

Auswirkungen der Anwendung von Roggenmulch auf Bodenklima und bodenbürtige Treibhausgasemissionen im Kopfkohlanbau

Dix, B. A.¹, Hauschild, M.¹, Niether, W.¹ & Gattinger, A.¹

Keywords: Nitrous oxide, vegetable farming systems, mulch, greenhouse gases

Abstract: Agriculture plays a key role in the fight against climate change, both as one of the main contributors and as one of the sectors most impacted by a changing climate. Several agricultural practices have been proposed to address this issue. Mulching, the addition of a layer of organic material to an agricultural field, is one of those practices, with the aim of reducing evaporation, preventing soil erosion and increasing yields. While mulching has become a popular research topic in recent years, little is known on what effect mulching has on climate change. In a 2x2-factorial experiment in a cabbage field with mulching and fertilization as factors, we took weekly measurements of nitrous oxide (N₂O) emissions as well as relevant soil parameters, including mineral nitrogen content, soil temperature and soil moisture content. We found that N₂O emissions only increased with the application of fertilizer. Soil parameters changed drastically under mulch, with significantly higher soil water contents and more stable soil temperatures in the mulched system. At the same time, yields increased both with fertilization and with mulching. In conclusion, our results suggest that mulching has advantages for the growing of vegetables, with many soil parameters being beneficial for the adaptation to a changing climate, while at the same time not increasing greenhouse gas emissions.

Einleitung und Zielsetzung

Der Klimawandel führt zu immer häufigeren Wetterextremen wie langanhaltenden Dürreperioden und Starkregenereignissen, wodurch die wasserbedürftige Gemüseproduktion und Ackerboden gefährdet werden. Die Anwendung von organischem Mulch als Bodenbedeckung verspricht unproduktiven Wasserverlusten durch Evaporationsminderung entgegenzuwirken, den Boden vor Erosion zu schützen und bietet weitere vorteilhafte Ökosystemdienstleistungen wie höhere Erträge unter heißen und trockenen Bedingungen sowie die Unterdrückung von unerwünschtem Beikraut (Riley *et al.* 2003). Die vielversprechenden Effekte die von der Mulchanwendung ausgehen können in der Anpassung an den Klimawandel Vorteile verschaffen, setzen allerdings den Einsatz hoher Biomassen voraus. In der Praxis werden im Kartoffel- und Feldgemüseanbau häufig mehr als 15 t TM ha⁻¹ Mulch gestreut, womit hohe Nährstofffrachten einhergehen. So können je nach C/N-Verhältnis des verwendeten Materials bedenkliche Konzentrationen an

¹ Professur für Ökologischen Landbau, JLU Gießen, Karl-Glöckner-Str. 21 C, 35394 Gießen, Deutschland, andreas.gattinger@agrar.uni-giessen.de, <http://www.uni-giessen.de/oekolandbau>

auswaschungs- und ausgasungsgefährdetem Stickstoff entstehen. Während die Einarbeitung von organischen Materialien, wie Ernterückständen, in den Boden und die Auswirkungen auf Lachgas (N_2O)-Emissionen mittlerweile gut erklärt wurden (Alabos et al. 2022; Lashermes et al. 2022), ist der langzeitige Verbleib an der Bodenoberfläche als Mulch im Feldgemüsebau auf seine Düngewirkung und Treibhausgas(THG)-Flüsse unzureichend erforscht. Um die Auswirkungen einer dicken Mulchschicht auf das Bodenklima, Stickstoffdynamik und THG-Emissionen besser zu verstehen, haben wir auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof der Justus-Liebig-Universität Giessen THG-Flussmessungen mit relevanten Begleitparametern in gemulchten und ungemulchten Versuchsvarianten mit und ohne Düngung durchgeführt.

Methoden

Das Feldexperiment wurde auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof der Justus-Liebig-Universität Giessen in Villmar-Aumenau, Hessen ($50^{\circ}23'55.43''\text{N}$ $8^{\circ}15'17.42''\text{E}$) durchgeführt. Der Gladbacherhof weist vorwiegend eine lössreiche Parabraunerde auf, die durchschnittliche Temperatur beträgt $9,7^{\circ}\text{C}$ und der jährliche Niederschlag 668 mm. In einem randomisierten Blockdesign wurde der Einfluss von insgesamt vier Anbausystemen (2×2 Faktorlevel) in vierfacher Wiederholung auf Bodenparameter und Treibhausgasemissionen im Weißkohlanbau (Korsuma RZ F1) mit einem Pflanzabstand von 45×45 cm auf $7,45 \times 1,72$ m² großen Parzellen untersucht. Dazu wurden zwei gemulchte (M+F+: Mulch mit Düngung; M+F-: Mulch ohne Düngung), sowie zwei ungemulchte (M-F+: ohne Mulch mit Düngung; M-F-: kein Mulch ohne Düngung) Varianten etabliert. Das Mulchmaterial war Roggenmulch (zu ca. $12,5$ t TM ha⁻¹, C/N-Verhältnis: 63) und als Dünger wurden 220 kg N ha⁻¹ (Phytoperls-N) unterfuß ausgebracht. Auf der gesamten Versuchsfläche stand vor der Versuchsdurchführung Roggen, welcher mitsamt Ähre vor der Teigreife gemulcht wurde und in dem Experiment Verwendung fand. Vor der Etablierung der Versuchspartellen wurde der gemulchte Roggen abgefahren und der Boden der Versuchsfläche mit einem Zinkenrotor auf 10 cm Tiefe bearbeitet. Anschließend wurde auf den gemulchten Varianten der Roggenmulch händisch gestreut. Die Direktpflanzung und Unterfußdüngung im Mulch erfolgte durch den Einsatz eines MulchTec-Planters (live2give gGmbH). Die THG-Messungen wurden wöchentlich in geschlossenen Hauben mittels hochauflösender Cavity Ring-down Laser Absorption Spektrometrie (Wheeler et al. 1998) in der Pflanzreihe durchgeführt. Begleitend wurde der N_{min} -Gehalt (Summe aus NO_3 und NH_4) nach VDLUFA, der wassergefüllte Porenraum (WFPS) in % und die Temperatur des Bodens in 30 cm Tiefe untersucht. Der Untersuchungszeitraum von 266 Tagen wurde in zwei Phasen unterteilt: Die Vegetationsphase in den Sommermonaten- Von der Pflanzung bis zur Ernte (17.06.2021 – 06.10.2021, 112 Tage) und die Nachwirkungsphase in den Wintermonaten- Von der Einarbeitung der Ernterückstände und Mulch mit anschließender Aussaat einer Zwischenfrucht (Wickroggen-Erbsegemenge) bis unmittelbar vor den Vorbereitungen der folgenden Kartoffellegung (07.10.2021 –

10.03.2022, 154 Tage). Am Anfang und am Ende der Vegetationsphase wurde eine Beprobung auf 90 cm Tiefe durchgeführt um die Verlagerung von Nitrat NO_3 in tiefere Bodenschichten zu verfolgen.

Ergebnisse

Wasser und Temperaturhaushalt: Die Verwendung von Mulch zur Bodenbedeckung hat einen signifikanten Einfluss auf die Bodentemperatur. Während der Sommermonate kühlt die Mulchschicht den Oberboden durchschnittlich um ca. 1°C und puffert Temperaturschwankungen im Vergleich zum unbedeckten Boden. Nach der Einarbeitung im Herbst konnte dieser Effekt nicht beobachtet werden. Gleichzeitig führte die Verwendung von Mulch zu einer Reduzierung der Evaporation und zu signifikant höherer Bodenfeuchtigkeit des Oberbodens. Die Düngung führte zu signifikant niedrigerer Bodenfeuchtigkeit im Vergleich zu den ungedüngten Varianten. So konnte die höchste Bodenfeuchtigkeit gemessen an WFPS über die Vegetationsphase in der Variante M+F- (53,2 %) gefolgt von M-F- (47,4 %), M+F+ (44,9 %) und M-F+ (43,5 %) beobachtet werden. Zur Ernte wurden prozentual höhere WFPS in den ungedüngten Varianten beobachtet.

N-Dynamik: Der mineralische Stickstoffgehalt des Bodens wurde vor allem durch die Düngung beeinflusst. Der Dünger wirkte bis ca. 8 Wochen nach der Pflanzung. Die Umsetzung des Düngers erfolgte zügiger unter Mulch allerdings konnte im wöchentlichen Durchschnitt über die Sommermonate kein signifikanter Unterschied an NO_3 zwischen M+F+ (36.6 kg) und M-F+ (36.4 kg) festgestellt werden. Mulch hemmte die Stickstoffmineralisierung des Bodens in den ersten drei Wochen nach der Pflanzung allerdings konnte in der Vegetationsphase kein signifikanter Unterschied ausgehend von der Mulchanwendung, M+F- (9.8 kg) und M-F- (9.7 kg) festgestellt werden. In allen Varianten konnte nach der Ernte kein auswaschungsgefährdeter Stickstoff festgestellt werden. Nach der Einarbeitung der Ernte- und Mulchrückstände konnten in der M-F+ Variante signifikant erhöhte Nmin-Gehalte beobachtet werden.

N_2O -Emissionen: Die N_2O -Emissionen, gemessen an kumulativem N_2O -N, betragen über den Gesamtzeitraum 1,6 kg (M-F+), 1,5 kg (M+F+), 0,7 kg (M+F-) und 0,8 kg (M+F-). Den größten Einfluss auf die N_2O -Emissionen hatte die Düngung. Generell wurden während des Kohlanbaus bis zur Ernte deutlich höhere Emissionen beobachtet als nach der Ernte, primär unmittelbar nach der Düngerausbringung. Unmittelbar nach der Bodenbearbeitung und Einarbeitung der Ernte- und Mulchrückstände waren ebenfalls höhere Impulse an N_2O -Emissionen zu beobachten. Während der Vegetationsphase konnte eine signifikante Erhöhung der kumulativen N_2O -Emissionen durch die Düngung, jedoch nicht durch die Mulchanwendung festgestellt werden. Allerdings kam es zu einer signifikanten Reduzierung der N_2O -Emissionen im Winter bei den gedüngten Varianten durch die Mulchanwendung. Korrelationsanalysen zeigten einen Zusammenhang zwischen N_2O -Emissionen und dem Nitratgehalt, der Feuchtigkeit und Temperatur des Bodens.

Ertrag und Pflanzenentwicklung: Die Erträge des Weißkohls waren vor allem von der Düngung abhängig. So erzielten gedüngte Varianten, M+F+ (42 t ha⁻¹) und M-F+ (40 t ha⁻¹) höhere Erträge als die ungedüngten. Ohne Düngung wurden im Bestand Ausfälle beobachtet und bei M-F- (23 t ha⁻¹) und M+F-(14 t ha⁻¹) signifikant geringere Erträge als in den gedüngten erreicht. Mulch hatte einen leicht positiven Effekt auf die Biomasseproduktion der Pflanzen, was sich vor allem durch ein größeres Umblatt der einzelnen Weißkohlpflanzen zeigte.

Diskussion

Der Untersuchungszeitraum war in der Vegetationsphase von mäßigen Temperaturen und regelmäßigen Niederschlägen gekennzeichnet. Trotzdem konnte tagsüber eine signifikant kühlere Bodentemperatur und höhere Bodenfeuchtigkeit unter Mulch beobachtet werden, was zur Ausbildung größerer Pflanzen in den Mulchvarianten führte. Daraus lässt sich schließen, dass die Verwendung von Mulch zu einer Minderung der Evaporation und unproduktiven Wasserverlusten beigetragen hat und per se gegenüber dem herkömmlichen Anbauverfahren als klimaresilienter anzusehen ist. Der Dünger nahm sowohl in den gemulchten als auch ungemulchten Varianten einen signifikanten Einfluss auf den Nmin-Gehalt des Bodens, wodurch höhere Erntemengen aber auch kumulative N₂O-Emissionen beobachtet wurden. Die Düngung führte in den gemulchten und ungemulchten Varianten zu einer niedrigeren Bodenfeuchte als in den ungedüngten Varianten die bis zur Ernte anhielt. Dieser Effekt lässt sich durch die größeren Pflanzen und erhöhte Transpiration erklären. Obwohl in der Vegetationsphase unter Mulch eine erhöhte Bodenfeuchtigkeit und WFPS beobachtet wurde, führte dies zu keinen signifikant erhöhten N₂O-Emissionen im Vergleich zum unbedeckten Boden. Ein Grund dafür bietet die geminderte Bodentemperatur die zur niedrigeren Mikrobenaktivität geführt haben könnte (*Duan et al. 2019*). Ein weiterer Grund kann das weite C/N-Verhältnis des Mulchmaterials gespielt haben, was zu einer N-Immobilisierung geführt haben kann. Dieser Effekt wurde nach der Einarbeitung der Ernterückstände zusammen mit Mulchmaterial deutlich und auch in anderen Studien (*Abalos et al. 2022; Lashermes et al. 2022*) beobachtet. Die Einarbeitung des Mulchmaterials mit weitem C/N-Verhältnis führte zu einer Minderung des Nmin-Gehalts des Bodens und somit auch zu einer Reduzierung der bodenbürtigen N₂O-Emissionen in den Wintermonaten, was ein oft zu beobachtender Effekt bei organischen Materialien mit einem C/N-Verhältnis (>30) ist (*Abalos et al. 2022*). Im Vergleich mit anderen Untersuchungen wie z.B. von *Pfab et al. 2012* wurden wesentlich geringere N₂O-Emissionen beobachtet, die sich durch die geringere N-Düngung erklären lassen. Ein weiterer Grund für die niedrigen Emissionen könnte eine gehemmte Nitrifikation durch die hohe Ammoniumkonzentration des verwendeten Düngers sein.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse aus dem Versuch zeigen, dass Roggenmulch zwar einen großen Einfluss auf die Bodentemperatur, sowie den Wasserhaushalt des Bodens nimmt, jedoch keine signifikant erhöhten N₂O-Emissionen verursacht. Diese Ergebnisse

zeigen, dass die Verwendung von Roggenmulch keine bedenklichen Treibhausgasemissionen begünstigt, und somit nicht übermäßig zum Klimawandel bei erhöhter Klimaresilienz beiträgt. Die Einarbeitung von Roggemulch führte zu einer Minderung der Nmin-Gehalte und N₂O-Emissionen in den Wintermonaten, wodurch Roggenmulch sogar zur Minderung von N₂O-Emissionen beitragen konnte. Gleichzeitig wurde unter Roggenmulch kein auswaschungsgefährdeter Stickstoff festgestellt werden. Weitere Forschung ist notwendig, um zu untersuchen, inwiefern aus dem verwendeten Mulchmaterial Stickstofffrachten in anderen Formen, bspw. durch Ammoniak oder elementaren Stickstoff ausgasen und ob der Humusaufbau begünstigt wird. Des Weiteren sollten andere Mulchmaterialien mit engeren C/N-Verhältnissen auf ihr N₂O-Emissionsverhalten untersucht werden.

Danksagung

Wir danken für die finanzielle Unterstützung dieses Projekts durch die EU im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft (EIP-Agri) und den Entwicklungsplan für den ländlichen Raum des Landes Hessen 2014 - 2020 (EPLR), der live2give gGmbH, die uns bei der Pflanzung und Beratung unterstützte sowie Yannick Salomon für die technische Umsetzung THG-Messungen.

Literatur

- Abalos D, Recous S, Butterbach-Bahl K, De Notaris C, Rittl T.F, Topp C.F.E, Petersen S.O, Hansen S, Bleken M.A, Rees R.M, Olesen J.E (2022). A review and meta-analysis of mitigation measures for nitrous oxide emissions from crop residues. *Science of The Total Environment*, 828
- Duan Y, Song Y, Li S, Xiong Z (2019). Responses of N₂O production pathways and related functional microbes to temperature across greenhouse vegetable field soils. *Geoderma*, 355, 113904.
- Lashermes G, Recous S, Alavoine G, Janz B, Butterbach-Bahl K, Ernfors M, Laville P (2022). N₂O emissions from decomposing crop residues are strongly linked to their initial soluble fraction and early C mineralization. *Science of The Total Environment*, 806
- Pfab H, Palmer I, Buegger F, Fiedler S, Müller T, Ruser R (2011). N₂O fluxes from a Haplic Luvisol under intensive production of lettuce and cauliflower as affected by different N-fertilization strategies. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174(4), 545-553.
- Riley H, Dragland S, Løes A. K, Hansen S (2003). Yield responses and nutrient utilization with the use of chopped grass and clover material as surface mulches in an organic vegetable growing system. *Biological Agriculture and Horticulture*, 21
- Wheeler M D, Newman S M, Orr-Ewing A J, Ashfold M N (1998). Cavity ring-down spectroscopy. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions*, 94(3), 337-351.