

# Einfluss des Klimawandels auf das Wurzelwachstum im Grünland

Sarah Helena Geiger<sup>1\*</sup>

Die Forschung an Wurzeln ist aufgrund ihrer zentralen Stellung im Stickstoff- und Kohlenstoffkreislauf, in Prozessen der Bodenbildung, in Wasser- und Nährstoffaufnahme und in der Wechselwirkung zu Mikroorganismen von großer Bedeutung. Das Wissen, wie sich Wurzeln und ihre funktionellen Merkmale mit dem globalen Wandel verändern werden, ist essentiell, um Voraussagen über Ökosystemdienstleistungen zu treffen.

## Globaler Wandel

Die CO<sub>2</sub> Konzentration in der Atmosphäre ist seit dem Beginn des industriellen Zeitaltes, um 40 % angestiegen. Je nach Treibhausgasausstoß reichen die Prognosen von einem Anstieg von +1.5 °C bis zu +3 °C bis zum Jahr 2050 (IPCC, 2014; World-Meteorological-Organization, 2017). Die Alpenregion soll besonders stark von diesen klimatischen Veränderungen betroffen sein, ein Anstieg an Wetterextremen wird erwartet (Auer *et al.*, 2007). Es wird mit mehr Niederschlag im Winter (in Form von Regen) und einer Zunahme von Hitzewellen und Dürreperioden im Sommer gerechnet. Dieser Wandel wird unweigerlich starke Auswirkungen auf die Landwirtschaft haben. Um Prognosen für die Zukunft zu erstellen, sind Experimente nötig, die diesen Klimawandel simulieren.

## Funktionelle Merkmale

Die Forschung hat mehr und mehr den Fokus von der Betrachtung unterschiedlicher Arten, auf Unterschiede in funktionellen Merkmalen gelegt, da durch diese Ökosystemprozesse und -dienstleistungen besser erklärt werden können (Bardgett *et al.*, 2014). Unter funktionellen Merkmalen von Pflanzen versteht man morphologische, physiologische und phänologische Eigenschaften wie zum Beispiel Wachstumsrate, Fotosyntheserate und Nährstoffkonzentration.

## Funktionelle Wurzelmerkmale

**Architektur:** Verwurzelungstiefe, Wurzeldichte.

**Morphologie:** Durchmesser, spezifische Wurzellänge.

**Physiologie:** Wurzelatmung, Nährstoffaufnahme, Nährstoffgehalt, Ausscheidung von Wurzelexsudaten.

**Biotische Merkmale:** Austausch mit Mykorrhiza und anderen Mikroorganismen.

Man kann Wurzelmerkmale mit langsam wachsenden (konservativen) oder schnell wachsenden Arten assoziieren. Schnell wachsende Arten zeichnen sich durch hohe spezifische Wurzellänge, geringe Gewebedichte, hohe Rate in der

Stickstoffaufnahme und generell hohen Stickstoffgehalt, hohe Wurzelatmung und eine kurze Lebensdauer aus und umgekehrt (Bardgett *et al.*, 2014; Pérez-Harguindeguy, 2013).

## Wurzelmerkmale und Ökosystemprozesse

**Kohlenstoffkreislauf:** Veränderungen in der Architektur oder der Lebensdauer der Wurzeln haben starke Auswirkung auf den Anteil von Kohlenstoff im Boden. Wie viel CO<sub>2</sub> vom Boden wiederum in die Atmosphäre gelangt, wird zu einem großen Teil von der Wurzelatmung und der Exsudation gesteuert (Bardgett *et al.*, 2014; De Deyn *et al.*, 2008).

**Nährstoffkreislauf:** Pflanzen nehmen über Exsudate Einfluss auf die Nährstoffzusammensetzung im Boden. Beispielsweise werden organische Säuren abgesondert, oder es werden mikrobielle Prozesse angekurbelt, um an mehr Nährstoffe zu gelangen (Bardgett *et al.*, 2014; Bengtson *et al.*, 2012; Dijkstra *et al.*, 2013).

**Bodenbildung:** Morphologische Wurzelmerkmale wie Wurzeldichte und Durchmesser haben großen Einfluss auf die Stabilität von Böden, wobei dichtere, feinere Wurzelsysteme den Boden besser binden können. Grobe Wurzeln führen zu einer höheren Lagerungsdichte, feine Wurzeln zu mehr Porosität. Eine Zunahme in Exsudaten trägt, durch ihren bindenden Effekt, ebenfalls zu einer besseren Stabilität bei (Bardgett *et al.*, 2014; Whalley *et al.*, 2005; Czarnes *et al.*, 2000).

## Wurzelmerkmale und Globaler Wandel

Globaler Wandel wird Veränderungen in der Artenzusammensetzung und in Wurzelmerkmalen hervorrufen und somit auch in Ökosystemprozessen und allen Ebenen. Bisherige Forschungen zeigen, dass Wurzelmerkmale besonders schnell auf Veränderungen reagieren.

Erhöhtes atmosphärisches CO<sub>2</sub> führt meist zu einem Anstieg in Wurzellänge, Durchmesser und Biomasse. Damit verbunden konnte eine Zunahme in der Wurzelatmung, Exsudationsrate und Kolonisation von Mykorrhiza verzeichnet werden (Comas *et al.*, 2013; Nie *et al.*, 2013; Bardgett *et al.*, 2014).

Ein Anstieg der Temperatur wurde ebenfalls mit einer Zunahme von Biomasse in Verbindung gebracht, besonders in kälteren Regionen. Ebenfalls ist eine Ausweitung des Vorkommens bestimmter Arten zu sehen, was eine Veränderung in der Artzusammensetzung und eine Verdrängung mancher Arten zur Folge hat (Bardgett *et al.*, 2014; Weltzin *et al.*, 2003).

Höhere Temperaturen und Dürreperioden haben eine Zunahme von tiefer wurzelnden Pflanzen zur Folge, um an

<sup>1</sup> Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck

\* Ansprechpartner: Sarah Helena GEIGER, BA BA BSc, Sarah.H.Geiger@student.uibk.ac.at



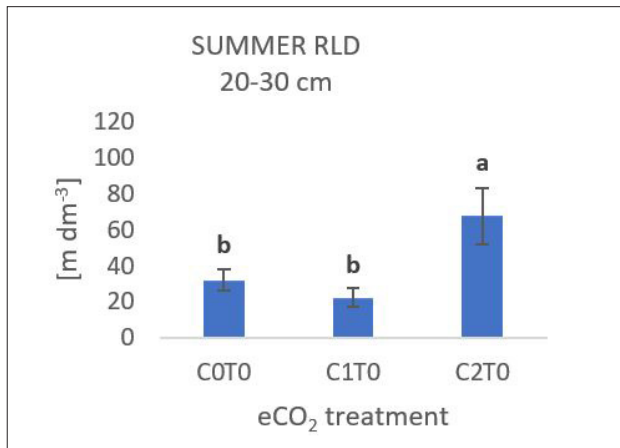


Abbildung 1: C2T0 (+300 ppm CO<sub>2</sub>) Behandlung zeigt einen signifikanten Anstieg der Wurzelichte in 20 – 30 cm Tiefe im Sommer (Wachstumsperiode vom 8./9. Juni bis 25./26. Juli).

Wasser aus tieferen Bodenschichten zu gelangen (Weltzin *et al.*, 2003). Außerdem tötet Dürre Mikroorganismen und Bodentiere, was zu einem Anstieg in der Verfügbarkeit von Kohlenstoff und der Mineralisation von Stickstoff führt, sobald wieder Wasser zur Verfügung steht. Während der Dürre wird die Umgebung für Mikroorganismen und Pflanzen jedoch stark verändert, viele Nährstoffe werden immobilisiert und Mikroorganismen können mit ihrer Umgebung nicht mehr in Kontakt stehen (De Vries *et al.*, 2016).

Pflanzen haben Strategien entwickelt, um Dürreperioden überstehen zu können, welche sich auf eine Kombination von verschiedenen funktionellen Merkmalen stützen. Eine hohe Effizienz in der Wassernutzung, niedrige stomatäre Leitfähigkeit oder eine hohe Wurzel zu Spross Rate sind Strategien für eine Vermeidung von Dürre. Pflanzen mit Dürretoleranz bilden beispielsweise niedermolekulare Stoffe, welche sie von den Auswirkungen der Trockenheit schützen. Bei langsam wachsenden Pflanzen nimmt die Nachfrage von Kohlenstoff zugunsten der Verteidigung gegen Dürre ab, schnell wachsende Pflanzen investieren mehr Kohlenstoff in die Wurzeln, um tiefere Bodenschichten zu erreichen (De Vries *et al.*, 2016; Brunner *et al.*, 2015; Perez-Ramos *et al.*, 2013).

### Multifaktorielle Experimente – „ClimGrass“

Durch multifaktorielle Experimente soll versucht werden, den Einfluss von verschiedenen Klimafaktoren auf ein Ökosystem zu prognostizieren. Durch erhöhtes atmosphärisches CO<sub>2</sub>, erhöhte Temperatur und die Simulation einer Dürreperiode, wird das Zusammenspiel dieser Klimafaktoren auf ein Grasland getestet. Dabei soll herausgefunden werden, welche kombinierten Effekte sich durch einen Anstieg in CO<sub>2</sub> und Temperatur ergeben und wie sich diese Faktoren auf die Pflanzen unter zusätzlichem Dürrestress auswirken.

### Bisherige Ergebnisse und Diskussion der Auswirkungen des Klimawandels auf Wurzelmerkmale

Stark erhöhtes CO<sub>2</sub> führte während der Wachstumsperiode von Anfang Juni bis Ende Juli zu einem signifikanten An-

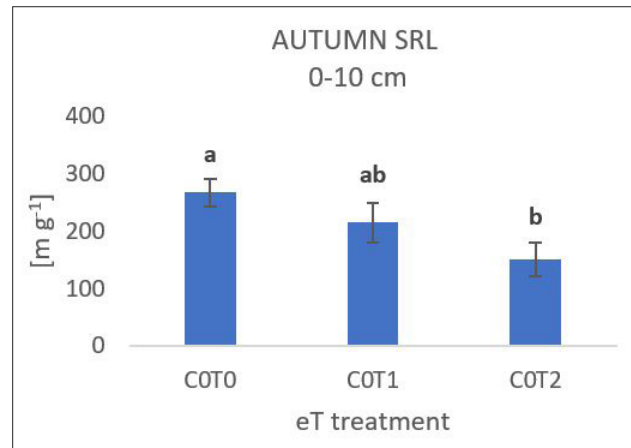


Abbildung 2: C0T2 (+3 °C) Behandlung zeigt eine signifikante Abnahme der spezifischen Wurzellänge in 0 – 10 cm Tiefe im Herbst (Wachstumsperiode vom 25./26. Juli bis 2./3. Oktober).

stieg in der Wurzelichte (RLD) in 20 – 30 cm Tiefe. Zahlreiche Studien verzeichneten einen positiven Zusammenhang zwischen erhöhtem CO<sub>2</sub> und der Zunahme von Wurzellänge bzw. Wurzelichte (Norby *et al.*, 2004; Luo *et al.*, 2006; Nie *et al.*, 2013; Bardgett *et al.*, 2013). Dieses Ergebnis lässt darauf schließen, dass erhöhtes CO<sub>2</sub> besonders in tieferen Bodenschichten zu einer Zunahme der Kohlenstoffeinlagerung im Boden führt, indem die morphologische Entwicklung der Wurzeln angekurbelt wird.

Stark erhöhte Temperatur führte während der Wachstumsperiode von Ende Juli bis Anfang Oktober zu einem signifikanten Rückgang der spezifischen Wurzellänge (SRL). Das heißt, in stark beheizten Plots wurde mehr Masse pro Länge Wurzeln investiert. Höhere Temperaturen können mit einer Erhöhung der Produktion in Verbindung gebracht werden, was einen Rückgang in der spezifischen Wurzellänge zur Folge hat (Hoepfner and Dukes, 2012).

Das Dürreexperiment hatte die stärksten Auswirkungen auf alle gemessenen Wurzelmerkmale. Die Wurzelichte (RLD) nahm in den Dürreplots bereits im Frühling, aber noch intensiver im Sommer, signifikant ab. Im Herbst konnten sich die Wurzeln wieder erholen, besonders in tieferen Bodenschichten holten die Plots mit Klimawandel-Behandlung verstärkt auf und bildeten höhere Wurzelichten. Der Rückgang im Frühling kann auf eine Zeitspanne der Präkonditionierung der Dürreplots zurückgeführt werden, in welcher bereits Regen ausgeschlossen wurde. Die Hochphase der Dürre fand von Ende Juni bis Ende Juli statt und führte durch Trockenstress zu einer verminderten Wurzelichte. Der Anstieg des Wachstums im Herbst kann auf die vermehrte Verfügbarkeit von Nährstoffen, welche nach einer Dürre auftreten kann, zurückgeführt werden (De Vries and Bardgett, 2016). Nährstoffe werden während der Trockenheit immobilisiert und viele Organismen sterben ab, was zu einem Anstieg in der Verfügbarkeit von Nährstoffen führen kann, nachdem wieder Wasser zur Verfügung steht (De Vries *et al.*, 2016; Freschet *et al.*, 2013).

Im Frühling war die spezifische Wurzellänge (SRL) in der obersten Bodenschicht signifikant kleiner in den Dürreplots als in der Kontrolle, im Sommer zeigten nur die Kontrollplots der Dürre eine signifikant kleinere spezifische

Wurzellänge, die Klimawandel-Behandlung in den Dürreplots zeigte vergleichbare Werte, als jene Plots ohne Dürre-Behandlung. Im Herbst zeigte sich, vor allem in tieferen Bodenschichten, eine Erhöhung der spezifischen Länge in den Dürreplots. Besonders in 20–30 cm hatte die Klimawandel-Behandlung eine positive Auswirkung auf die spezifische Wurzellänge, wobei jedoch keine signifikanten Unterschiede gefunden wurden. Eine Anpassung an die Dürre durch eine Erhöhung der spezifischen Wurzellänge in den Plots mit Klimawandel-Behandlung konnte schon mehrfach beobachtet werden (De Vries *et al.*, 2016; Freschet *et al.*, 2013). Dies deutet auf eine erhöhte Resilienz bezüglich Trockenstress von Grasland in zukünftigen Klimaszenarien hin.

## Literatur

- Auer, I.; R. Böhm, A. Jurkovic, W. Lipa, A. Orlik, R. Potzmann, W. Schöner, M. Ungersböck, C. Matulla, K. Briffa, P. Jones, D. Efthymiadis, M. Brunetti, T. Nanni, M. Maugeri, L. Mercalli, O. Mestre, J.M. Moisselin, M. Begert, G. Müller-Westermeier, V. Kveton, O. Bochnicek, P. Stastny, M. Lapin, S. Szalai, T. Szentimrey, T. Cegnar, M. Dolinar, M. Gajic-Capka, K. Zaninovic, Z. Majstorovic and E. Nieplova (2007): HISTALP – historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *International Journal of Climatology* 27, 17-46.
- Bardgett, R.D.; P. Manning, E. Morrien and F.T. De Vries *et al.* (2013): Hierarchical responses of plant–soil interactions to climate change: consequences for the global carbon cycle. *Journal of Ecology* 101: 334-343.
- Bardgett, R.D.; L. Mommer and F.T. De Vries (2014): Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes. *Cell Press. Trends in Ecology* Vol. 29, No. 12.
- Bengston, P. *et al.* (2012): Evidence of a strong coupling between root exudation, C and N availability, and stimulated SOM decomposition caused by rhizosphere priming effects. *Ecology and Evolution* 2, 1843–1852.
- Brunner, I.; C. Herzog, M. Dawes, M. Arend and C. Sperisen (2015): How tree roots respond to drought. *Frontiers of Plant Science* 6.
- Comas, L.H.; S.R. Becker, V.M.V. Cruz, P.F. Byrne and D.A. Dierig (2013): Root traits contributing to plant productivity under drought. *Frontiers in Plant Science*. Vol. 4: 442.
- Czarnes, S. *et al.* (2000): Root- and microbial-derived mucilages affect soil structure and water transport. *European Journal of Soil Science* 51, 435-443.
- De Deyn, G.; J.H.C. Cornelissen and R.D. Bardgett (2008): Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes. *Ecology Letters* 11: 516-531.
- De Vries, F.T.; C. Brown and C.J. Stevens (2016): Grassland species root response to drought: consequences for soil carbon and nitrogen availability. *Plant Soil* 409: 297-312.
- Dijkstra, F.A. *et al.* (2013): Rhizosphere priming: a nutrient perspective. *Frontiers in Microbiology* 4. Published online July 29, 2013. (<http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2013.00216>).
- Freschet, G.T.; W.K. Cornwell, D.A. Wardle, T.G. Elumeeva, W.D. Liu, B.G. Jackson, V.G. Onipchenko, N.A. Soudzilovskaia, J.P. Tao and J.H.C. Cornelissen (2013): Linking litter decomposition of above- and

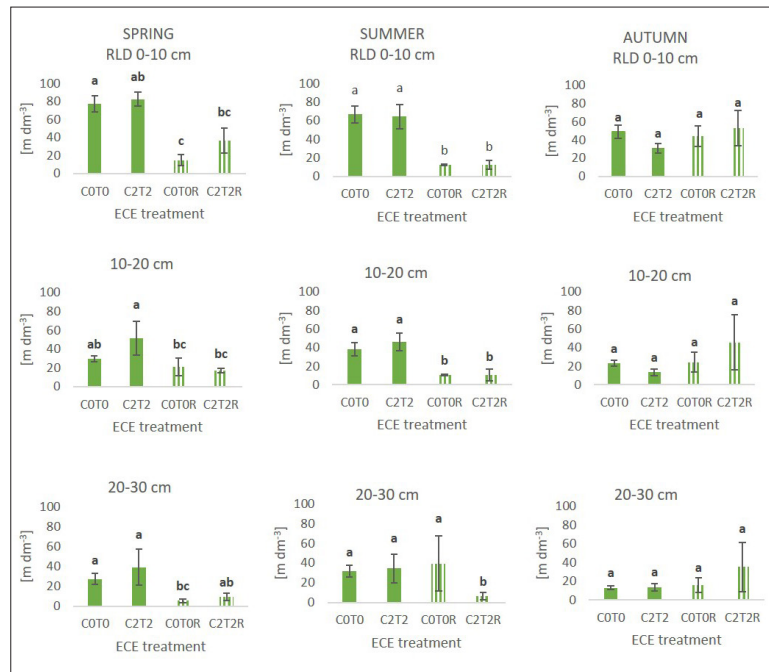


Abbildung 3: Wurzelichte der Kontrolle (C0T0), Extrem-Behandlung (C2T2), Kontrolle der Dürre (C0T0R) und Extrem-Behandlung kombiniert mit Dürre (C2T2R) über alle drei Erntezeitpunkte und Tiefenstufen.

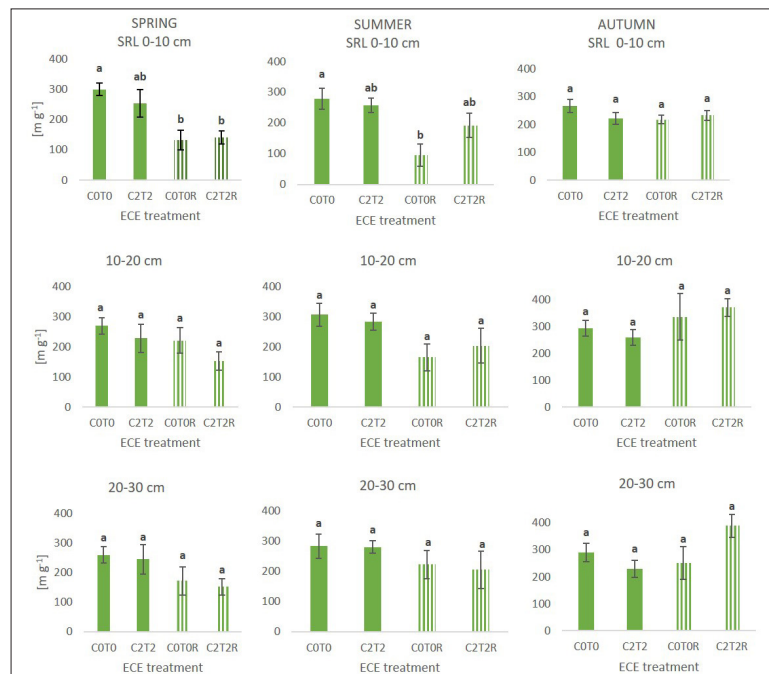


Abbildung 4: Spezifische Wurzellänge der Kontrolle (C0T0), Extrem-Behandlung (C2T2), Kontrolle der Dürre (C0T0R) und Extrem-Behandlung kombiniert mit Dürre (C2T2R) über alle drei Erntezeitpunkte und Tiefenstufen.

below-ground organs to plant-soil feedbacks worldwide. *Journal of Ecology* 101:943-952.

Hoepfner, S.S. and J.S. Dukes (2012): Interactive responses of oldfield plant growth and composition to warming and precipitation. *Global Change Biology*. 18, 1754-1768.

Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC, 2014): Climate change 2014: Synthesis Report. Contributing of Working Groups I, II and III

- to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.
- Luo, Y. (2007): Terrestrial carbon-cycle feedback to climate warming. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 38: 683-712. *Ecology* 94(3): 726-738.
- Nie, M.; M. Lu, J. Bell, S. Raut and E. Pendall (2013): Altered root traits due to elevated CO<sub>2</sub>: a meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography* 22: 1095-1105.
- Norby, R.J. *et al.* (2017): Introduction to a Virtual Issue on root traits. *New Phytologist* 215: 5-8.
- Pérez-Harguindeguy, N.; S. Díaz, E. Garnier, S. Lavorel, H. Poorter, P. Jaureguiberry, M.S. Bret-Harte, W.K. Cornwell, J.M. Craine, D.E. Gurvich, C. Urcelay, E.J. Veneklaas, P.B. Reich, L. Poorter, I.J. Wright, P. Ray, L. Enrico, J.G. Pausas, A.C. de Vos, N. Buchmann, G. Funes, F. Quétier, J.G. Hodgson, K. Thompson, H.G. Morgan, H. ter Steege, M.G.A. van der Heijden, L. Sack, B. Blonder, P. Poschlod, M.V. Vaieretti, G. Conti, A.C. Staver, S. Aquino and J.H.C. Cornelissen (2013): New handbook for standardized measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*. 61: 167-234.
- Perez-Ramos, I.M.; F. Voltaire, M. Fattet, A. Blanchard and C. Roumet (2013): Tradeoffs between functional strategies for resource-use and drought-survival in Mediterranean rangeland species. *Environmental and Experimental Botany*. 87: 126-136.
- Weltzin, J.F. *et al.* (2003): Potential effects of warming and drying on peatland plant community composition. *Global Change Biology* 9, 141-151.
- Whalley, W.R. *et al.* (2005) Structural differences between bulk and rhizosphere soil. *European Journal of Soil Science* 56, 353-360.
- World-Meteorological-Organization (2017): WMO Greenhouse Gas Bulletin, The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2016.