

# PFLANZLICHE UND MIKROBIELLE BIOFILME BEI BODENTROCKENHEIT

WIRKUNG VON TROCKENSTRESS IN DEN SYSTEMEN BIODYNAMISCH BZW. KONVENTIONELL

AUTORIN: **TABATA BUBLITZ**  
Wiss. Mitarbeiterin, Universität Kassel  
[t.bublitz@uni-kassel.de](mailto:t.bublitz@uni-kassel.de)



DOK (Dynamisch, Organisch, Konventionell) –  
Langzeitversuch in Therwil, Schweiz

Im Rahmen des DOK-Versuches in der Schweiz untersuchten Forschende die Auswirkungen von Trockenheit auf das Mikrobiom. Mit simuliertem Trockenstress wurden biodynamische und konventionelle Anbausysteme verglichen. Unabhängig vom System wirkten sich regenerative Praktiken wie flache Bodenbearbeitung, Zwischenfruchtanbau und Klee gras in der Fruchtfolge positiv aus.

**D**ürreereignisse werden in Europa immer schwerwiegender und treten immer häufiger auf. Veränderungen der Temperatur und Niederschlagsmuster können die Mobilität und Verfügbarkeit von Nährstoffen im Boden beeinflussen und so die Biomasse und Aktivität der mikrobiellen Gemeinschaften im Boden modulieren. Die mikrobielle Biomasse im Boden ist der aktive Anteil der organischen Substanz im Boden (SOM) (Jenkinson et al. 1988). Während ihres Wachstums wandeln Bodenmikroben organisches Substrat in Biomasse um und scheiden auch Nicht-Biomasse-Metaboliten wie extrazelluläre polymere Substanzen (EPS) in den Boden aus

## Was sind extrazelluläre polymere Substanzen (EPS)?

Pflanzliche und mikrobielle EPS bilden im Wesentlichen Biofilme, in denen Mikroorganismen leben. Sie finden sich an mineralischen und organischen Oberflächen in der Bodenmatrix und bestehen hauptsächlich aus Proteinen und Kohlenhydraten (More et al. 2014). Das Vorhandensein von EPS kann im Allgemeinen Vorteile bieten, wie z. B. den Schutz mikrobieller Zellen vor Trockenheit, da es Wasser speichern kann (Flemming und Wingender 2010). Pflanzen-EPS können insbesondere als schützendes Gleitmittel für die

Wurzelspitze gegen physische Schäden während des Wachstums durch den Boden fungieren (McKenzie et al. 2013). Sie halten den Boden in der Nähe der Wurzeln feucht und hydraulisch gut leitfähig, was die Wasserrückhaltung begünstigt und den Wasserfluss aus trockenem Boden zur Wurzeloberfläche erleichtert (Ahmed et al. 2014).

### Wie tragen Pflanzen zur EPS-Bildung bei?

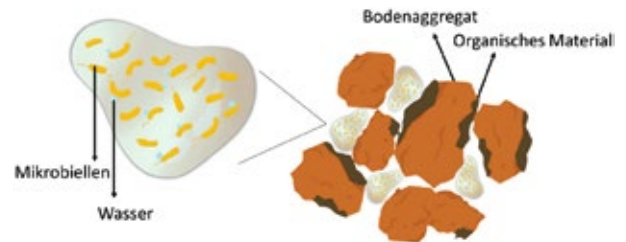
Pflanzen können durch die Übertragung von Substanzen in den Boden mittels Rhizodeposition (Wichern et al. 2008) zu Veränderungen der mikrobiellen Biomasse und der EPS-Pools beitragen. Dieser Prozess umfasst alle von lebenden Wurzelzellen freigesetzten Verbindungen, wie Ionen, Gase, flüchtige organische Komponenten, Schleimstoffe, Lysate und Sekrete sowie zerfallende Feinwurzelfragmente (Uren 2001). Wurzelexsudate sind leicht verfügbare Kohlenstoffquellen, die von Rhizosphärenmikroorganismen schnell zersetzt werden (Ahmed et al. 2018), die dann wachsen und polymere Substanzen absondern können. Darüber hinaus kann Schleim, der von Pflanzen abgesondert wird, aufgrund seiner ähnlichen Zusammensetzung und Funktionen wie mikrobielles EPS ebenfalls als pflanzliche Form von EPS betrachtet werden (Staudinger et al. 2022).

Da der Klimawandel derzeit die Nahrungsmittelproduktion durch ein erhöhtes Risiko intensiver Dürren bedroht (Easterling et al. 2007), ist die Untersuchung der Auswirkungen von Dürren auf die Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Mikroben von entscheidender Bedeutung und kann zur Entwicklung von Strategien zur Eindämmung beitragen. Unter Dürrebedingungen kann beispielsweise der Transfer von Assimilaten zu den Wurzeln zunehmen, jedoch kann der mikrobielle Umsatz aufgrund eines Ruhezustands und damit eines geringeren Substratbedarfs abnehmen. Andererseits kann Trockenheit die Bildung von Schleimstoffen verstärken (Nazari et al. 2023) und kurzfristig die mikrobielle Biomasse während der Vegetationsperiode erhöhen, da die Pflanzenstoffe Energiequellen für Mikroben sind.

### EPS und mikrobielle Biomasse bei Weizen in verschiedenen Anbausystemen

Bei verschiedenen Pflanzenarten können über längere Zeiträume und unter unterschiedlichen Bewirtschaftungsmethoden unterschiedliche Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Mikroorganismen auftreten. Weizen (*Triticum aestivum*) ist eine der wichtigsten Grundnahrungsmittelpflanzen, die in Europa angebaut werden. Die Widerstandsfähigkeit von Weizen wurde hinsichtlich der Zusammensetzung und Wachstumsraten der zugehörigen mikrobiellen Gemeinschaft als Reaktion auf Trockenheit untersucht (Bardgett et al. 2008). Allerdings wurde dies nicht für die Exsudation von mikrobiellen und pflanzlichen EPS und deren Veränderungen während der Pflanzenentwicklungsstadien untersucht. Der Einfluss verschiedener Anbausysteme, von konservie-

ABB. 1: SCHEMA EXTRAZELLULÄRER POLYMERER SUBSTANZEN (EPS) U. VORKOMMEN IN BODENMATRIX



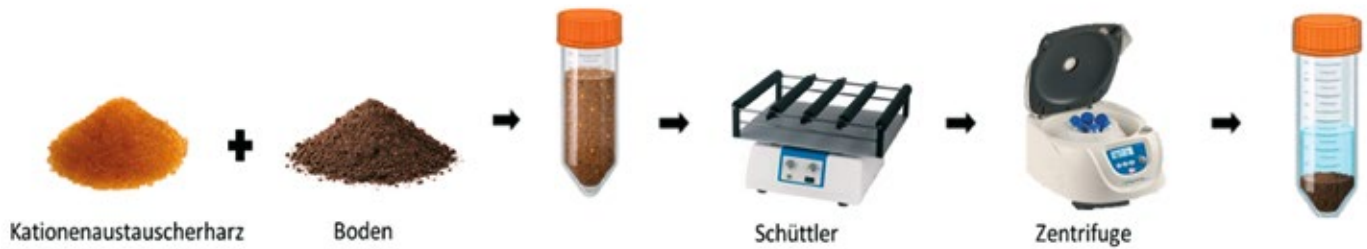
renden bis hin zu intensiven Systemen, könnte sich ebenfalls auf die EPS-Akkumulationswerte auswirken, da sich dadurch die Akkumulation von organischem Kohlenstoff im Boden (SOC) und mikrobieller Biomasse (MBC) sowie Stickstoff (MBN) direkt verändert. Es hat sich insbesondere gezeigt, dass die Ausbringung von Hofdünger die oben genannten Parameter erhöht (Joergensen et al. 2010) und möglicherweise die EPS-Ausscheidungsmengen als Reaktion auf Trockenstress moduliert.

Um die gekoppelten Auswirkungen von Trockenheit und Anbausystem auf die EPS-Produktion und die mikrobielle Biomasse im Boden in verschiedenen Entwicklungsstadien von Weizen zu untersuchen, wurde in der Schweiz ein Trockenheitssimulationsexperiment mit Regenauswaschschutzvorrichtungen im Rahmen des DOK (Dynamisch, Organisch, Konventionell) Langzeitversuch in der Schweiz durchgeführt, eine Untersuchung, die in das BioDiversa+Projekt MICROSERVICES eingebettet ist, das die Auswirkungen von Trockenheit auf das Mikrobiom und die damit verbundenen Bodenfunktionen unter Winterweizen in Europa untersucht. Die Bodenprobenahme erfolgte in drei Entwicklungsstadien des Winterweizens, nämlich beim Schossen, der Blüte und der Ausreife, aus drei verschiedenen Anbausystemen: einem biodynamischen System (BIODYN), das ausschließlich mit kompostiertem Hofdünger und Gülle gedüngt wurde, einem konventionellen System (CONFYM), das eine Kombination aus Hofdünger und Mineraldüngern erhielt, und einem konventionellen System (CONMIN), das nur mit Mineraldüngern gedüngt wurde.

Wir haben die folgenden Hypothesen untersucht: (1) Simulierte Trockenheit fördert die Bildung von kohlenhydratdominiertem EPS, und zweitens (2) ist die Zunahme der EPS-Akkumulation in Pflanzenstadien mit stärkerem Wurzelwachstum und höherer Exsudation (d. h. Blüte) größer, und (3) Anbausysteme, die vollständig oder teilweise mit Hofdünger gedüngt werden, weisen höhere Mengen an mikrobieller Biomasse und damit mehr EPS auf, insbesondere unter Trockenbedingungen.

>>>

ABB. 2: VERFAHREN ZUR EPS-EXTRAKTION UNTER VERWENDUNG VON KATIONENAUSTAUSCHERHARZ



Die Regenabdeckungen wurden im November 2021 auf einer Seite jeder Parzelle in jedem der Anbausysteme installiert. Winterweizen (*Triticum aestivum* var. *Wiwa*) wurde Mitte Oktober ausgesät, wie von Kost et al. (2024) angegeben. Die Kontrollparzellen erhielten von Mitte November 2021 bis April 2022 etwa 193 mm Niederschlag. Die geschützten Parzellen wurden während dieses Zeitraums mit insgesamt 55 mm Niederschlagsäquivalent bewässert. Vom 1. April bis zum 14. Juli 2022 wurden die geschützten Parzellen vollständig von Bewässerung und Niederschlag ausgeschlossen. Dies führte zu einer Gesamtverringerung der Niederschläge um 72 % im Winter und einem vollständigen Entzug von April bis Mitte Juli, wobei ein Bodenwassergehalt von etwa 10 % angestrebt wurde.

Bodenproben wurden aus allen Parzellen in einer Tiefe von 0–15 cm mit einem Bodenbohrer (Durchmesser fünf cm) in drei verschiedenen Pflanzenstadien (Stängelwachstum, Blüte und Reifung) entnommen. Die mikrobielle Biomasse wurde durch Begasungsextraktion bestimmt (Brookes et al. 1985; Vance et al. 1987) und EPS wurde aus den Böden mit Kationenaustauscherharz extrahiert (Redmile-Gordon et al. 2014). Später wurde in den endgültigen EPS-Extrakten die Menge an Proteinen und Kohlenhydraten gemessen.

### Auswirkungen von Trockenheit und saisonalen Einflüssen

Die EPS nahmen mit der Trockenheit deutlich zu, was unserer Hypothese (1) entspricht. Sowohl die EPS-Protein- als auch die Kohlenhydratfraktionen korrelierten negativ mit der Bodenfeuchte, blieben jedoch vom Schossen bis zur Abreife in der trockenheitsinduzierten Behandlung in etwa konstant. Dies deutet darauf hin, dass sich die Hauptunterschiede im EPS-Gehalt zwischen der trockenheitsinduzierten und der Kontrollbehandlung zwischen dem Beginn der Trockenheitsinduktion Anfang April und der ersten Probenahme beim Schossen Ende April entwickelten. Der größte Unterschied im EPS-Kohlenhydratgehalt zwischen der Trockenheitsbehandlung und der Kontrollbehandlung wurde beim Schossen beobachtet. Dies könnte darauf hindeuten, dass junge Weizenpflanzen unter Trockenheitsbedingungen in der Trockenheitsbehandlung mehr in kohlenhydratdominierten Schleim (Pflanzen-EPS) investierten als in der Kontrollbehandlung. Das C/N-Verhältnis des gemessenen EPS erreichte in dieser Studie 8,3, aber normalerweise erreichen Wurzel-assimilate viel höhere Werte, was darauf hindeutet, dass das EPS im

vorliegenden Experiment überwiegend mikrobiellen Ursprungs war. Es müssen jedoch spezifische Untersuchungen zur Bestimmung des genauen Ursprungs von EPS mit der Quantifizierung spezifischer Biomarker durchgeführt werden, um weitere Schlussfolgerungen darüber ziehen zu können. Die mikrobielle Biomasse blieb während der gesamten Pflanzenstadien des Winterweizens ohne Auswirkungen der Trockenheit in etwa konstant.

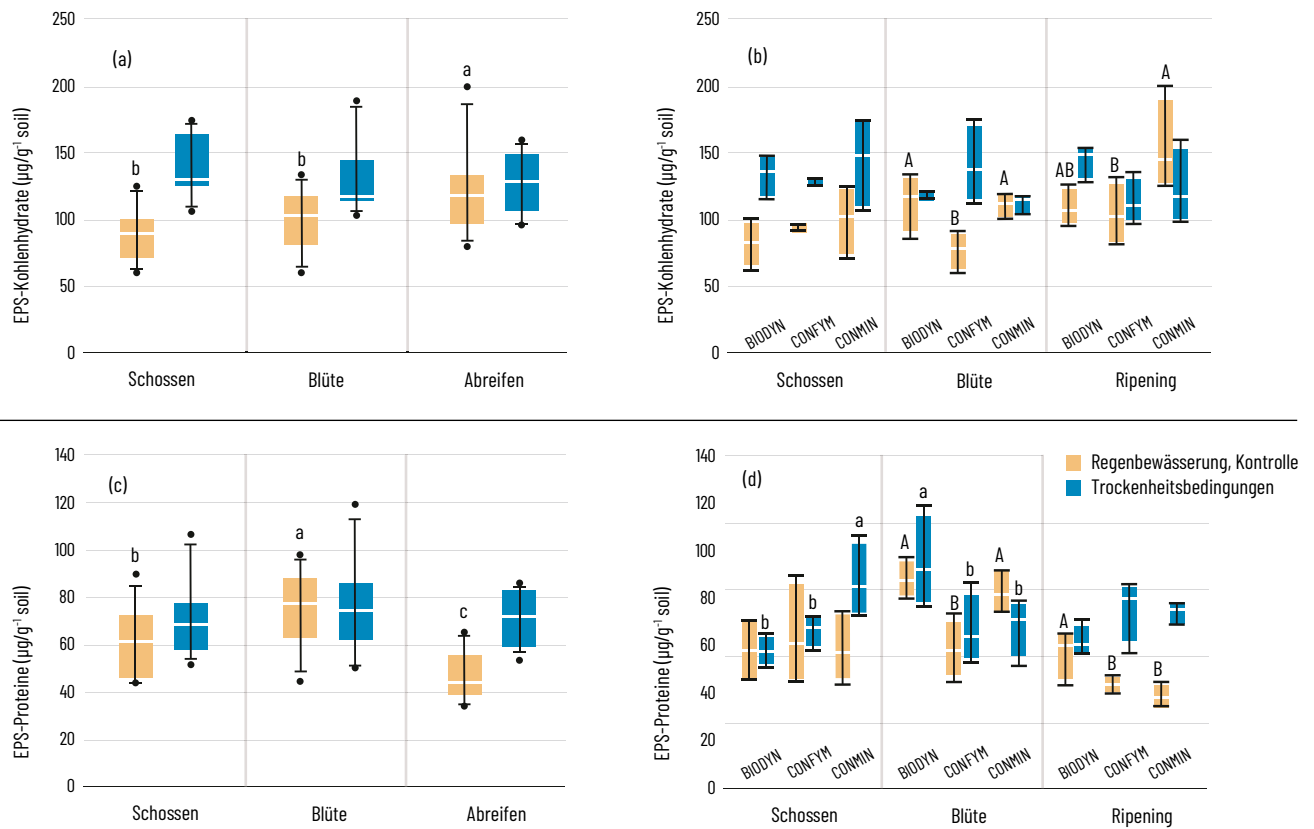
### Auswirkungen des Anbausystems

Es müssen mehrere Faktoren in Verbindung mit den Unterschieden in der Bewirtschaftung der Kulturen analysiert werden, die zu diesen Ergebnissen beigetragen haben könnten. Trotz der spezifischen und kontrastierenden Düngungs- und Unkrautbekämpfungsmaßnahmen werden im Rahmen des langfristigen Feldversuchs DOK seit langem regenerative Praktiken wie flache Bodenbearbeitung, Zwischenfruchtanbau und Klee gras in der Fruchtfolge aller Anbausysteme angewendet. Diese Maßnahmen haben zusätzlich zum Bodentyp mit hohem Schluffanteil und der weitgehend ruhenden mikrobiellen Population im Boden wahrscheinlich die tatsächlichen Unterschiede in der Wasser- und Substratverfügbarkeit abgefedert. Infolgedessen reagierte die mikrobielle Biomasse im Boden nur auf die langfristigen Unterschiede in der Bewirtschaftung der Kulturen.

Unter Trockenstress war der Einfluss des Anbausystems gering. Kost et al. (2024) haben ebenfalls berichtet, dass das Anbausystem keinen Einfluss auf die Widerstandsfähigkeit der mikrobiellen Gemeinschaft gegenüber Trockenheit hat, was in engem Zusammenhang mit unseren Ergebnissen stehen könnte, da die Ausscheidung von EPS die Widerstandsfähigkeit von Mikroben gegenüber rauen Umgebungen erhöht (Roberson und Firestone 1992).

Schließlich müssen wir unsere dritte Hypothese verwerfen, da die Anwendung organischer Bodenverbesserungsmittel und/oder die Reduzierung des Pestizideinsatzes sowohl bei BIODYN als auch bei CONFYM nicht zu höheren Mengen an mikrobieller Biomasse und damit zu mehr EPS unter Trockenheit führte. •

ABB. 3. TROCKENHEITSEFFEKTE DURCH BIODYNAMISCH NUR ANDEUTUNGSWEISE, NICHT STATISTISCH ABGESICHERT



Extrazelluläre polymere Substanzen (EPS) im Boden: Kohlenhydrate (Abb 3a, 3b) und Proteine (Abb 3c, 3d) unter Regenbewässerung und unter Trockenheitsbedingungen in den Stadien Schossen, Blüte und Abreife von Weizen (linke Seite) kombiniert über alle Anbausysteme (a, c) und unterteilt nach biodynamischen (BIODYN), konventionellen mit Mist (CONFYM) und rein mineralischen (CONMIN) Anbausystemen (b, d). Kleinbuchstaben (a, b, c) stehen für Unterschiede zwischen den Gruppen in den Kontrollparzellen mit Regenbewässerung, Großbuchstaben (A, B) stehen für Unterschiede in den Parzellen mit Trockenheit ( $P < 0,05$ , Tukey HSD).

**Quellen**

- Ahmed MA, Kroener E, Holz M, Zarebanadkouki M, Carminati A (2014) Mucilage exudation facilitates root water uptake in dry soils. *Funct Plant Biol* 41:1129–1137.
- Ahmed MA, Banfield CC, Sanaullah M, Gunina A, Dippold MA (2018) Utilisation of mucilage C by microbial communities under drought. *Biol Fertil Soils* 54:83–94.
- Bardgett RD, Freeman C, Ostle NJ (2008) Microbial contributions to climate change through carbon cycle feedbacks. *ISME* 2:805–814
- Easterling WE (2007) Climate change and the adequacy of food and timber in the 21st century. *PNAS* 104:50, 19679–19679
- Flemming HC, Wingender J (2010) The biofilm matrix. *Nat Rev Microbiol* 8:623–633.
- Jenkinson DS (1998) The determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. In: Wilson JR (ed) *Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems*. CABI, Wallingford, UK, pp 368–386
- Joergensen RG, Mäder P, Fließbach A (2010) Long-term effects of organic farming on fungal and bacterial residues in relation to microbial energy metabolism. *Biol Fertil Soils* 46:303–307.
- Kost E, Kundel D, Conz RF, Mäder P, Krause HM, Six J, Mayer J, Hartmann M (2024) Soil microbial resistance and resilience to drought under organic and conventional farming. *Eur J Soil Biol* 123:103690.
- McKenzie BM, Mullins CE, Tisdall JM, Bengoug AG (2013) Root–soil friction: quantification provides evidence for measurable benefits for manipulation of root-tip traits. *Plant Cell Environ* 36:1085–1092.
- More TT, Yadav JSS, Yan S, Tyagi RD, Surampalli RY (2014) Extracellular polymeric substances of bacteria and their potential environmental applications. *J Environ Managem* 144:1–25
- Nazari M, Bilyera N, Banfield CC, Mason-Jones K, Zarebanadkouki M, Munene R, Dippold MA (2023) Soil, climate, and variety impact on quantity and quality of maize root mucilage exudation. *Plant Soil* 482:25–38
- Staudinger C, Dissanayake BM, Duncan O, Millar AH (2022) The wheat secreted root proteome: implications for phosphorus mobilisation and biotic interactions. *J Proteom* 252:104450.
- Uren NC (2001) Types, amounts, and possible functions of compounds released into the rhizosphere by soil-grown plants. In: Pinton R, Varanini Z, Nannipieri P (eds) *The rhizosphere—biogeochemistry and organic substances at the soil–plant interface*. Marcel Dekker, New York, pp 19–40
- Wichern F, Eberhardt E, Mayer J, Joergensen RG, Müller T (2008) Nitrogen rhizodeposition in agricultural crops: methods, estimates and future prospects. *Soil Biol Biochem* 40:30–48.

**Der Beitrag basiert auf folgender Originalpublikation**

- Bublitz, T.A., Kost, E., Kundel, D. et al. Soil extracellular polymeric substances and microbial biomass react differently to field induced drought stress in contrasting cropping systems at different wheat developmental stages. *Biol Fertil Soils* 61, 1063–1075 (2025). <https://doi.org/10.1007/s00374-025-01918-0>
- Unter Beteiligung von: Tabata Aline Bublitz, Oluwaseun Idowu Alimi, Anke Hupe & Rainer Georg Joergensen, Soil Biology and Plant Nutrition, University of Kassel, Witzenhausen,
- Elena Kost & Martin Hartmann, Department of Environmental Systems Science, ETH Zürich,
- Dominika Kundel, Paul Mäder & Hans-Martin Krause, FiBL Switzerland
- Jochen Mayer, Agroscope, Zurich, 8046, Switzerland
- Anke Hupe, Organic Farming and Cropping, University of Kassel, Witzenhausen