

Winterzwischenfrucht und Untersaat als Maßnahmen zur Verminderung der Nitratauswaschung im Maisanbau: Ein Versuchsbericht aus Südtirol

Giovanni Peratoner^{1*}, Christine Klotz¹, Ulrich Figl¹, Arnold Bodner¹, Martin Thalheimer¹,
Aldo Matteazzzi¹ und Elmar Stimpfl¹

Zusammenfassung

Im Allgemeinen ist die Nitratbelastung der Gewässer in Südtirol als niedrig einzustufen, ein deutlicher Anstieg der Nitratwerte wurde allerdings im Raum Bruneck in den letzten 20 Jahren beobachtet. Ein kleines Einzugsgebiet, eher leichte Böden und die räumliche Konzentration auswaschungsgefährdeter Kulturen (Silomais), großteils intensiv bewirtschaftet, haben zu dieser Situation vermutlich beigetragen. Um praktikable Lösungen und praxisnahe Informationen für die lokale Landwirtschaft zu erarbeiten, hat das Versuchszentrum Laimburg ein dreijähriges Projekt durchgeführt. Dabei wurde der Effekt von drei Stufen der Frühjahrsdüngung mit Gülle (20, 40 und 80 m³/ha), kombiniert mit verschiedenen Methoden zur Verminderung der Nitratauswaschung (Untersaat mit *Lolium perenne*, Winterzwischenfrucht mit Winterroggen, Kontrolle), auf Ertrag und Futterqualität des Silomais sowie auf die Nitratgehalte im Sickerwasser mittels Saugkerzen untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass steigende Güllegaben sich positiv auf den Maisertrag auswirken, ihre Düngungseffizienz aber stark abnimmt. Darauf folgend wurden höhere Nitratstickstoff-Gehalte im Sickerwasser nachgewiesen. Sowohl die Untersaat als auch die Winterzwischenfrucht (in kleinerem Ausmaß) wirkten sich jeweils in einem der drei Untersuchungsjahre und in Abhängigkeit des Witterungsverlaufs auf den Silomaisertrag negativ aus. Sowohl die Untersaat als auch die Winterzwischenfrucht waren in zwei der drei Jahre in der Lage, die Nitratstickstoff-Konzentration im Sickerwasser zu reduzieren.

Schlagwörter: Nitratauswaschung, Silomais, Winterzwischenfrucht, Untersaat

Summary

In South Tyrol the nitrate pollution of water is still low, but in the last 20 years a significant increase of the nitrate level was recorded in the area around Bruneck. The small catchment area, the rather light soils and the high concentration of intensively farmed arable crops such as maize, might have contributed to this situation. The Research Centre Laimburg conducted a three-year project to develop practical solutions for this problem and provide reliable information for the local agriculture. The effect of three levels of spring fertilization with slurry (20, 40 and 80 m³/ha) in combination with different methods for reducing nitrate leaching (catch crop with *Lolium perenne*, winter cover crop with winter rye, control) on maize silage yield and quality and on the nitrate concentration in the percolating water (assessed by means of suction cups) was investigated. The results show that increasing rates of fertilization have positive effects on maize yield, but also that their efficiency strongly decreases. Subsequently, higher NO₃-N-concentrations in percolating water were observed. Both the catch crop and the winter cover crop (to a lesser extent) had a negative impact on the maize yield in one of each of the three years, depending on the weather conditions. These two methods were also able to reduce the NO₃-N-concentration in the percolating water in two of three observation years.

Keywords: N-leaching, silage maize, winter cover crop, catch crop

Einleitung

In Südtirol ist die Nitratbelastung im Allgemeinen als niedrig einzustufen. Zur Überwachung der Oberflächengewässer und der Grundwasserkörper wurde ein Messnetz von 25 fixen Probenahmestellen eingerichtet, bei denen von der zuständigen Landesbehörde monatliche Beprobungen vorgenommen werden. Die Nitratgehalte der untersuchten Grundwasserkörper liegen mit Ausnahme von 2 Messpunkten unter 20 mg/l und der Grenzwert von 50 mg/l wird an keinem Messpunkt des Kontrollnetzes überschritten. Somit musste in Südtirol noch kein gefährdetes Gebiet im Sinne

der Nitratrichtlinie 91/676/EWG ausgewiesen werden. Die Kontrollbrunnen im Raum Bruneck (Pustertal, Südtirol) zählen zu den am stärksten mit Nitrat belasteten Gebieten in Südtirol. Zudem konnte hier seit den 90er Jahren ein deutlicher Anstieg der Nitratwerte beobachtet werden. Die eher leichten Böden, der räumlich konzentrierte Anbau von auswaschungsgefährdeten Kulturen (z.B. Mais), und die intensive Bewirtschaftungsform, haben vermutlich zu dieser Situation beigetragen (PERATONER und STIMPFL 2012). Eine Untersuchung zum N_{min}-Verlauf bei unterschiedlichen Ackerkulturen in diesem Gebiet deutete auf Mais als die am höchsten auswaschungsgefährdete Kultur

¹ Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg, Laimburg 6 - Pfatten, I-39040 AUER

* Ansprechpartner: Christine Klotz, christine.klotz@provinz.bz.it



unter der gängigen Anbau- und Düngungspraxis hin (EGGER et al. 2005).

Die Intensität der Düngung, die im Gebiet vorwiegend durch die Verwendung betriebseigener Wirtschaftsdünger erfolgt, spielt dabei selbstverständlich eine große Rolle. Allerdings besteht in der Praxis eine lebhafte Diskussion über die Nährstoffmengen, die für einen erfolgreichen Maisanbau benötigt werden. Es gibt in der Literatur zahlreiche Hinweise, dass eine geeignete Gestaltung der Fruchtfolge mit dem Einsatz von Winterzwischenfrüchten und die Verwendung von Untersaaten die Nitratauswaschung vermindern kann (MARTINEZ und GUIRAUD 1990, DI und CAMERON 2002, DINNES et al. 2002, BÜCHTER et al. 2003, DERSCH und HÖSCH 2004). Während die Winterzwischenfrüchte bereits zu Versuchsbeginn eine gewisse Verbreitung in der lokalen landwirtschaftlichen Praxis dank gezielter Versuchstätigkeit und Beratung (KASAL 1991, KOFLER und KASAL 2001, PERATONER und SCHWIENBACHER 2006) genossen, gibt es noch heute nahezu keinen Einsatz von Untersaaten. Um lokalbezogene und fundierte Auskünfte für die Beratung zu gewinnen, sowohl in Hinblick auf die Nitratauswaschung als auch auf das pflanzenbauliche Ergebnis des Maisanbaus, wurde ein Feldversuch durchgeführt. Dabei galt es in erster Linie herauszufinden, welche Methode zur Verminderung der Nitratauswaschung in Kombination mit steigenden Mengen von Wirtschaftsdüngern (Gülle) in der Lage ist, die Nitratauswaschung zu minimieren und zugleich ein ausreichendes Niveau von Futterertrag und -qualität beizubehalten.

Material und Methoden

Der dreijährige Feldversuch wurde im Frühjahr 2006 beim Versuchsbetrieb Mair am Hof in Dietenheim (910 m ü.d.M., Bruneck, Südtirol, Italien) bei einem südwestlich exponierten Acker (Vorfrucht Mais) mit leichter Neigung (6,5%) und lehmigem Sandboden mit 3,6% Humus und einem pH-Wert von 5,4 angelegt. Zu Versuchsbeginn wies der Boden Mitte April eine relativ hohe Verfügbarkeit an mineralisiertem Stickstoff (98 kg/ha) sowie einen hohen P_{CAL} -Gehalt (104 g/kg) und einen sehr hohen K_{CAL} -Gehalt (310 g/kg) auf. Der Versuchsstandort ist von einem langjährigen Temperatur-Jahresmittelwert von 8,5°C und einer

Niederschlagssumme von 912 mm/Jahr charakterisiert (Daten der eigenen Wetterstation am Versuchsbetrieb). Zur Beschreibung des Wetterverlaufes wurde unter anderem eine einfache Wasserbilanz als Differenz zwischen dem kumulierten Niederschlag und der kumulierten potentiellen Evapotranspiration nach Penman-Monteith (ALLEN et al. 1998) erstellt. Die drei Versuchsjahre wiesen unterschiedliche Wetterverläufe auf (Abbildung 1). Das Jahr 2006 war im ersten Teil der Anbauperiode vergleichsweise kühl und zeigte eine eher ausgewogene Wasserbilanz mit Ausnahme eines Defizits im Juni und eines deutlichen Überschusses im August. Die Wasserbilanz des Jahres 2007 verlief im negativen Bereich für den größten Teil der Anbauperiode mit anfänglich überdurchschnittlichen Temperaturen. Das Jahr 2008 zeichnete sich meistens durch positive Werte der Wasserbilanz und eher durchschnittlichen Temperaturen aus.

Der Mais (Sorte Romario, KWS, FAO-Zahl 250 in den Jahren 2006 und 2007; Sorte Marcello, KWS, FAO-Zahl 260 im Jahr 2008) wurde gegen Anfang Mai (Tabelle 1) mit 75 cm Reihenabstand und 15 cm Abstand in der Reihe maschinell gedreht. Unkrautbekämpfung und Bewässerung wurden nach Bedarf durchgeführt.

Im Versuch wurde der Effekt von zwei Faktoren mit jeweils drei Stufen untersucht: die Menge der Gülledüngung im Frühjahr (20, 40 und 80 m³/ha von 2:1 mit Wasser verdünnter betriebseigener Gülle) und verschiedene Methoden zur Verminderung der Nitratauswaschung (Untersaat mit *Lolium perenne*, Winterzwischenfrucht mit Winterroggen, Kontrolle). Das Versuchsdesign war eine randomisierte vollständige Blockanlage mit vier Wiederholungen und einer Parzellengröße von 45 m². Jeder Parzelle wurde in allen drei Jahren dieselbe Behandlung zugeordnet, um die Entwicklung bei gleich bleibender Bewirtschaftung zu erfassen.

Die Gülleausbringung, welche die einzige Düngungsmaßnahme im Versuch darstellte, erfolgte manuell mittels Eimern und Gießkannen kurz nach dem Pflügen. Danach wurde der Dünger mit einer Egge eingearbeitet. Aufgrund variierender Stickstoffgehalte der Gülle in den einzelnen Jahren waren deutliche Unterschiede bei den ausgebrachten Nährstoffmengen zu verzeichnen (Tabelle 2).

Die Untersaat mit *Lolium perenne* (Sorte Margarita, DLF Trifolium) wurde mittels Drillmaschine (Amazone D8, Has-

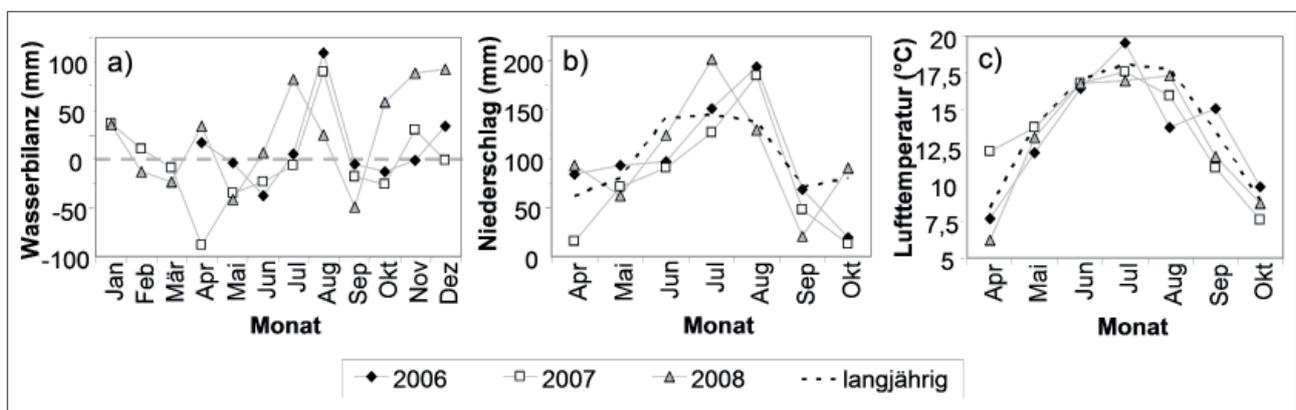


Abbildung 1: Verlauf a) der Wasserbilanz in der Untersuchungsperiode sowie b) des Niederschlags und c) der Lufttemperatur während der Mais-Anbauperiode

Tabelle 1: Zeitliche Bewirtschaftung des Versuchs

Jahr	Pflug	Düngung	Aussaat Silomais	Datum		
				Aussaat Untersaat	Ernte Silomais	Aussaat Winterroggen
2006	14. April	27. April	2. Mai	4. Mai	9. Oktober	12. Oktober
2007	16. April	19. April	27. April	18. Mai	25. September	9. Oktober
2008	10. April	15. April	2. Mai	21. Mai	30. September	2. Oktober

Tabelle 2: Ausgebrachte Stickstoffmengen in den einzelnen Untersuchungsjahren

Jahr	Güllegabe (m ³ /ha/Jahr)	NH ₄ -N (kg/ha/Jahr)	Gesamt-N (kg/ha/Jahr)
2006	20	28	72
	40	56	144
	80	112	288
2007	20	18	32
	40	36	64
	80	72	128
2008	20	26	44
	40	52	88
	80	104	176

berger-Gaste, D) mit 10 cm Reihenabstand, einer Saatstärke von 10 kg/ha und einer Saattiefe von 1 cm durchgeführt. Die Säscharen in der Nähe der Maisreihen wurden ausgeschaltet. Im ersten Jahr, ausgehend von den Ergebnissen eines Vorversuchs (PERATONER und STIMPFL 2006), wurde die Untersaat gleichzeitig mit dem Mais gesät, während in den folgenden Jahren abgewartet wurde, bis sich der Mais im zweiten Blattstadium befand (Tabelle 1).

Die Winterzwischenfrucht (Winterroggen) wurde kurz nach der Maisernte angebaut. Die Aussaat erfolgte durch Breitsaat mit einer Saatstärke von 140 kg/ha. Das Saatgut wurde mit einem Grubber leicht eingearbeitet.

Für die Bestimmung des TM-Ertrags von Mais wurden in jeder Parzelle zwei Reihen im mittleren Parzellenbereich auf einer Länge von 4,5 m geerntet. Die Pflanzen wurden bei einer Höhe von 10 cm über dem Boden mittels Sichel geschnitten, mit einer Feldwaage gewogen und mittels Maishäcksler gehäckselt. Das Häckselgut wurde in einer Wanne gefangen und gründlich durchgemischt; davon wurde eine Probe von 500 g für die Laboranalysen entnommen.

Für die Bestimmung der oberirdischen Biomasse der Untersaat und der Winterzwischenfrucht wurde kurz vor dem Pflügen im Frühjahr eine Probe pro Parzelle innerhalb eines Metallrahmens von 0,5 m × 0,5 m mittels Akkuscheren entnommen.

Der TS-Gehalt aller Proben wurde nach Trocknung im Trockenschrank (4 Tage bei 60°C) bestimmt. Die Proben wurden dann mit einer modifizierten Version der Mühle Fritsch P 25 (Fritsch GmbH, Laborgerätebau, IDAR-Oberstein, D) bei 2800 Umdrehungen/min und einer Siebgröße von 0,5 mm gemahlen. Die Rohnährstoffe wurden mittels NIRS (NIRSystems 5000, Foss Italia, Padova, I) in einem Wellenlängenbereich von 1100 nm bis 2500 nm bestimmt. Der NEL-Gehalt wurde nach SPIEKERS et al. (2008) errechnet.

Das Sickerwasser wurde mit selbstgebauten Saugkerzen (poröse Spitze Tropf Blumat, Weninger GmbH, Telfs, A; PVC-Rohre mit Länge 140 cm und Durchmesser 25 mm) gesammelt, die jedes Jahr nach der Bodenvorbereitung in dreifacher Wiederholung pro Parzelle bei 80 cm Bodentiefe innerhalb der Maisreihen eingebaut wurden. Aufgrund der gelegentlichen Notwendigkeit von Reparaturen an den Saugkerzen während der Versuchsdauer ist die Anzahl der gewonnenen Wasserproben pro Messtermin nicht konstant, was einige Lücken im Datenbestand verursachte. Die Probenahme erfolgte durch die Anlegung eines Unterdrucks von – 400 hPa jedes Mal, als die Daten der Tensiometeranlage am Feld auf das Vorkommen von Sickerwasser in 80 cm Tiefe hinwiesen. Der Nitratstickstoff-Gehalt im Sickerwasser wurde photometrisch bei 550 nm mit einem Technicon® AutoAnalyzer (Tarrytown, USA) nach EPA (1993) bestimmt. Für die Datenauswertung wurde der mittlere Gehalt über verschiedene Messungen in derselben Messperiode im jeweiligen Jahr (Frühjahr = vom Auftauen des Bodens bis zur Maisaussaat; Herbst = von der Maisernte bis zum Gefrieren des Bodens) herangezogen. Fehlende Daten (Parzellen mit keiner gültigen Messung bei einem Beprobungstermin) wurden mit dem Mittelwert der anderen Parzellen mit derselben Behandlung ersetzt.

Die statistische Analyse der Daten (TM-Ertrag und Energieertrag von Silomais, Nitratstickstoffgehalt im Sickerwasser, Stickstoffentzug durch Untersaat und Winterzwischenfrucht) erfolgte mit einem gemischten Modell mit Gülledüngung und Methode zur Verminderung der Nitratauswaschung als fixe Effekte und das Jahr (bzw. der Messperiode beim N-Gehalt im Sickerwasser) als wiederholter Effekt. Die Anpassung der Kovarianzstruktur erfolgte mittels AIC. Multiple Vergleiche erfolgten mittels LSD. Die Beziehung zwischen N-Düngung und N-Entzug durch den Silomais wurde mittels Regression untersucht. Alle statistischen Analysen wurden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% durchgeführt. Wenn notwendig, wurden die Daten transformiert um Varianzhomogenität und Normalverteilung der Residuen zu erreichen.

Ergebnisse und Diskussion

Der Trockenmasse- und Energieertrag von Silomais sowie der Nitratstickstoffgehalt im Sickerwasser wurden von denselben Effekten signifikant beeinflusst (Tabelle 3): die Methode zur Verminderung der Nitratauswaschung, die Gülledüngung im Frühjahr und der Zeitpunkt der Datenerhebung (das Beobachtungsjahr bzw. die Messperiode). Während die Gülledüngung denselben Effekt über die ganze Versuchsdauer aufwies, hatten die Methoden zur Verminderung der Nitratauswaschung eine unterschiedliche Wirkung je nach Zeitpunkt. Der N-Entzug durch Untersaat

Tabelle 3: ANOVA-Ergebnisse für TM-Ertrag und Energieertrag vom Mais sowie für den Nitratstickstoff-Gehalt im Sickerwasser (*) = $P < 0,001$, ** = $P < 0,01$, * = $P < 0,05$, n.s. = nicht signifikant)**

Effekt	Silomais-TM-Ertrag (t/ha)		Silomais-Energieertrag (GJ NEL/ha)		NO ₃ -N-Gehalt im Sickerwasser (mg/l) [#]	
	F-Wert	Sig.	F-Wert	Sig.	F-Wert	Sig.
Methode zur Verminderung der Nitratauswaschung (M)	19,8	***	18,5	***	4,8	*
Gülldüngung im Frühjahr (D)	13,6	***	13,3	***	4,0	*
Jahr bzw. Messperiode (J)	20,5	***	29,1	***	50,0	***
M × D	0,8	n.s.	1,0	n.s.	1,7	n.s.
M × J	39,9	***	36,5	***	5,1	***
D × J	1,9	n.s.	2,6	n.s.	1,1	n.s.
M × D × J	2,0	n.s.	1,9	n.s.	1,5	n.s.
Block (B)	2,9	n.s.	2,9	n.s.	3,7	*
B × J	7,4	***	5,2	**	1,6	n.s.

[#] Auswertung mit logarithmierten Werten

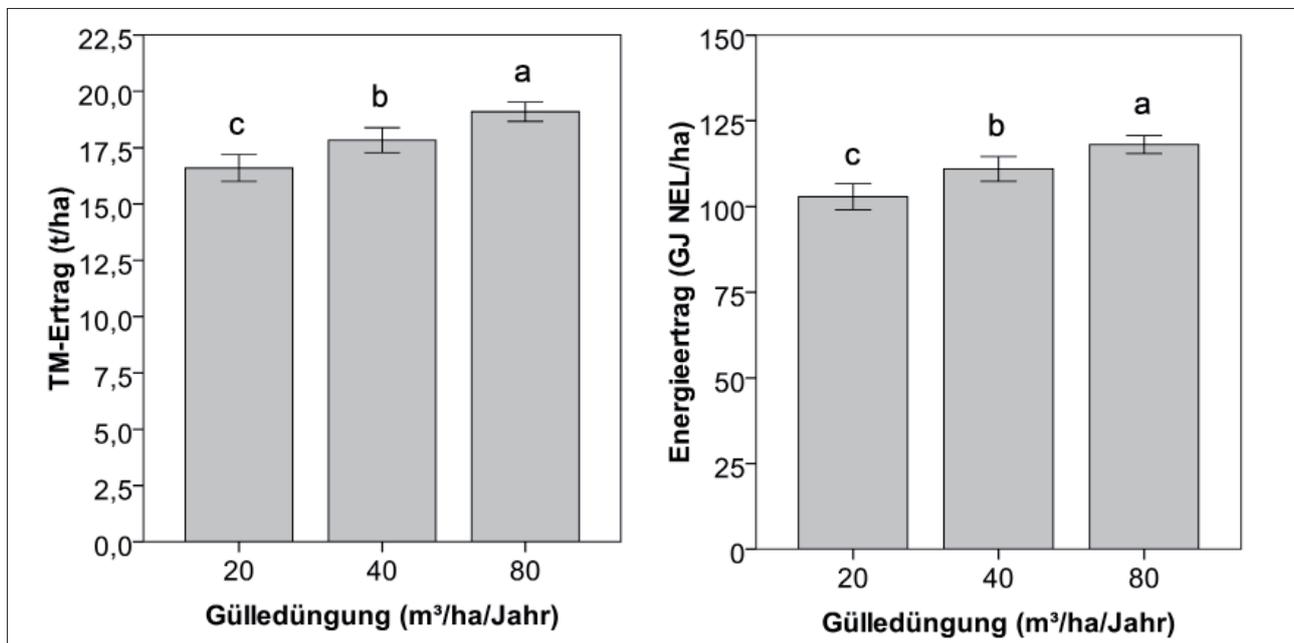


Abbildung 2: Einfluss der Gülldüngung im Frühjahr auf TM-Ertrag und Energieertrag von Silomais. Mittelwerte ohne gemeinsame Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander.

und Winterzwischenfrucht wurde von keinem Faktor signifikant beeinflusst (die Ergebnisse werden nicht gezeigt).

Der Mais reagierte positiv auf eine Erhöhung der Güllengabe im Frühjahr von 20 bis auf 80 m³/ha (Abbildung 2). Die zunehmenden Güllmengen bewirkten eine Zunahme des Maisertrages von 16,6 auf 19,1 t/ha. Die Erhöhung der Gülldüngung von 20 auf 40 m³/ha konnte den Ertrag um 1,23 t/ha (+7,4%) steigern, während die Zugabe von weiteren 40 m³/ha (von 40 auf 80 m³/ha) eine ähnliche Zunahme von 1,25 t/ha (+7,0%) bewirkte. Dies deutet auf eine abnehmende Effizienz der Düngewirkung hin. Ähnlich wirkte sich die Gülldüngung auf den Energieertrag aus, der mit jeder Stufenerhöhung um 8,1 bzw. 7,1 GJ NEL/ha (+8,1% bzw. +7,1%) zunahm.

Je nach Anbaujahr kam es bei beiden Methoden zur Verminderung der Nitratauswaschung zu negativen Auswirkungen auf TM- und Energieertrag von Mais (Abbildung 3). Im

ersten Jahr hatte die Untersaat einen deutlichen negativen Effekt auf den Maisertrag. Dank der gleichzeitigen Aussaat mit dem Mais und des für den Mais ungünstigen Wetterverlaufs (relativ feuchte Witterung im Mai, eher niedrige Temperaturen mit einem Kälteeinbruch mit leichtem Frost Ende Mai-Anfang Juni) konnte die gut entwickelte Untersaat eine starke Konkurrenz auf den Mais ausüben, so dass am Ende der Saison Ertragseinbußen beim Mais von etwa 40% zu verzeichnen waren. Kleinere Ertragseinbußen bei der Verwendung von Untersaaten sind aus der Literatur (JOVANOVIĆ et al. 2000) bekannt. Dieser Unterschied ist wahrscheinlich auf die Durchführung der Untersaat in diesem Versuch bei einem weiter fortgeschrittenen Mais-Entwicklungsstadium zurückzuführen, was auch in unserem Versuch in den Jahren 2007 und 2008 beachtet wurde. Im Jahr 2007 wurde hingegen der Ertrag von der Winterzwischenfrucht negativ beeinflusst. Diese Ertragverminderung (13,2%) war allerdings weniger markant als jene, die im Jahr

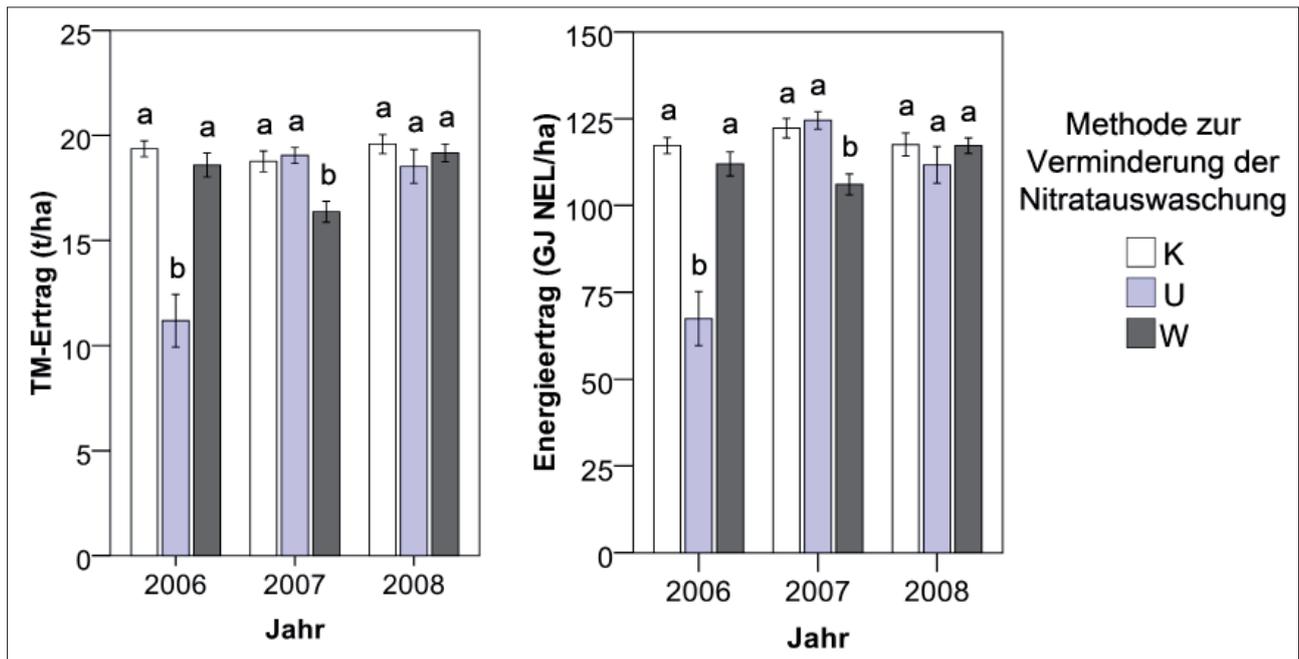


Abbildung 3: Einfluss der Methoden zur Verminderung der Nitratauswaschung auf TM-Ertrag und Energieertrag von Silomais (K = Kontrolle, U = Untersaat, W = Winterzwischenfrucht). Mittelwerte ohne gemeinsame Buchstaben innerhalb des Jahres unterscheiden sich signifikant voneinander.

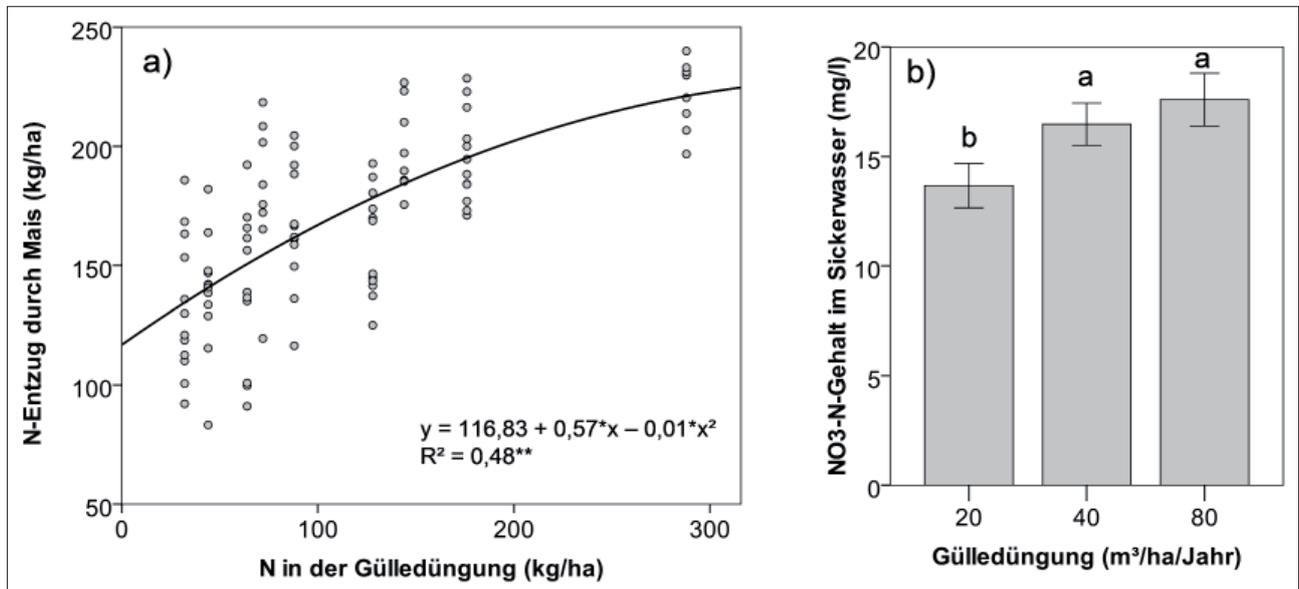


Abbildung 4: a) Beziehung zwischen Stickstoffinput aus der Gülledüngung und TM-Ertrag von Silomais und b) daraus resultierender Nitratsstickstoffgehalt im Sickerwasser. Aufgrund des starken ertragsreduzierenden Effektes der Untersaat auf den Mais im Jahr 2006 wurden die entsprechenden Daten für die Erstellung der Grafik a) nicht miteinbezogen. Mittelwerte ohne gemeinsame Buchstaben in der Grafik b) unterscheiden sich signifikant voneinander.

davor von der Untersaat verursacht wurde. Dieser Effekt wurde vermutlich vom sehr trockenen Wetter zum Zeitpunkt der Bodenvorbereitung und der Aussaat im Frühjahr 2007 hervorgerufen. Gelegentliche Ertragseinbußen der Hauptkultur bei der Verwendung von Winterzwischenfrüchten wurden in ähnlichem Ausmaß auch von anderen Autoren beobachtet und werden auf eine Verschlechterung der Wasserverfügbarkeit im Frühjahr oder auf die Immobilisierung

von Stickstoff im Boden zurückgeführt (MARTINEZ und GUIRAUD 1990, GARWOOD et al. 1999, DINES et al. 2002). Im Jahr 2008 wirkten sich alle Varianten gleich aus. Dasselbe Muster über die Jahre konnte beim Energieertrag erkannt werden.

Die mathematische Beschreibung der Beziehung zwischen der Stickstoffmenge, die mit der Gülle zugefügt wurde, und dem N-Entzug durch den Maisertrag bestätigte die

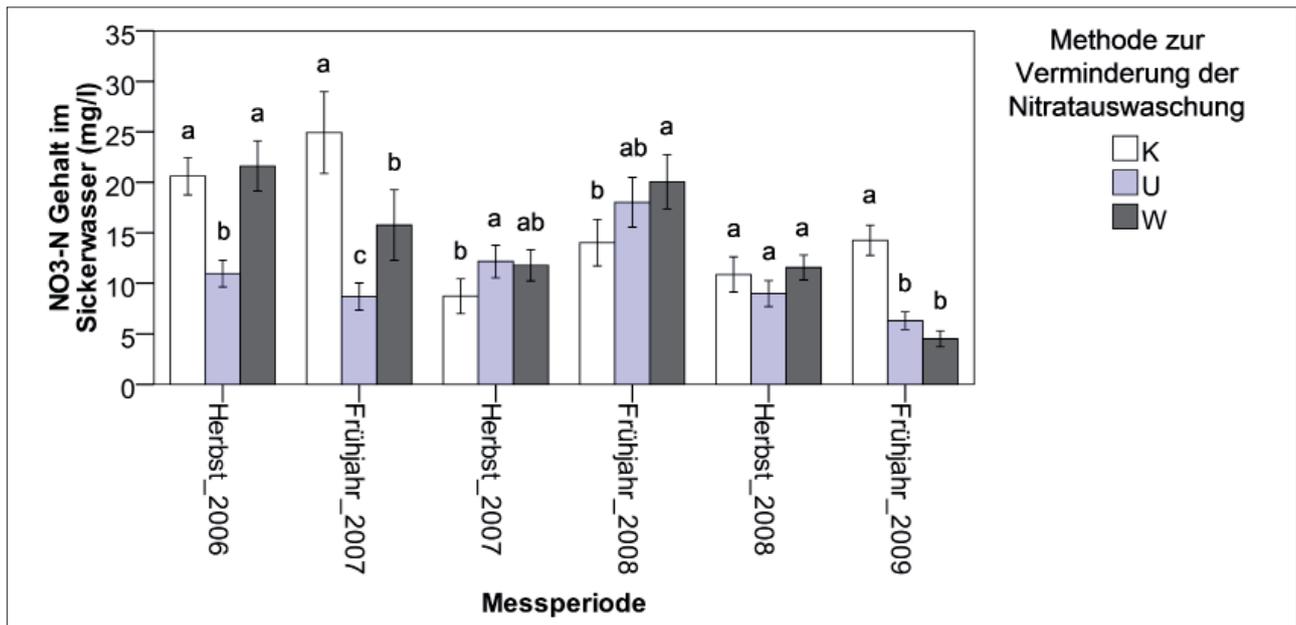


Abbildung 5: Effekt der Methoden zur Verminderung der Nitratauswaschung auf den Nitratstickstoff-Gehalt im Sickerwasser bei unterschiedlichen Messperioden (K = Kontrolle, U = Untersaat, W = Winterzwischenfrucht). Mittelwerte ohne gemeinsame Buchstaben innerhalb der Messperiode unterscheiden sich signifikant voneinander.

abnehmende Wirkung der Gülledüngung bei einer Erhöhung der Güllemenge (Abbildung 4a). Das Abflachen der Kurve deutet darauf hin, dass ein zunehmender Anteil des zugefügten Stickstoffs von der Hauptkultur nicht mehr verwendet wird und das Risikopotential der Nitratauswaschung erhöht. Das wird von den gemessenen Werten des Nitratstickstoff-Gehalts im Sickerwasser bestätigt: dabei stieg der durchschnittliche Gehalt von 13,6 bis auf 17,6 mg/l an (Abbildung 4b).

Untersaat und Winterzwischenfrucht wirkten sich auf unterschiedliche Weise auf den Nitratstickstoff-Gehalt in Abhängigkeit der Messperiode aus (Abbildung 5).

Im Herbst 2006 bewirkte die gut entwickelte Untersaat deutlich niedrigere Nitratstickstoff-Gehalte als die Kontrolle und als die frisch gesäte Winterzwischenfrucht, während im Frühjahr des darauf folgenden Jahres auch die Winterzwischenfrucht niedrigere Werte als die Kontrolle aufwies. Im Herbst 2007 und Frühjahr 2008 waren merkwürdigerweise leicht erhöhte Werte bei der Verwendung von Untersaat und Winterzwischenfrucht zu verzeichnen. Erst im Frühjahr 2009 konnte der positive Effekt der zwei Maßnahmen zur Verminderung der Nitratauswaschung wieder festgestellt werden. Diese Ergebnisse spiegeln somit nur teilweise den bekannten positiven Effekt auf die Verminderung der Nitratauswaschung von Untersaaten (ARONSSON und TORSTENSSON 1998, TORSTENSSON und ARONSSON 2000, WACHENDORF et al. 2006) und Winterzwischenfrüchten (RASSE et al. 2000, TORSTENSSON und ARONSSON 2000, PARENTE et al. 2003, VOS und VAN DER PUTTEN 2004) wider.

Unabhängig von Jahr und Düngungsniveau wurden von Untersaat und Winterzwischenfrucht eher bescheidene Stickstoffmengen in die eigene Biomasse gebunden (durchschnittlich $18,2 \pm 1,3$ kg/ha/Jahr Stickstoff). Das ist

vermutlich auf den relativ frühen Zeitpunkt der Bodenbearbeitung zurückzuführen, die bei Beginn des Schossens des Winterroggens und einem durchschnittlichen TM-Ertrag zwischen 0,4 und 0,7 t/ha stattfand. Aus anderen Untersuchungen im selben Gebiet ist bekannt, dass zwischen Ende April und Anfang Mai ansonsten eine sehr rasche Zunahme des TM-Ertrags des Winterroggens von 0,4 auf 2,0 t/ha mit entsprechender Zunahme auch der gebundenen Stickstoffmenge zu erwarten ist (KOFLER und KASAL 2001). Aufgrund der klimatischen Eigenschaften des Untersuchungsgebiets ist aber eine Verzögerung der Bodenvorbereitung eher praxisfern, da eine Verspätung in der Ernte der Winterzwischenfrucht mit dem optimalen Zeitpunkt für die Maisaussaat kollidieren würde.

Schlussfolgerungen

Aufgrund der abnehmenden Düngungseffizienz der Gülle bei zunehmender Güllemenge ist es nicht möglich, gleichzeitig den Maisertrag zu maximieren und das Risiko der Nitratauswaschung zu minimieren. In einem Bereich zwischen 20 und 80 m³ Gülle/ha/Jahr sind Verbesserungen des TM und Energieertrags von Mais, aber auch eine höhere Auswaschung zu erwarten. Sowohl Untersaaten als auch Winterzwischenfrüchte scheinen geeignete Maßnahmen zur Verminderung der Nitratauswaschung zu sein, da sie den Nitratstickstoff-Gehalt im Sickerwasser in drei der sechs untersuchten Messperioden stark reduzierten. Die Verwendung von beiden Maßnahmen birgt allerdings die Gefahr von Mais-Ertragseinbußen unter ungünstigen Wetterbedingungen. Diese Verluste halten sich bei der Verwendung von Winterzwischenfrüchten eher in Grenze, während ein konkretes Risiko sehr starker Mais-Ertragsvermindernungen besteht, wenn Untersaaten gleichzeitig mit dem Mais gesät werden.

Danksagungen

Wir bedanken uns bei Andreas Kasal, Elisabeth Werth, Sara Gottardi, Priska Egger, Manuel Pramsohler, Michael Monthaler, Norbert Paoli, Caterina Sartori, Egon Hilber und Reinhold Seiwald für die wertvolle Hilfe bei der Anlage, Pflege und Betreuung des Versuchs. Die Firma KWS stellte das Versuchssaatgut kostenlos zur Verfügung.

Literatur

- ALLEN, G., L.S. PEREIRA, D. RAES and M. SMITH, 1998: Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper 56. FAO, Rom.
- ARONSSON, H. and G. TORSTENSSON, 1998: Measured and simulated availability and leaching of nitrogen associated with frequent use of catch crops. *Soil Use and Management* 14, 6-13.
- BÜCHTER, M., M. WACHENDORF, K. VOLKERS und F. TAUBE, 2003: Silomaisanbau auf sandigen Böden Norddeutschlands: Einfluss von Untersaat, Gülle- und Mineral-N-Düngung auf den Nitrataustrag. *Pflanzenbauwissenschaften* 7, 64-74.
- DERSCH, G. und J. HÖSCH, 2004: Der Einfluss von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Stickstoffverluste im NÖ-Alpenvorland. In: Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein (Hrsg.): *Landwirtschaft und Grundwasserschutz*, BAL Gumpenstein, Irnding, 9-14.
- DI, H.J. and K.C. CAMERON, 2002: Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 64, 237-256.
- DINNES, L.D., D.L. KARLEN, D.B. JAYNES, T.C. KASPAR, J.L. HATFIELD, T.S. COLVIN and C.A. CAMBARDELLA, 2002: Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained midwestern soils. *Agronomy Journal* 94, 153-171.
- EGGER, P., E. STIMPFL, P. SEIDEMANN und E. SCARPERI, 2005: Falsches Düngen hat schwer wiegende Folgen. *Der Südtiroler Landwirt* 59, 47-48.
- EPA, 1993: Determination of nitrate-nitrite nitrogen by automated colorimetry. EPA Method 353.2. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati.
- GARWOOD, T.W.D., D.B. DAVIES and A.R. HARTLEY, 1999: The effect of winter cover crops on yield of the following spring crops and nitrogen balance in a calcareous loam. *Journal of Agricultural Science* 132, 1-11.
- JOVANOVIĆ, J.-N., M. WACHENDORF and F. TAUBE, 2000: Impact of an undersown grass on the performance of silage maize. *Grassland Science in Europe* 5, 446-448.
- KASAL, A., 1991: Grünroggen als Winterzwischenfrucht. *Der Südtiroler Landwirt* 45, 830.
- KOFLER, S. und A. KASAL, 2001: Vorteile durch Winterzwischenfrüchte. Ackerbauliche Überlegungen sprechen für den Anbau - Versuchsergebnisse. *Der Südtiroler Landwirt* 55, 51-52.
- MARTINEZ, J. and G. GUIRAUD, 1990: Lysimeter study of the effects of a ryegrass catch crop, during a winter wheat/maize rotation, on nitrate leaching and on the following crop. *Journal of Soil Science* 41, 5-16.
- PARENTE, G., S. VENERUS, M. SCIMONE, M. TACCHEO BARBINA and A. DELUISA, 2003: Nitrate leaching during a 4-year period in a maize monoculture trial in Friuli-Venezia Giulia. In: Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein (Hrsg.): *10. Gumpensteiner Lysimetertagung*, BAL Gumpenstein, Irnding, 63-66.
- PERATONER, G. und F. SCHWIENBACHER, 2006: Jetzt kommt die Zeit für Winterroggen. *Der Südtiroler Landwirt* 60, 46-47.
- PERATONER, G. und E. STIMPFL, 2006: Versuche mit Maisuntersaaten in Südtirol. Eine Möglichkeit zur Verminderung der Nitratauswaschung und Bodenerosion. *Der Südtiroler Landwirt* 60, 59-60.
- PERATONER, G. und E. STIMPFL, 2012: Maßnahmen in der Landwirtschaft zum Schutz des Gewässers in Südtirol. In: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (Hrsg.): *Wirkung von Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz*. 3. Umweltökologisches Symposium, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irnding, 25-29.
- RASSE, D.P., J.T. RITCHIE, W.R. PETERSON, J. WEI and A.J.M. SMUCKER, 2000: Rye cover crop and nitrogen fertilization effects on nitrate leaching in inbred maize fields. *Journal of Environmental Quality* 29, 298-304.
- SPIEKERS, H., C. POHL und W. STAUDACHER, 2011: Leitfaden zur Berechnung des Energiegehaltes bei Einzel und Mischfuttermitteln für die Schweine- und Rinderfütterung. DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung.
- TORSTENSSON, G. and H. ARONSSON, 2000: Nitrogen leaching and crop availability in manured catch crop systems in Sweden. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56, 139-152.
- VOS, J. and P.E.L. VAN DER PUTTEN, 2004: Nutrient cycling in a cropping system with potato, spring wheat, sugar beet, oats and nitrogen catch crops. II. Effect of catch crops on nitrate leaching in autumn and winter. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 70, 23-31.
- WACHENDORF, M., M. BÜCHTER, K.C. VOLKERS, J. BOBE, G. RAVE, R. LOGES und F. TAUBE, 2006: Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. V. Impact of grass understorey, slurry application and mineral N fertilizer on nitrate leaching under maize for silage. *Grass and Forage Science* 61, 243-252.