

Einfluss des Klimawandels auf Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung im mitteldeutschen Trockengebiet — aktuelle Beobachtungen und zukünftige Herausforderungen



Werisch, S., Tiedke, A., Winkler, A.

Kooperation
Lysimeter



Lysimeterstation Brandis

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



Abb. 2: Lage der Lysimeterstation Brandis in Sachsen (links), sowie Blick über das mit Winterweizen bestellte Lysimeterfeld im Februar 2019

Warum Lysimeter ?



Warum Lysimeter ?

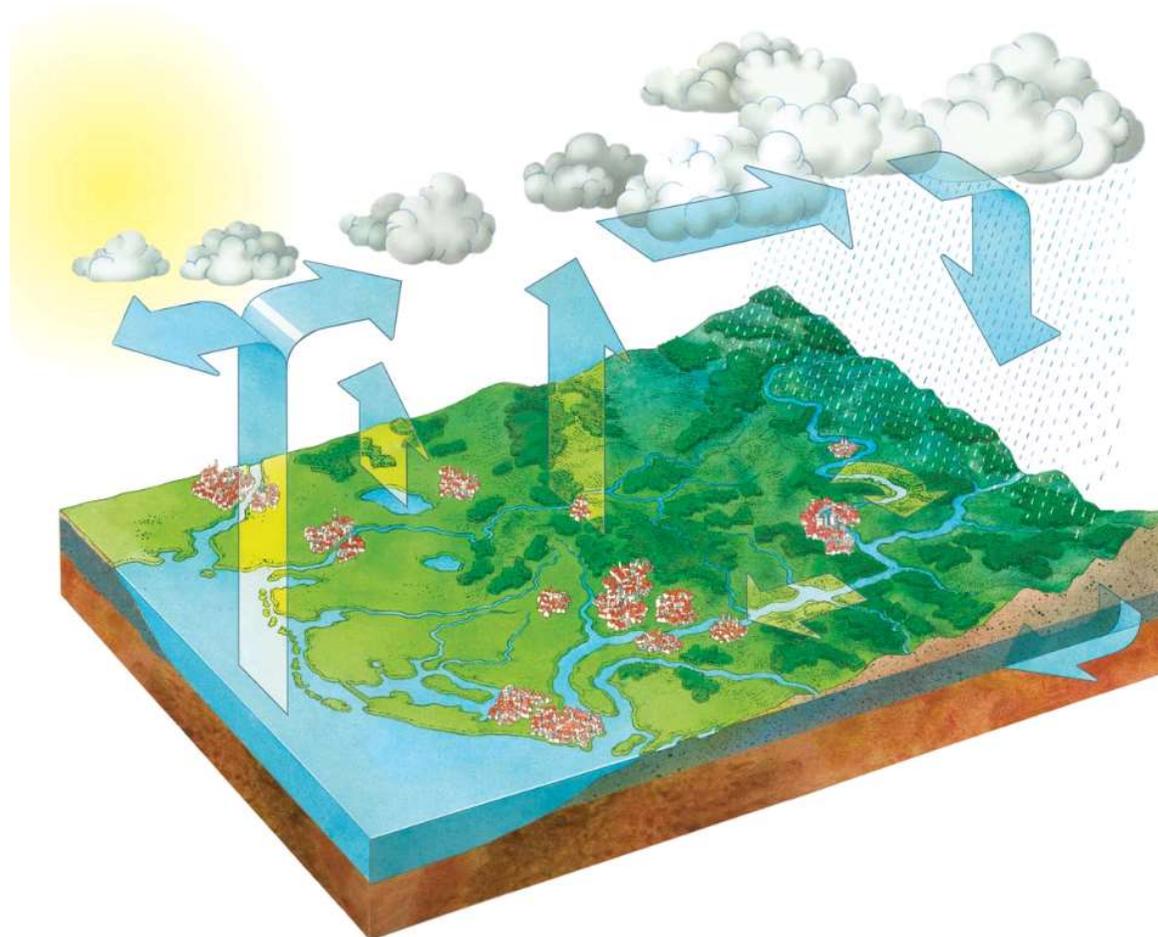
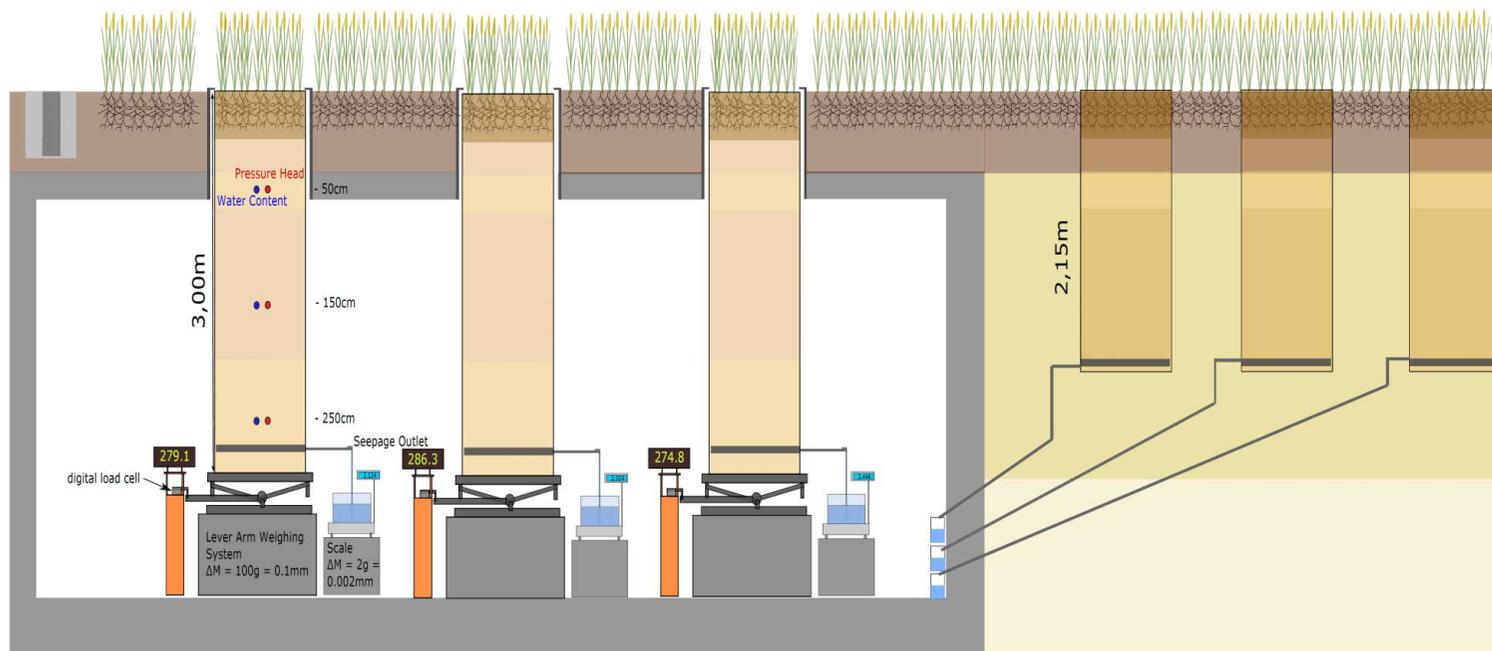


Abb. 4:
Schematische
Darstellung des
Wasserkreislaufs

Untersuchungsansatz

- Jeder Bodentyp durch 2-3 Lysimeter (und 3 Versickerungsmesser) repräsentiert
- 1 Lysimeter jeder Gruppe ist zusätzlich mit Sensorik zur Erfassung der Wassergehalte, Saugspannung und Bodenwassergewinnung ausgestattet (0.5m, 1.5m, 2m)

A =
1m²



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



Funktionsprinzip

- 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 und Gewässertage ?

- █ Jahressumme des Abflusses ist in wesentlichen Teilen Deutschlands sehr direkt mit dem Grundwasser verbunden:
 - █ Gebiete mit Basisabflussindex > 0.6 enge Kopplung
- █ künftige Abflussentwicklung in diesen Gebieten wird direkt von der Entwicklung der GWN abhängen

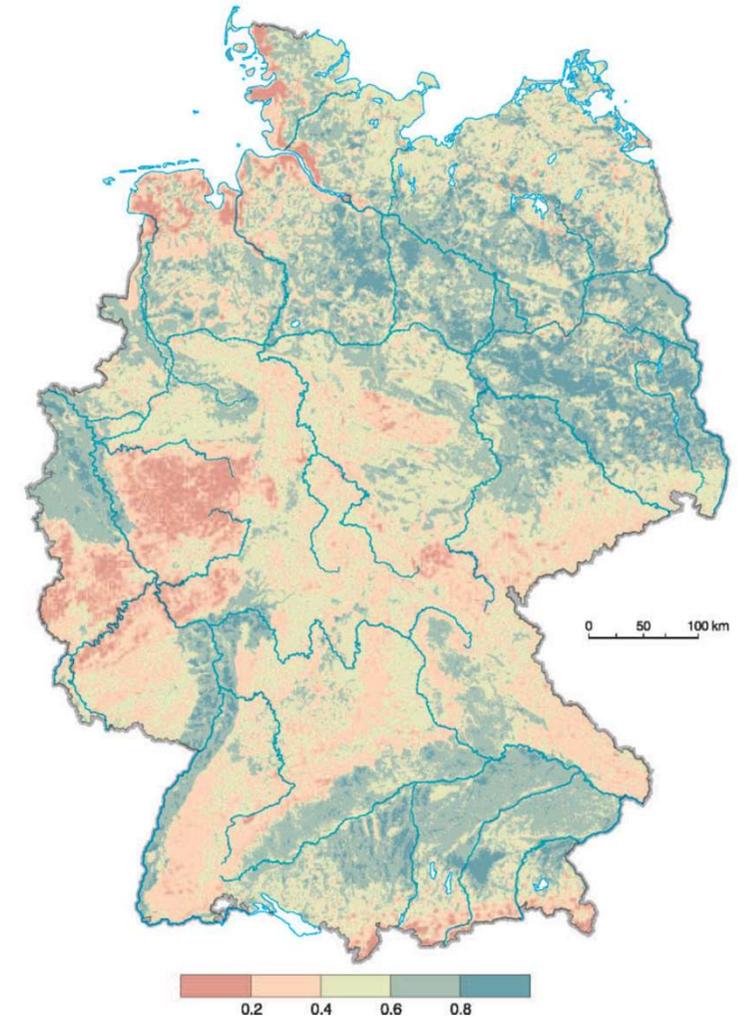
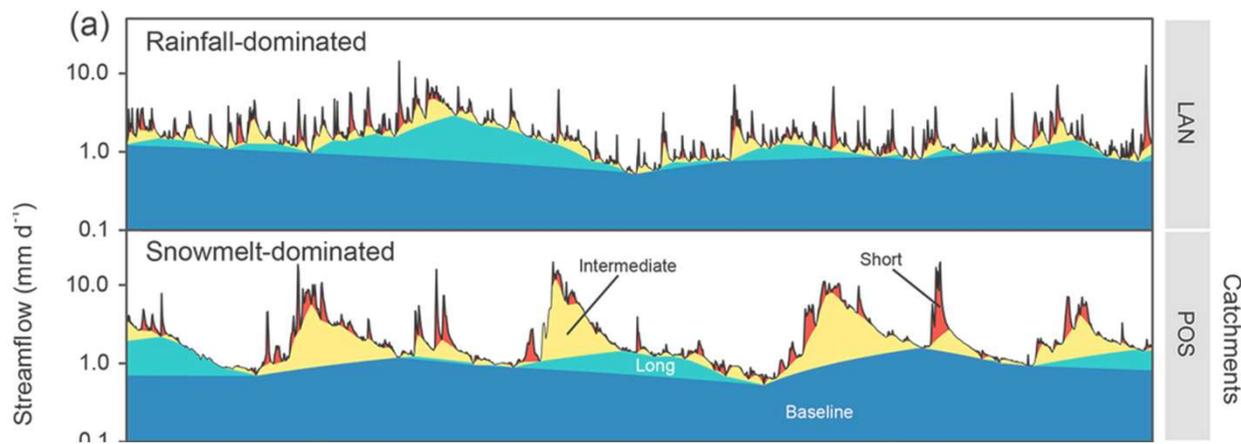


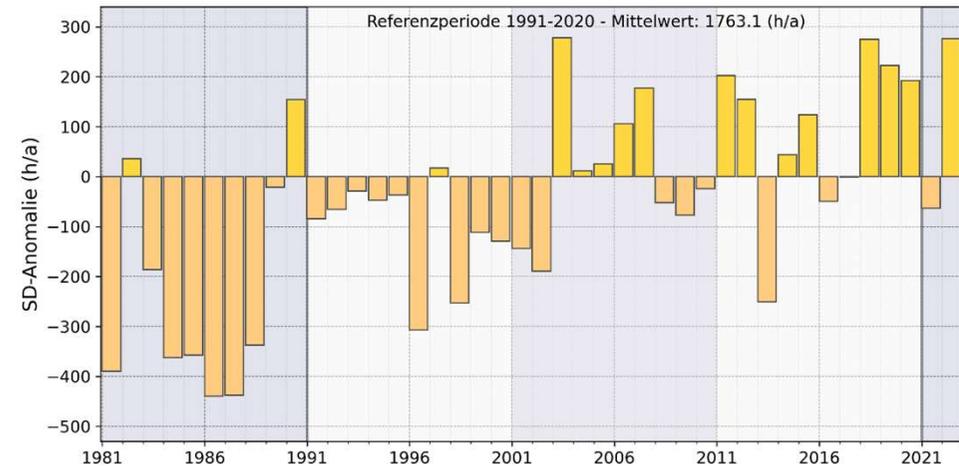
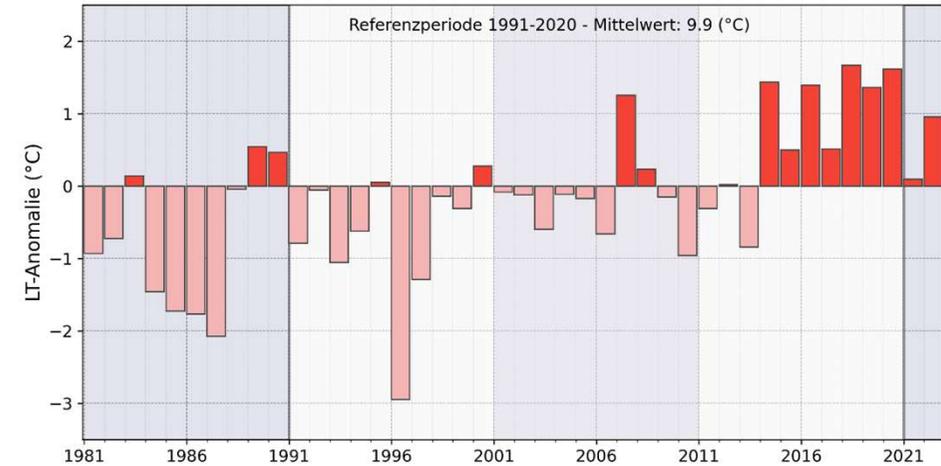
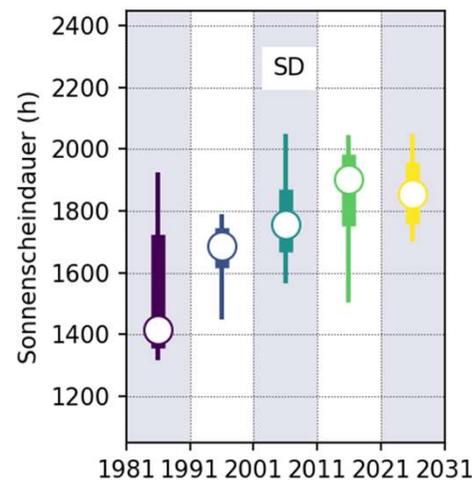
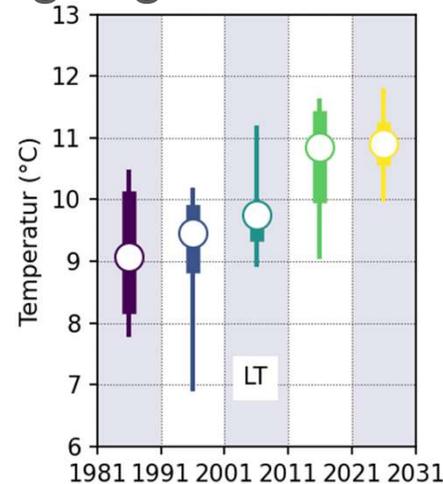
Abb. 6: Ganglinienseparation für 2 Schweizer Einzugsgebiete (oben, Quelle: Stoelze et al., 2020). Rechts: Schätzung des Anteils des Basisabflusses (Grundwasser) am Gesamtabfluss für (Quelle: Hydrologischer Atlas Deutschland (HAD), BafG, <https://geoportal.bafg.de/dokumente/had/55GroundwaterRecharge.pdf>)

Klimatische Randbedingungen

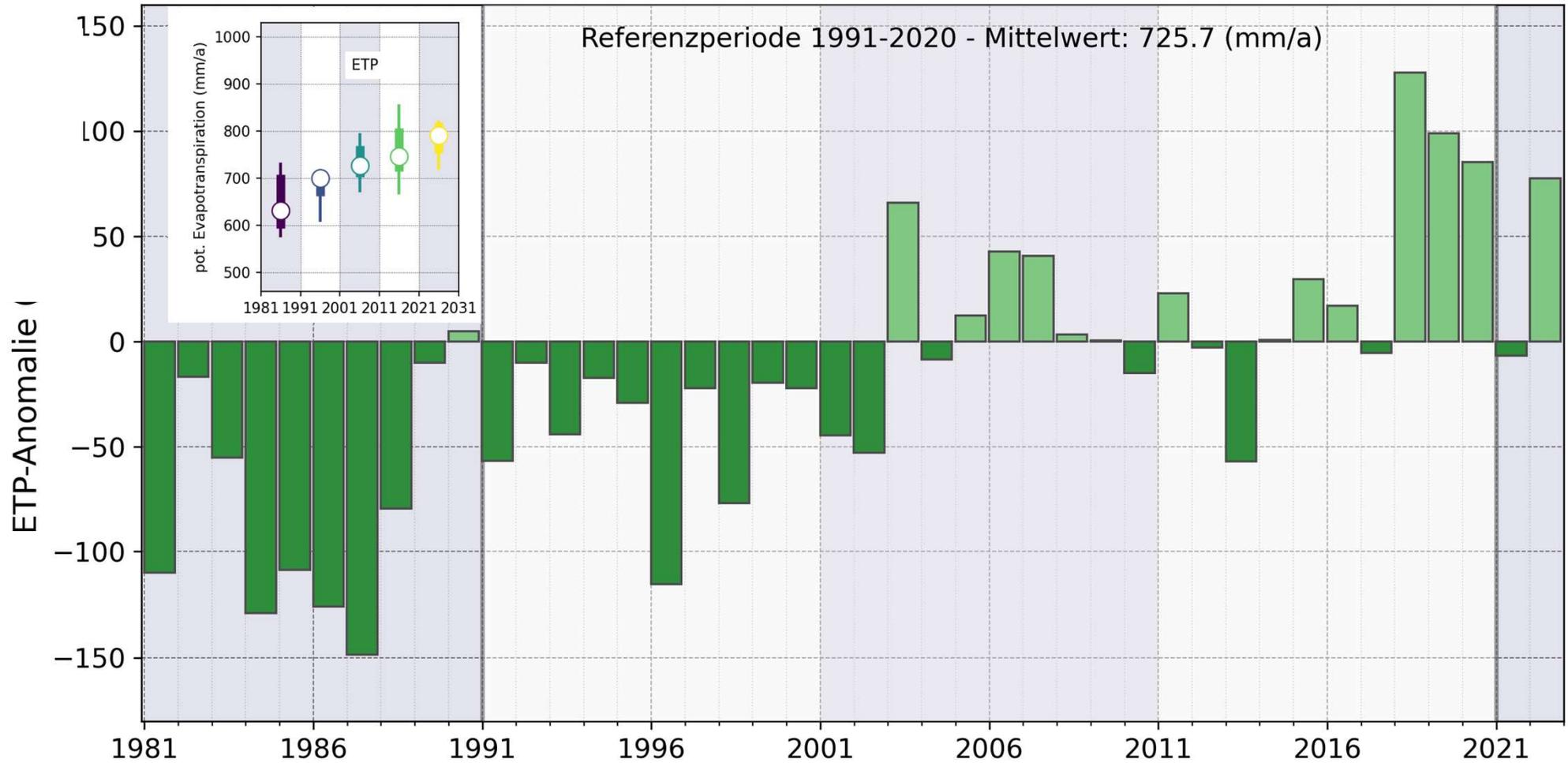


Klimatische Randbedingungen

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

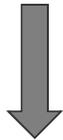


Klimatische Randbedingungen

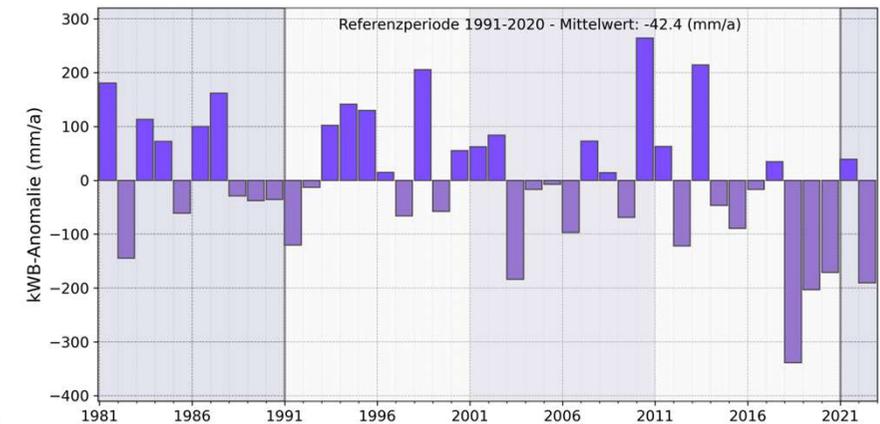
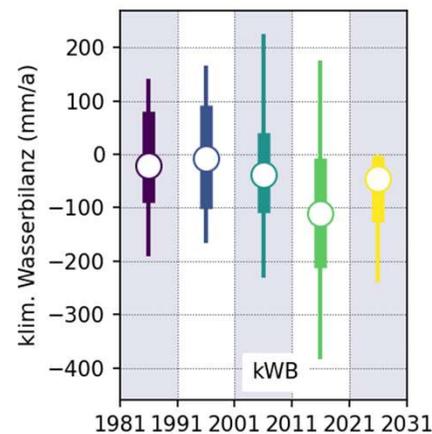
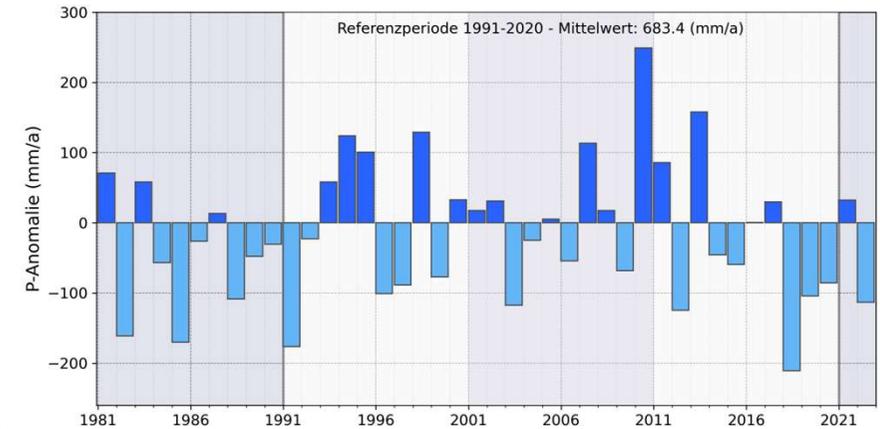
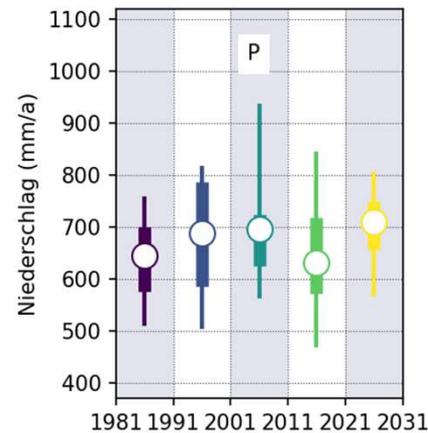


Klimatische Randbedingungen

- keine klaren Tendenzen im Niederschlag (Variabilität zu hoch)
- parallel deutliche Zunahme der ET_p



- klimatische Wasserbilanz ($P - ET_p$) wird tendenziell defizitärer
- Tendenz zur Frühjahrstrockenheit (insbesondere April)



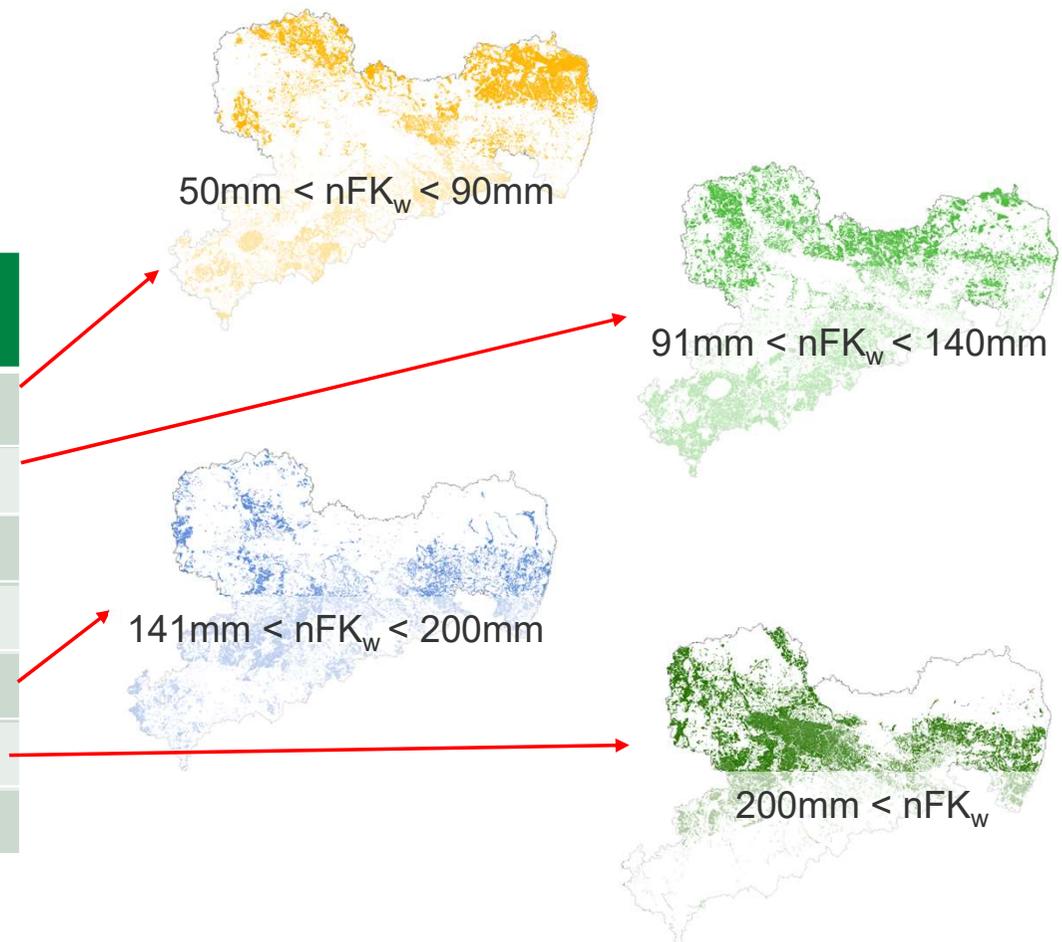
Wasserhaushalt



Wasserhaushaltsbeobachtungen

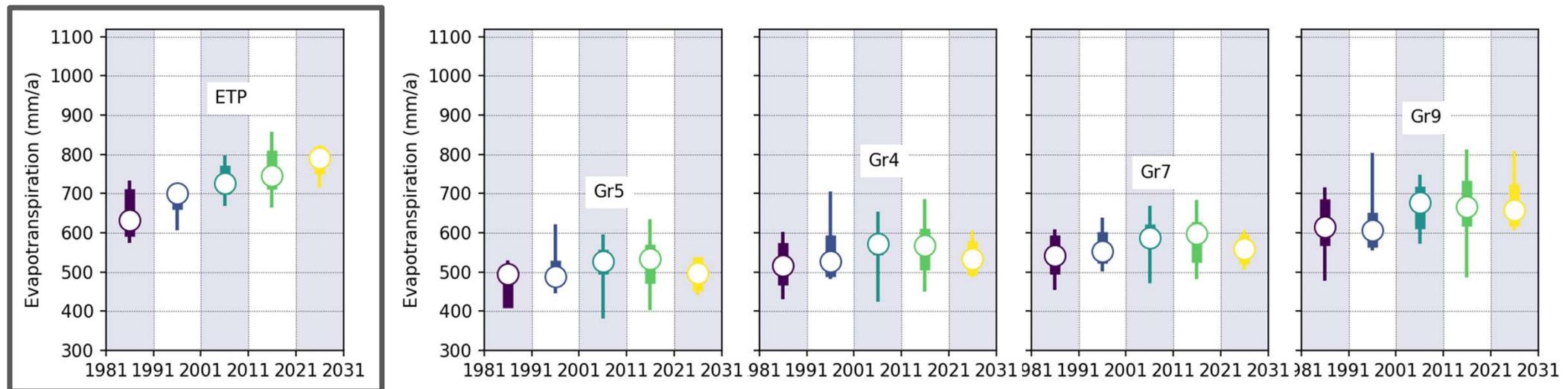
- untersuchte Böden decken größten Teil des Spektrums der Klassifizierung der nutzbaren Feldkapazität sächsischer Böden ab

Lysimeter- gruppe	Bodenart	Q [mm/a]	nFK _w [mm]
5	IS/D3	162	79
4	sL/D5	114	128
8	sL/D3	126	132
1	sL/D6	95	143
7	sL/D4	91	154
9	L/Lö3	1	315
10	L/Lö1	10	318



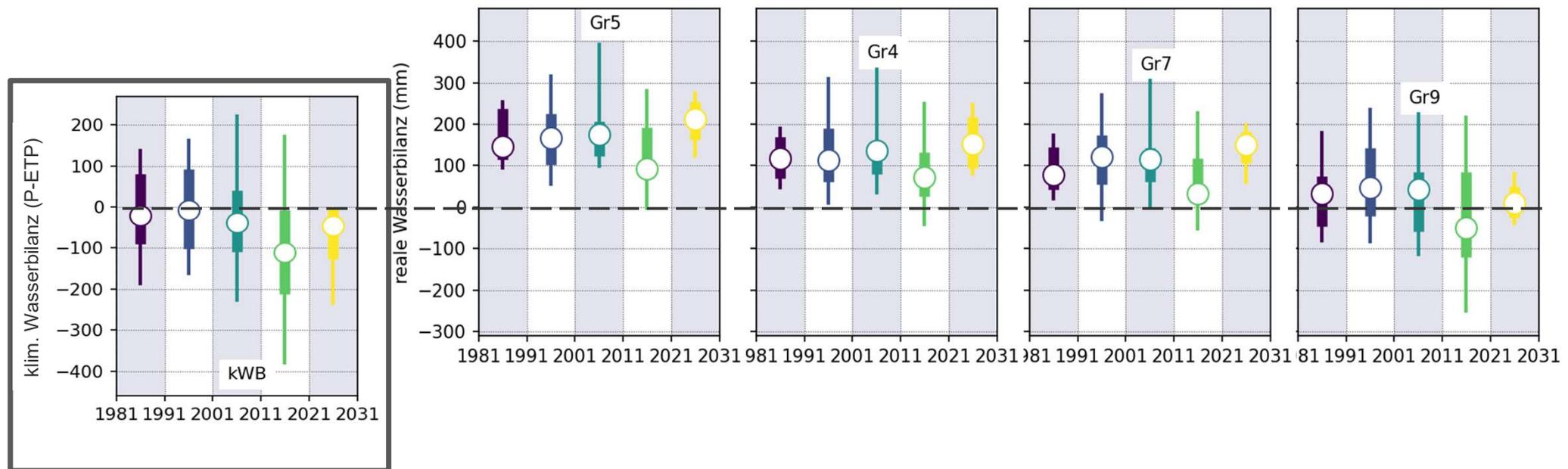
Wasserhaushaltsbeobachtungen

- Auswirkung auf Jahressummen der realen Evapotranspiration verschiedener Böden
- reale Evapotranspiration folgt nicht den Zunahmen der pot. ET, 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

- 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 (7) Böden kaum noch Steigerungen der mittleren Defizite möglich

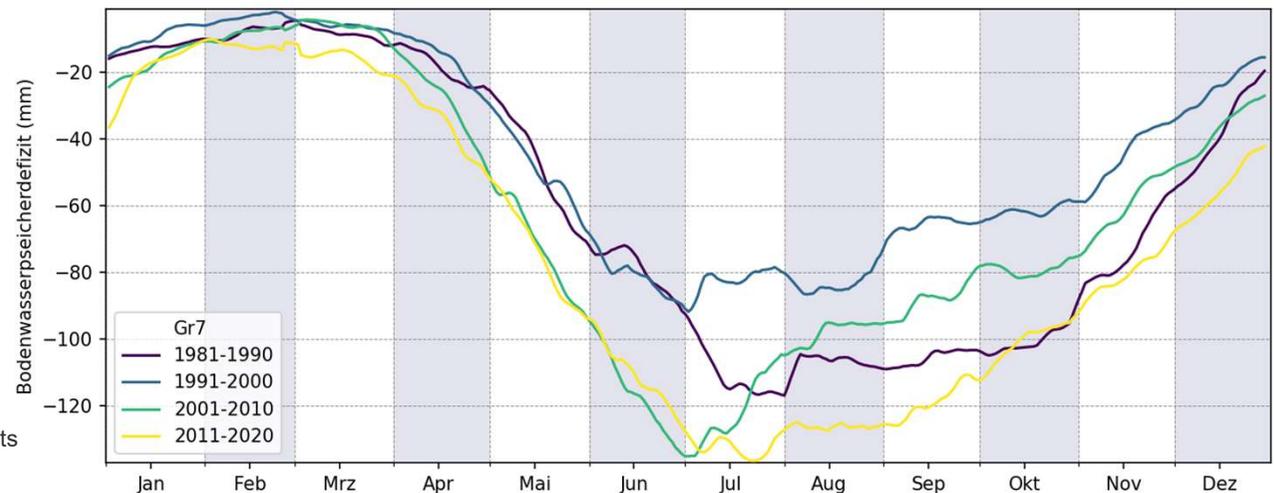
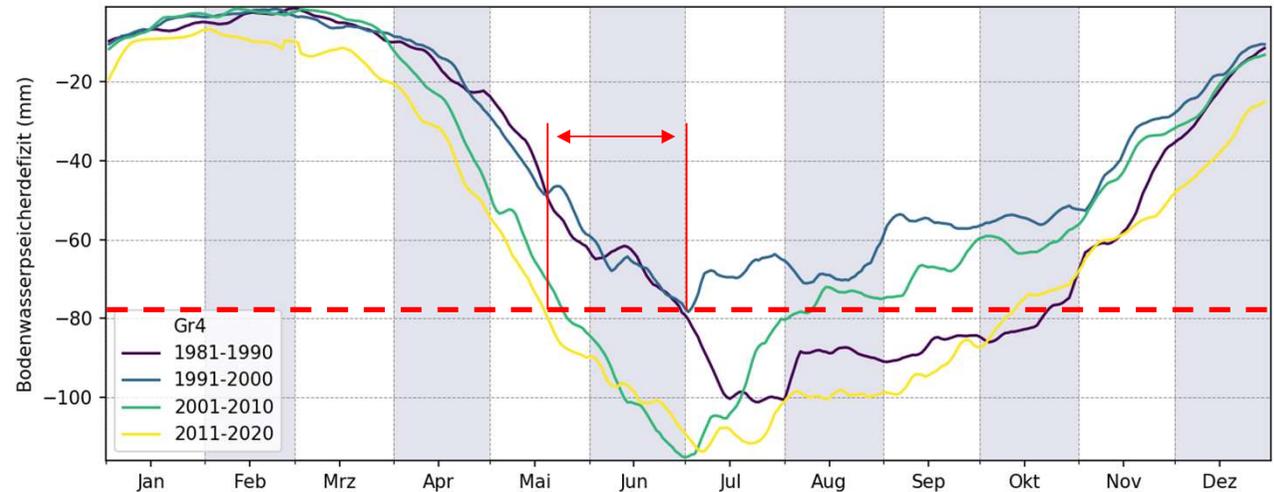
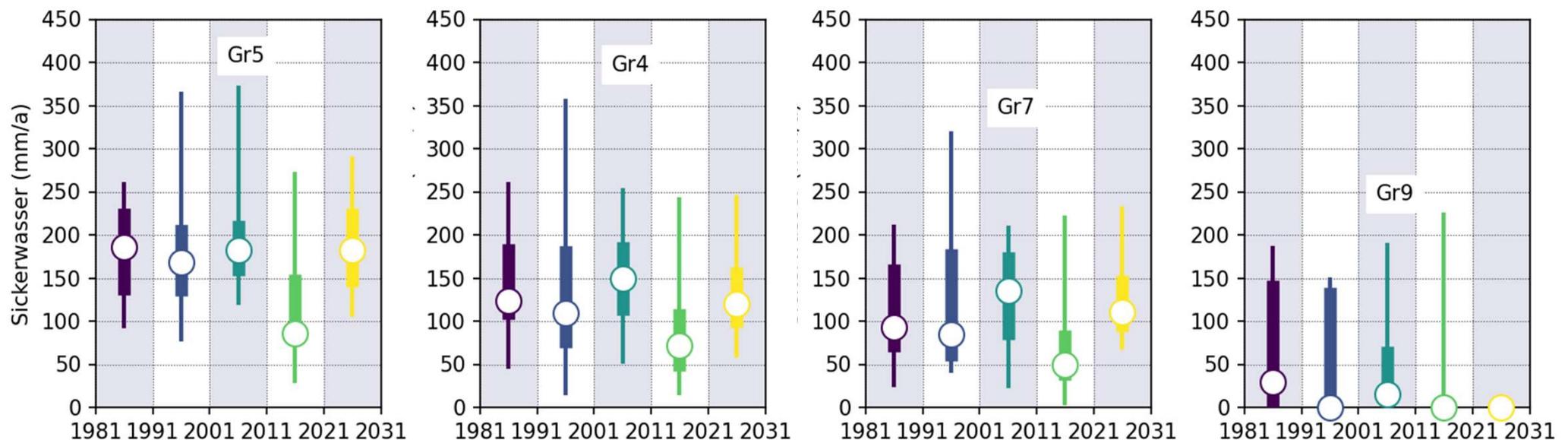


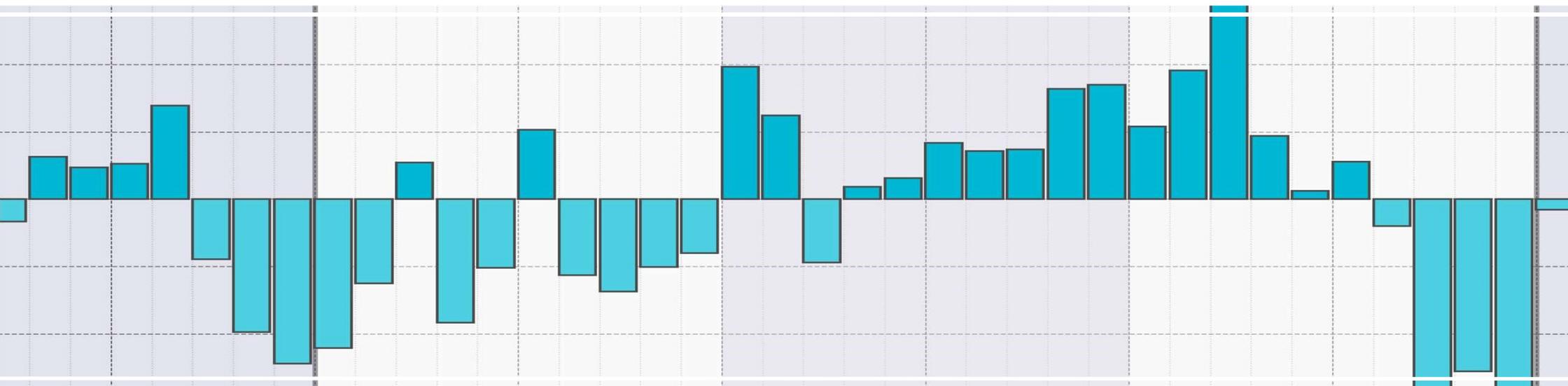
Abb. 13: mittlere Jahresverläufe des Bodenwasserspeicherdefizits für 2 verschiedene Bodengruppen der Brandiser Lysimeter

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)



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

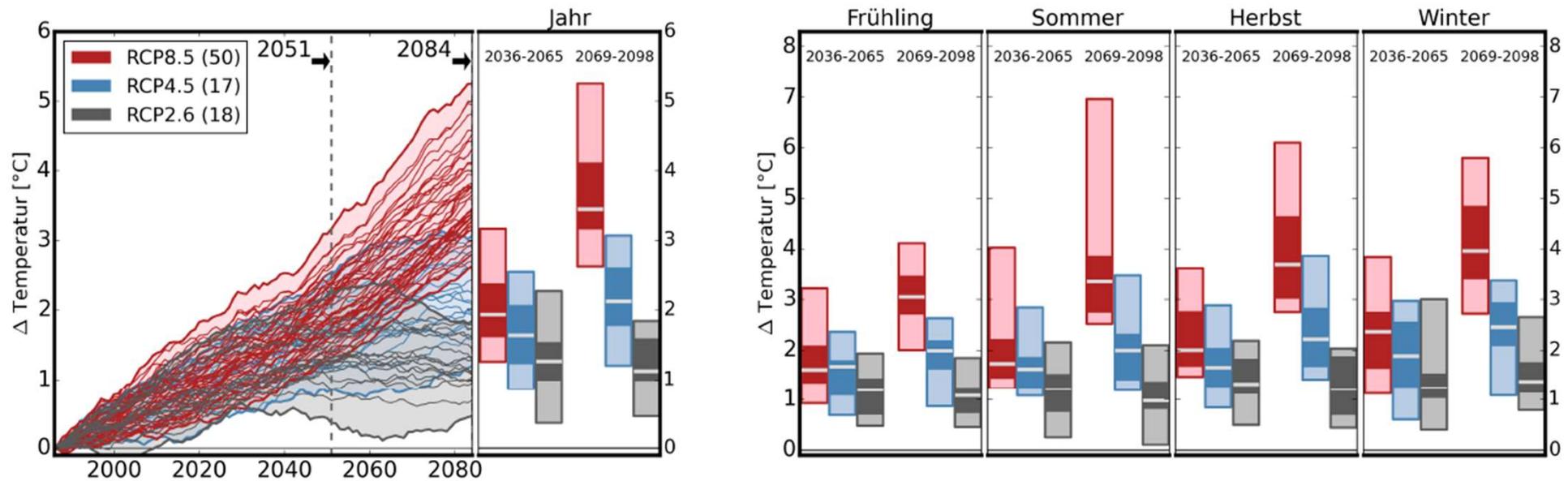


Abb. 30: Projizierte Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen (links) und der jahreszeitlichen Mitteltemperaturen (rechts) für verschiedene RCPs für die Region Süd-Leipzig (Quelle: Climate Service Center Germany (GERICS), www.climate-service-center.de)

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

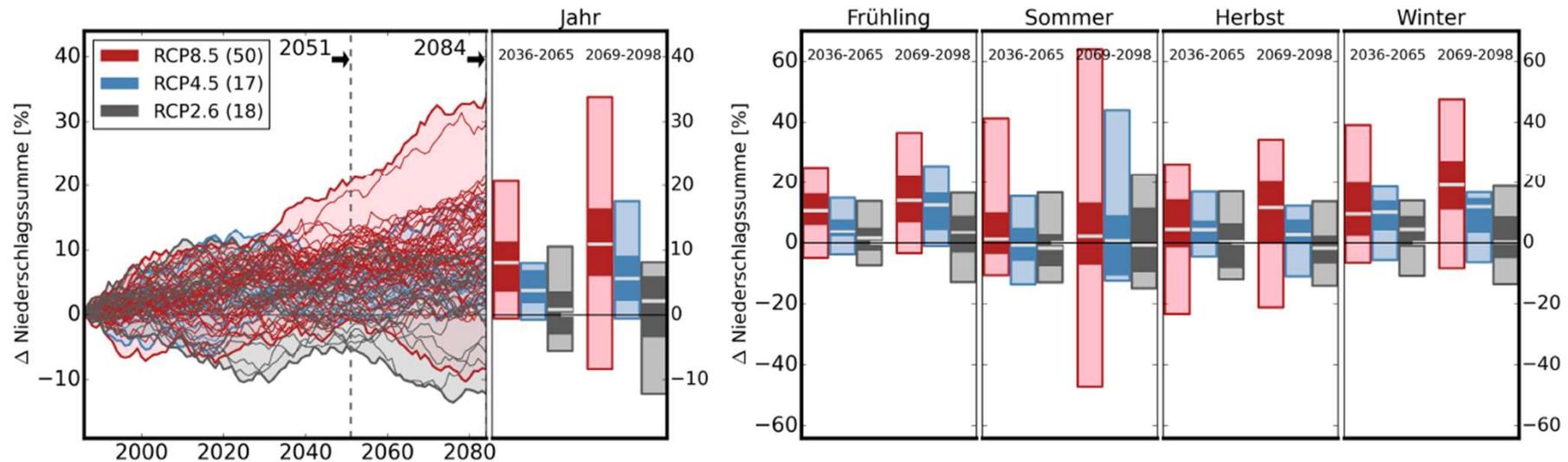


Abb. 30: Projizierte Entwicklung der Jahresniederschlagssummen (links) und der jahreszeitlichen Niederschlagssummen (rechts) für verschiedene RCPs für die Region Süd-Leipzig (Quelle: Climate Service Center Germany (GERICS), www.climate-service-center.de)

Wasserhaushaltsreaktionen auf Extreme

- Analyse Trockenperiode 2014-2020 (LfULG 2024)
- 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

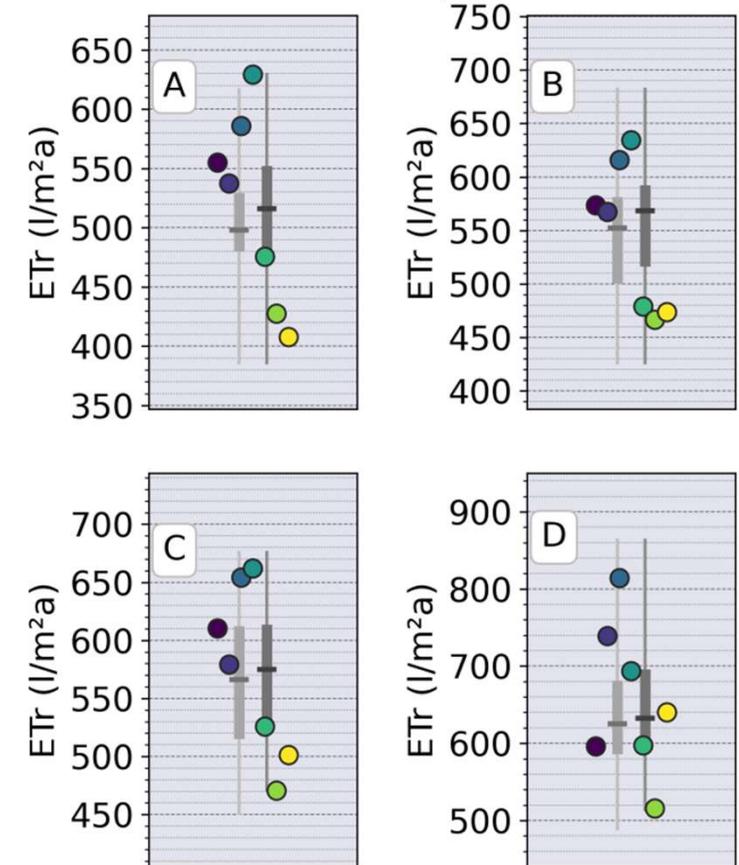
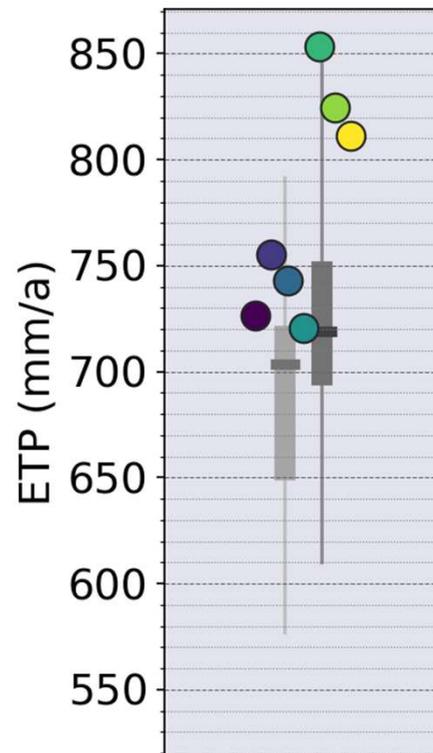


Abb. 18: Jahreswerte der potentiellen Verdunstung (links) und beobachteter realer Verdunstungen der „Trockenjahre“ 2014- 2020 am Standort Brandis, mit Darstellung der Statistiken der Referenzperioden 1981-2010 und 1991 -2020 für 4 Pedohydrotope

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 Sachsen ist von erschwerten Anbaubedingungen auszugehen
 - Zunahme der Dürreperioden erwartet!
 - durch Beobachtungen gedeckt

Klimawandel und Gewässer

- **zeitigere Zehrungen der Bodenwasserspeicher** durch erhöhte Verdunstungen im Frühjahr
- **aktive Tiefenversickerung wird mit zunehmender Erwärmung zeitiger unterbrochen**
- erhöhte Dynamiken in Richtung der Niedrigwasserperioden:
 - schnellerer Rückgang der Wasserstände in Sommermonaten
 - Trockenfallen kleinerer Gewässer zunehmend wahrscheinlicher (oder häufiger)
- **offene Fragen:**
- Entwicklung des Trends der Sonnenscheinstunden ?
- wie wirken sich erhöhte Wintertemperaturen auf Vegetationsstillstand aus ?
 - kann dieser in der fernen Zukunft vereinzelt ganz ausbleiben ?
- Veränderungen in der Winterbegrünung auf landwirtschaftlichen durch veränderte Anbausysteme ?



**Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit !**

LfULG, 2024: Ereignisanalyse Trockenheit in Sachsen 2014-2020, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/45582>

Lüdecke, HJ., Müller-Plath, G. & Lüning, S. 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. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 3.
<https://doi.org/10.1007/s13593-018-0546-y>

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_2011/2l_2011_spiess.pdf

Stoelzle, M., Schuetz, T., Weiler, M., Stahl, K., and Tallaksen, L. M.: Beyond binary baseflow separation: a delayed-flow index for multiple streamflow contributions, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 24, 849–867, <https://doi.org/10.5194/hess-24-849-2020>, 2020.

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>