

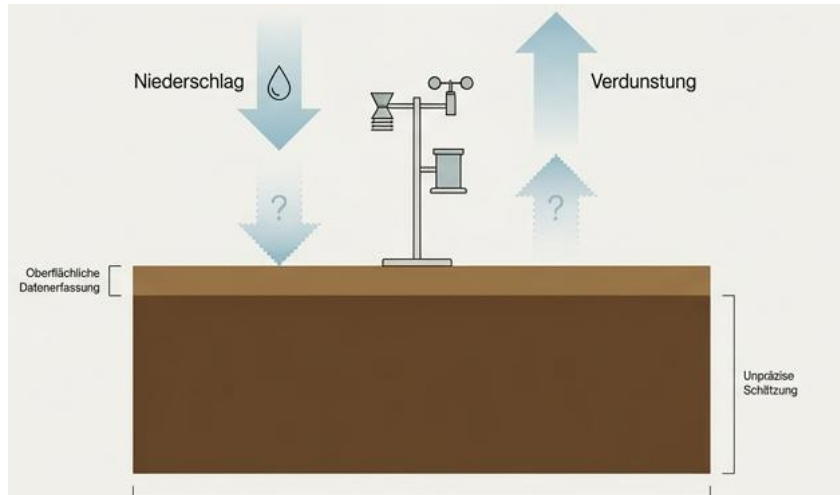
Lysimeter in der Klimafolgenforschung im Grünland



Dr. Markus Herndl
HBLFA Raumberg-Gumpenstein
Bodenforum Österreich, 19.05.2026

Bodenwasserhaushalt in der Klimafolgenforschung

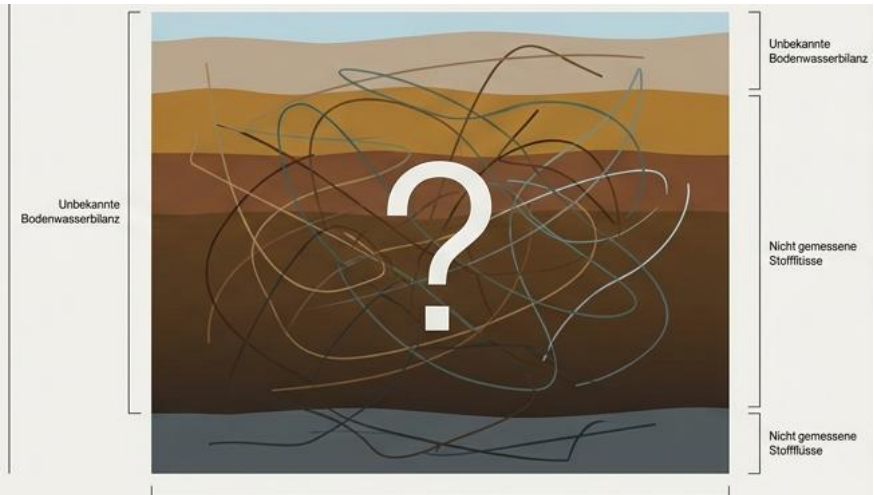
Der übliche Standard



Das Problem

Klimamodelle benötigen exakte Daten zu Wasser- und Stoffkreisläufen. Herkömmliche Feldmessungen schätzen die Evapotranspiration und Sickerwasserraten oft nur, anstatt sie zu messen.

Der unbekannte Untergrund

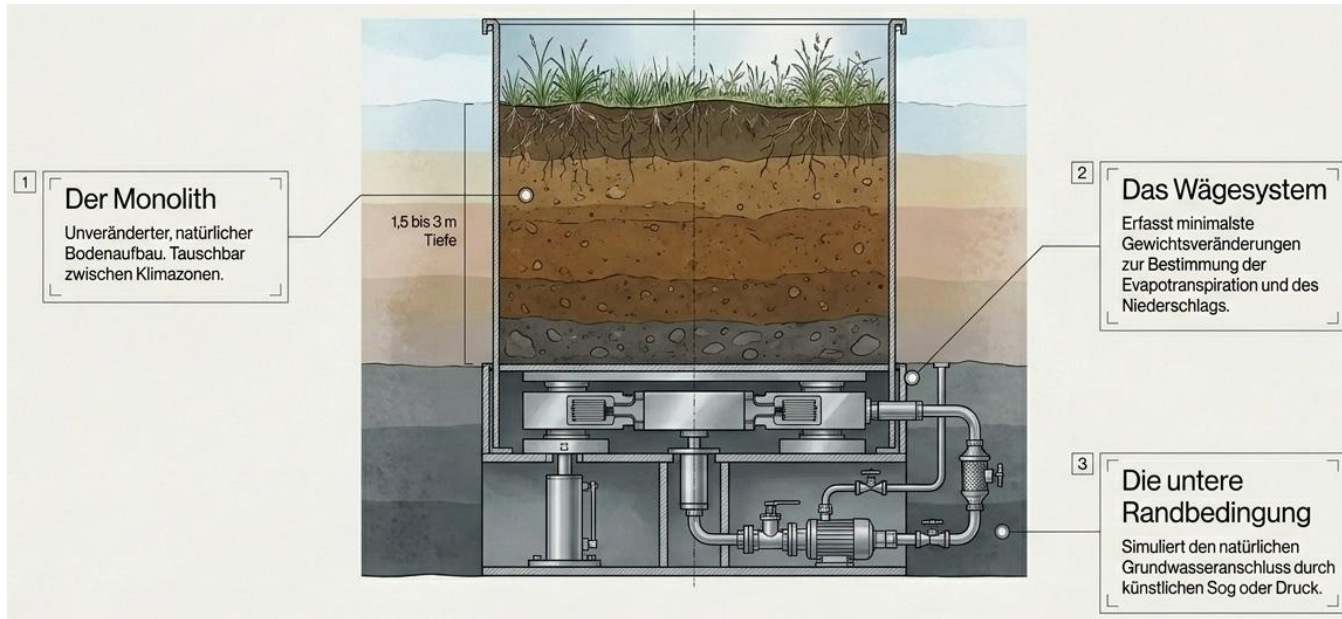


Die Konsequenz

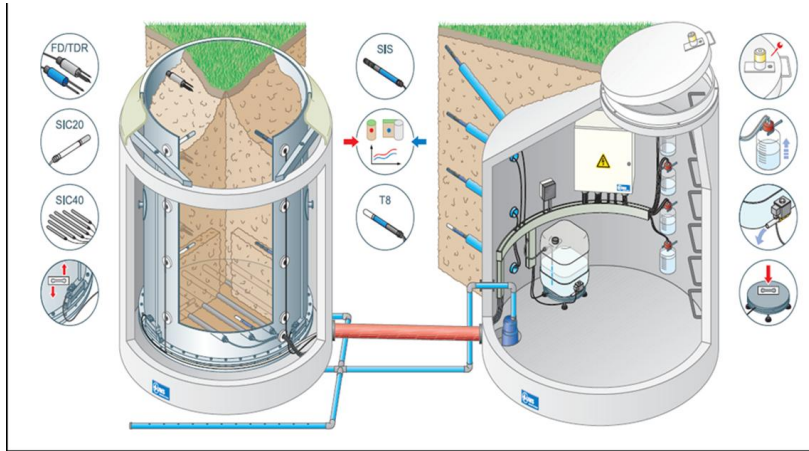
Ohne die exakte Bilanzierung des Bodenwasserhaushalts bleiben die Reaktionen von Agrarökosystemen auf Extremwetterereignisse (Dürre, Starkregen) spekulativ.

Lysimeter – ein Präzisionsinstrument

>>Der Fachbegriff „**Lysimeter**“ setzt sich aus den griechischen Wörtern „**lyo**“ (auflösen, verlieren) und „**metron**“ (messen) zusammen. Lysimeter sind **methodische Versuchsgeräte** zur Untersuchung der **Wasser- und Stoffflüsse in der ungesättigten Zone** sowie des Verbleibs von Chemikalien in der Umwelt.<<



Lysimeter – Messung der Parameter der Bodenwasserbilanz



- Sickerwassertank
- Messauflösung 1 min
- Präzision 100 g

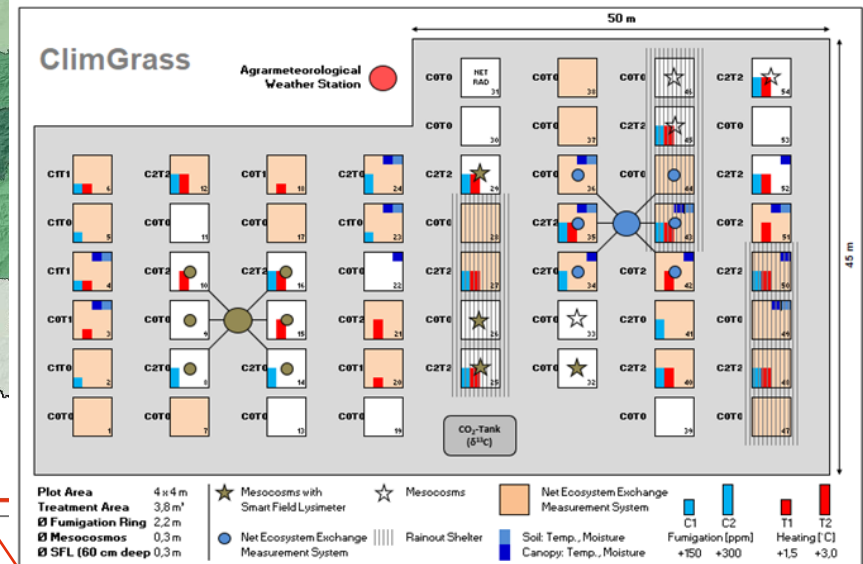
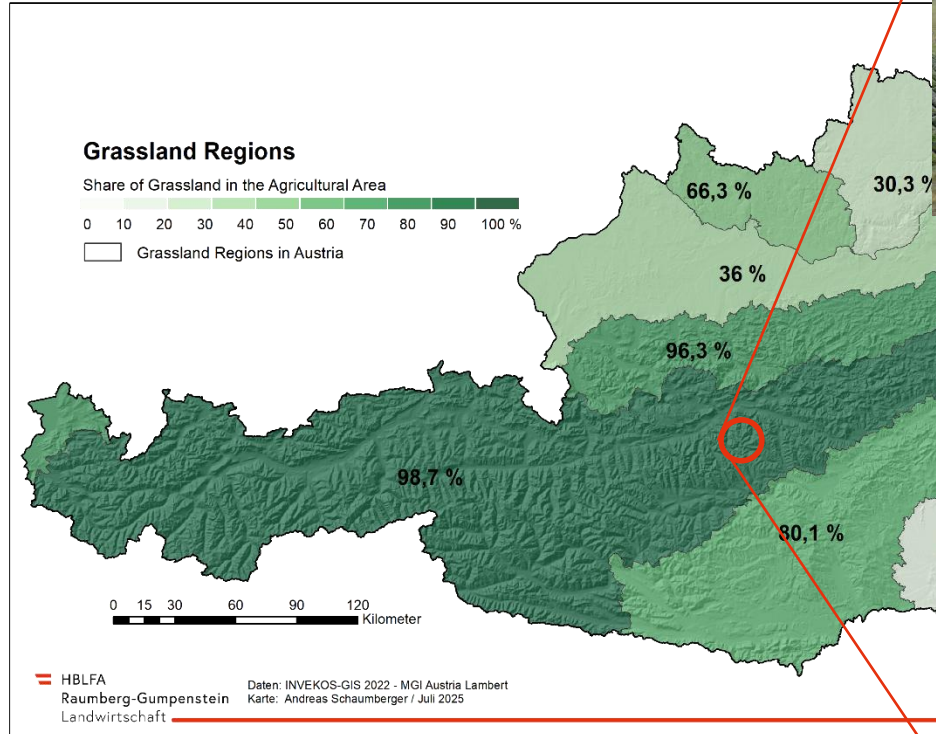
Bodenwasserbilanz:

$$\Delta W = P + I + D - (A + S + B + ET) + CR$$

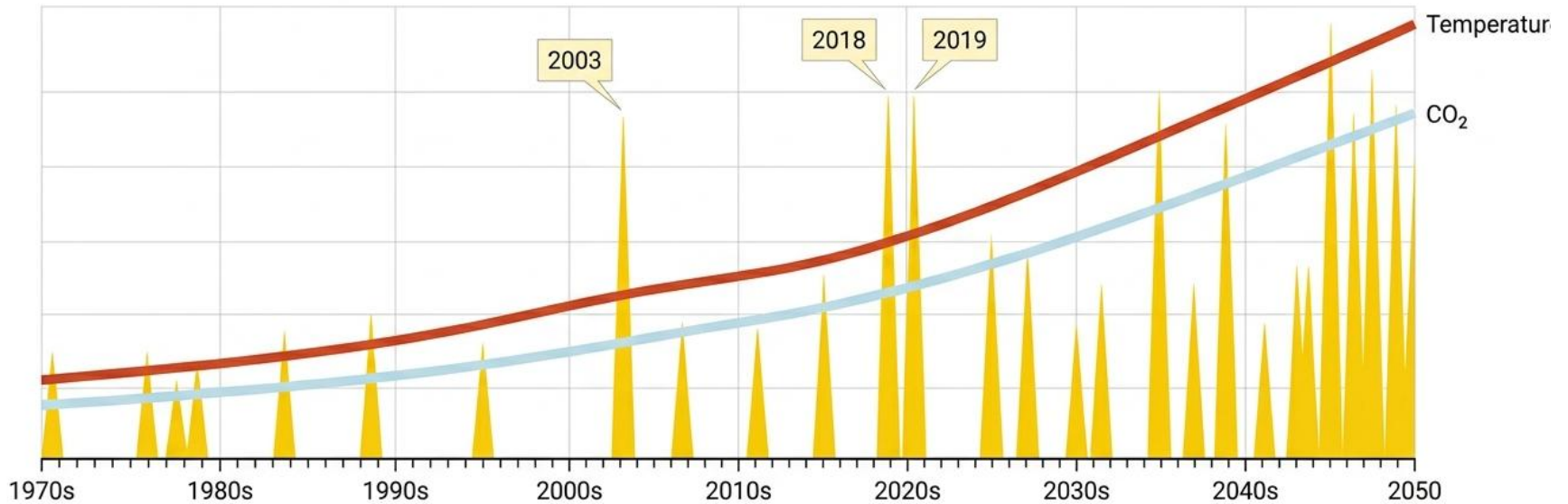
wobei: ΔW = Änderung im Lysimetergewicht, P = Niederschlag, I = Bewässerung, D = Tau, A = Oberflächenabfluss, S = Sickerwasser, B = Änderungen im Biomasseaufwuchs, ET = Evapotranspiration und CR = kapillarer Aufstieg sind.



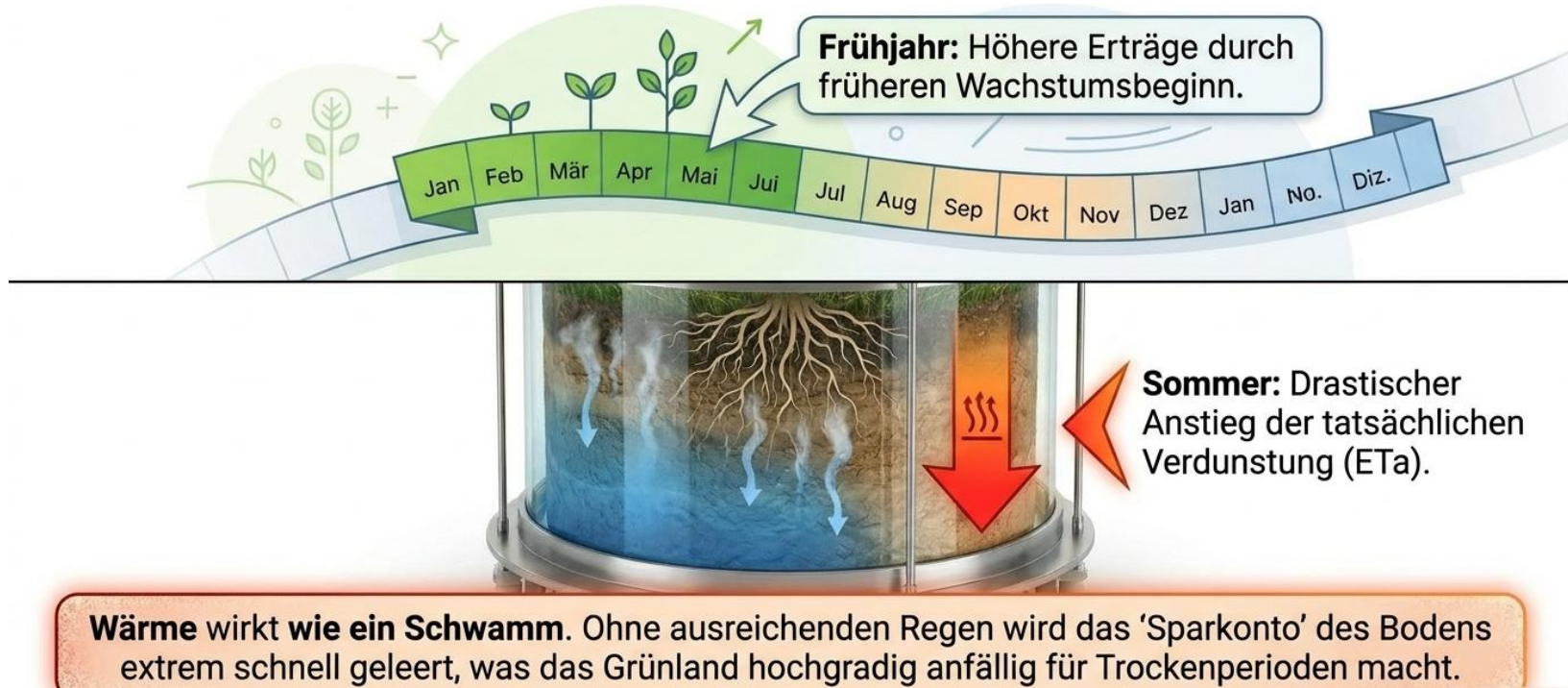
Klimafolgenforschung im Grünland



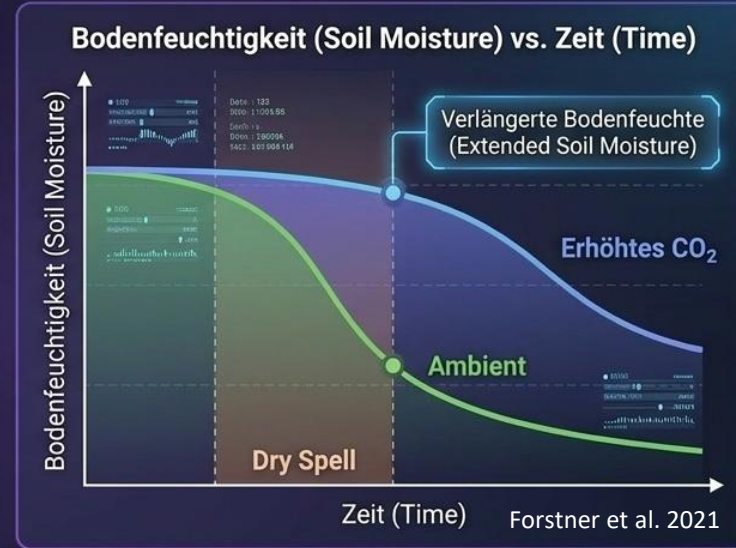
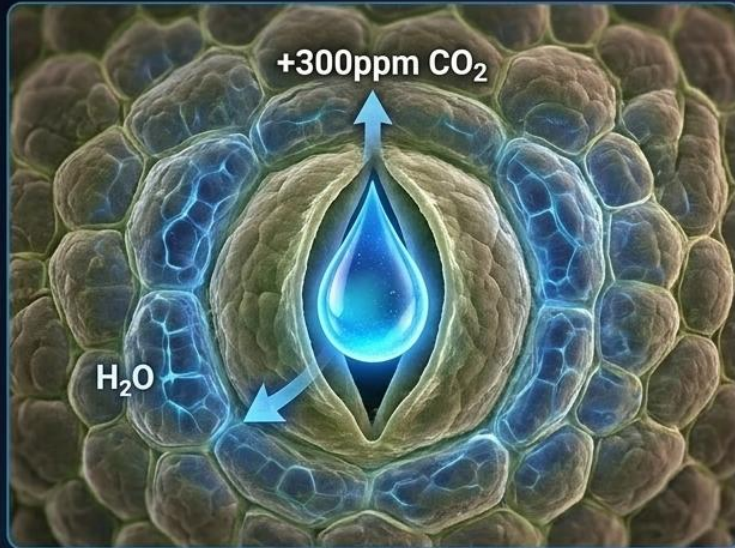
Wie reagiert das Dauergrünland auf den Klimawandel



Faktor 1: Erwärmung (+3°C)



Faktor 2: Erhöhtes CO₂ (+300 ppm)

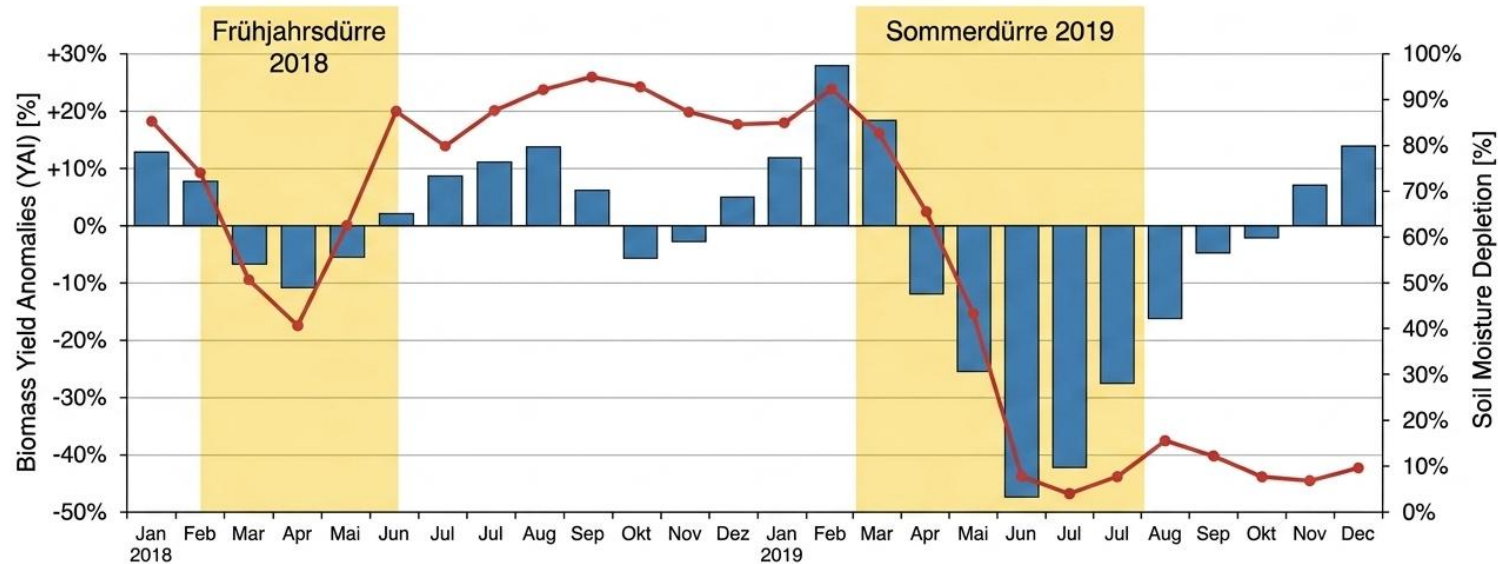


Mechanismus: Weil mehr CO₂ in der Luft ist, muss die Pflanze ihre Spaltöffnungen weniger weit öffnen, um ausreichend Photosynthese zu betreiben.

Effekt: Die Transpiration sinkt signifikant. Das eingesparte Wasser verbleibt im Boden und sorgt für höhere Matrixpotentiale.

Resultat: Eine gesteigerte Wassernutzungseffizienz (WUE). Bei leichten bis mittleren Dürren puffert das CO₂ den Ertragsverlust spürbar ab.

Faktor 3: Dürre



Forstner et al. 2022

Frühjahrstrockenheit

Kühle Temperaturen federn den Wassermangel ab. Die Ertragseinbußen bleiben moderat.

Sommerhitze + Dürre

Der tödliche Mix. Wenn Wassermangel auf hohen atmosphärischen Verdunstungsdruck trifft, stürzt der Ertrag drastisch ab (extreme negative Ertragsanomalien).

Alle drei Faktoren – zukünftige Dürre

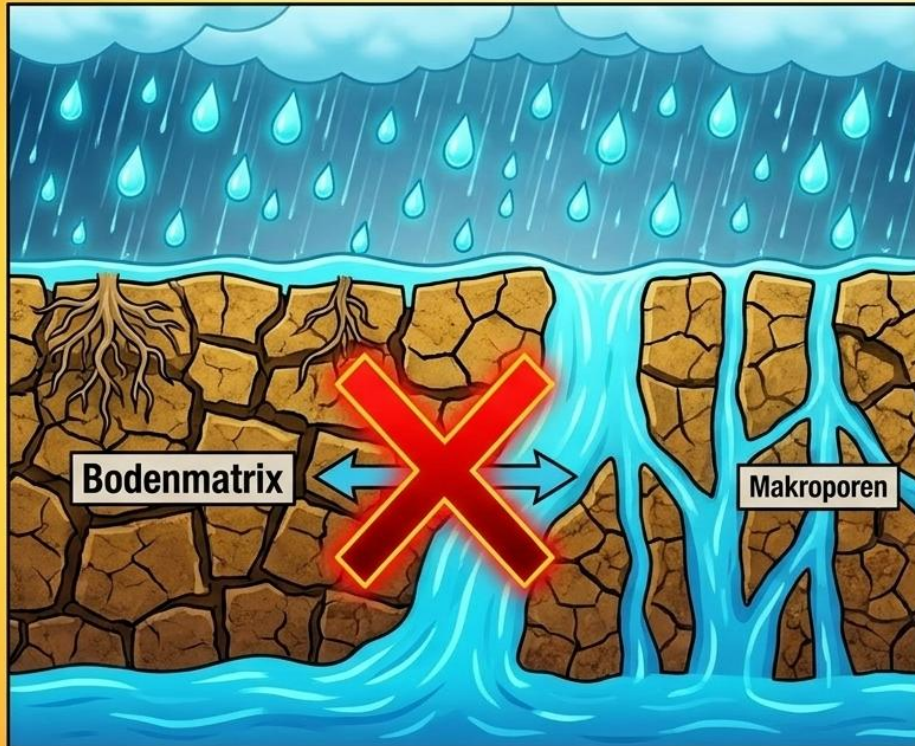


The illustration shows a bright sun with rays shining down on a landscape of cracked, dry earth. A large yellow warning sign with a black exclamation mark is centered in the foreground. To the left of the sun is a thermometer with a flame icon above it, and to the right is a blue hexagonal icon with 'CO₂' and a molecular structure. Three arrows point from these elements towards the cracked earth.

- Temperatur +3°C
- CO₂ +300 ppm
- Wiederkehrende extreme Trockenheit

**Wenn alle drei Faktoren gleichzeitig eintreffen, versucht das Grünland sich anzupassen.
Doch die physische Struktur des Bodens gerät an ihre absoluten Grenzen.**

Bypass-Effekt



Isotopen-Analyse beweist



Unter extremen Zukunfts-Dürrebedingungen wird der Boden wasserabweisend (hydrophob).

Der Bypass





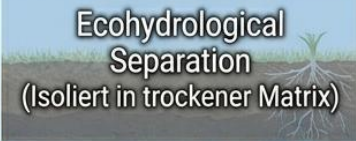
Starkregen verfehlt die Bodenmatrix. Das neue Wasser rauscht durch die Makroporen direkt ins Grundwasser ab.



Die Folge

Der Regen fällt, aber die feinen Wurzeln bleiben knochentrocken.

Diagnose-Matrix: Klimafaktoren und Effekte

	Nur Erwärmung (+3°C)	Nur Erhöhtes CO2 (+300ppm)	Future Extreme (Hitze + CO2 + Dürre)
Bodenfeuchte	Sinkt rapide	Bleibt länger hoch	Kritisch tief (SMAI < -3) 
Sickerwasser / Grundwasser	Nimmt ab	Nimmt leicht zu	Bypass-Fluss
Ertrag (Biomasse)	Hoch im Frühjahr, starker Einbruch im Sommer	Mildert moderaten Dürrestress	Massiver Einbruch 
Wurzelwasser-Zugang	Normal	Normal	Ecohydrological Separation (Isoliert in trockener Matrix) 

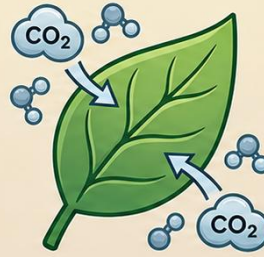
Synthese-Insight: Die Effekte heben sich nicht auf. CO2 spart zwar Wasser, aber Hitze und extreme Dürre zerstören die hydraulische Leitfähigkeit des Bodens. Das Resultat ist ein hydrologischer Systemkollaps.

Was bedeutet das für die landwirtschaftliche Praxis?



Traue dem Regemesser nicht blind.

Nach einer Dürre bedeutet Regen nicht automatisch befeuchtete Wurzeln. Starkregen fließt oft ungenutzt durch Makroporen ab (Bypass).



CO2 ist kein Ertragsretter.

Der wassersparende Effekt von CO2 bewahrt die Pflanze vielleicht vor dem Absterben, übersetzt sich im Grünland aber nicht in mehr Biomasse.



Bodenstruktur ist der einzige Puffer.

Die Erhaltung einer gesunden, gut durchmischten Bodenmatrix ist die wichtigste Verteidigungslinie gegen künftige Klimaextreme.

Auswirkungen des Klimawandels auf den Bodenwasserhaushalt im Grünland

Erkenntnisse aus mehrjährigen Untersuchungen an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein verdeutlichen die Notwendigkeit, sich an zukünftige klimatische Herausforderungen anzupassen, um die Grünlandwirtschaft nachhaltig zu sichern.

Autoren: Markus Herndl, Andreas Schaumberger, Andreas Klingler, Veronika Forstner

Factsheets

1. Auswirkungen von Trockenheit unter erhöhtem CO₂ und Erwärmung

Erkenntnis: Trockenheit in Kombination mit erhöhtem CO₂ und Erwärmung führt zu einer veränderten Wasserbewegung im Boden und einer reduzierten Wasserverfügbarkeit für Pflanzen.

Bedeutung für Landwirte: Anpassungsstrategien sind erforderlich, um den Wasserverbrauch effizient zu gestalten, insbesondere unter zunehmender Trockenheit.

2. Einschränkung der Wassermischung im Boden

Erkenntnis: Unter zukünftigen Klimabedingungen wird Wasser in großen Poren schneller transportiert und weniger mit Wasser in kleineren Poren vermischt. Dies führt zu einer eingeschränkten Wasserverfügbarkeit.

Bedeutung für Landwirte: Eine angepasste Bewässerungsstrategie könnte notwendig sein, um die Wasseraufnahme durch die Pflanzen zu maximieren.

3. Veränderte Bodenstruktur durch extreme Trockenheit

Erkenntnis: Wiederholte Trockenheitsperioden können die Bodenstruktur verändern, was die Wasserbewegung weiter einschränkt.

Bedeutung für Landwirte: Maßnahmen zur Verbesserung oder Erhaltung der Bodenstruktur, wie die Förderung organischer Substanz, können entscheidend sein

4. Verminderte Transpiration und Wachstumsrate

Erkenntnis: Pflanzen reduzieren ihren Wasserverbrauch durch eine geringere Transpiration, vor allem in CO₂-angereicherten Bedingungen. Dies kann jedoch die Wachstumsrate der Pflanzen verringern.

Bedeutung für Landwirte: Es könnte von Vorteil sein, Pflanzen auszuwählen oder zu züchten, die unter solchen Bedingungen effizienter wachsen.

5. Langfristige Auswirkungen auf Ökosystemresilienz

Erkenntnis: Obwohl die Pflanzen unter trockenen Bedingungen widerstandsfähiger gegen Wasserstress werden, geschieht dies möglicherweise auf Kosten der Produktivität.

Bedeutung für Landwirte: Es ist wichtig, Strategien zu entwickeln, die die Balance zwischen Resilienz und Produktivität wahren.

Empfehlungen für die Anpassung der Grünlandbewirtschaftung an den Klimawandel:

- **Extensivierung bei Trockenheit:** Weniger Schnitte, längere Nutzungspausen und Erhalt der Bodenbedeckung gegen Austrocknung (Schnitthöhen mind. 8 cm)
- **Verbesserung des Wasserspeichervermögens:** Vermeidung von Bodenverdichtung und Förderung von Tief-/Pfahlwurzeln zur Verbesserung der Bodenstruktur und Wasserhaltekapazität.
- **Sortenwahl:** Auswahl von Pflanzensorten/-arten, die besser mit Trockenheit und erhöhtem CO₂ umgehen können.
- **Monitoring:** Einführung von Boden- und Klimamonitoringsystemen, um frühzeitig auf Veränderungen reagieren zu können.

Klimawandel Vermeidung und Anpassung



AUSWIRKUNGEN VON DÜRRE AUF GRÜNLAND unter aktuellen und künftigen Klimabedingungen

Autor:innen: Michael Bahn^a, Andreas Schaumberger^a, Erich M. Pötsch^b, Birgit Bednar-Friedl^c, Steffen Birk^d, Markus Herndl^a, Andreas Klingler^a, Christine Stump^a, Heide Spitzer^a, Martha Stangl^a
a Universität Innsbruck | b HBLFA Raumberg-Gumpenstein | c Universität Graz | d Universität für Bodenkultur | e Climate Change Centre Austria
begutachtet von: Klaus Haslinger (GeoSphere Austria), Martin Schönhart (Universität für Bodenkultur)

Projektinfobox

Im ÖAW-Projekt ClimGrassHydro (Earth System Sciences-Programm der Österreichischen Akademie der Wissenschaften) wurden die Auswirkungen von Sommerdürre unter aktuellen und künftigen Klimabedingungen auf die Produktivität und Wassernutzung von bewirtschaftetem Grünland untersucht.

Grünlandnutzung in Österreich

Grünland stellt mit seinen unterschiedlichen Nutzungstypen in intensiver und extensiver Form mit 1,33 Mio. ha die flächenmäßig wichtigste Kulturart Österreichs dar. Bewirtschaftungsformen reichen vom intensiven Feldfutterbau, mehrschichtigen Mähwiesen und Dauerweiden bis hin zu extensiv bewirtschafteten ein- bzw. zweimähigen Wiesen, Hutweiden und Almen. Grünland dient in erster Linie zur Futterproduktion für die Viehwirtschaft, umfasst jedoch auch weitere wichtige Funktionen wie beispielsweise Erosionsschutz, Kohlenstoffspeicherung, Sicherung der Wasserqualität, Erhaltung der Biodiversität, sowie Naturraum für Erholung und Freizeit.

Für eine standortsgerechte Grünlandbewirtschaftung ist eine entsprechend angepasste Nutzungsintensität und Düngung Voraussetzung. In Österreich ist Grünland weitgehend in eine geschlossene Kreislaufwirtschaft eingebettet. Die Nährstoffversorgung erfolgt größtenteils mit Wirtschaftsdüngern (Gülle, Jauche, Stallmist). Für den Grünlandertrag ist das Standortpotenzial (Bodenqualität, Dauer der Vegetationsperiode, Wasser- und Nährstoffversorgung, etc.) und die Zusammensetzung des Pflanzenbestands bedeutsam, die durch Bewirtschaftungs- und Pflegemaßnahmen (Pflanzenschutz, Nach- und Übersaat, Weidemanagement, Schnittzeitpunkte, etc.) optimiert wird. Für den Ertrag spielt dabei eine kontinuierliche Wasserversorgung eine wichtige Rolle. Grünlandgrenzlagen liegen bei 700 – 800 mm mittlerem Jahresniederschlag.

Trockenperioden und Dürre in Österreich

Der Klimawandel beeinflusst das Wettergeschehen an vielen Orten der Welt und verstärkt zusehends das Auftreten von Wetterextremen wie Dürre. Die über die vergangenen 30 Jahre gemittelte Dauer der längsten jährlichen Trockenperioden lag in vielen Regionen Österreichs bei 20-30 Tagen (Abb. 1). Obwohl es in Österreich keinen eindeutigen Trend

zu verringerten Niederschlägen gibt, hat sich die Zahl und Dauer von Dürreereignissen zusehends erhöht. Dies ist auf die Veränderung von Niederschlagsmustern und eine Verschlechterung der klimatischen Wasserbilanz (=Niederschlag minus Verdunstung) zurückzuführen. Klimaerwärmung verstärkt die Verdunstung und verlängert die Vegetationsperiode, während der die Pflanzen dem Boden Wasser entnehmen. Darüber hinaus kann eine durch den Klimawandel bedingte Verringerung der Schneemengen die Verfügbarkeit von Bodenwasser im Frühjahr reduzieren. Weiters führt die Zunahme von Starkniederschlägen dazu, dass mehr Wasser oberflächlich abfließt und nicht im Boden gespeichert werden kann. Deshalb ist davon auszugehen, dass sich in den kommenden Jahrzehnten die Verfügbarkeit von Bodenwasser noch stärker verringern wird als für die Prognosen der klimatischen Wasserbilanz angenommen werden kann.

Auswirkungen von Dürre auf Grünland

Dürre führt in Grünland meist zu Ertragsminderungen, wobei der Zeitpunkt und die Intensität der Dürre, aber auch die Artenzusammensetzung des Pflanzenbestands für deren Ausmaß entscheidend sind (Abb. 2). Durch erhöhte Nährstoffverfügbarkeit und Kompensationswachstum kann der Wiederaufwuchs des Pflanzenbestands nach einer Dürre begünstigt werden, wenn sich die Bodenwasserverfügbarkeit durch Folgeniederschläge rasch wieder erholt. Im Gegensatz zum Ertrag wird die Futterqualität durch Dürre weniger stark beeinflusst.

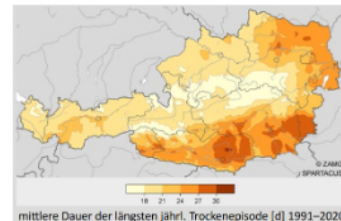


Abb. 1: Mittlere Dauer (Tage) der längsten jährlichen Trockenperioden in Österreich zwischen 1991 und 2020. Quelle: Geosphere Austria

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



Markus Herndl
HBLFA Raumberg-Gumpenstein
markus.herndl@raumberg-gumpenstein.at