

Versuche zur Verminderung des Oaseneffekts auf Lysimetern

Ernst Spiess^{1*}, Clay Humphrys¹ und Volker Prasuhn¹

Zusammenfassung

Auf Lysimetern treten oftmals Oaseneffekte auf, die zu höheren Pflanzenerträgen und geringeren Sickerwassermengen als in der landwirtschaftlichen Praxis führen. Auf der Lysimeteranlage in Zürich-Reckenholz wurden deshalb Maßnahmen getestet, um den Oaseneffekt zu reduzieren. Im ersten Versuch mit Winterweizen führte die Beschattung der Pflanzen mit zwei Netztypen sowie der Anbau von Getreide um die Lysimeter herum nicht zum gewünschten Ergebnis. Der zweite Versuch mit *Triticale* ergab, dass eine Kürzung der gesamten Länge aller Saatzeilen um 14-31% ein effektiveres Mittel zur Zielerreichung ist. In Jahren mit unterschiedlichen klimatischen Verhältnissen ist nun zu prüfen, welche Kürzung der Saatzeilen optimal ist.

Schlagwörter: Ertrag, Sickerwasser, *Triticale*, Weizen

Summary

On lysimeters, oasis effects often occur leading to higher crop yields and lower seepage volumes than in farmer's fields. For this reason, measures to decrease these effects were tested on the lysimeter facility at Zurich-Reckenholz. In the first experiment with winter wheat, shading of the plants with two plastic meshes or cereal cropping around the lysimeter did not yield promising results. In the second trial with *triticale*, the reduction of the total length of seed rows by 14-31% turned out to be more effective. The optimal rate of reduction has now to be determined in years differing in climatic conditions.

Keywords: seepage volume, *triticale*, wheat, yield

Einleitung

Die Sickerwassermenge und die Auswaschung von im Sickerwasser gelösten Stoffen kann mit Lysimetern am zuverlässigsten quantifiziert werden (Goulding und Webster 1992, Meissner et al. 2010, Böhner & Eder 2011). Wägbare Lysimeter sind zudem die genaueste Methode zur direkten Messung aller Komponenten der Wasserbilanz (Meissner et al. 2007, Hannes et al. 2015). Lysimeter, die in einer Anlage stehen und von einem kurz gehaltenen Rasen umgeben sind, weisen jedoch den Nachteil auf, dass Oaseneffekte auftreten (Zenker 2003). Wenn sich die Höhe des Pflanzenbestandes auf einem Lysimeter wesentlich von jenem der Umgebung unterscheidet, werden schräg einfallende Niederschläge seitlich aufgefangen, so dass die gesamte Niederschlagsmenge, welche auf den Lysimeter fällt, höher ist als im freien Feld (AG Lysimeter 1989). Zudem ist der Lichteinfall am Lysimeterrand infolge der geringeren oder sogar fehlenden Beschattung durch Nachbarpflanzen stärker (Bender & van der Heijden 2014), was das Pflanzenwachstum fördert und die Evapotranspiration durch die erhöhten Temperaturen auf der Boden- und Pflanzenoberfläche steigert (Czeratzki & Schulze 1976, Roth et al. 1994). Die Evapotranspiration wird auch durch die höhere Windgeschwindigkeit im Pflanzenbestand gesteigert. Die Pflanzen auf der kleinen Lysimeterfläche trocknen schneller ab und sind weniger anfällig für ertragsreduzierende Pilzkrankheiten als im freien Feld. Die fehlenden Nachbarpflanzen ermöglichen eine Ausbreitung des Bestands über den Lysimeterrand hinaus. Dies alles trägt dazu bei, dass die Erträge in Lysimeterversuchen häufig bedeutend höher ausfallen als im Freiland (Spiess et al. 2011, Bender & van der Heijden 2014, Oberholzer et

al. 2017). In einem zypriotischen Versuch mit verschiedenen Kulturen betragen die Erträge der äußeren Reihen 64 - 484% der Erträge der inneren Reihen (Hadjichristodoulou 1993). Durch die gesteigerte Evapotranspiration wird zudem weniger Sickerwasser gebildet und eine geringere Stickstoff(N)-Menge ausgewaschen.

Lysimeter weisen meistens eine Oberfläche von 1 m² auf. Durch die Vergrößerung der Oberfläche kann der Oaseneffekt vermindert oder sogar beseitigt werden. Becker (1994) betrachtet eine Oberfläche von 7 m² als ausreichend, um Randeffekte zu minimieren und um freilandtypische Pflanzenerträge zu erzielen. Diese Empfehlung kann aber in der Praxis aus finanziellen Gründen kaum umgesetzt werden. Durch die Einbettung der Lysimeter in ein Feld kann der Oaseneffekt ebenfalls beseitigt werden (Eder et al. 2004, Klammler & Fank 2014). Bei einer großen Anzahl Lysimetergefäße lässt sich dies aber aus finanziellen Gründen und dem beträchtlichen Flächenbedarf ebenfalls nicht umsetzen. In zwei einjährigen Versuchen untersuchten wir deshalb alternative Methoden, um den Oaseneffekt zu verringern.

Material und Methoden

Lysimeter

Der Versuch wurde während zwei Jahren auf zwölf monolithischen Lysimetern der neuen Anlage in Zürich-Reckenholz (47°25'41"N, 8°31'05"E; 444 m ü.M.) durchgeführt (Prasuhn et al. 2009). Die Gefäße weisen eine Oberfläche von 1 m² und eine nutzbare Tiefe von 1,35 m auf (sowie eine zusätzliche Quarzsandschicht von 0,15 m über dem

¹ Agroscope, Fachgruppe Gewässerschutz und Stoffflüsse, Reckenholzstraße 191, CH-8046 ZÜRICH

* Ansprechpartner: DI Ernst Spiess, ernst.spiess@agroscope.admin.ch





Abbildung 1: Winterweizen mit feinem Netztyp (links) bzw. groben Netztyp (rechts) am 19. April 2016.

Auslass, die als Sickerhilfe dient). Sie befinden sich auf dem Anlagenteil mit den nicht wägbaren Lysimetern. Die Sickerwassermenge wird mit 100 ml-Kippwaagen erfasst, wobei der exakte Zeitpunkt jeder Kippung von einem Datenlogger aufgezeichnet wird. Bei jeder Kippung fließen zudem etwa 1-2 ml Wasser in eine Probenflasche, was eine abflussproportionale Entnahme einer kleinen Probe erlaubt. Die Wasserproben werden 14-täglich entnommen und mittels segmentierter Fließinjektionsanalyse (s-FIA) kolorimetrisch auf Nitrat (NO_3^-) und Ammonium untersucht.

Boden, Verfahren und Kulturmaßnahmen

Die Monolithen wurden im Sommer 2008 im schweizerischen Mittelland auf einem Acker in Grafenried bei Bern gefräst. Der Boden ist eine Braunerde mit 16% Ton, 32% Schluff und 52% Sand sowie einem Gehalt an organischem Kohlenstoff von 1,0% und an Gesamtstickstoff (N) von 0,11% (0-20 cm Bodentiefe). Da die Lysimeter zwischen 2009 und 2014 in verschiedenen Versuchen verwendet worden waren, wurden am 22. April 2015 als Ausgleichskultur Sonnenblumen gesät, welche am 24. August 2015 geerntet wurden.

Der erste Versuch wurde mit Winterweizen (Bodenbearbeitung am 20. Oktober 2015; Saat am 27. Oktober 2015; Ernte am 19. Juli 2016) durchgeführt. Der Boden wurde beim Umbruch jeweils 20 cm tief bearbeitet. Die N-Düngung mit Ammoniumnitrat (140 kg N ha^{-1}) erfolgte im Frühjahr in drei Gaben. In diesem Versuch wurde der Weizen mit zwei Netztypen unterschiedlicher Maschenweite, die Mitte April 2016 um die Lysimetergefäße herum aufgestellt wurden, beschattet, wobei die Höhe des Netzes regelmäßig der Höhe des Pflanzenbestands angepasst wurde (Verfahren „grob“ und „fein“; *Abbildung 1*). In einer dritten Variante wurde Winterweizen auch außerhalb der Lysimetergefäße angesät, um einen Zustand wie im Feld zu simulieren (Verfahren „Umgebung“). Im Kontrollverfahren wurde keine Maßnahme ergriffen. Alle Verfahren wurden in dreifacher Wiederholung durchgeführt; zur Erleichterung der Versuchsdurchführung wurden sie aber nicht randomisiert. Die Sickerwassermengen und die ausgewaschene N-Menge wurde in diesem Versuch vom April 2016 bis März 2017 erfasst, d.h. im Jahr nach der Installation der Netze.

Nachdem der Ertrag im ersten Versuch nicht wesentlich durch die Beeinflussung der klimatischen Bedingungen gesenkt werden konnte, wurde in einem zweiten Experiment auf den gleichen Lysimetern versucht, ihn mit agronomischen Mitteln zu reduzieren. Dieser Versuch wurde mit *Triticale* (Bodenbearbeitung am 11.-12. Oktober 2016; Saat am 17. Oktober 2016; Düngung von 108 kg N/ha in drei Gaben mit Ammoniumnitrat; Ernte am 10. Juli 2017) durchgeführt, indem drei neue Verfahren und eine Kontrolle zufällig angeordnet und dreifach wiederholt wurden. In den verschiedenen Verfahren wurde am 13. März 2017 jeweils ein Teil der noch kleinen Getreidepflanzen entfernt. Im Verfahren „Rand 1“ wurden die beiden äußersten, kurzen Saatreihen entfernt (-14% der gesamten Länge aller Saatreihen; *Abbildung 2*). In zwei weiteren Verfahren wurden zusätzlich noch die verbleibenden Saatreihen an beiden Enden um 10 cm (-23%; „Rand 2“) bzw. 20 cm (-31%; „Rand 3“) eingekürzt. Wir entschieden uns für die Verkürzung der Saatreihen und nicht für die Reduktion der Bestandesdichte, weil die Getreidepflanzen bei ersterer Methode die Anzahl Triebe und damit den Ertrag weniger gut durch eine bessere Bestockung erhöhen können. Als Nachkultur von *Triticale* wurden am 9. August 2017 Chinakohlrüben (*Brassica chinensis x Brassica rapa*), eine winterharte Kreuzung von Chinakohl und Winterrüben, gesät. Die Sickerwassermengen und die ausgewaschene N-Menge wurde in diesem Versuch vom April 2017 bis März 2018 erfasst.

Klima

Die Klimadaten stammten von der 20 m entfernten Station von MeteoSchweiz. In beiden Versuchsjahren lagen die Niederschläge mit $1007 \text{ mm Jahr}^{-1}$ (2015/16) bzw. 976 mm Jahr^{-1} (2016/17) unter dem langjährigen Mittel (1981-2010) von $1054 \text{ mm Jahr}^{-1}$. Die Temperatur überstieg mit 9,9 bzw. $10,2^\circ\text{C}$ in beiden Jahren das langjährige Mittel von $9,4^\circ\text{C}$.

Resultate und Diskussion

Erträge im Versuch 1

Die Körnererträge von Winterweizen lagen in allen Verfahren etwas unter dem Referenzwert der Grundlagen für die Düngung (60 dt ha^{-1} ; Sinaj et al. 2017) und den Praxiser-

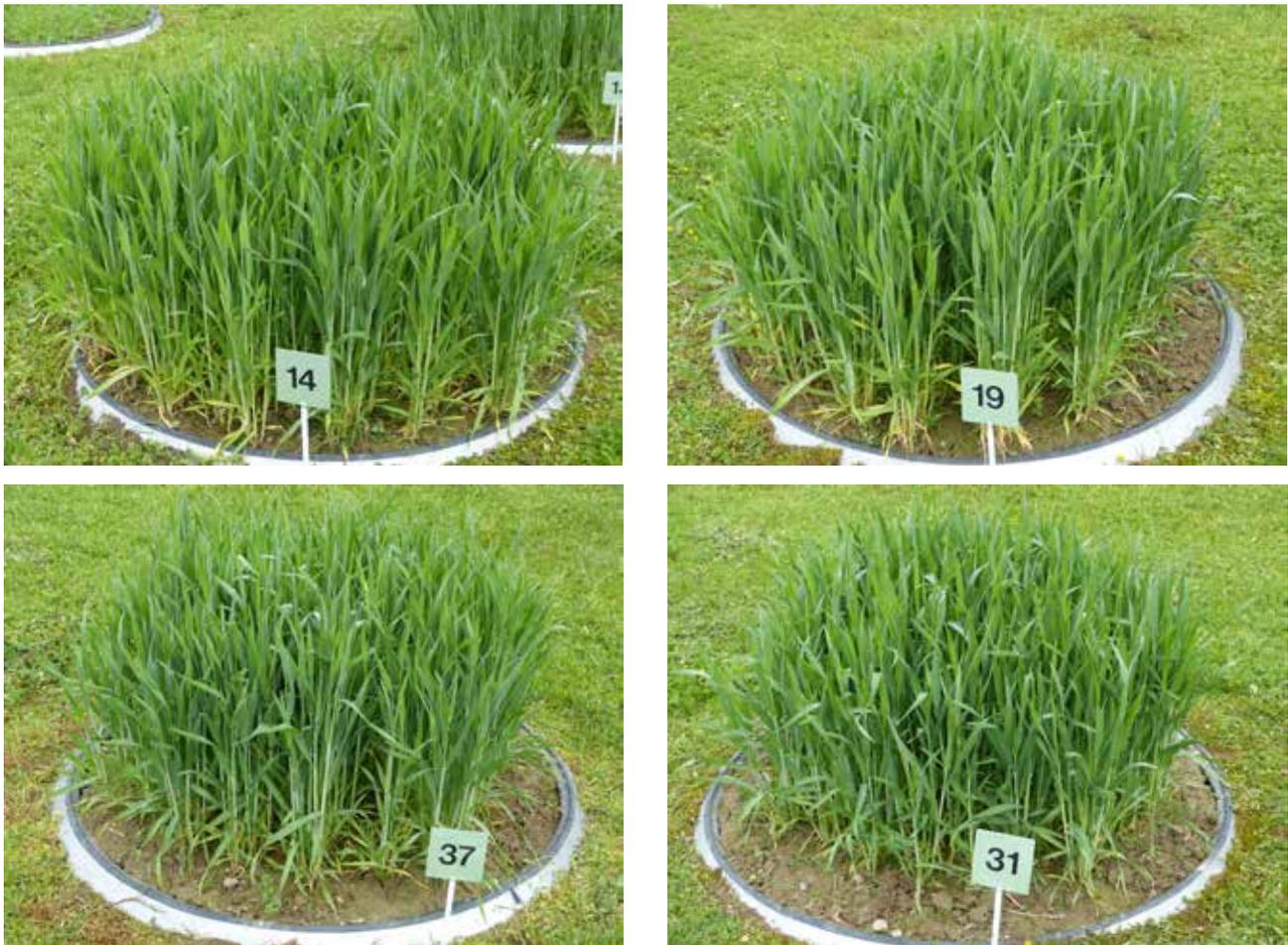


Abbildung 2: Die vier Verfahren des zweiten Versuchs mit Triticale am 4. Mai 2017: Kontrolle (oben links) sowie die Verfahren ohne die zwei äußersten Randreihen und keiner Einkürzung der verbleibenden Saatzeilen (Rand 1; oben rechts), einer Einkürzung um 10 cm (Rand 2; unten links) bzw. 20 cm (Rand 3; unten rechts).

trägen der schweizerischen Landwirtschaft. Da jedoch die Stroherträge bedeutend höher als der Referenzwert (70 dt ha^{-1}) ausfielen, lag auch der Trockensubstanz (TS)-Ertrag der oberirdischen Biomasse darüber. Mit den beiden Netztypen sowie mit der Ansaat von Weizen um die Lysimeter herum konnte keine wesentliche Ertragsreduktion erreicht werden. Die Körnererträge waren in diesen Verfahren sogar höher als in der Kontrolle, während die Stroherträge etwas niedriger ausfielen (Abbildung 3). Beim TS-Ertrag der oberirdischen Biomasse waren die Unterschiede zur Kontrolle gering. Es scheint, dass die drei Methoden den Lichteinfall auf die Pflanzen im Lysimeter nur wenig verringert haben. Beim Verfahren „Umgebung“ wurde wahrscheinlich ein zu schmaler Ring mit Weizen angesät. Zudem entwickelten sich die Pflanzen ausserhalb der Lysimeter infolge der geringen Bodenmächtigkeit von nur 50 cm über dem Lysimeterkeller nicht optimal. Alle drei Verfahren dürften im Weiteren wenig Einfluss auf die Windverhältnisse ausgeübt haben.

Sickerwassermenge und Nitratauswaschung im Versuch 1

Die Sickerwassermenge war beim groben Netz leicht niedriger als in der Kontrolle, dagegen fiel sie beim feinen Netz sowie beim Verfahren „Umgebung“ deutlich höher

aus (Abbildung 4). Sie wies eine negative Korrelation mit dem Biomasse- und dem Strohertrag auf. Angesichts der geringen Ertragsunterschiede können aber die stark variierenden Sickerwassermengen nur teilweise dadurch erklärt werden. Zudem dürfte sich die fehlende Randomisierung ungünstig auf die Versuchsergebnisse ausgewirkt haben. Die ausgewaschene Nitratmenge war in den Verfahren mit den Netzen aus unbekanntem Grund 20% geringer als in den beiden anderen Verfahren.

Erträge im Versuch 2

Sowohl die Körner- als auch die Stroherträge von *Triticale* lagen in allen Verfahren bedeutend über den Referenzwerten der Grundlagen für die Düngung ($60 \text{ dt Körner ha}^{-1}$; $75 \text{ dt Stroh ha}^{-1}$; Sinaj et al. 2017) sowie den Praxiserträgen der schweizerischen Landwirtschaft. Durch die Verkürzung der Saatzeilen konnte eine Ertragsreduktion erreicht werden, welche umso stärker ausfiel, je kürzer die gesamte Länge aller Saatzeilen war (Abbildung 5). Der Ertrag nahm beim Stroh stärker ab als bei den Körnern. Der TS-Ertrag der Biomasse nahm eine Mittelstellung ein. Beim Verfahren mit den kürzesten Saatzeilen lag hier der Ertrag mit $145 \text{ dt TS ha}^{-1}$ immer noch deutlich über dem Referenzertrag von $115 \text{ dt TS ha}^{-1}$.

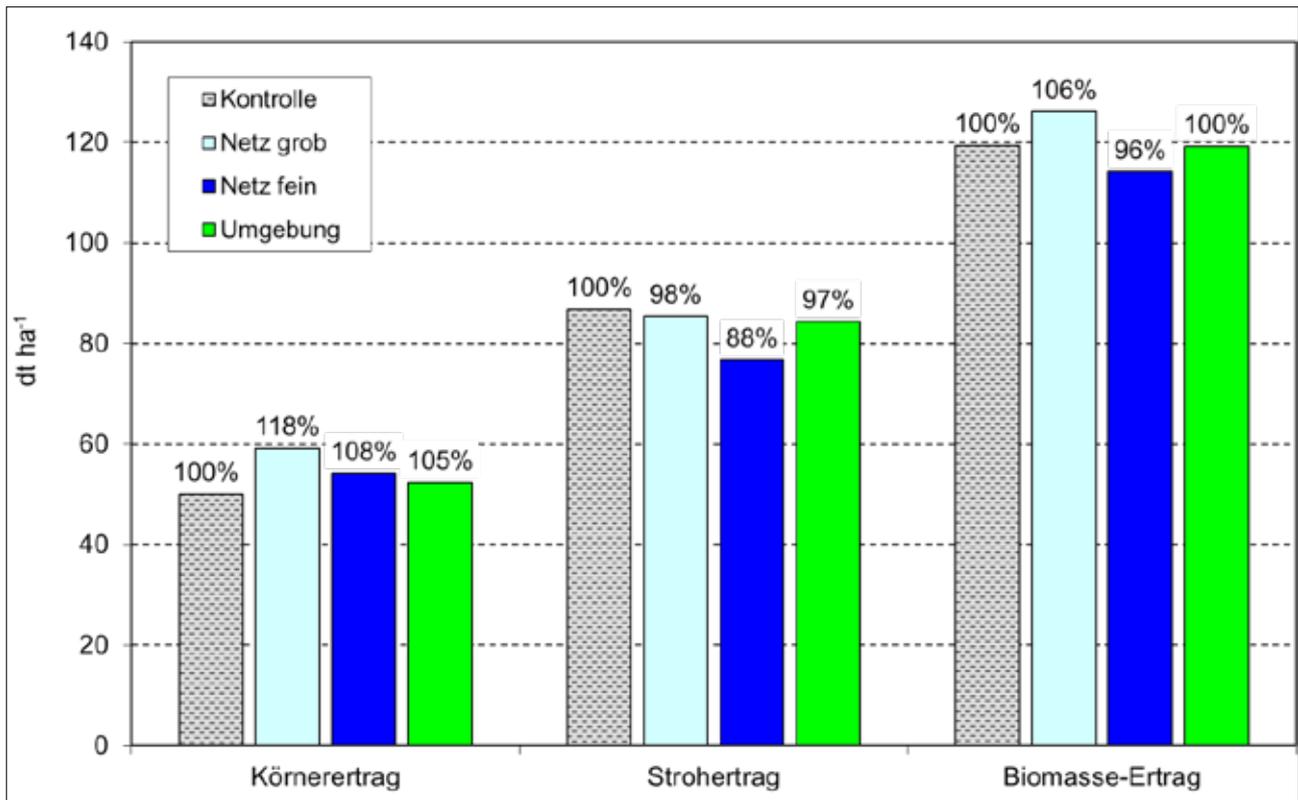


Abbildung 3: Körner- und Stroherträge sowie TS-Ertrag der oberirdischen Biomasse von Winterweizen der verschiedenen Verfahren im Versuch 1.

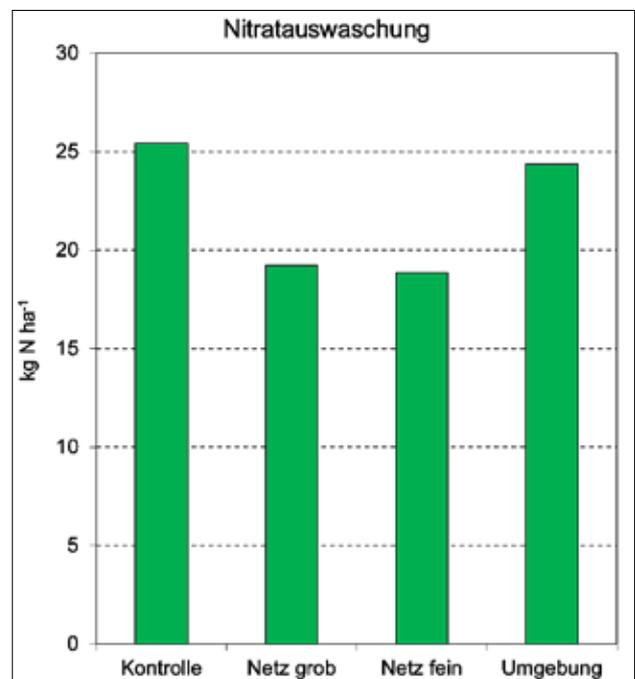
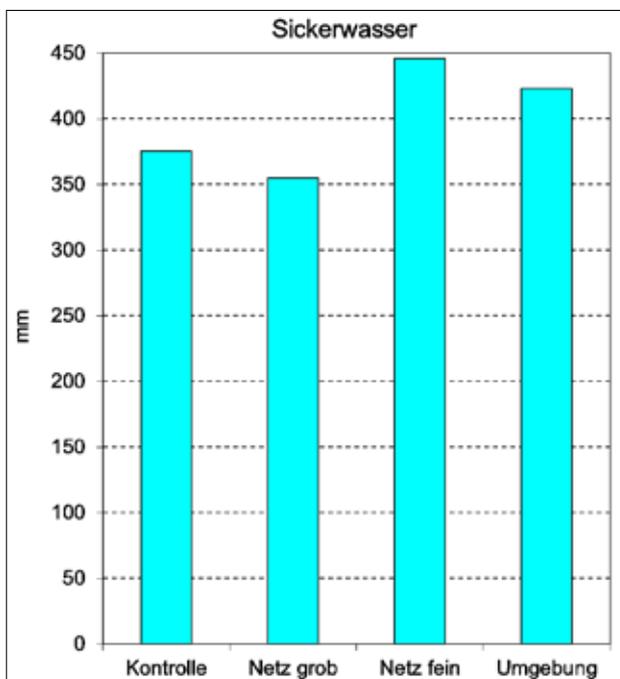


Abbildung 4: Sickerwassermenge und Nitratauswaschung der verschiedenen Verfahren im Versuch 1.

Sickerwasser und Nitratauswaschung im Versuch 2

Durch die Kürzung der gesamten Länge aller Saatreihen nahm die Sickerwassermenge leicht, aber nicht stetig zu (Abbildung 6). Im Verfahren „Rand 3“ war sie über 20 mm

höher als in der Kontrolle. Tendenzmässig stieg somit die Sickerwassermenge bei sinkenden TS-Erträgen der oberirdischen Biomasse. Die ausgewaschenen N-Mengen waren in diesem Jahr mit 1-2 kg N ha⁻¹ sehr gering. Nur in vier Monaten fielen grössere Sickerwassermengen an und die Zwischenfrucht scheint effizient Wasser und Stickstoff

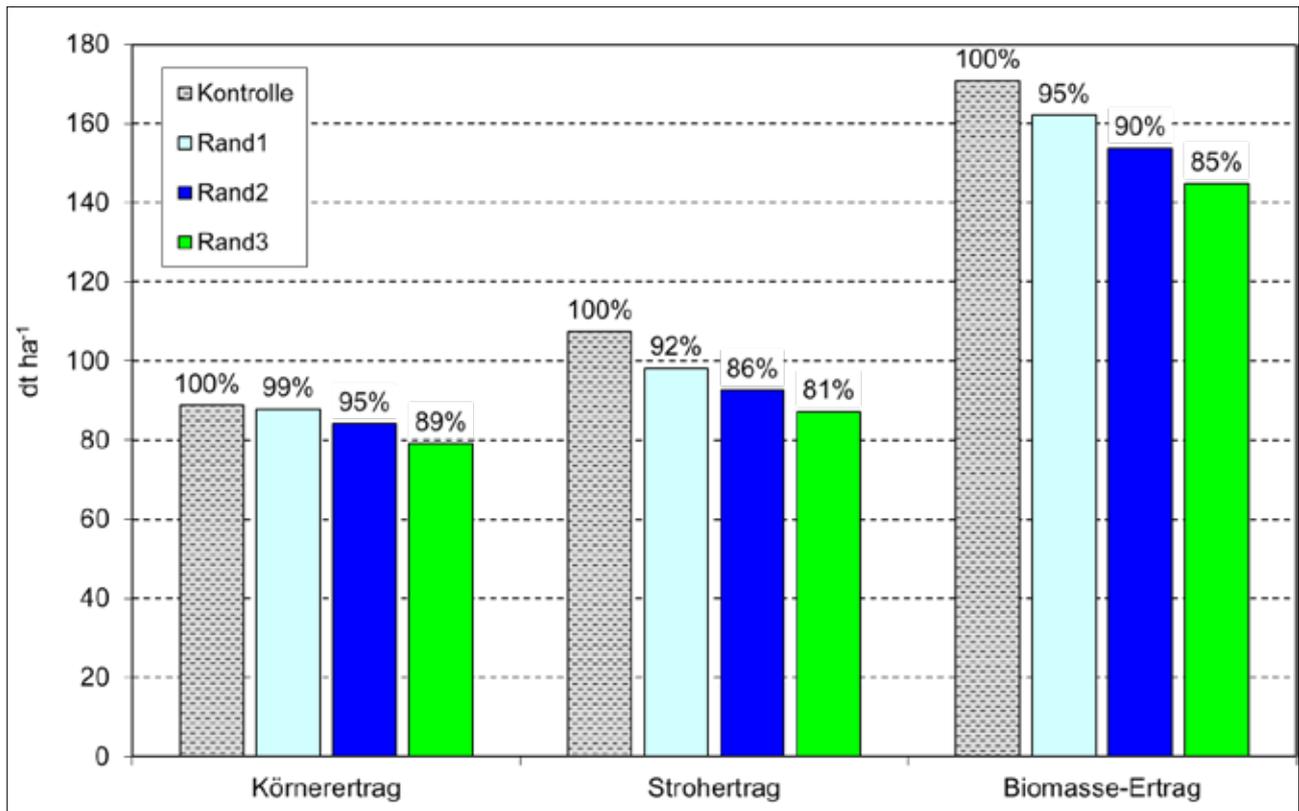


Abbildung 5: Körner- und Stroherträge sowie TS-Ertrag der oberirdischen Biomasse von Triticale der verschiedenen Verfahren im Versuch 2.

entzogen zu haben. Deshalb wurde auf eine Auswertung dieses Parameters verzichtet.

Schlussfolgerungen

Der erste Lysimeterversuch mit Weizen hat gezeigt, dass eine Senkung von überdurchschnittlich hohen Erträgen und die Erhöhung der Sickerwassermenge nur schwer durch die Beschattung mit Netzen oder die Ansaat von Getreide ausserhalb der Lysimeter erreicht werden kann. Beide Maßnahmen sind zudem mit großem Aufwand verbunden, insbesondere wenn sie bei hohen Kulturen wie Mais oder Sonnenblumen angewandt werden. Der zweite Versuch mit *Triticale* ergab, dass eine Kürzung der Saatzeilen ein effektiveres Mittel zur Zielerreichung ist. In Jahren mit unterschiedlichen klimatischen Verhältnissen ist nun zu prüfen, welche Kürzung der Saatzeilen optimal ist.

Literatur

AG Lysimeter (1989) Lysimeterdaten von schweizerischen Messstationen. Dokument Nr. 4 der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz.

Becker K.-W. (1994) Der klimatologische und pedohydrologische Vergleich Lysimeter - Freiland als Grundlage der Datenübertragung. Bericht über die 4. Lysimetertagung. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Irnding, 87-93.

Bender S.F., van der Heijden M.G.A. (2014) Soil biota enhance agricultural sustainability by improving crop yield, nutrient uptake and reducing nitrogen leaching losses. *J. Appl. Ecol.* 52, 228-239.

Bohner A., Eder G. (2011) Auswirkung steigender Gaben von Rindergülle auf den Nährstoffaustrag mit dem Sickerwasser im Grünland - eine

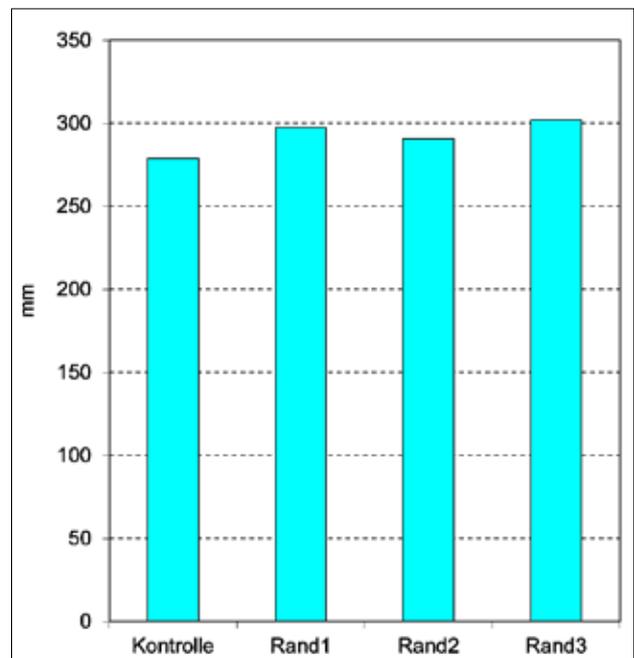


Abbildung 6: Sickerwassermenge der verschiedenen Verfahren im Versuch 2.

Zusammenfassung verschiedener Untersuchungsergebnisse. In: Elsässer M., Diepolder M., Huguenin-Elie O., Pötsch E., Nussbaum H. und Messner J. (Eds.) Gülle 11 - Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland. Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg, Aulendorf, 245-249.

- Czeratzki W., Schulze F. (1976) Einfluss der Bodenwasserspannung in Unterdrucklysimetern bei unterschiedlichen Bodenarten auf die Trockensubstanzproduktion von Mais im Trockenjahr 1975. *Landbauforschung Völkenrode* 26, 122-130.
- Eder G., Stichler W., Stenitzer E., Bohner A., Kandolf M. (2004) Sickerwassermenge in monolithischen Feldlysimetern anhand von Isotopenuntersuchungen. Bericht über das Seminar Landwirtschaft und Grundwasserschutz. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Irndning, 53-56.
- Goulding K.W.T., Webster C.P. (1992) Methods for measuring nitrate leaching. *Aspects of Applied Biology* 30 (Nitrate and farming systems), 63-74.
- Hadjichristodoulou A. (1993) Edge effects on yield, yield components and other physiological characteristics in cereals and oilseed crops. *J. agric. Sci., Camb.* 120, 7-12.
- Hannes M., Wollschläger U., Schrader F., Durner W., Gebler S., Pütz T., Fank J., von Unold G., Vogel H.-J. (2015) A comprehensive filtering scheme for high-resolution estimation of the water balance components from high-precision lysimeters. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 19, 3405-3418.
- Klammler G., Fank J. (2014) Determining water and nitrogen balances for beneficial management practices using lysimeters at Wagna test site (Austria). *Science of The Total Environment* 499, 448-462.
- Meissner R., Prasad M.N.V., Du Laing G., Rinklebe J. (2010) Lysimeter application for measuring the water and solute fluxes with high precision. *Current Science* 99, 601-607.
- Meissner R., Seeger J., Rupp H., Xiao H., Borg H. (2007) Sickerwasserforschung mit Lysimetern und ihre Eignung zur Messung von „Climate Change“ Effekten. Bericht über die 12. Gumpensteiner Lysimetertagung. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irndning, 63-66.
- Oberholzer S., Prasuhn V., Hund A. (2017) Crop water use under Swiss pedoclimatic conditions – Evaluation of lysimeter data covering a seven-year period. *Field Crops Research* 211, 48-65.
- Prasuhn, V., Spiess E., Seyfarth M. (2009) Die neue Lysimeteranlage Zürich-Reckenholz. Bericht über die 13. Gumpensteiner Lysimetertagung. Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irndning, 11-16.
- Roth D., Günther R., Knoblauch S. (1994) Technische Anforderungen an Lysimeteranlagen als Voraussetzung für die Übertragbarkeit von Lysimeterergebnissen auf landwirtschaftliche Nutzflächen. Bericht über die 4. Lysimetertagung. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Irndning, 9-21.
- Sinaj S., Charles R., Baux A., Dupuis B., Hiltbrunner J., Levy L., Pellet D., Blanchet G., Jeangros B. (2017) Düngung von Ackerkulturen. In Richner W. & Sinaj S.: Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017). *Agrarforschung Schweiz* 8(6), Spezialpublikation, 8/1-8/45.
- Spiess E., Prasuhn V., Stauffer W. (2011) Einfluss von organischer und mineralischer Düngung auf die Nährstoffauswaschung. *Agrarforschung Schweiz* 2, 376-381.
- Zenker T. (2003) Verdunstungswiderstände und Gras-Referenzverdunstung. Dissertation Technische Universität Berlin.