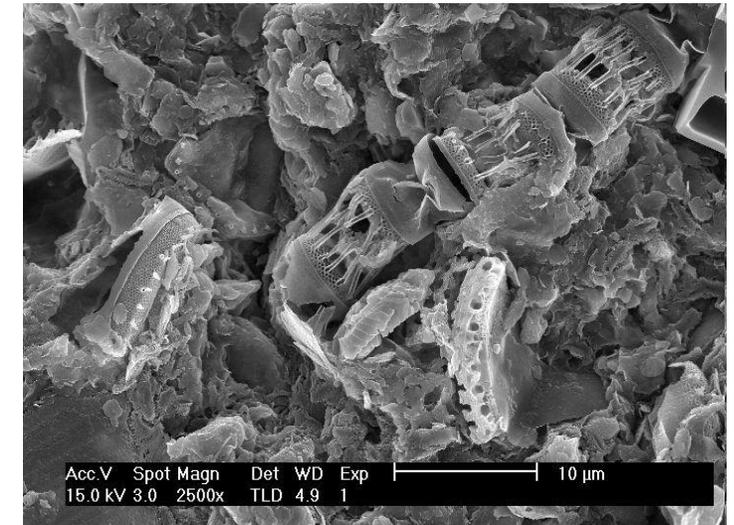
- Klimawandel induzierter Trockenstress (und Hitzestress) nimmt bereits heute großskaligen Einfluss auf die Entwicklung von Ernteerträgen: Entwicklung von Weizenerträgen in Frankreich (links) und Deutschland (rechts), zunehmende Klimaeffekte als Hauptgründe (Le Guis et al, 2018; Bönnecke et al., 2020)



# 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),
  - | auf die mikrobiellen Bodenorganismen wirken und deren Zusammensetzung verändern (Siebert et al., 2019)
- | Verwertbarkeit von Düngegaben wesentlich von Wasserverfügbarkeit gesteuert wird (Düngezeitpunkte?)

**Abb. 23:** 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

- I Herausforderungen für Landwirtschaft im Klimawandel:
  - I **Erhalt** und Steigerung des **Wasserspeichervermögens** von Böden
  - I **Erhalt des Infiltrationsvermögens** (Wasserspeicherung und Erosionsschutz)
  - I längere Mineralisierungsphasen durch längere Vegetationsperioden und Brachezeiten von Böden vermeiden
    - I → erhöhtes Nährstoffverlustpotential (C/N)
  - I **Erhalt der Nährstoffe und Nährstoffkreisläufe** unter trockeneren Sommern und nasserem Wintern
- I **Adaption von Anbausystemen** an trockenere Bedingungen in VP
- I **Anpassung von Düngestrategien** (Gabenteilungen und Zeitpunkte) an sich verändernde Bodenwasserhaushaltsbedingungen



Abb. 24: 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>

**BÖNECKE, E., BREITSAMETER, L., BRÜGGEMANN, N., et al. (2020):** Decoupling of impact factors reveals the response of German winter wheat yields to climatic changes. – *Global Change Biology* 26: 3601 – 3626, <https://doi.org/10.1111/gcb.15073>

**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>

**Le Gouis, J., Oury, F., Charmet, G., (2020):** How changes in climate and agricultural practices influenced wheat production in Western Europe, *Journal of Cereal Science* (93) – 102960, <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102960>

**Lüdecke, HJ., Müller-Plath, G. & Lüning, S. (2024):** Central-European sunshine hours, relationship with the Atlantic Multidecadal Oscillation, and forecast. *Sci Rep* 14, 25152 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73506-5>

**MEYER, N., BERGEZ, JE., CONSTANTIN, J. JUSTES, E. (2019):** Cover crops reduce water drainage in temperate climates: A meta-analysis. In: *Agronomy for Sustainable Development* 39, <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0546-y>

**SIEBERT, J., SÜNNEMANN, M., AUGE, 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>

**SPIESS, E., PRASHUHN, V., STAUFFER, W. (2011):** Einfluss der Winterbegrünung auf Wasserhaushalt und Nitratauswaschung, 14. Gumpensteiner Lysimetertagung, S. 149 – 154, ISBN: 978-3-902559-61-6 [https://raumberg-gumpenstein.at/jdownloads/Tagungen/Lysimetertagung/Lysimetertagung\\_2011/2I\\_2011\\_spiess.pdf](https://raumberg-gumpenstein.at/jdownloads/Tagungen/Lysimetertagung/Lysimetertagung_2011/2I_2011_spiess.pdf)

**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>