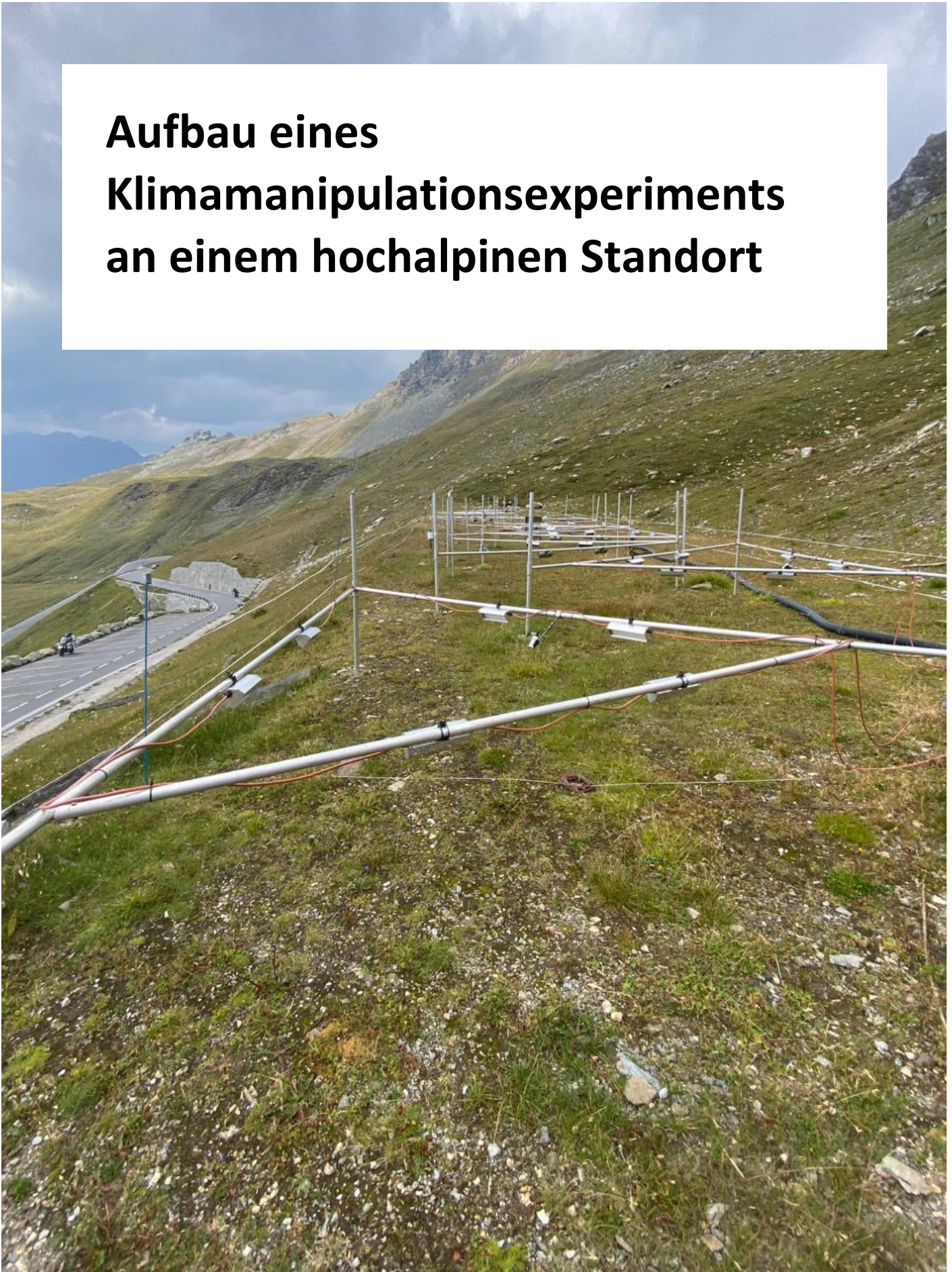


Aufbau eines Klimamanipulationsexperiments an einem hochalpinen Standort



Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein

Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal

Autorinnen und Autoren: Dr. Markus Herndl

Gesamtumsetzung:

Fotonachweis: Cover: Markus Herndl

Druck:

Irdning-Donnersbachtal, 2024. Stand: 17. Oktober 2024

Copyright und Haftung

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein und der Autorin / des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin / des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an:
markus.herndl@raumberg-gumpenstein.at

Inhalt

Einleitung	4
Projektziel.....	6
Experimenteller Aufbau	7
Versuchsstandort	7
Versuchsdesign.....	8
Infrarot-Heizungssystem	9
Aufbau des Klimamanipulationsexperiments am Versuchsstandort.....	10
Test der Funktionalität des Infrarot-Heizungssystems	12
Tabellenverzeichnis.....	15
Abbildungsverzeichnis.....	16
Literaturverzeichnis	17
Abkürzungen.....	19

Einleitung

Der Klimawandel zeigt in den europäischen Alpen besonders starke Auswirkungen mit einer Erwärmungsrate, die etwa doppelt so hoch ist wie der globale Durchschnitt (+1,8 °C seit 1880). Zukünftige Projektionen weisen auf einen weiteren Temperaturanstieg hin, insbesondere im Sommer. Im extremsten Szenario (RCP 8.5) wird bis Ende des Jahrhunderts eine Erwärmung um ~4,3 °C im Sommer erwartet, selbst bei mildereren Szenarien (RCP 4.5) sind die Temperaturen um mindestens 2 °C höher (Kotlarski et al. 2022). Die Niederschlagsmuster werden sich ebenfalls verändern: Während im Winter eine Zunahme um ~15 % prognostiziert wird, könnte der Niederschlag im Sommer um bis zu 40 % zurückgehen. Diese Veränderungen führen zu häufigeren Extremwetterereignissen wie Dürren und Starkregen (Kotlarski et al. 2022).

In hochalpinen Gebieten spielen biologische Bodenkrusten (Biokrusten) eine wichtige Rolle. Sie besiedeln neue Substrate, die nach dem Rückzug von Schnee und Eis freigelegt werden, und tragen zur Bildung von Böden bei, indem sie das Gestein verwittern und atmosphärischen Staub sammeln. Diese Organismen stabilisieren die vorhandene Bodenschicht, verhindern Erosion durch Wind und Wasser und binden Kohlenstoff und Stickstoff, die als Nährstoffe für die umgebende Vegetation dienen (Maier et al. 2018; Elbert et al. 2012; Weber et al. 2015b). Biokrusten tragen auch zur Verbesserung der Wasserspeicherung im Boden bei und fördern das Wachstum der indigenen Vegetation (Eldridge et al. 2020; Rutherford et al. 2017).

Untersuchungen in den österreichischen Alpen, insbesondere in der Großglockner-Region, zeigen, dass etwa 65 % der Bodenoberfläche von Biokrusten bedeckt sind. Diese bestehen aus einer hohen Artenvielfalt, darunter 53 Flechtenarten und 27 Bryophytenarten sowie 32 Gefäßpflanzenarten (Büdel et al. 2014; Zheng et al. 2014). Störungsversuche haben gezeigt, dass Cyanobakterien nach der Entfernung der Biocrusts innerhalb eines Jahres den Boden wieder besiedeln können, während die vollständige Erholung anderer Komponenten wesentlich länger dauert (Williams et al. 2018).

Trotz ihrer ökologischen Bedeutung sind die Auswirkungen des Klimawandels auf die Verteilung und Eigenschaften von Biokrusten in hochalpinen Regionen kaum erforscht. Bisherige Experimente beschränkten sich auf allgemeine ökopysiologische Messungen, und es gibt nur wenige Langzeitstudien, die sich mit kryptogamischen Organismen unter klimatischen Veränderungen befassen. Beispielsweise zeigen Experimente in subarktischen Regionen, dass Moose weniger empfindlich auf Erwärmung reagieren als Flechten (Lang et al. 2012). In einem Experiment in alpinen Regionen Norwegens wurde

hingegen eine Abnahme der Bryophyten-Diversität beobachtet, während sich die Flechtenanzahl nicht signifikant veränderte (Klanderud und Totland 2005). Die wenigen vorhandenen Experimente zur Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels auf Biocrusts konzentrieren sich hauptsächlich auf Trockengebiete. Auf dem Colorado-Plateau in Utah führte die Erwärmung zu einer Veränderung der Gemeinschaft hin zu früheren Sukzessionsstadien, ähnlich wie mechanische Störungen durch Beweidung (Ferrenberg et al. 2015). Ein Experiment in Spanien zeigte eine Reduktion der Biocrust-Bedeckung um ~44 % innerhalb von nur vier Jahren (Maestre et al. 2013). Langzeitbeobachtungen und Modellierungen deuten ebenfalls auf einen Rückgang der Biocrust-Diversität und -Bedeckung aufgrund des Klimawandels hin (Finger-Higgins et al. 2022). Für Biokrusten in alpinen Regionen fehlen jedoch experimentelle Daten zu ihrer Reaktion auf den prognostizierten und bereits stattfindenden Klimawandel, obwohl ihre Schlüsselfunktion in diesen Ökosystemen gut dokumentiert ist.

Projektziel

Das vorliegende Projekt ist Teil des ACRP Projektes “Effects of climate change on biological soil crusts and their ecosystem services in alpine regions”, in dem ein komplexer Satz von Biokrustenparametern und deren funktionellen Eigenschaften unter Klimawandelbedingungen im Großglocknergebiet untersucht wird. Als experimentelle Basis braucht es dazu ein Klimamanipulationsexperiment, um die Auswirkungen von erhöhten Temperaturen und reduzierter Schneedecke in einem vollfaktoriellen Ansatz untersuchen zu können. Das Know-how zu experimentellem Aufbau und Steuerung des Klimamanipulationsexperiments soll dabei aus dem ClimGrass-Experiment (Dafne: 101067) an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein herangezogen werden und am Versuchsstandort am Großglockner (Hochtor) technisch umgesetzt werden.

Experimenteller Aufbau

Versuchsstandort

Die Versuchsfläche umfasst rund 100m² und liegt nahe der Großglockner-Hochalpenstraße beim Kiosk-Hochtor (Abbildung 1). Die Auswahl der Fläche erfolgte nach Verfügbarkeit der Ressourcen (Strom, Aufstellmöglichkeit des Mess- und Steuerungscontainers) für das Klimamanipulationsexperiment und nach dem Kriterium ob ausreichend Biokrusten vorkamen. Zudem liegt dieser Bereich knapp außerhalb des Nationalparks, was die Genehmigungsfragen erheblich vereinfachte.

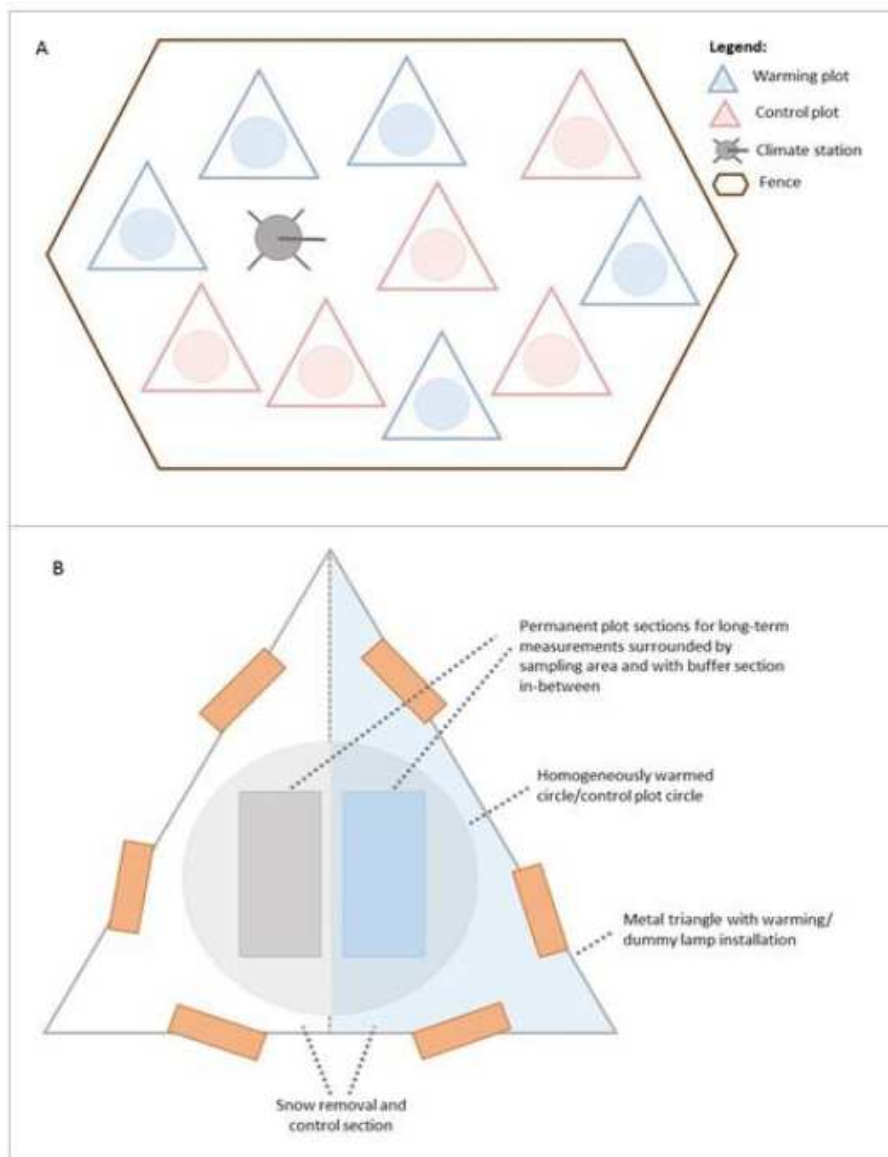
Abbildung 1 Versuchsfläche am Versuchsstandort „Hochtor“ an der Großglockner-Hochalpenstraße



Versuchsdesign

Der Versuch besteht aus fünf Erwärmungs- und fünf Kontrollparzellen. Da Biokrusten kleinräumig vorhanden sind, müssen die Erwärmungs- und Kontrollflächen groß genug sein (ca. 3m²), um in zwei Hälften geteilt zu werden; in der einen Hälfte wird die Schneedecke im Frühjahr mechanisch reduziert, entsprechend der erwarteten zukünftigen Verringerung der Schneedecke; in der zweiten Hälfte bleibt die natürliche Schneedecke erhalten. Zwischen beiden Teilen liegt eine Pufferzone, die nicht untersucht wird (Abbildung 2).

Abbildung 2 Versuchsdesign entnommen aus dem ACRP Antrag



Infrarot-Heizungssystem

Im Feldexperiment wird die Erwärmung mit Hilfe von Infrarotstrahlern mit keramischen Heizelementen durchgeführt. Diese Technik ist in Klimamanipulationsexperimenten gut etabliert und wurde auch im T-FACE Experiment an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein eingesetzt (Kimball et al. 2008; Herndl et al. 2011). Die Beheizung der Versuchspartzellen erfolgt mit jeweils sechs hexagonal angeordneten Infrarotstrahlern, die eine Erwärmung der Oberfläche von +3°C (im Vergleich zur Kontrollparzelle) ermöglichen. Die Beheizungs- und zugehörige Sensortechnik ist auf einem höhenverstellbaren Trägergerüst montiert, das bei Bedarf in der Höhe angepasst werden kann (Abbildung 3).

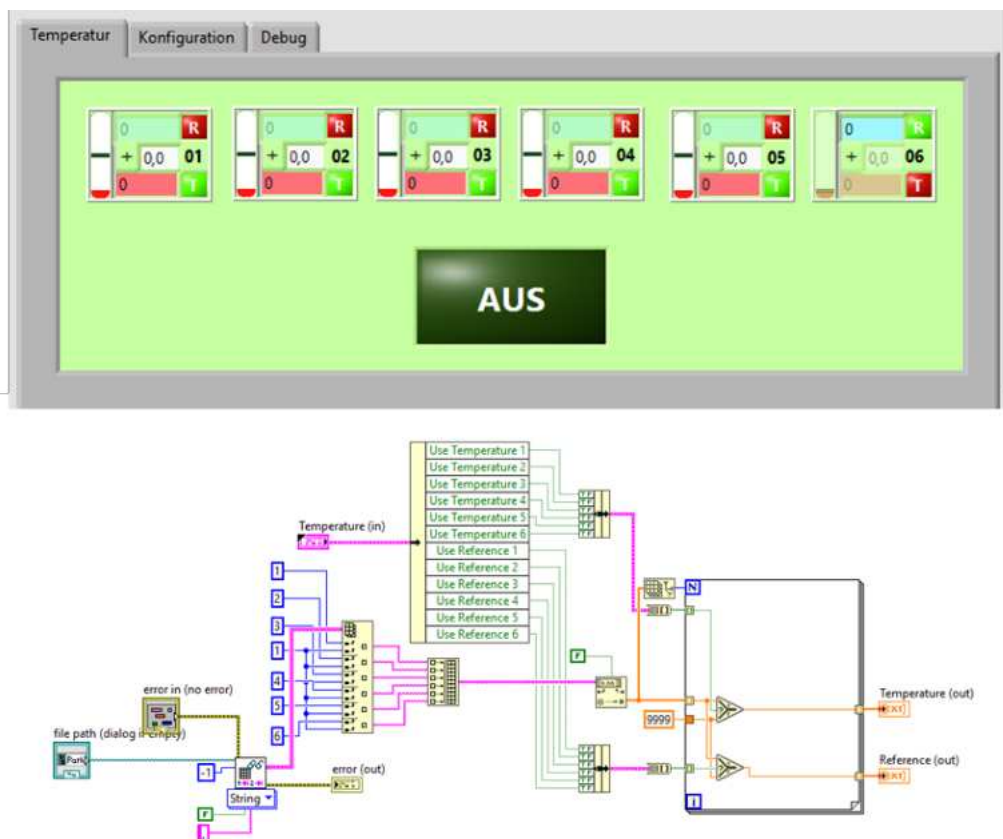
Abbildung 3 Infrarot-Heizungssystem im T-FACE Experiment an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein



Aufbau des Klimamanipulationsexperiments am Versuchsstandort

Entsprechend der Leistungsbeschreibung wurden im letzten Quartal 2023 die 10 Trägergerüste für das Infrarot-Heizungssystem errichtet. Auch in diesem Zeitraum erfolgte eine Anpassung der Software für die Steuerung der Beheizung. Die Steuerung erfolgt über die grafische Programmierumgebung LabVIEW (National Instruments). Als Vorlage dient die ClimGrass-Steuerung (Dafne 100719, 101067), die auf 6 Steuerungseinheiten reduziert wurde (Abbildung 4).

Abbildung 4 Grafische Oberfläche und Programmobjekte der Infrarot-Steuerung in LabVIEW



Im Zeitraum 24.06-25.06.2024 erfolgte der Aufbau des Klimamanipulationsexperiments am Versuchsstandort „Hochtor“. Dazu wurde in einem ersten Schritt ein Container auf die Versuchsfläche gestellt wo die Elektrik bzw. die Mess- und Steuerungselektronik ihre Ausgangsbasis hat. Im Container wurden dazu alle notwendigen Verkabelungen in einem Messschrank umgesetzt (Abbildung 5).

Abbildung 5 Mess- und Steuerungscontainer auf der Versuchsfläche am Hochtor



In einem zweiten Schritt wurden die 10 Trägergerüste im Boden verankert und die Stromversorgungs- und Steuerungskabeln in Leerrohren zu den Versuchspartellen verlegt (Abbildung 6).

Abbildung 6 Trägergerüste für das Infrarot-Heizungssystem inkl. Verkabelung



Als letzter Schritt des Aufbaus Vorort wurden die Heizelemente und die Infrarotthermometer auf den Trägergerüsten installiert und mit den Steuerungskabeln verbunden (Abbildung 7).

Abbildung 7 Trägergerüste für das Infrarot-Heizungssystem inkl. Verkabelung



Test der Funktionalität des Infrarot-Heizungssystems

Um die Funktionalität der Temperatursteuerung des Infrarot-Heizungssystems testen und sicherstellen zu können, erfolgte in einem ersten Schritt die Prüfung der Konnektivität der Infrarotthermometer mit der Steuerung bzw. ob die Thermometer Vorort plausible Werte liefern. Es musste leider festgestellt werden, dass die Thermometer keine durchgehende und plausible Wertereihe liefern konnten. Die Umstellung auf digitale Anbindung der Thermometer an die Steuerung (analoges System in ClimGrass) verursachte unregelmäßig auftretende Fehlwerte auf Basis dessen keine Steuerung der Temperaturerhöhung über das Infrarot-Heizungssystem erfolgen konnte. Um dieses Problem zu lösen, musste durch die Fa. AquaConSol eine neue Schnittstelle für die Anbindung der Thermometer

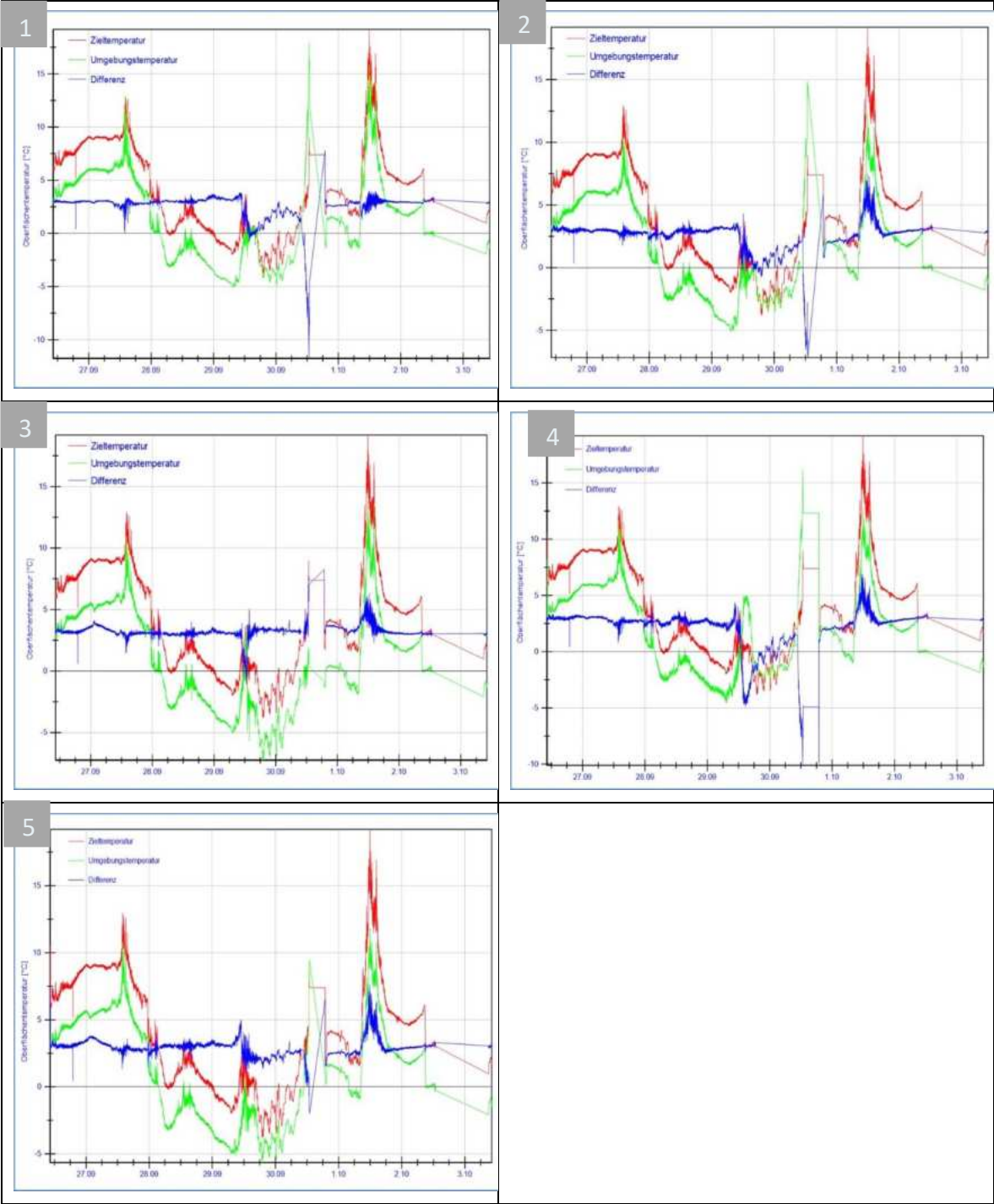
programmiert werden. Dadurch verzögerte sich die erstmalig erfolgreiche Anwendung des Infrarot-Heizungssystems auf den 26.09.2024. Ab diesem Zeitpunkt bis zum Ende des Testzeitraumes 03.10.2024 konnte die Steuerung auf den Parzellen eine mittlere Temperaturerhöhung je nach Parzelle von 2,94, 2,86, 3,15, 2,67 und 2,95°C erzielen (Tabelle 1).

Tabelle 1 Mittlere Differenz und mittlere absolute Abweichung der Oberflächentemperatur [°C] zwischen Referenzparzelle und den fünf beheizten Parzellen

Parzelle	Median	MAD
1	2,94	0,14
2	2,86	0,22
3	3,15	0,14
4	2,67	0,32
5	2,95	0,23

Betrachtet man den Verlauf der Messwerte der Basis- und Zieltemperatur der einzelnen Parzellen über den Testzeitraum hinweg (Abbildung 8), zeigt sich bis zum Einsetzen von Schneefall am Tag 4 eine relativ stabile Steuerung mit einer geringen Streuung der Messwerte rund um den Zielwert der Temperaturerhöhung von 3°C. Die Steuerung ist über den gesamten Temperaturbereich stabil und erzielt sowohl bei höheren Oberflächentemperaturen (>10°C) als auch bei geringen Temperaturen (<0°C) eine robuste Temperaturerhöhung von rund 3°C. Der Einfluss der Schneedecke auf die Oberflächentemperaturen ist bekannt und kann durch die Steuerung nur zum Teil ausgeglichen werden (siehe Tag 4 und 5). Da in der Regel Schneefall im Versuchszeitraum Juni bis Oktober nur relativ wenig auftritt, können diese Zeiträume weitgehend vernachlässigt werden.

Abbildung 8 Basis- und Zieltemperatur [°C] der Oberflächen der beheizten Parzellen (1-5) bzw. Differenz der Oberflächentemperatur zur Referenzparzelle im Testzeitraum 26.09.–03.10.2024



Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Versuchsfläche am Versuchsstandort „Hochtor“ an der Großglockner-Hochalpenstraße	7
Abbildung 2 Versuchsdesign entnommen aus dem ACRP Antrag	8
Abbildung 3 Infrarot-Heizungssystem im T-FACE Experiment an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein	9
Abbildung 4 Grafische Oberfläche und Programmobjekte der Infrarot-Steuerung in LabView	10
Abbildung 5 Mess- und Steuerungscontainer auf der Versuchsfläche am Hochtor	11
Abbildung 6 Trägergerüste für das Infrarot-Heizungssystem inkl. Verkabelung	11
Abbildung 7 Trägergerüste für das Infrarot-Heizungssystem inkl. Verkabelung	12
Abbildung 8 Basis- und Zieltemperatur [°C] der Oberflächen der beheizten Parzellen (1-5) bzw. Differenz der Oberflächentemperatur zur Referenzparzelle im Testzeitraum 26.09.-03.10.2024	14

Literaturverzeichnis

Büdel, B.; Colesie, C.; Green, T. G. A.; Grube, M.; Suau, R. L.; Loewen-Schneider, K. et al.: 2014. Improved appreciation of the functioning and importance of biological soil crusts in Europe: the Soil Crust International Project (SCIN). In: *Biodivers Conserv* 23 (7), 1639–1658.

Elbert, W.; Weber, B.; Burrows, S.; Steinkamp, J.; Büdel, B.; Andreae, M. O.; Pöschl, U.: 2012. Contribution of cryptogamic covers to the global cycles of carbon and nitrogen. In: *Nat Geosci* 5 (7), 459–462. DOI: 10.1038/NGEO1486.

Eldridge, D. J.; Reed, S.; Travers, S. K.; Bowker, M. A.; Maestre, F. T.; Ding, J. Y. et al.: 2020. The pervasive and multifaceted influence of biocrusts on water in the world's drylands. In: *Global Change Biol* 26 (10), 6003–6014.

Ferrenberg, S.; Reed, S. C.; Belnap, J.: 2015. Climate change and physical disturbance cause similar community shifts in biological soil crusts. In: *P Natl Acad Sci USA* 112 (39), 12116–12121.

Finger-Higgins, R.; Duniway, M. C.; Fick, S.; Geiger, E. L.; Hoover, D. L.; Pfennigwerth, A. A. et al.: 2022. Decline in biological soil crust N-fixing lichens linked to increasing summertime temperatures. In: *P Natl Acad Sci USA* 119 (16), e2120975119. DOI: 10.1073/pnas.2120975119.

Forstner, V.; Groh, J.; Vremec, M.; Herndl, M.; Vereecken, H.; Gerke, H. H. et al.: 2021. Response of water fluxes and biomass production to climate change in permanent grassland soil ecosystems. In: *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 25 (12), 6087–6106. DOI: 10.5194/hess-25-6087-2021.

Kimball, B. A.; Conley, M. M.; Wang, S.; Lin, X.; Luo, C.; Morgan, J.; Smith, D.: 2008. Infrared heater arrays for warming ecosystem field plots. In: *Global Change Biol* 14 (2), 309–320. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2007.01486.x.

Klanderud, Kari; Totland, Ørjan: 2005. Simulated climate change altered dominance hierarchies and diversity of an alpine biodiversity hotspot. In: *Ecology* 86 (8), 2047–2054. DOI: 10.1890/04-1563.

Kotlarski, S.; Gobiet, A.; Morin, S.; Olefs, M.; Rajczak, J.; Samacoïts, R.: 2022. 21st Century alpine climate change. In: *Clim Dyn.* DOI: 10.1007/s00382-022-06303-3.

Lang, S.I.; Cornelissen, J.H.C.; Shaver, G.R.; Ahrens, M.; Callaghan, T.V.; Molau, U. et al.: 2012. Arctic warming on two continents has consistent negative effects on lichen diversity and mixed effects on bryophyte diversity. In: *Global Change Biol* 18 (3), 1096–1107. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02570.x.

Maestre, F. T.; Escolar, C.; Guevara, M. L. de; Quero, J. L.; Lazaro, R.; Delgado-Baquerizo, M. et al. 2013. Changes in biocrust cover drive carbon cycle responses to climate change in drylands. In: *Global Change Biol* 19 (12), 3835–3847.

Maier, S.; Tamm, A.; Wu, D.; Caesar, J.; Grube, M.; Weber, B.: 2018. Photoautotrophic organisms control microbial abundance, diversity, and physiology in different types of biological soil crusts. In: *The ISME Journal* 12, 1032–1046. DOI: 10.1038/s41396-018-0062-8.

Weber, B.; Wu, D.; Tamm, A.; Ruckteschler, N.; Rodriguez-Caballero, E.; Steinkamp, J. et al.: 2015. Biological soil crusts accelerate the nitrogen cycle through large NO and HONO emissions in drylands. In: *P Natl Acad Sci USA* 112(50), 15384–15389. DOI: 10.1073/pnas.1515818112.

Williams, L.; Jung, P.; Zheng, L.-J.; Maier, S.; Peer, T.; Grube, M. et al.: 2018. Assessing recovery of biological soil crusts across a latitudinal gradient in Western Europe. In: *Restor Ecol* 26 (3), 543–554. DOI: 10.1111/rec.12579.

Zhang, Y.; Aradottir, A. L.; Serpe, M.; Boeken, B.: 2016. Interactions of Biological Soil Crusts with Vascular Plants. In: Weber, B., Büdel, B., Belnap, J. (Hg.): *Biological soil crusts: An Organizing Principle in Drylands*, Bd. 226. Switzerland: Springer, 385–406.

Abkürzungen

bzw.	beziehungsweise
ACRP	Austrian Climate Research Programme

HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal

raumberg-gumpenstein.at