

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)

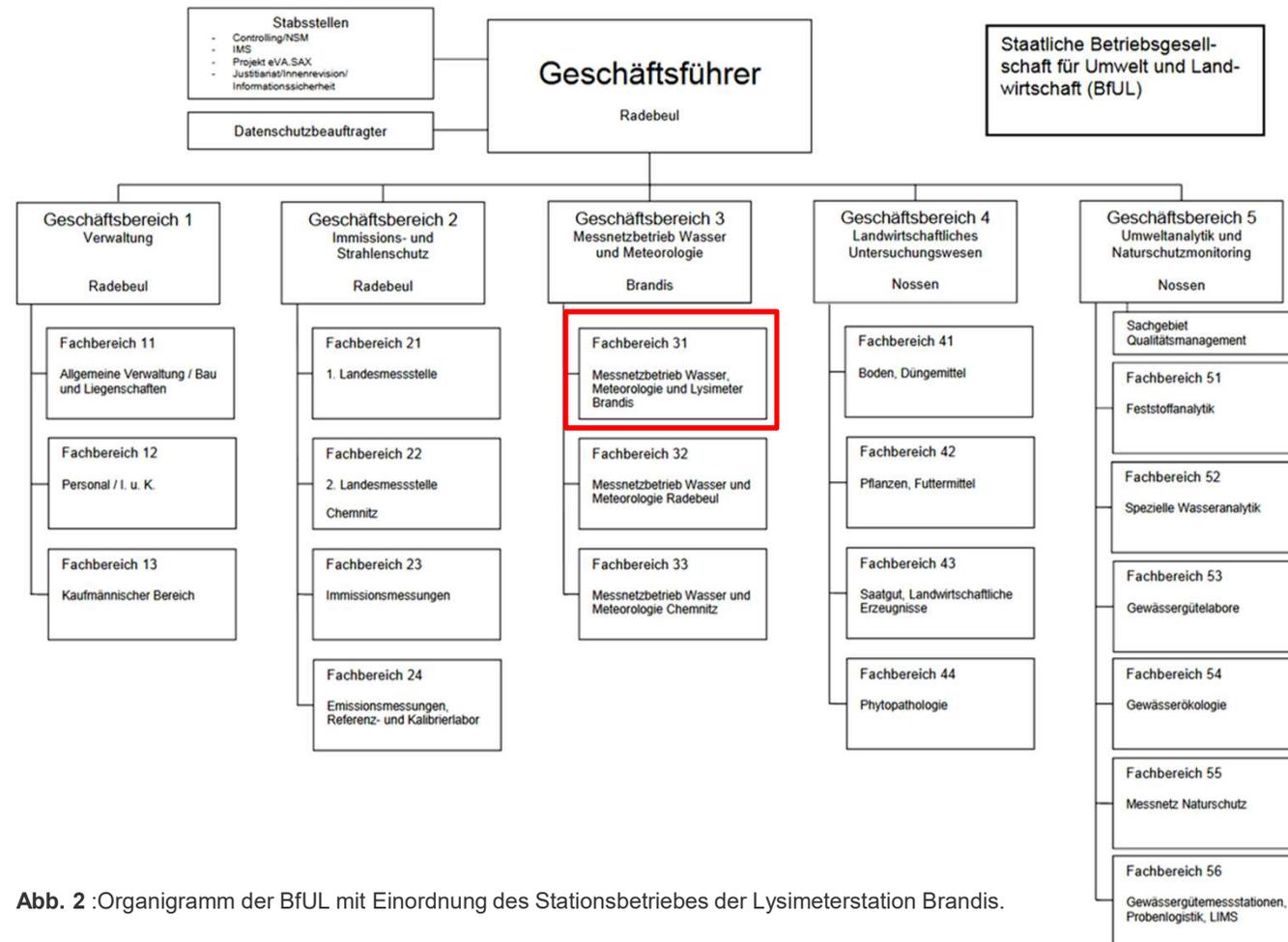


Abb. 2 :Organigramm der BfUL mit Einordnung des Stationsbetriebes der Lysimeterstation Brandis.

Warum Lysimeter ?



Warum Lysimeter ?

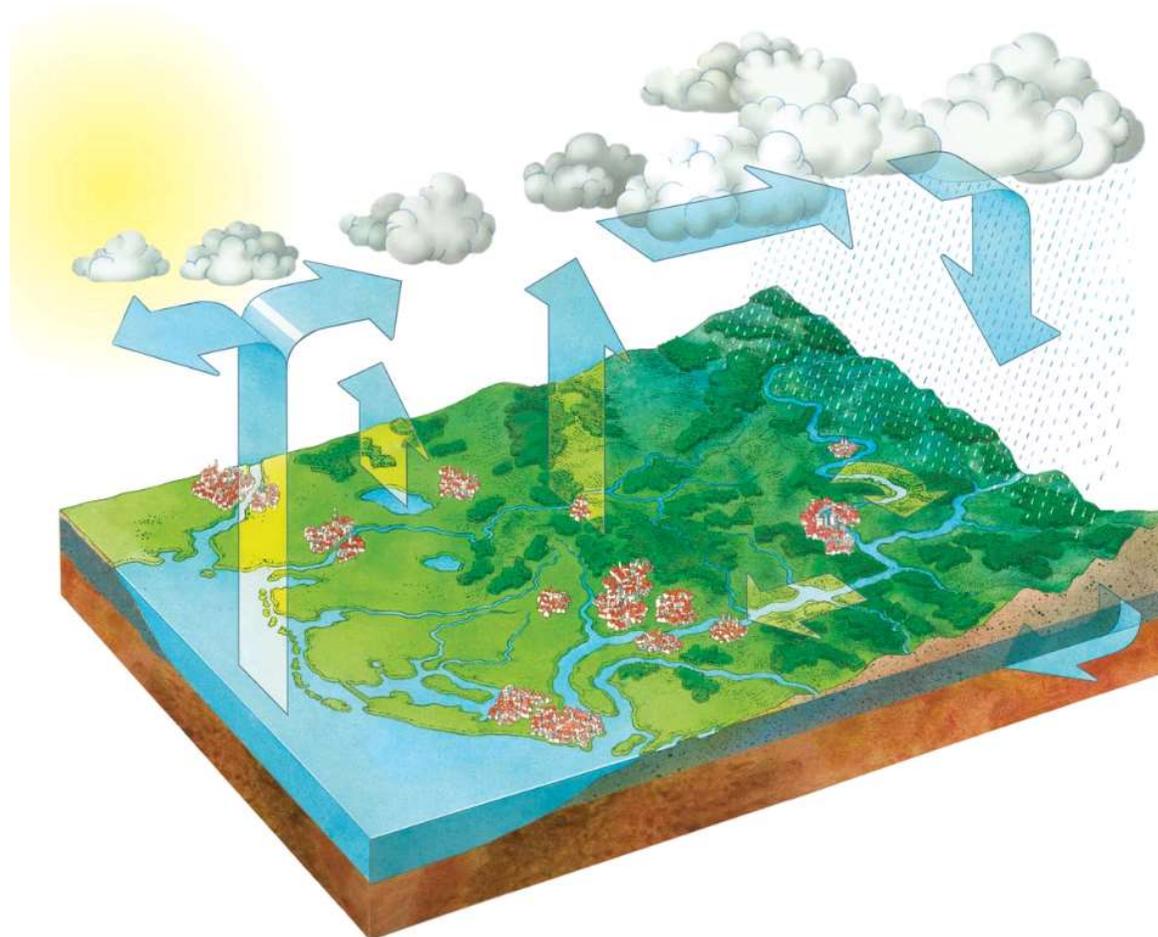
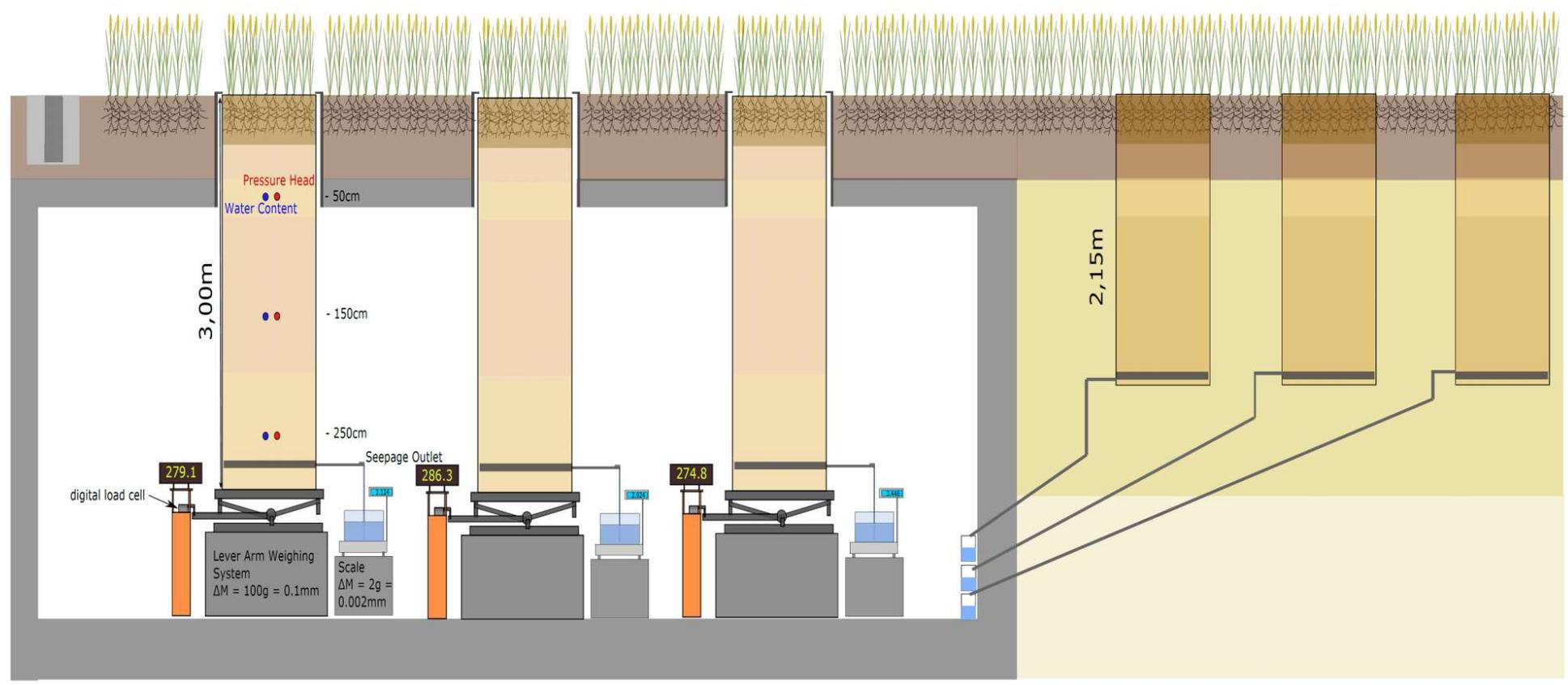


Abb. 4:
Schematische
Darstellung des
Wasserkreislaufs

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

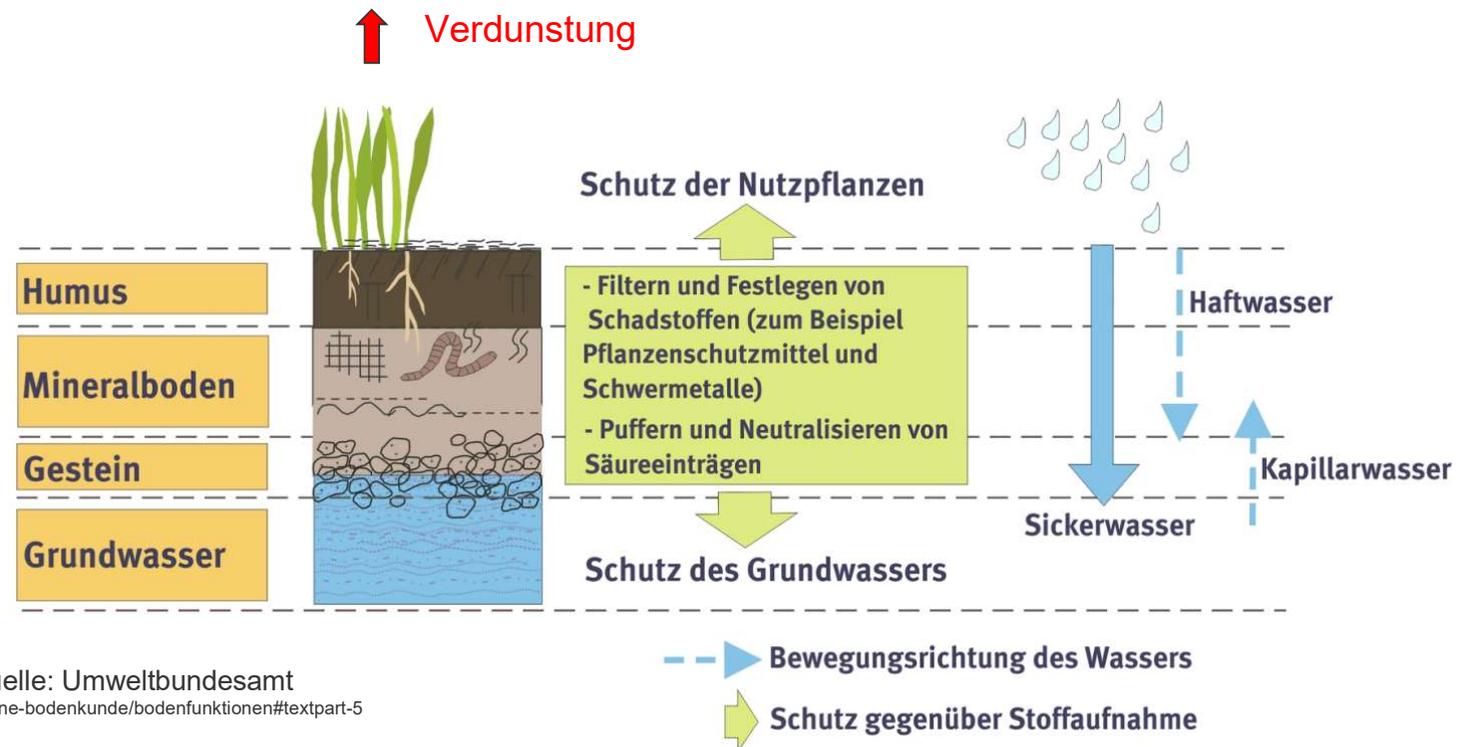


Abb. 3: Der Boden und seine Funktionen, Quelle: Umweltbundesamt
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/kleine-bodenkunde/bodenfunktionen#textpart-5>

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**

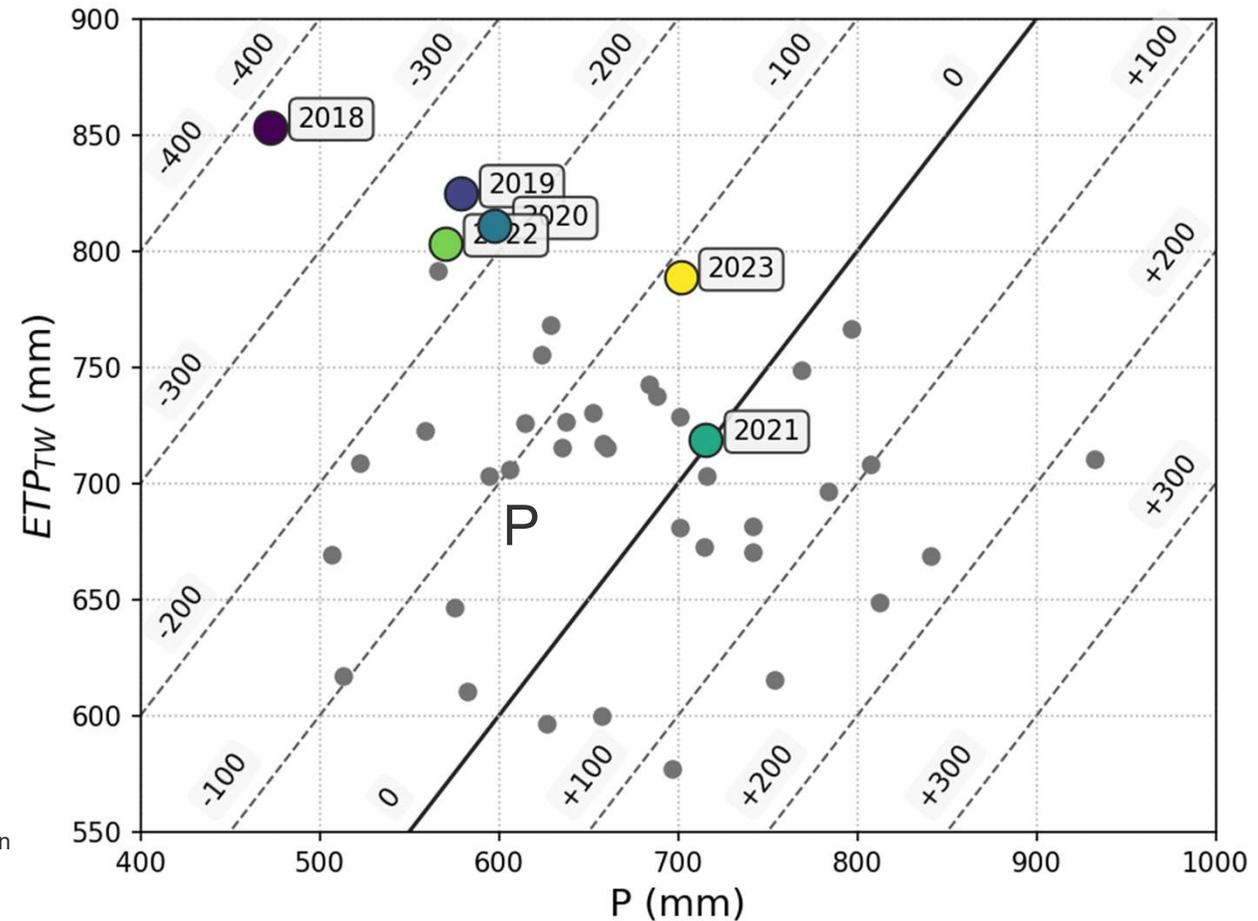


Abb. 5: Gegenüberstellung der jährlichen Einzelkomponenten Niederschlag und potentielle Evapotranspiration der klimatischen Wasserbilanz für den Standort Brandis der Jahre 1981 -2022

Klimatische Randbedingungen

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

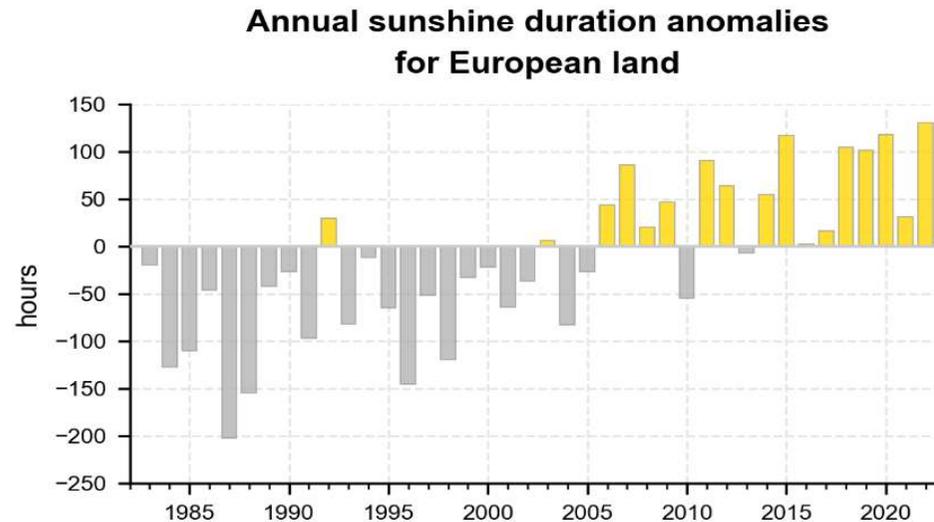


Abb. X: Anomalie der Sonnenscheindauer in Europa (Quelle: EU Copernicus, <https://climate.copernicus.eu/esotc/2022/clouds-and-sunshine-duration>, Data source: SARAH-2.1 CDR/ICDR. Credit: EUMETSAT CM SAF)

Klimatische Randbedingungen

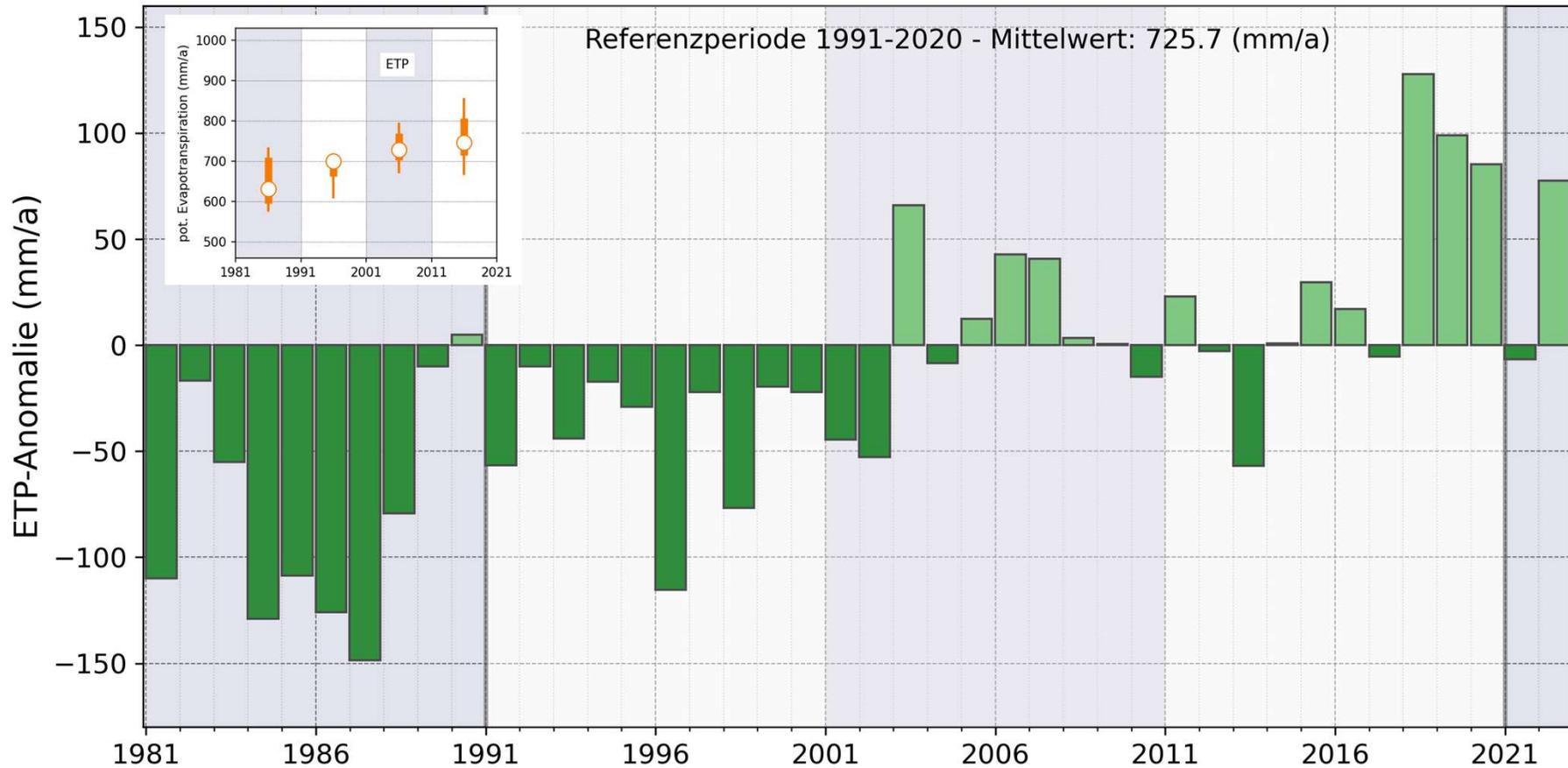


Abb. 7: Anomaliedarstellung der potentiellen Evapotranspiration (nach Turc-Wendling (1991)) für den Standort Brandis.

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)

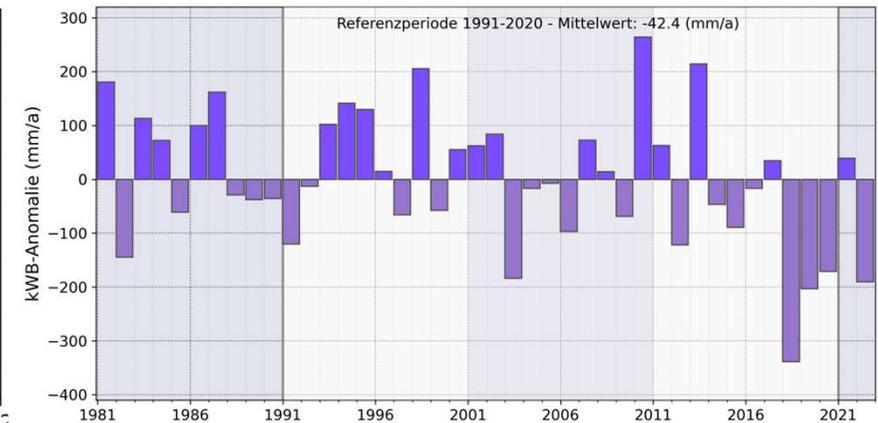
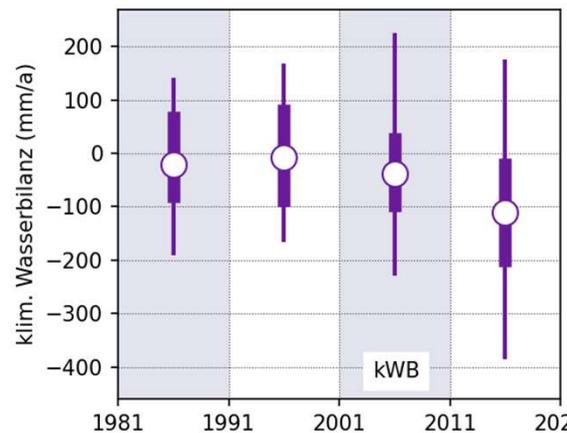
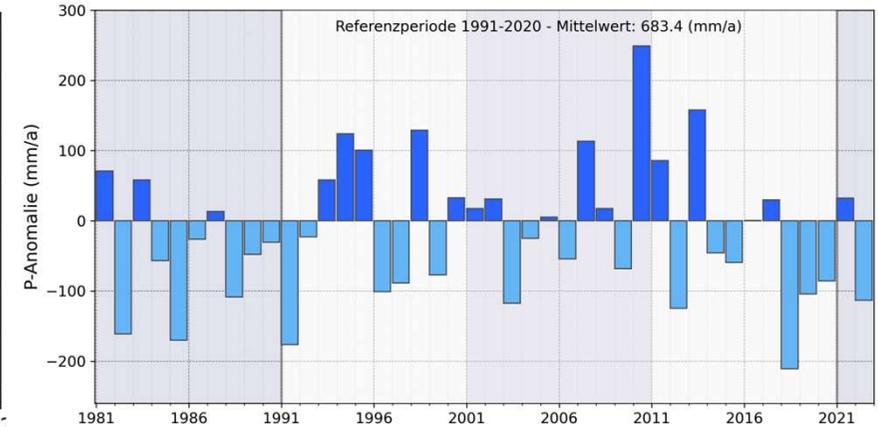
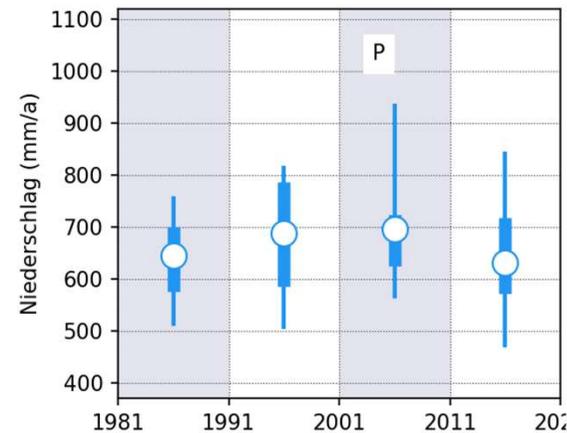
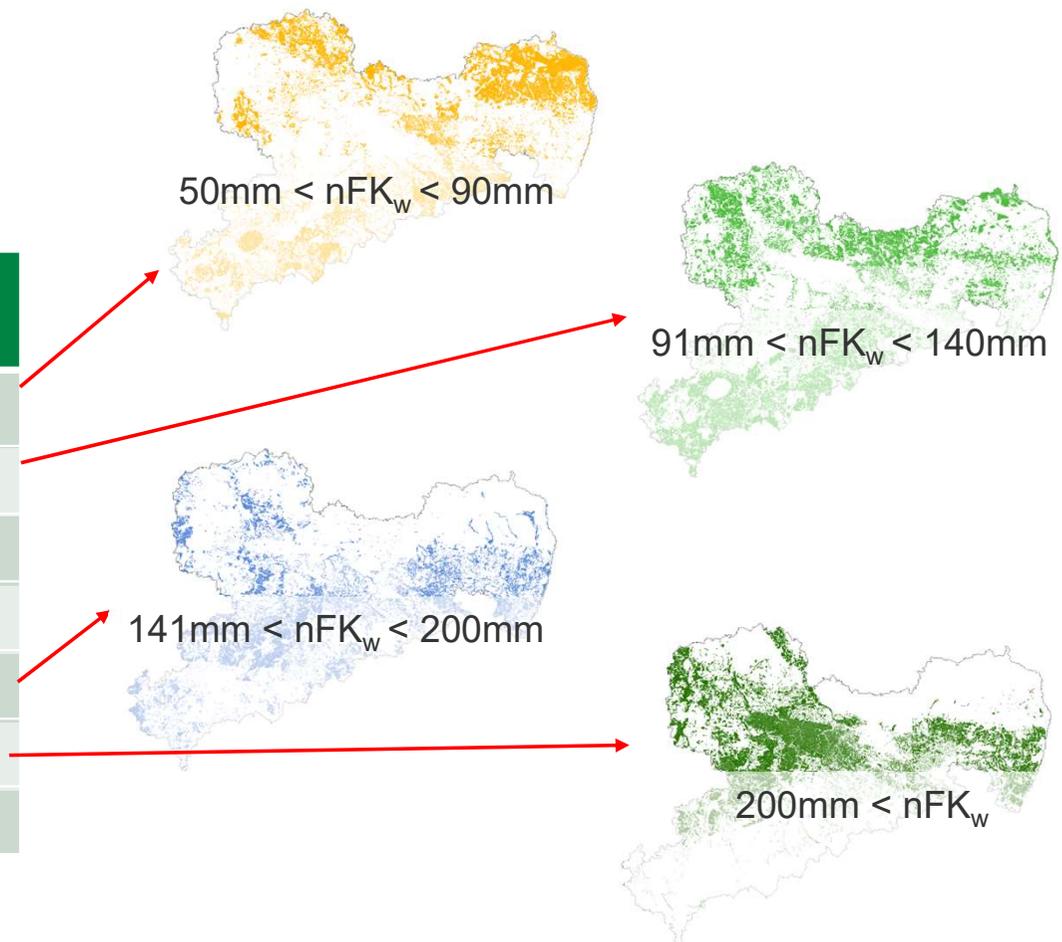


Abb. 8: Dekadenstatistiken und Anomaliedarstellung des Niederschlags (oben) und der klimatischen Wasserbilanz für den Standort Brandis.

Wasserhaushaltsbeobachtungen

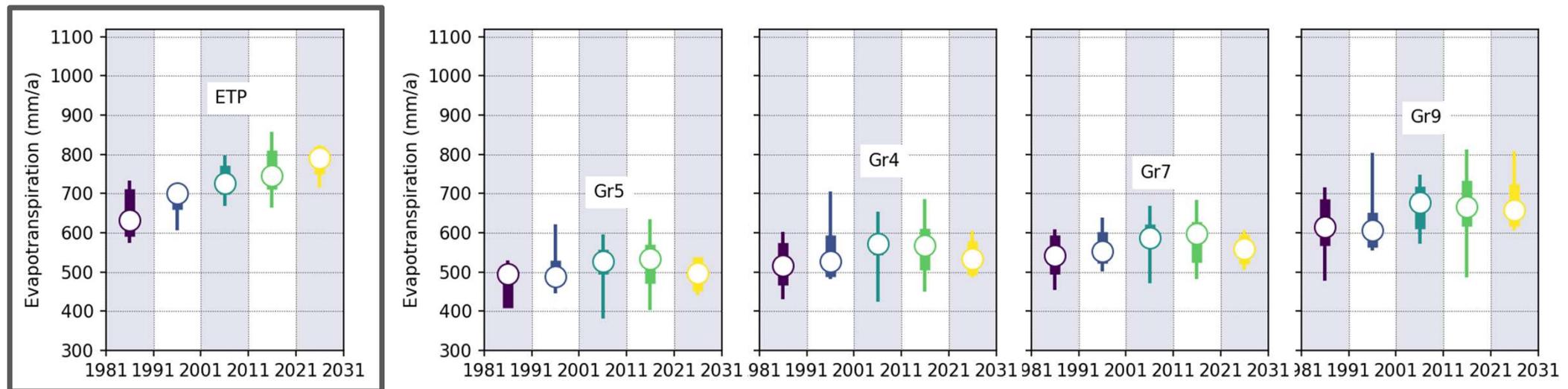
- untersuchte Böden decken größten Teil des Spektrums der Klassifizierung der nutzbaren Feldkapazität sächsischer Böden ab

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



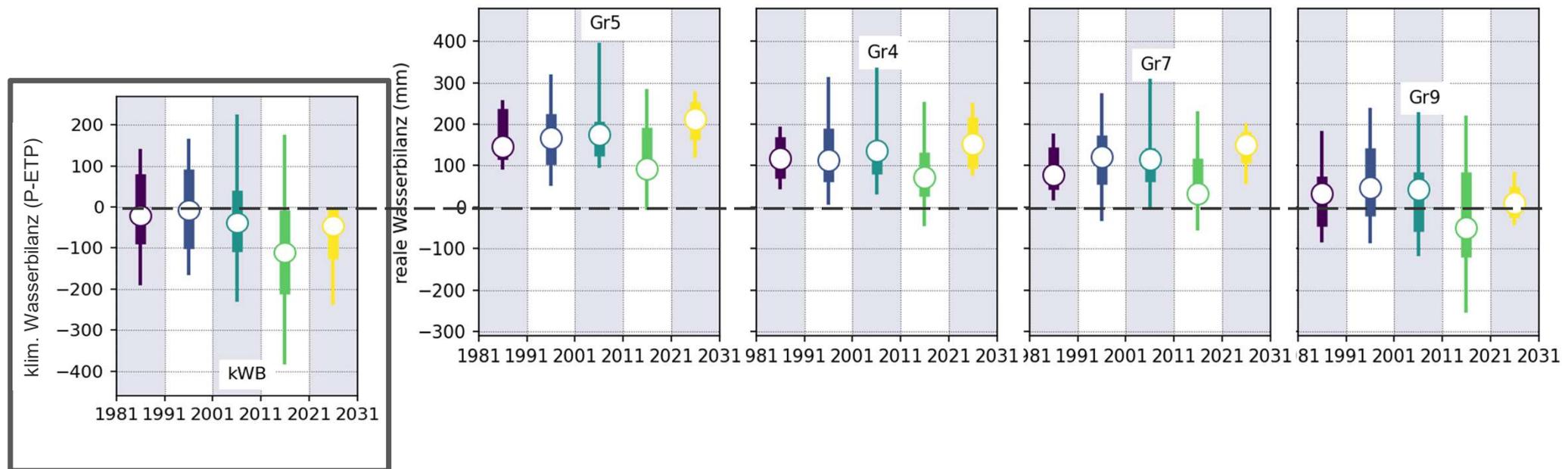
Wasserhaushaltsbeobachtungen

- 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

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

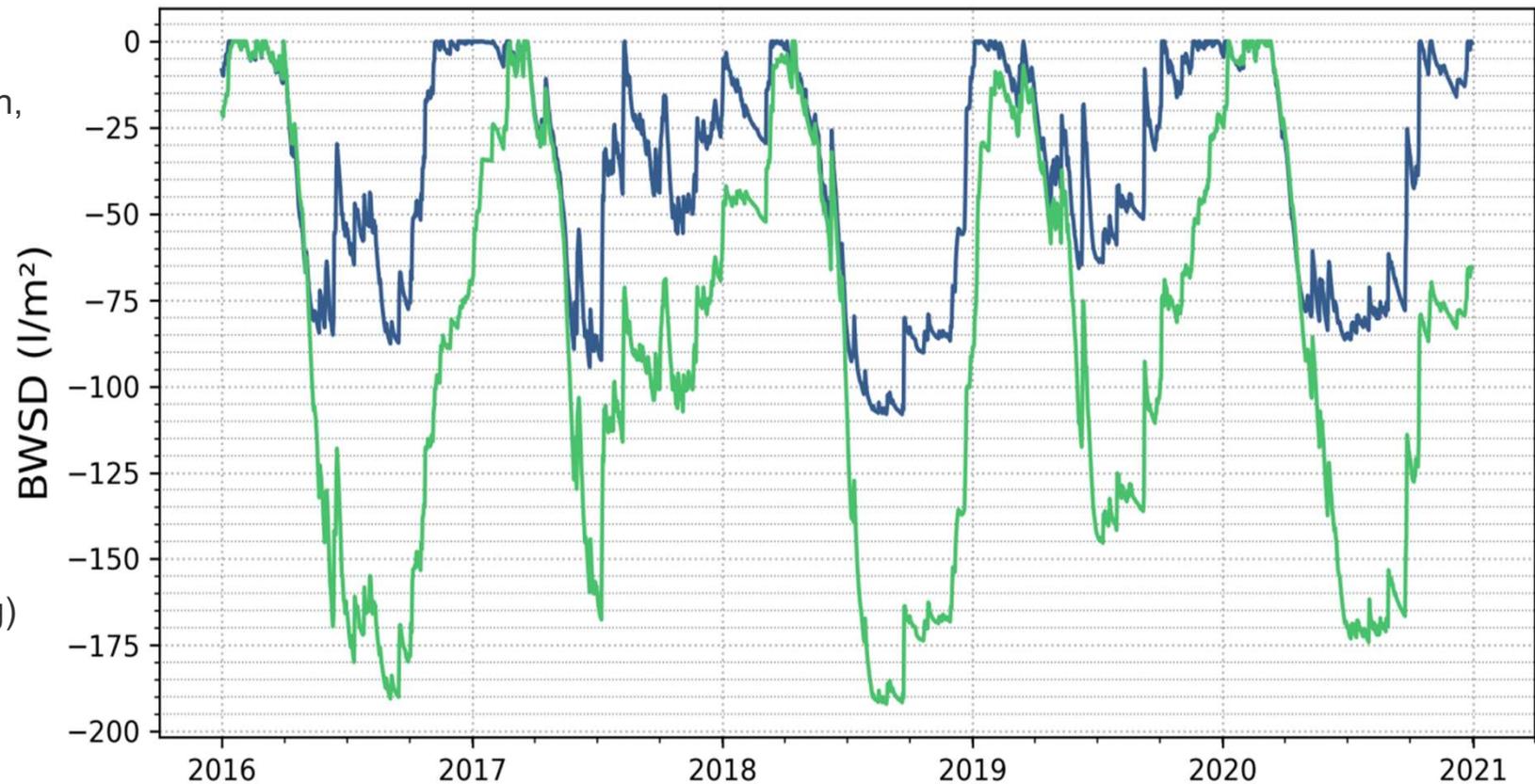


Abb. 12: Verlauf des täglichen Bodenwasserspeicherdefizits für zwei ausgewählte Böden im Zeitraum 2016 - 2021

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 (7) Böden kaum noch Steigerungen der mittleren Defizite möglich

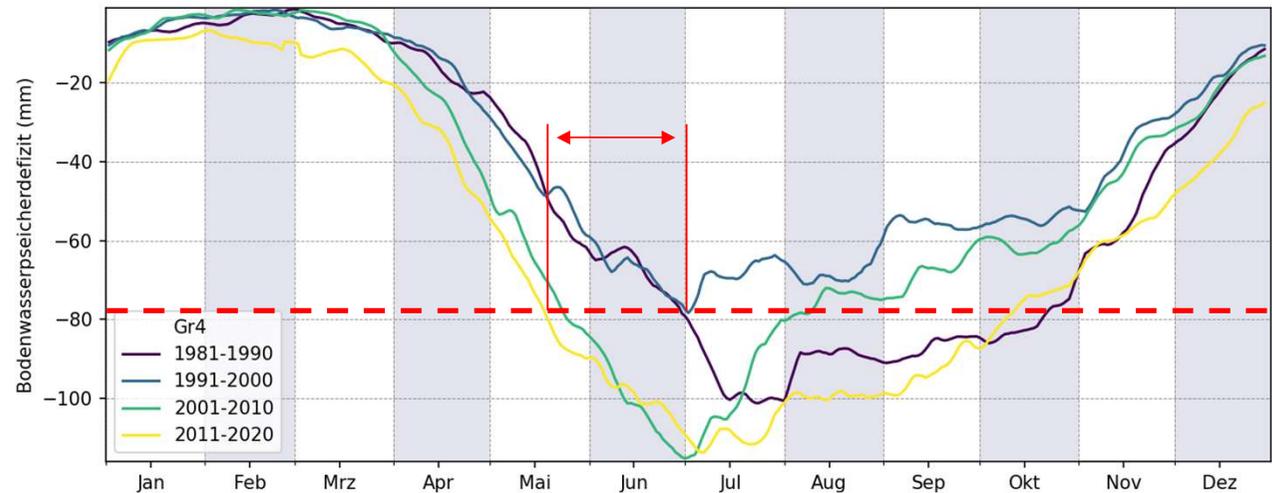
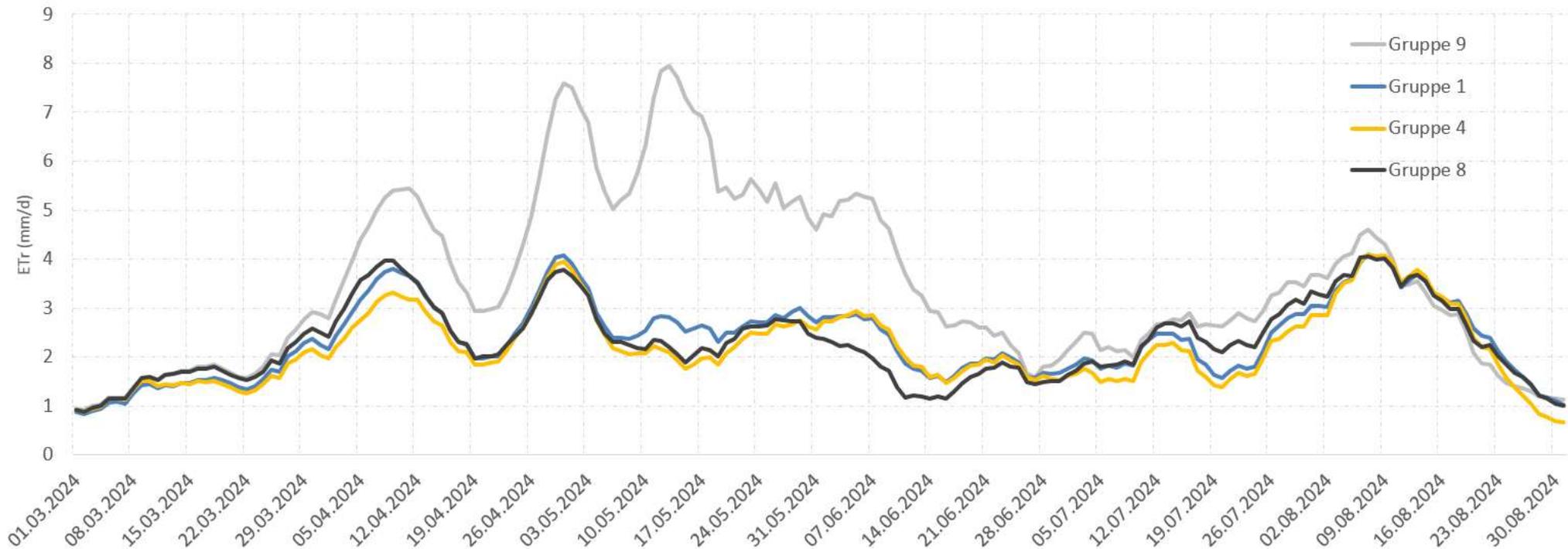


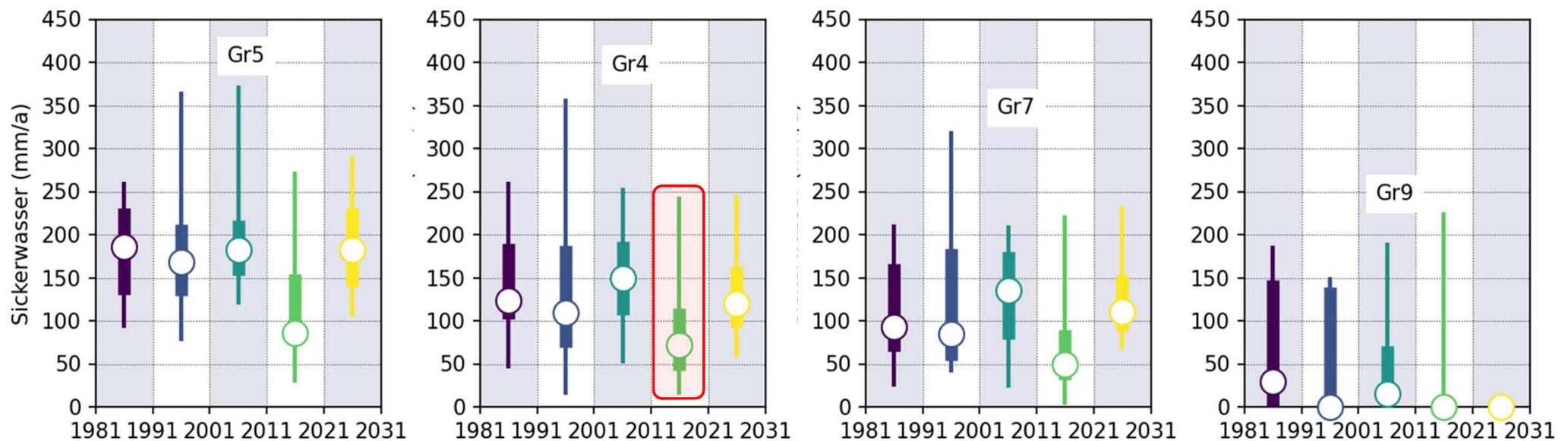
Abb. 13: mittlere Jahresverläufe des Bodenwasserspeicherdefizit für 2 verschiedene Bodengruppen der Brandiser Lysimeter

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)

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)

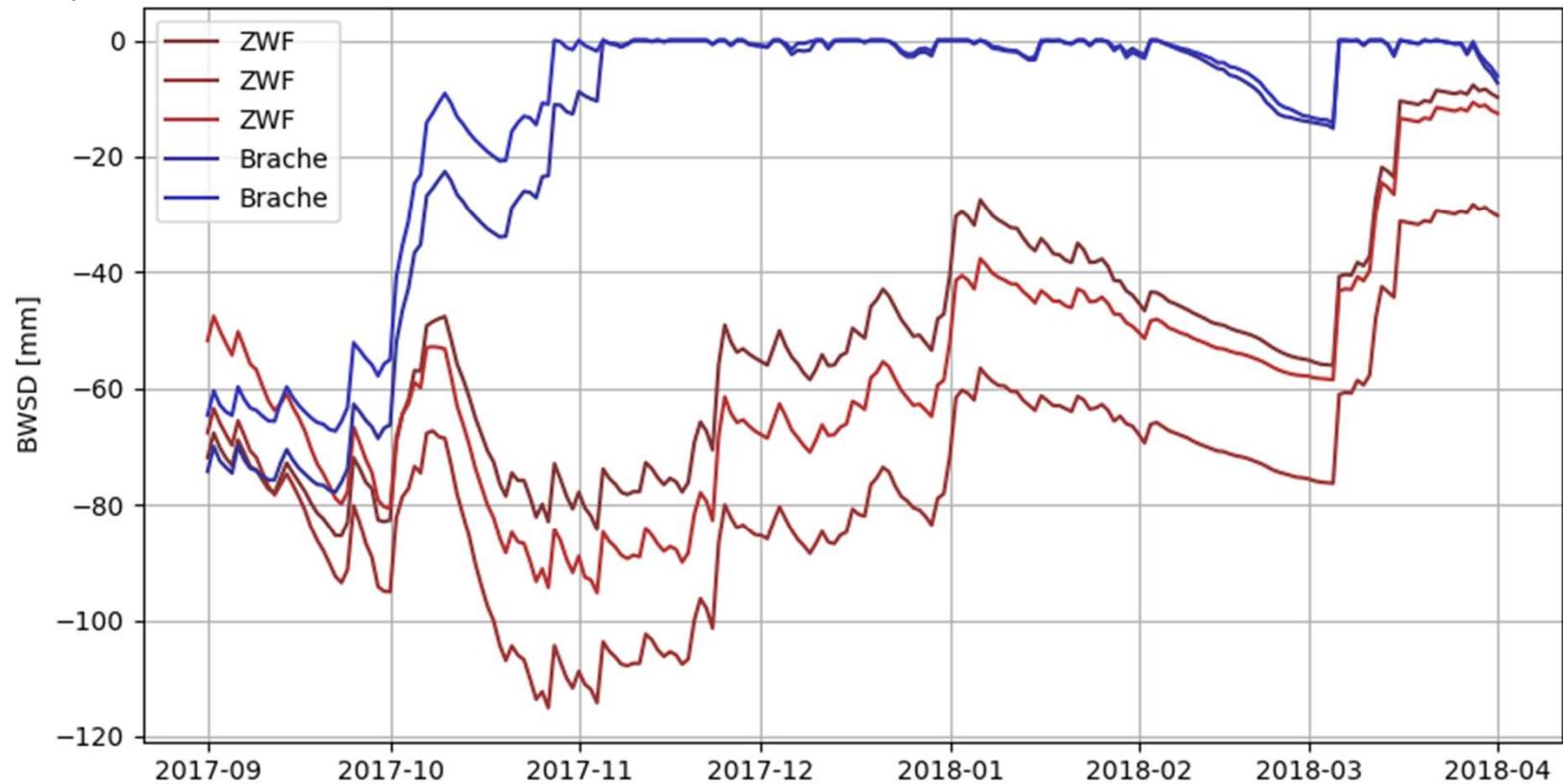


Abb. 18: Entwicklung des Bodenwasserspeicherdefizits im Vergleich zwischen Lysimetern mit Phacelia (Lysimetergruppe 4) und Winterbrachen (Lysimetergruppe 8)

2017/2018 Phacelia

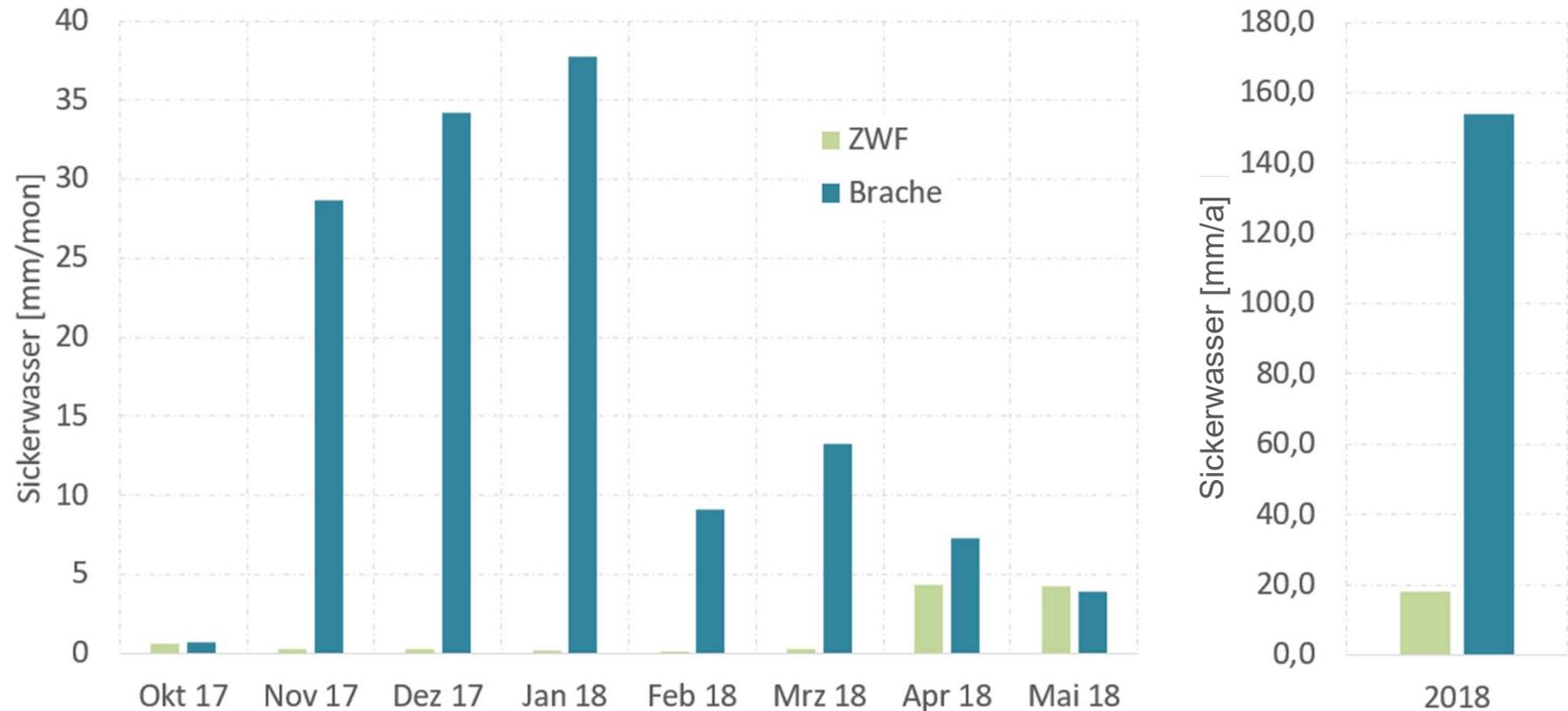


Abb. 22: Vergleich der monatlichen Sickerwassermengen zwischen bewachsenen Lysimetern der Gruppe 4 und den Winterbrachen der Versickerungsmesser der Gruppe 4 im Winter 2017/2018

2021/2022 ZWF-Mischung

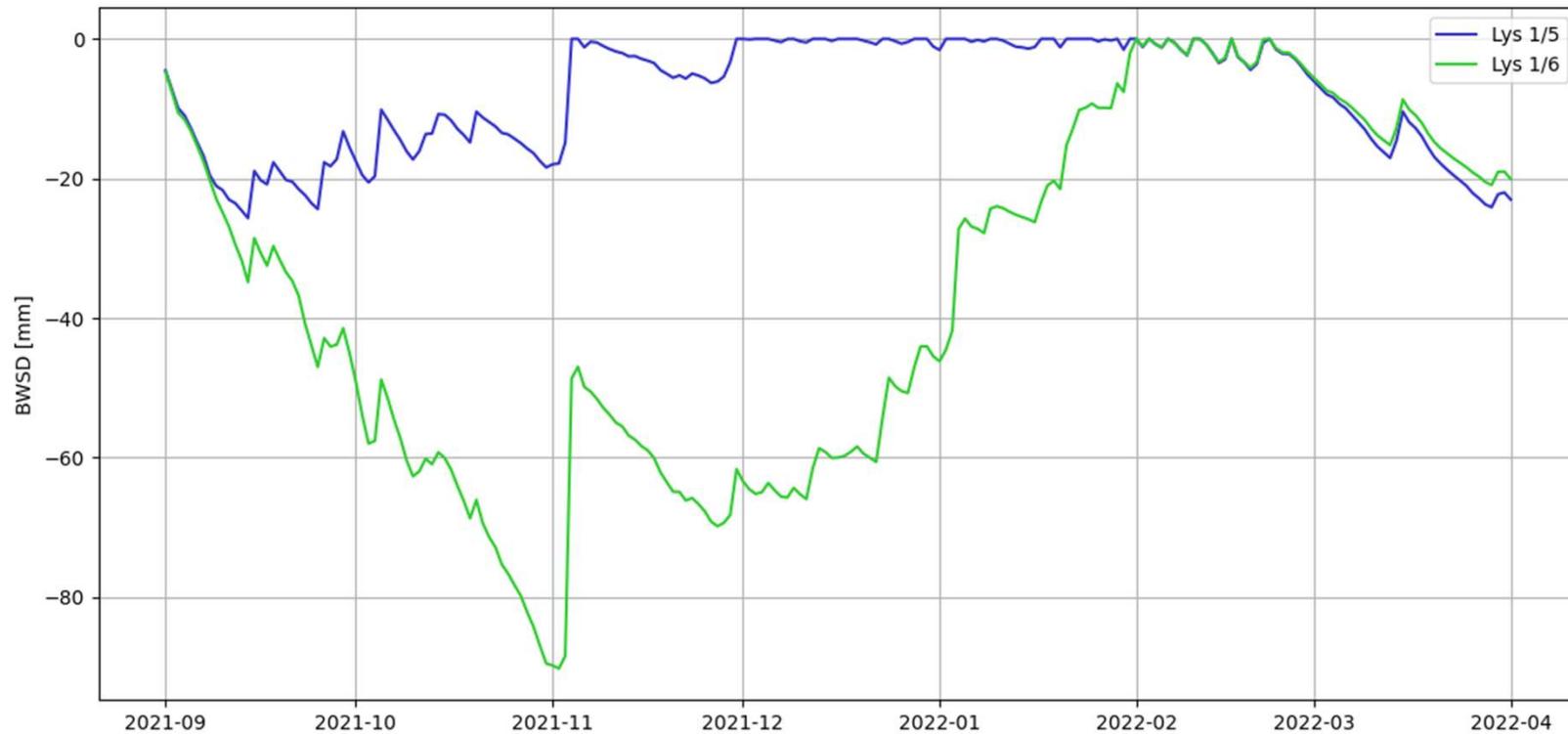


Abb. 27: Vergleich der Tagesgänge des Bodenwasserspeicherdefizits zwischen dem bewachsenen Lysimeter 1/6 und der Winterbrache auf dem Lysimeter 1/6 der Bodengruppe 1.

2021/2022 ZWF-Mischung

erneut deutliche Unterschiede in Sickerwasserbildung feststellbar

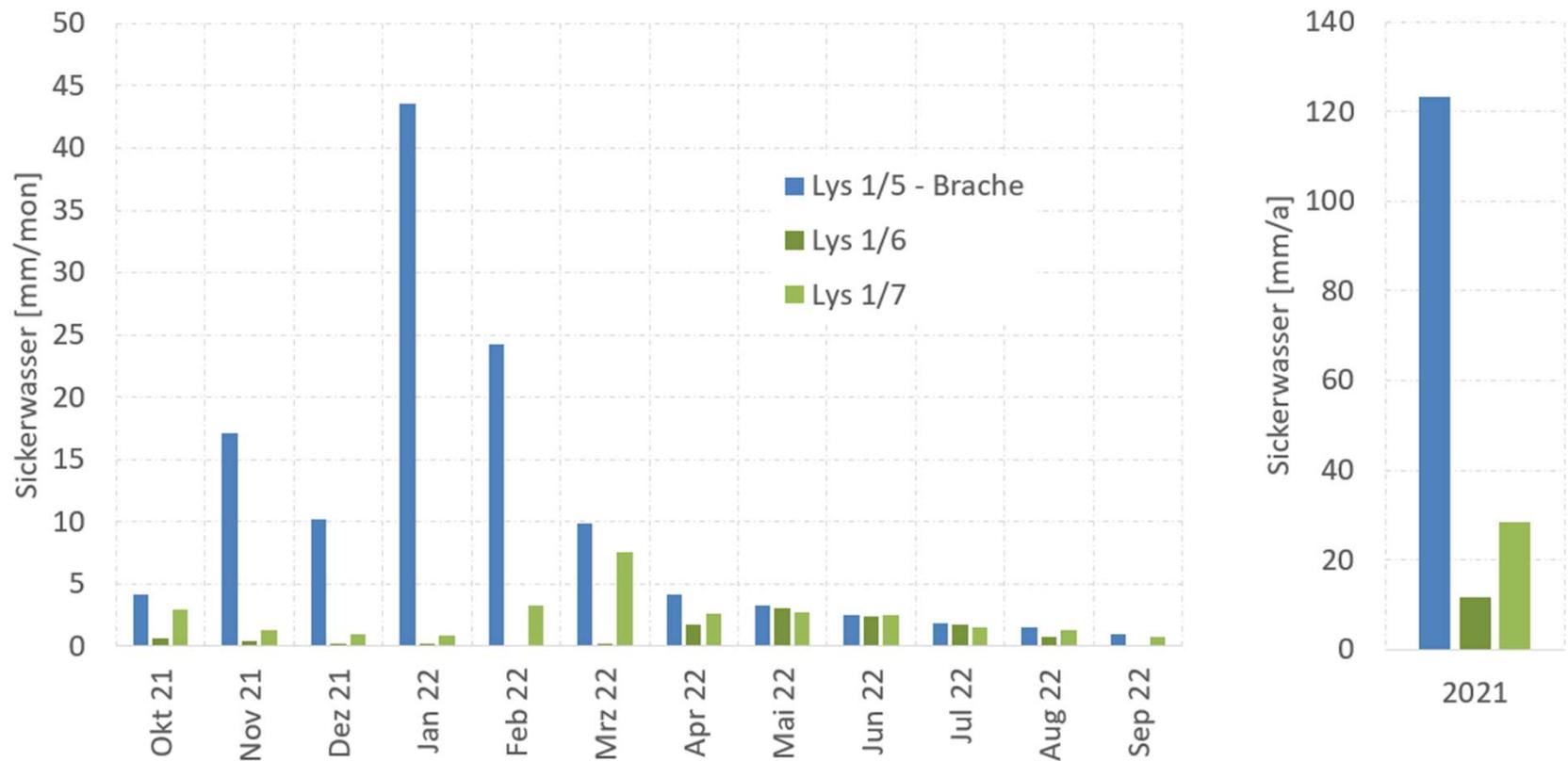


Abb. 28: Vergleich der monatlichen Sickerwassermengen (links) und der Jahressumme (rechts) zwischen bewachsenen Lysimetern der Gruppe 1 und der Winterbrache des Lysimeters 1/5 im hydrol. Jahr 2022

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

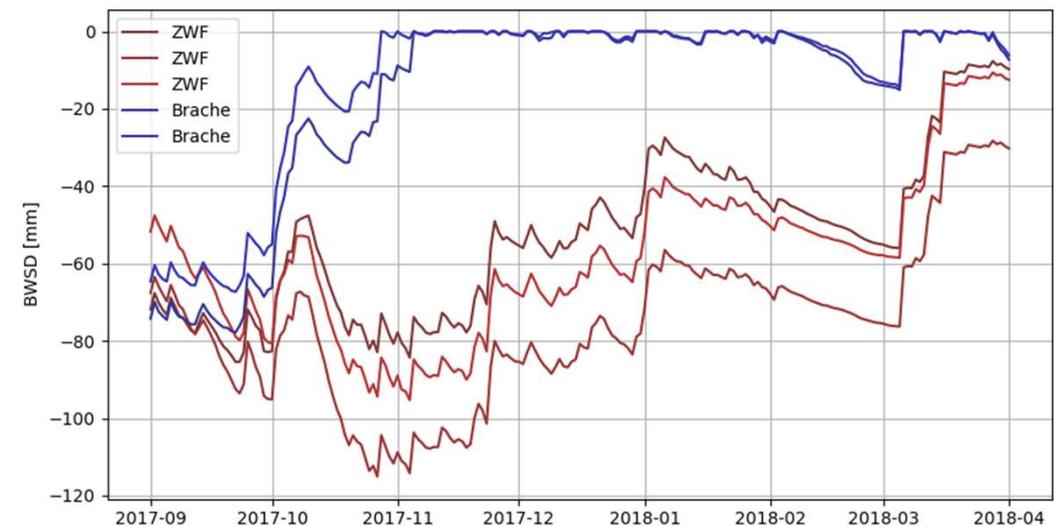
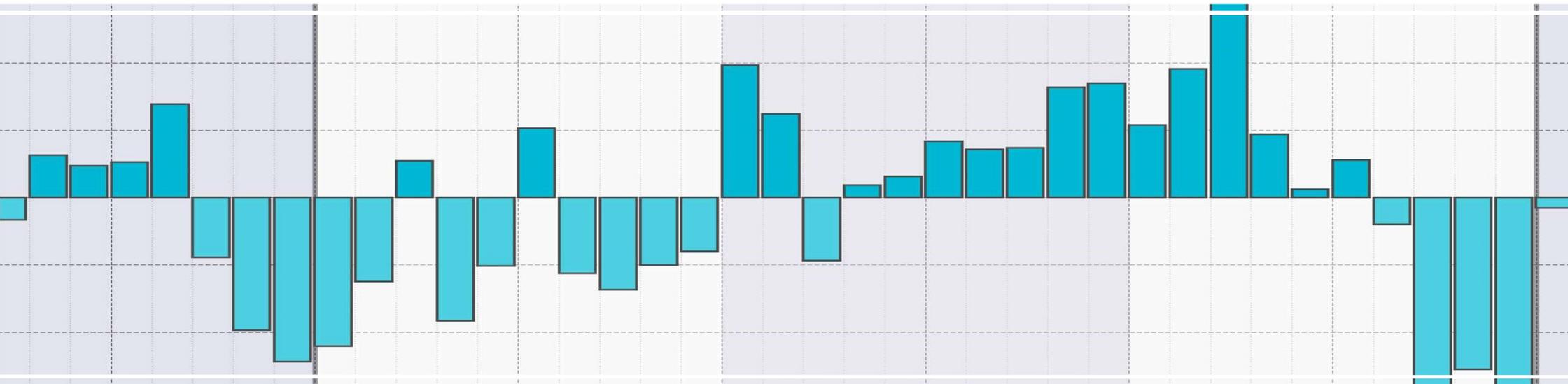


Abb. 30: Entwicklung des Bodenwasserspeicherdefizits im Vergleich zwischen Lysimetern mit Phacelia (Lysimetergruppe 4) und Winterbrachen (Lysimetergruppe 8)

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

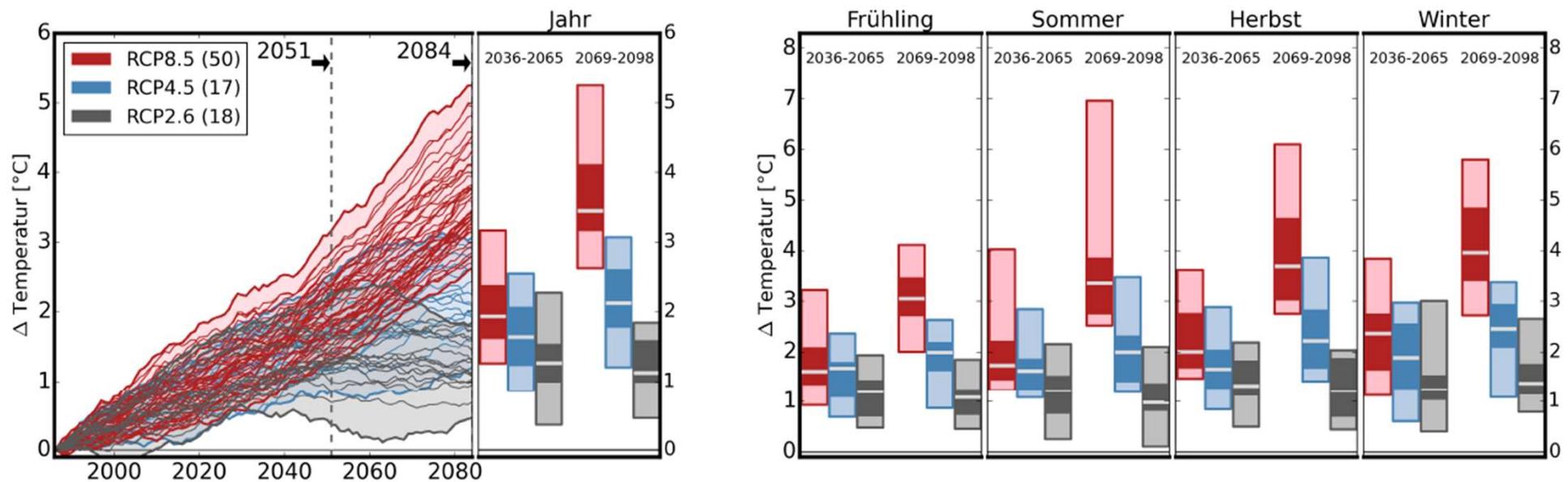


Abb. 15: Projizierte Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen (links) und der jahreszeitlichen Mitteltemperaturen (rechts) für verschiedene RCPs für die Region Süd-Leipzig (Quelle: Climate Service Center Germany (GERICS), www.climate-service-center.de)

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

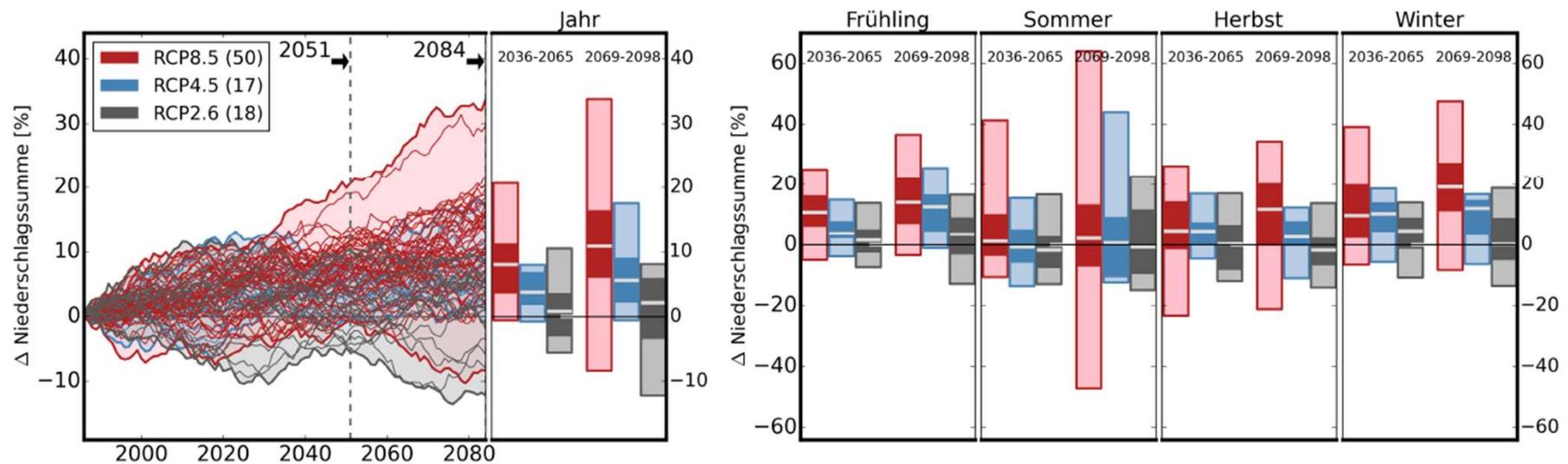


Abb. 16: Projizierte Entwicklung der Jahresniederschlagssummen (links) und der jahreszeitlichen Niederschlagssummen (rechts) für verschiedene RCPs für die Region Süd-Leipzig (Quelle: Climate Service Center Germany (GERICS), www.climate-service-center.de)

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

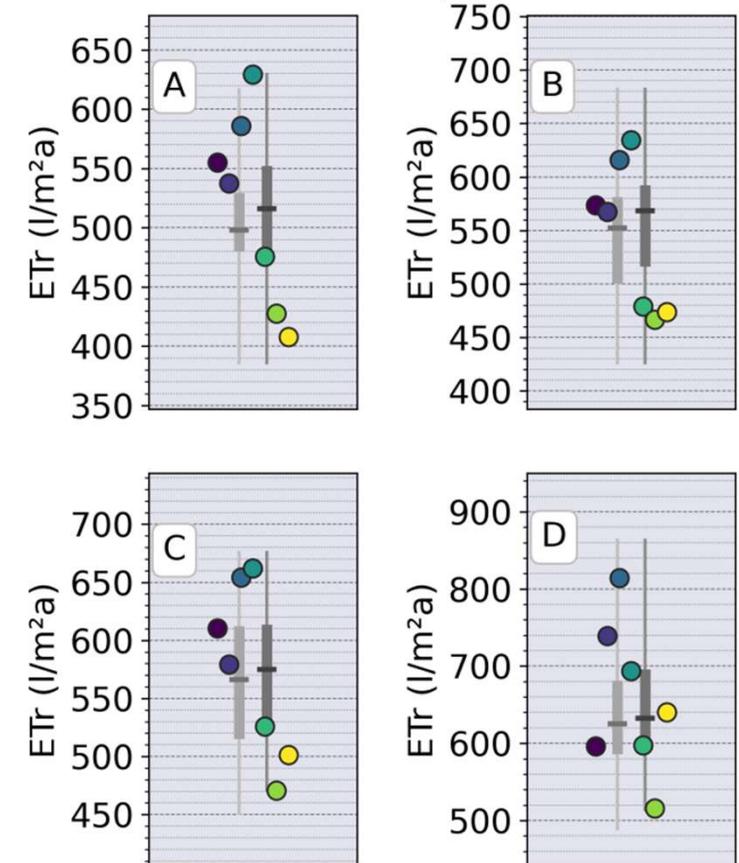
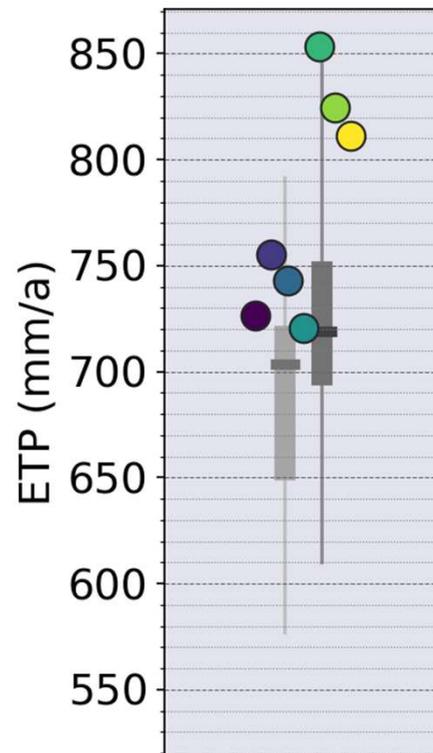


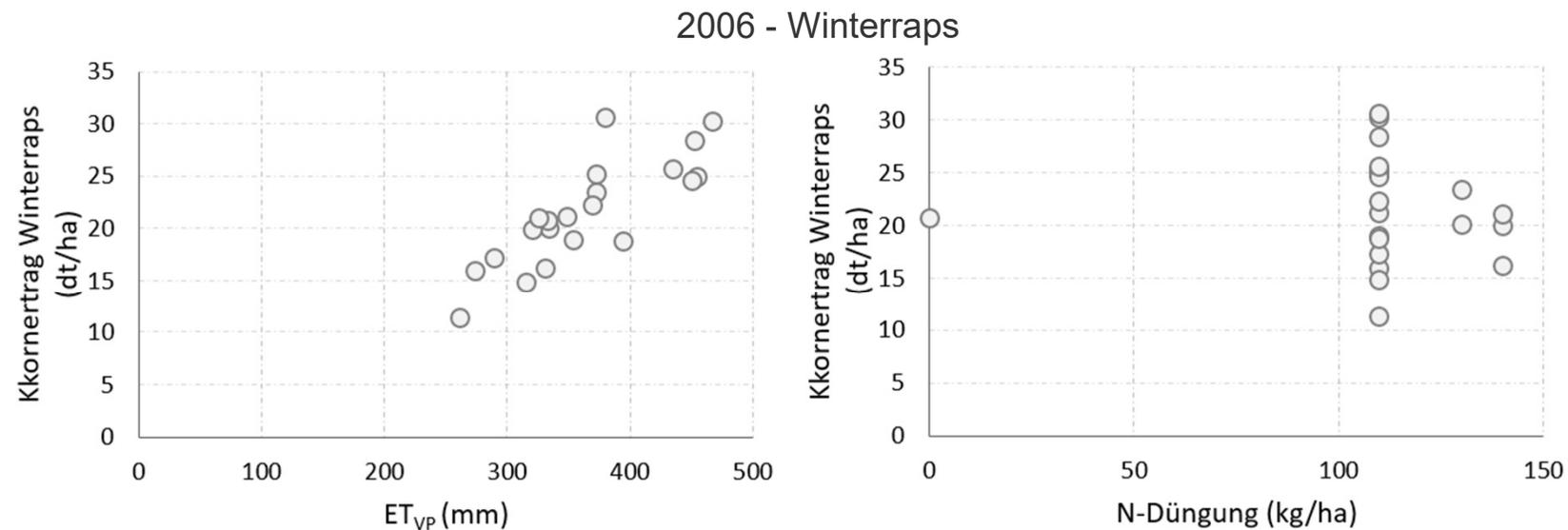
Abb. 18: Jahreswerte der potentiellen Verdunstung (links) und beobachteter realer Verdunstungen der „Trockenjahre“ 2014- 2020 am Standort Brandis, mit Darstellung der Statistiken der Referenzperioden 1981-2010 und 1991 -2020 für 4 Pedohydrotope

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

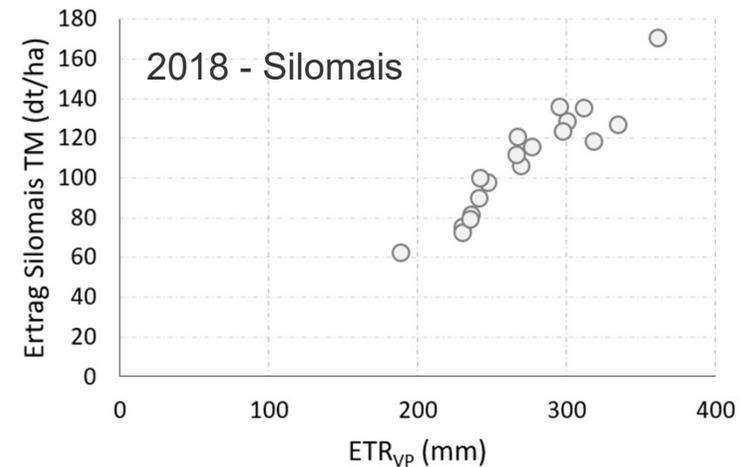
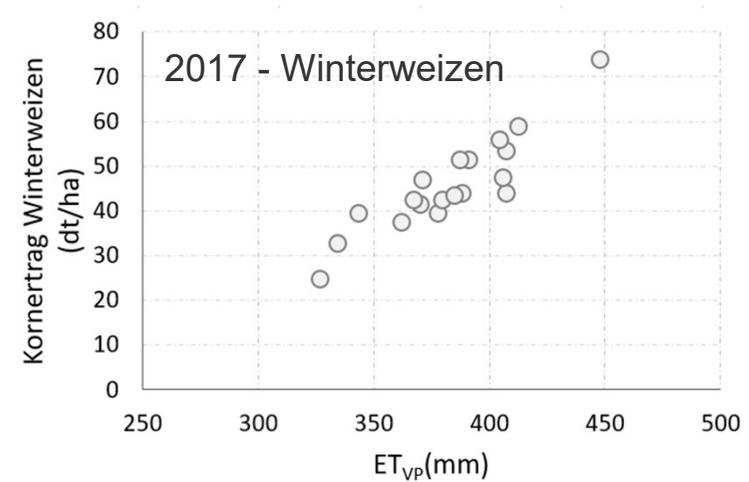
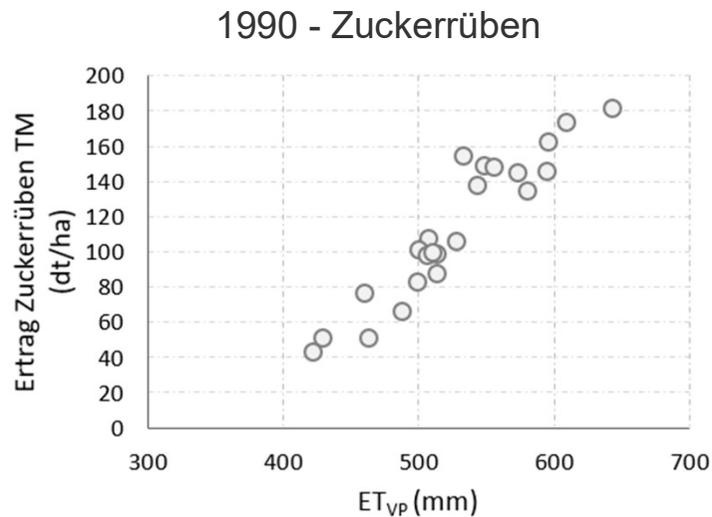
Klimawandel und Landwirtschaft

- 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



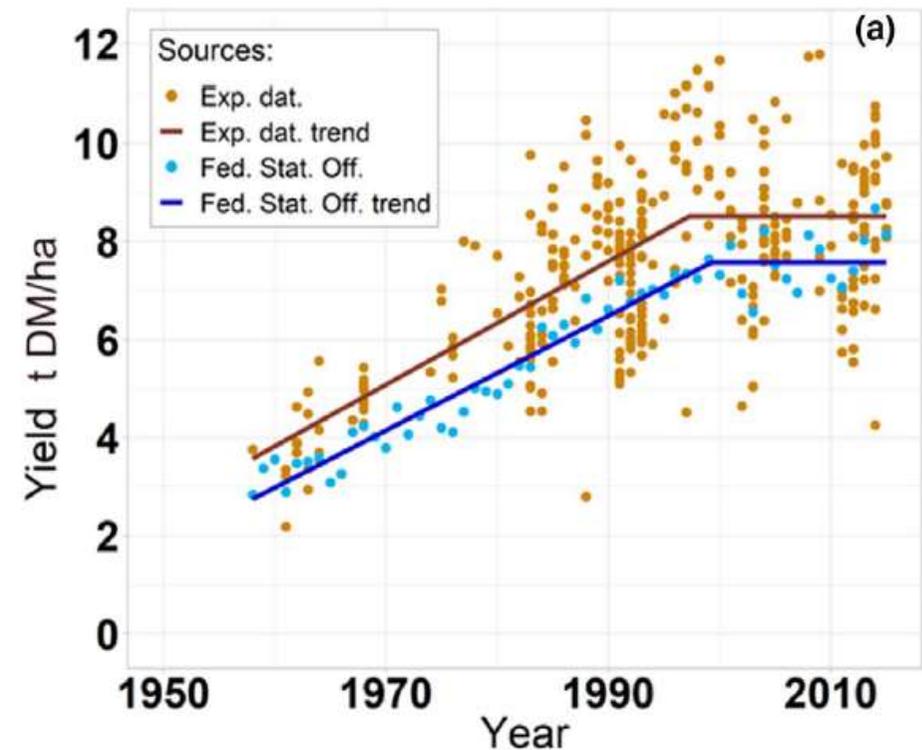
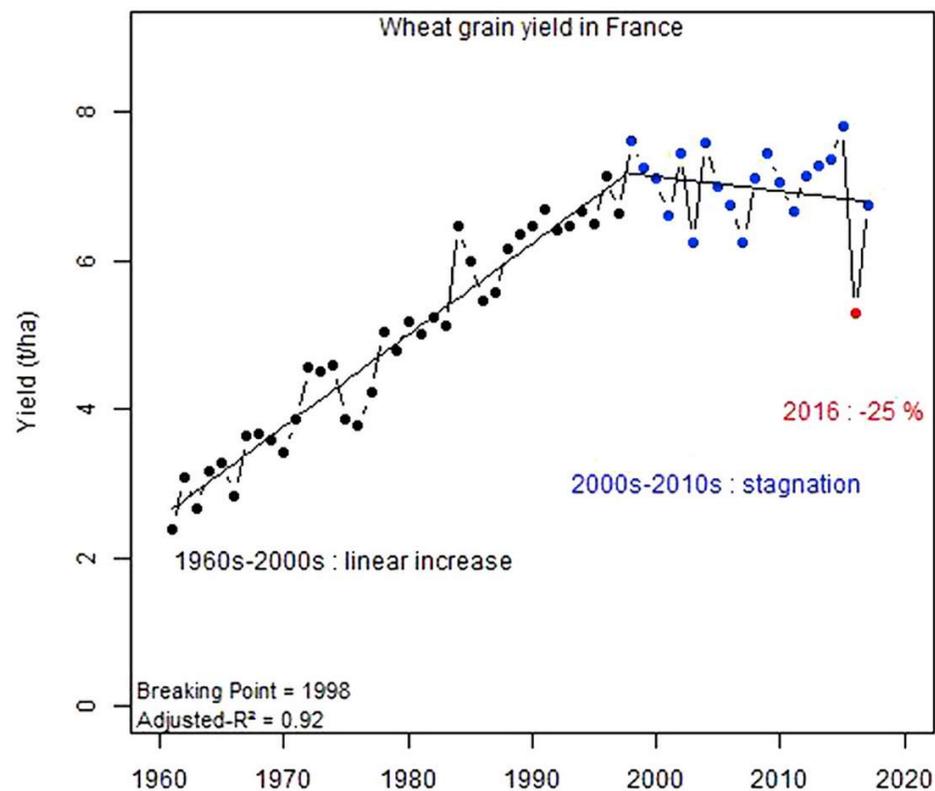
Klimawandel und Landwirtschaft

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



Klimawandel und Landwirtschaft

- Entwicklung von Weizenerträgen in Frankreich (links) und Deutschland (rechts), zunehmende Klimaeffekte als Hauptgründe (Lüttger, et al, 2018; Bönnecke 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),
 - in Kombination mit Dürreperioden auf die mikrobiellen Bodenorganismen wirken und deren Zusammensetzung verändern können (Siebert et al., 2019)

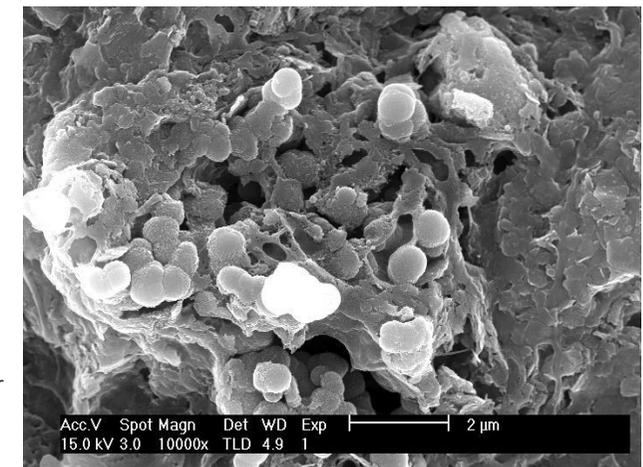
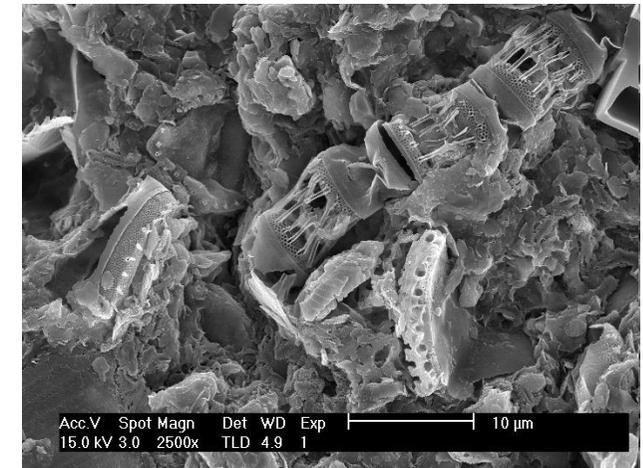


Abb. 19: Beispielhafte Aufnahmen eines Rasterelektronenmikroskops einer Bodenoberfläche zur Darstellung der mikrobiellen Vielfalt in Böden, Quelle: <http://www.soil-net.com/sm3objects/casestudies>

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>