

Sommerdürre und die Resilienz von Grünland im globalen Wandel

Michael Bahn^{1*} und das ClimGrass-Team^{**}

Grünland ist in vielen Teilen Europas von großer Bedeutung für die Landwirtschaft und liefert insgesamt eine Reihe wichtiger Ökosystemleistungen (Schils et al. 2022). In Österreich stellt Grünland mit 1,34 Mio. ha die flächenmäßig wichtigste Kulturart dar. Wie alle Lebensräume in Österreich ist Grünland einem deutlich rascheren und stärkeren Klimawandel ausgesetzt als im globalen Durchschnitt (Gobiet et al. 2014). Eine zunehmende Verschlechterung der klimatischen Wasserbilanz begünstigt dabei auch das vermehrte Auftreten von Dürreereignissen, die sich in den kommenden Jahrzehnten deutlich verstärken werden (IPCC 2021). Zahlreiche Studien weisen darauf hin, dass Dürreereignisse je nach Zeitpunkt des Auftretens und Intensität zu einem deutlichen Rückgang des Grünlandertrags führen können. Bislang gibt es aber noch kaum Untersuchungen dazu, wie sich die in den kommenden Jahrzehnten erwartete Erhöhung der Lufttemperatur in Kombination mit der zunehmenden CO₂-Konzentration der Atmosphäre auf die Resilienz von Grünland bei Sommerdürre auswirkt.

Das ClimGrass-Experiment in Raumberg-Gumpenstein, ursprünglich als Experiment zur Untersuchung der Auswirkungen von Klimaerwärmung und erhöhtem atmosphärischen CO₂ (eCO₂) auf Grünland geplant, wurde gemeinsam mit der Universität Innsbruck um den Faktor Trockenheit erweitert, sodass seit 2014 auf 54 Versuchspartzellen die einzelnen und kombinierten Effekte von Erwärmung, eCO₂ und Dürreereignissen untersucht werden können (Abbildung 1; Piepho et al. 2017, Pötsch et al. 2021). Dabei werden neben der Produktivität auch die ihr zugrundeliegenden biogeochemischen Prozesse hinsichtlich der Kohlenstoffdynamik und Stickstoffumsätze, sowie die damit verbundenen Treibhausgasemissionen und der Wasserhaushalt im Detail analysiert.

Die vorliegenden Ergebnisse von ClimGrass zeigen, dass Erwärmung das Wachstum von Grünland v.a. im Frühjahr beschleunigt und den Ertrag erhöht, während eCO₂ einen geringen Einfluss hat. Dürre führt zu starken Ertragseinbußen, die in einem Zukunftsszenario bei +3°C und +300 ppm CO₂ noch ausgeprägter sind. Andererseits kommt es in einem künftigen Szenario bei eCO₂ zur Beschleunigung des Wiederaufwuchses nach einer Dürre. In gleicher Weise sind auch CO₂-aufnahme und -abgaberraten aus dem Grünland bei Dürre im Zukunftsszenario stärker eingeschränkt und erholen sich nach Wiederbefeuchtung schneller als unter aktuellen Klimabedingungen (Meeran et al. 2021, Reinthaler et al. 2021).

Die Boden-Mikroorganismen zeigen in ihrer Aktivität starke saisonale Schwankungen und sind durch Erwärmung und eCO₂ kaum, aber durch Dürre stark beeinflusst (Seneca et al. 2020, Simon et al. 2020, Maxwell et al. 2022). Dadurch führt Dürre bzw. die darauffolgende Wiederbefeuchtung des Bodens durch einen Starkniederschlag zu einer Beschleunigung der Umsetzung von Stickstoff, was den Wiederaufwuchs des Pflanzenbestands begünstigen kann. Die vermehrte mikrobielle Umsetzung von Stickstoff nach Dürre kann auch die Emissionen von Lachgas, einem starken Treibhausgas, vorübergehend deutlich erhöhen (Harris et al. 2021).

Hinsichtlich der Bestandesverdunstung und Grundwasserneubildung zeigte das ClimGrass-Experiment, dass Erwärmung die Verdunstung verstärkt und die Versickerung reduziert, während eCO₂ den umgekehrten Effekt hat. In Kombination der beiden Faktoren überwiegt der Effekt der Erwärmung (Forstner et al. 2021). Dürre reduziert sowohl die Verdunstung als auch die Versickerung, und dieser Effekt wird im Zukunftsszenario verstärkt. Nach Ende der Dürre braucht es vor allem bei künftigen Klimabedingungen

¹ Institut für Ökologie, Universität Innsbruck, Sternwartestraße 15, A-6020 INNSBRUCK

* Ansprechpartner: Univ.Prof. Dr. Michael Bahn, email: michael.bahn@uibk.ac.at

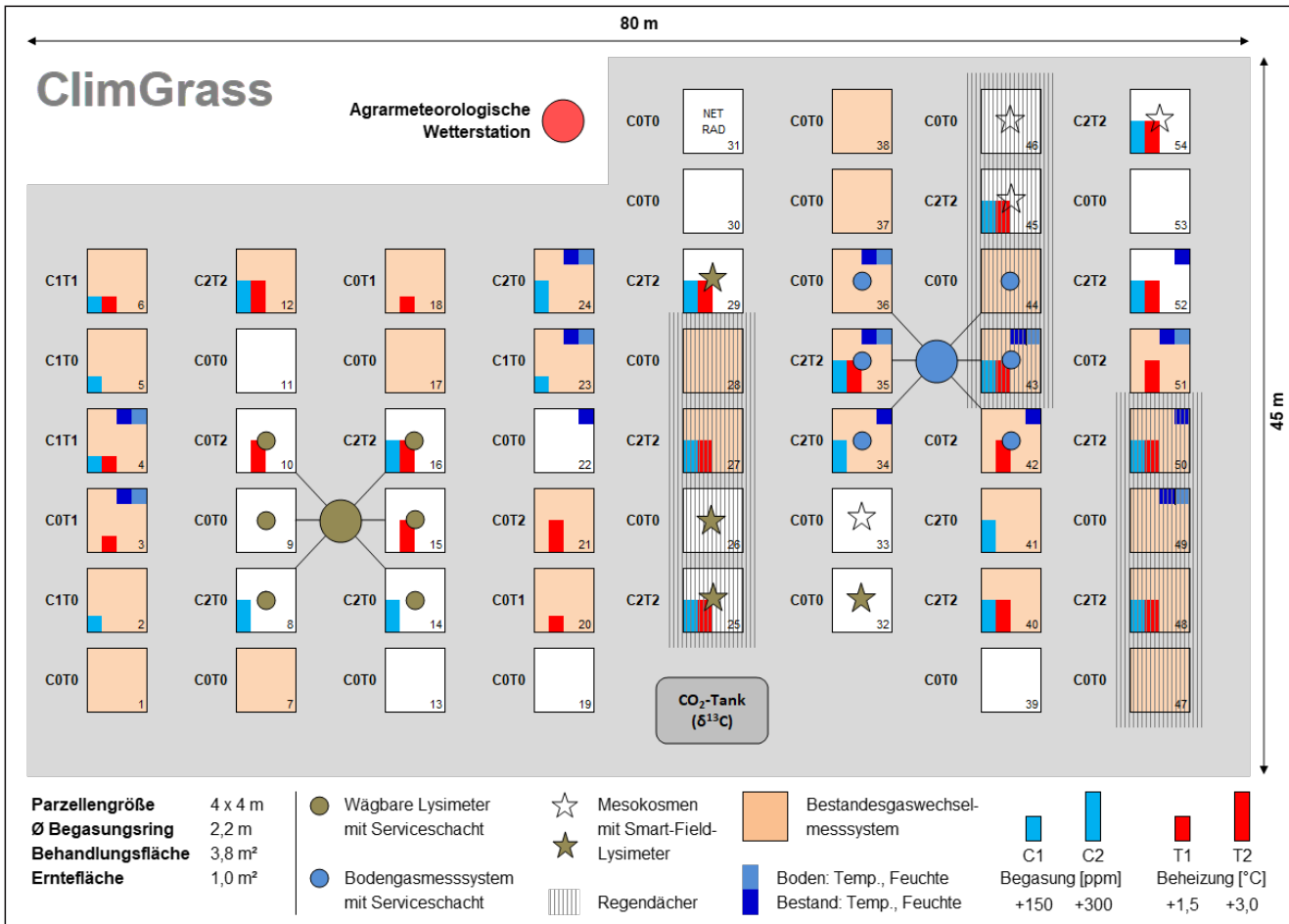


Abbildung 1: Schematische Darstellung der ClimGrass-Versuchsanlage (Stand 2022). Versuchspartellen umfassen Kontrollpartellen (C0T0), sowie mit CO₂ begaste Partellen (C1: +150 ppm, C2: +300 ppm CO₂) und mit Infrarotstrahlern beheizte Partellen (T1: +1,5° C, T2: +3° C). Zur Simulation von Dürre sind dynamische Regendächer installiert. 10 Partellen sind mit Lysimetern ausgestattet, in 6 Partellen werden im Bodenprofil Treibhausgase analysiert. In ausgewählten Partellen werden in Mesokosmen Zusatzversuche durchgeführt.

mehrere Wochen bis Monate, bis die Wasserversorgung im Boden wieder dem Normalniveau entspricht.

Insgesamt zeigt sich durch das ClimGrass-Experiment also, dass im Vergleich der untersuchten Faktoren Dürreereignisse den stärksten Einfluss auf die Produktivität und Stoffkreisläufe haben und dass in einem realistischen Zukunftsszenario Dürreeffekte verstärkt werden, aber auch die Erholung von Grünland rascher erfolgt. Wichtige Forschungsthemen für die Zukunft betreffen die Frage von kritischen Schwellenwerten der Dürreintensität und die Auswirkung wiederkehrender Dürreereignisse (Grünzweig et al. 2022, Müller et al. 2022, Ingrisch et al. 2023) sowie die Frage, welche Anpassungsmaßnahmen erfolgen können und müssen, um die Versorgungsleistung von Grünland im globalen Wandel aufrecht zu halten.

Literatur

ClimGrass-Publikationen in internationalen Zeitschriften

Maxwell T.L., Canarini A., Bogdanovic I., Böckle T., Martin V., Noll L., Prommer J., Séneca J., Simon E., Piepho H.-P., Herndl M., Pötsch E.M., Kaiser C., Richter A., Bahn M., Wanek W. (2022) Contrasting drivers of belowground nitrogen cycling in a montane grassland

exposed to a multifactorial global change experiment with elevated CO₂, warming, and drought. *Global Change Biology* 28 (7): 2425-2441. doi.org/10.1111/gcb.16035

Forstner V., Groh J., Vremec M., Herndl M., Vereecken H., Gerke H.H., Birk S., Pütz T. (2021) Response of water fluxes and biomass production to climate change in permanent grassland soil ecosystems. *Hydrology and Earth System Science* 25; 6087-6106.

Meeran K., Ingrisch J., Reinthaler D., Canarini A., Müller L., Pötsch E.M., Richter A., Wanek W., Bahn M. (2021) Warming and elevated CO₂ intensify drought and recovery responses of grassland carbon allocation to soil respiration. *Global Change Biology* 27: 3230-3243, doi.org/10.1111/gcb.15628

Reinthaler D., Harris E., Pötsch E.M., Herndl M., Richter A., Wachter H., Bahn M. (2021) Responses of grassland soil CO₂ production and fluxes to drought are shifted in a warmer climate under elevated CO₂. *Soil Biology and Biochemistry* 163, 108436. doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108436

Wilfahrt P.A., Schweiger A.H., Abrantes N., Arfin-Khan M.A.S., Bahn M., Berauer B.J., Bierbaumer M., Djukic I., Dusseldorp M., Eibes P., Estiarte M., Hessberg A., Holub P., Ingrisch J., Schmidt I.K., Kesic L., Klem K., Kröel-Dulay G., Larsen K.S., Löhmus K., Mänd P., Orbán I., Orlovic S., Peñuelas J., Reinthaler D., Radujković D., Schuchardt M., Schweiger J.M.-I., Stojnic S., Tietema A., Urban O., Vicca S., Jentsch A. (2021) Disentangling climate from soil nutrient effects on plant biomass production using a multispecies phytometer. *Ecosphere* 12 (8). doi.org/10.1002/ecs2.3719

Séneca J., Pjevac P., Canarini A., Zioutis C., Herbold C., Prommer J., Wanek W., Bahn M., Pötsch E., Wagner M., Richter A. (2020) The effects of climate change on inorganic nitrogen cycling communities in grasslands. *The ISME Journal*, 14: 3038-3053. doi.org/10.1038/s41396-020-00735-7

Simon E., Canarini A., Martin V., Séneca J., Böckle T., Reinthaler D., Pötsch E., Piepho H., Bahn M., Wanek W., Richter A. (2020) Microbial growth and carbon use efficiency show seasonal responses in a multifactorial climate change experiment. *Communications Biology* 3, 584. doi.org/10.1038/s42003-020-01317-1

Thonicke K., Bahn M., Lavorel S., Bardgett R.D., Erb K., Giamberini M., Reichstein M., Vollan B., Rammig A. (2020) Advancing the understanding of adaptive capacity of social-ecological systems to absorb climate extremes. *Earth's Future* 8 (2) e2019EF001221, doi.org/10.1029/2019EF001221

Deltedesco E., Keiblinger K.M., Naynar M., Piepho H.P., Gorfer M., Herndl M., Bahn M., Pötsch E.M., Zechmeister-Boltenstern S. (2019) Trace gas fluxes from managed grassland soil subject to multifactorial climate change manipulation. *Applied Soil Ecology* 137: 1-11. doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.12.023

Pötsch E.M., Herndl M., Bahn M., Schaumberger A., Schweiger M., Kandolf M., Reinthaler D., Schink M., Adelwöhrer M. (2019) ClimGrass – ein innovatives Freilandexperiment zur Erforschung der Folgen des Klimawandels im Grünland. 21. Alpenländisches Expertenforum 2019, 3-10

Piepho H.P., Herndl M., Pötsch E.M., Bahn M. (2017) Designing an experiment with quantitative treatment factors to study the effects of climate change. *Journal of Agronomy and Crop Science* 203: 584-592. doi.org/10.1111/jac.12225

Weitere internationale Publikationen aus dem Projektkonsortium mit Bezug zu ClimGrass

Grünzweig J.M., De Boeck H.J., Rey A., Santos M.J., Adam O., Bahn M. et al. (2022) Dryland mechanisms could widely control ecosystem functioning in a drier and warmer world. *Nature Ecology & Evolution* 6: 1064-1076.

Ingrisch J., Umlauf N., Bahn M.: Functional thresholds alter the relationship of plant resistance and recovery to drought. *Ecology* (accepted).

Müller L.M., Bahn M. (2022) Drought legacies and ecosystem responses to subsequent drought. *Global Change Biology* 28 (17): 5086-5103. doi.org/10.1111/gcb.16270.

Kröel-Dulay G., Mojzes A., Sztár K., Bahn M., Batáry P., Beier C., Bilton M., Boeck H.J. de, Dukes J.S., Estiarte M., Holub P., Jentsch A., Schmidt I.K., Kreyling J., Reinsch S., Larsen K.S., Sternberg M., Tielbörger K., Tietema A., Vicca S., Peñuelas J. (2022) Field experiments underestimate aboveground biomass response to drought. *Nature Ecology & Evolution* 6 (5): 540-545. doi.org/10.1038/s41559-022-01685-3

Harris E., Diaz-Pines E., Stoll E., Schloter M., Schulz S., Duffner C., Li K., Moore K.L., Ingrisch J., Reinthaler D., Zechmeister-Boltenstern S., Glatzel S., Brüggemann N., Bahn M. (2021) Denitrifying pathways dominate nitrous oxide emissions from managed grassland during drought and rewetting. *Science Advances* 7/6, doi: 10.1126/sciadv.abb7118

Ogle K., Liu Y., Vicca S., Bahn M. (2021) A hierarchical, multivariate meta-analysis approach to synthesising global change experiments. *New Phytologist* 231: 2382-2394. doi.org/10.1111/nph.17562

Rammig A., Bahn M., Vera C., Knoke T., Paul C., Volla B., Erb K., Bardgett R.D., Lavorel S., Thonicke K. (2020) Adaptive capacity of coupled social-ecological systems to absorb climate extremes. In: Sillmann J., Sippel S., Russo S. (Eds.) *Climate Extremes and Their Implications for Impact and Risk Assessment*. Elsevier, ISBN 978-0-12-814895-2; https://doi.org/10.1016/B978-0-12-81489

Bahn M., Ingrisch J., Jentsch A. (2019) Grünlandnutzung. In: Wohlgemuth T., Jentsch A., Seidl R. (Eds.), *Störungsökologie* (UTB 5018). Verlag Haupt, Stuttgart, p. 304-324.

Alvarez G., Shahzad T., Andanson L., Bahn M., Wallenstein M.D., Fontaine S. (2018) Catalytic power of enzymes decreases with temperature: New insights for understanding soil C cycling and microbial ecology under warming. *Global Change Biology* 24: 4238-4250, doi: 10.1111/gcb.14281

Bahn M., Ingrisch J. (2018) Accounting for Complexity in Resilience Comparisons: A Reply to Yeung and Richardson, and Further Considerations. *Trends in Ecology and Evolution* 33: 649-651. doi.org/10.1016/j.tree.2018.06.006

Craven D., Eisenhauer N., Pearse W.D., Hautier Y., Isbell F., Roscher C., Bahn M. et al. (2018) Multiple facets of biodiversity drive the diversity-stability relationship. *Nature Ecology & Evolution* 2/10, pp. 1579-1587.

Ingrisch J., Bahn M. (2018) Towards a comparable quantification of resilience. Trends in Ecology and Evolution 33: 251-259. doi.org/10.1016/j.tree.2018.01.013

Weitere zitierte Referenzen

Gobiet et al. (2014) 21st century climate change in the European Alps - a review. Science of the Total Environment 493, 1138-1151. 10.1016/j.scitotenv.2013.07.050

IPCC (2021) Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Schils R.L.M. et al. (2022) Permanent grasslands in Europe: land use change and intensification decrease their multifunctionality. Agriculture Ecosystems and Environment, 330, 107891, 10.1016/j.agee.2022.107891

** ClimGrass-Team

(¹⁻⁵ beziehen sich auf die Mitwirkung in den jeweiligen nachstehend gelisteten Projekten)

Michael Bahn ¹⁻⁵, David Reinthaler ¹⁻³, Jesse Radolinski ⁵, Kathiravan Meeran, Maud Tissink ⁵, Johannes Ingrisch ², Eliza Harris ⁴, Elena Stoll ⁴, Lisa Capponi ^{1,5}, Lumnesh Joseph ⁵, Johannes Cunow ⁵, Gil Putz ², Claudia Gstir ², Mario Deutschmann ¹⁻⁵, Herbert Wachter ¹⁻⁵ (Universität Innsbruck)

Erich Pötsch ¹⁻⁵, Andreas Schaumberger ¹⁻⁵, Markus Herndl ¹⁻⁵, Andreas Klingler ^{1,5}, Medardus Schweiger ¹⁻⁵, Matthias Kandolf ¹⁻⁵, Manuel Adelwöhrer ¹⁻⁵ (AREC Raumberg-Gumpenstein)

Andreas Richter ², Alberto Canarini ², Wolfgang Wanek ^{2,4}, Joana Seneca ², Eva Simon ², Tania Maxwell ², Moritz Morlock ², Ivana Bogdanovic ² (Universität Wien)

Sophie Zechmeister-Boltenstern ³⁻⁴, Evi Deteldesco ³, Katharina Keiblinger ³, Eugenio Diaz-Pines ³⁻⁴, Christine Stumpp ⁵ (Universität für Bodenkultur)

Hanspeter Piepho ²⁻³ (Universität Hohenheim)

Steffen Birk ⁵, Matevz Vremec ⁵, Veronika Forstner ⁵, Birgit Bednar-Friedl ⁵ (Graz)

Mirco Migliavacca ², Sönke Zähle ⁵, Silvia Caldararu ⁵ (Max Planck Institut für Biogeochemie Jena)

Ansgar Kahmen ⁵ (Universität Basel)

Christiane Werner ⁵, Angelika Kübert ⁵ (Universität Freiburg)

Nicolas Brüggemann ⁵ (FZ Jülich)

Martha Stangl ⁵ (Climate Change Center Austria)

Projekte

- Infrastrukturprojekte Bund-Bundesländerkooperation (gefördert durch BMLRT und zahlreiche Bundesländer; ClimGrass: 2014, ClimGrassEco: 2015-2016, ClimGrass-Thermo: 2020-2021, PI: M. Bahn)
- ClimGrass (gefördert durch FWF, 2016-2020, PI: M. Bahn, A. Richter, W. Wanek)
- ExtremeGrass (gefördert durch ACRP, 2016-2019, PI: S. Zechmeister-Boltenstern)
- NitroTrace (gefördert durch FWF, 2018-2023, PI: E. Harris, M. Bahn)
- ClimGrassHydro (ÖAW, 2019-2023, PI: M. Bahn, S. Birk)

