

Einfluss von Mist- und Gülledüngung auf wichtige Bodenparameter im Dauergrünland

Wolfgang Angeringer^{1,3*}, Walter Starz², Rupert Pfister², Hannes Rohrer² und Gerhard Karrer³

Zusammenfassung

In einem 3-jährigen Feldversuch auf zwei montanen Dauerwiesen im obersteirischen Pölstal wurde der Einfluss von Mist- und Gülledüngung sowie eine Erhöhung der Schnitzzahl von 2 auf 4x jährlich auf den Bodengehalt von Humus, C/N-Verhältnis, pH-Wert, Phosphor und Kalium untersucht. Als erklärende Variable des Pflanzenbestandes wurde die mittlere Nährstoffzahl nach ELLENBERG, sowie die Nährstoffbilanzen von Stickstoff- Phosphor und Kalium herangezogen.

Die Gehalte von Phosphor, Kalium und Humus, sowie das C/N-Verhältnis entwickelten sich bei Mist- und Gülledüngung verschieden. Die Nährstoffgehalte beider Wirtschaftsdünger variierten im Versuchsablauf stark, im Mistdünger mehr als in der Gülle. Phosphor und vor allem Kaliumgehalte waren im festen Wirtschaftsdünger stärker konzentriert, die Düngermenge stellten wir auf die empfohlenen Stickstoffgaben ein. Phosphor, Kalium und Humusgehalte im Boden waren in den mistgedüngten Varianten zu Versuchsende höher. Das C/N-Verhältnis verengte sich bei Gülledüngung, was auf einen rascheren Nährstoffumsatz im Boden schließen lässt. Die N-Zahl des Pflanzenbestandes stieg mit zunehmender Nutzungsintensität und bei Gülledüngung stärker, Nährstoffzeiger erreichten hier höhere Deckungswerte. Die Zusammensetzung des Pflanzenbestandes reagierte rascher auf Nutzungsintensivierung als die Bodenkennwerte. Die höheren Nährstoffentzüge bei intensiverer Nutzung zeigten sich noch nicht im Ertrag, dieser blieb über 3 Jahre konstant hoch. Durch Gülledüngung konnten höhere Erträge erreicht werden, resultierend in stärkeren Nährstoffentzügen. Es wird empfohlen, sowohl den Pflanzenbestand über die Zeigerpflanzen als auch den Boden über regelmäßige Bodenanalysen im Auge zu behalten, um plötzlichen Ertragseinbußen vorbeugen zu können.

Schlagwörter: Goldhaferwiese, Rindergülle, Rindermist, Humus, Phosphor, Kalium, pH

Summary

An on-farm field experiment was established at two hay meadows of Upper Styrian Pöls valley to investigate the effect of organic fertilisers manure and slurry together with an increase of cutting regime (2, 3, 4 cuts/year) on soil parameters humus, C/N-ratio, pH-value, phosphor and potassium. Indicator nutrient values as established by ELLENBERG as well as yield minus fertilising balances of N, P and K were used as explanatory variables of the plant composition. Amount of fertiliser spread was determined by nitrogen input as advised by official guidelines.

After 3 years of investigation, we found different soil contents of P, K, humus and C/N-ratio due to type of organic fertiliser. Nutrient content of slurry and even more in manure were exposed to great variation during experiment. Soil contents of potassium, phosphor as well as humus were higher in manure fertilised plots. In opposition, C/N-ratio shortens at slurry dung plots indicating a faster circulation of nutrients, which is shown by an increasing nutrient indicator value too. Thus, species preferring nutrient-rich soils reach higher cover percentages at 4 cuts and slurry application. Overall, plant composition changes faster than soil parameters. Besides the fact that application of slurry led to higher biomass yield and thus to higher nutrient outputs, amount of harvest stayed constant at all treatments during the experiment.

We conclude that it is important to have a look on performance of indicator species as well as soil parameters to prevent short-term breaks in biomass yield of montane permanent grasslands.

Keywords: montane hay-meadow, slurry, manure, humus, phosphor, potassium, pH

Einleitung

Österreichs Landwirtschaft ist geprägt durch die Bewirtschaftung von Wiesen und Weiden für die Haltung von Wiederkäuern. Die Tier- und Flächenausstattung von rinderhaltenden Betrieben vergrößert sich infolge des

Strukturwandels in der Landwirtschaft immer mehr, womit sich auch das Wirtschaftsdüngermanagement ändert. Aus ökonomischen und arbeitswirtschaftlichen Gründen geht der Trend von einem System der festen Wirtschaftsdünger wie Mist, Rottemist und Kompost zur Güllewirtschaft. In letzter

¹ Bio Ernte Steiermark, A-8052 Graz

² HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für biologische Landwirtschaft und Biodiversität der Nutztiere, A-8952 Irnding

³ Universität für Bodenkultur, Institut für Botanik, A-1180 Wien

* Ansprechpartner: DI Wolfgang Angeringer, wolfgang.angeringer@ernte.at



Zeit gibt es jedoch auch wieder Betriebe die zum Kompost, Tretmist- und Festmiststall zurückkehren. Als Grund wird vor allem die günstige Wirkung auf Bodenfruchtbarkeit und Humus angeführt.

Eine wesentliche Fragestellung für die landwirtschaftlichen Betriebe ist daher die Wirkung von Gülle- und Mistdünger auf Boden und Ertrag. Die starken Schwankungen im Pflanzennährstoffgehalt der Wirtschaftsdünger sind ein Grund dass es dazu wesentlich weniger Versuchsergebnisse gibt als zum Einsatz von Handelsdüngern (KLAPP 1954, VOIGTLÄNDER & JACOB 1987). Je nach Haltungssystem, Tierart, Rationsgestaltung und Grundfutterqualität sind unterschiedliche Nährstoffgehalte in den Wirtschaftsdüngern zu erwarten (BUCHGRABER & GINDL 2004). Für die Düngerechnung und Einhaltung gesetzlich und förderrechtlich vorgeschriebener Obergrenzen (Stickstoff, Phosphor), werden in Österreich die Tabellenwerte der Richtlinien für die sachgerechte Düngung (BMLFUW 2006) herangezogen. Möchte die Landwirtin oder der Landwirt die in der Praxis tatsächlich gegebenen Nährstoffmengen wissen, ist die Beprobung seiner Gülle- und Mistlager unumgänglich.

Der größte Unterschied zwischen den Wirtschaftsdüngern besteht in der Nährstoffwirkung. Während die Hauptnährstoffe Phosphor, Kalium, Kalzium und Magnesium in ihrer Wirkung den Mineraldüngern gleichgestellt werden, gibt es in der Wirksamkeit des Stickstoffes große Unterschiede. Rindergülle hat ein ausgeglichenes Verhältnis von Ammonium- und organisch gebundenen Stickstoff, während letzterer im Mist einen höheren Anteil aufweist. Somit ist die langfristige Wirkung des Mistdüngers stärker (BUCHGRABER & GINDL 2004).

Die bestandesändernde Wirkung von Mist zu GÜlledüngung wurde in den Anfängen der GÜllewirtschaft verstärkt beobachtet (KLAPP 1954, KUTSCHERA 1985), wobei im hier besprochenen Versuch vor allem die positive Wirkung der festen Wirtschaftsdünger auf den Kleeanteil festgestellt wurde (ANGERINGER et al. 2013a). Häufig wird auf das hohe K- und relativ geringe P- und N-Angebot in der Rindergülle hingewiesen, als Hauptgrund für die Entstehung der stark verunkrauteten „Gülleflora“ (KUTSCHERA 1985). In den letzten Jahren wird der Nutzungsintensität, und hier vor allem dem Zeitpunkt des ersten Schnittes, stärkere Bedeutung

für ertragsschwache Grasnarben beige-messen (BOHNER et al. 2011). Der Einfluss der Wirtschaftsdüngerarten Rindergülle und Rinder-Rottemist auf den Bodengehalt von Kalium, Phosphor, Gesamtstickstoff, Humus und pH-Wert von Dauergrünland ist noch wenig bekannt. Im folgenden Artikel werden die Ergebnisse aus den Bodenanalysen eines

umfangreichen 3-jährigen Praxisversuches auf Goldhaferwiesen im obersteirischen Pölstal vorgestellt. In ANGERINGER et al. (2011, 2013a, b) wurden bereits erste Ergebnisse der Pflanzenartenzusammensetzung und Ertrag vorgestellt.

Material und Methoden

Der Untersuchungsgegenstand sind naturnahe Dauerwiesen des gemäßigten Klimas Mitteleuropas, auf deren Standorten aufgrund ihrer ungünstigen Hanglage Ackerbau nicht ökonomisch sinnvoll betrieben werden kann. In einem Feldversuch wurden die Behandlungen Schnitthäufigkeit 2, 3, 4 Schnitte/Jahr und Gülle/Mistdüngung auf 2 Standorten im obersteirischen Pölstal untersucht.

Der Rottemist des Versuchsbetriebes stammte aus Ochsenmast und wurde in mit Kompostvlies abgedeckten Feldmieten 3 (Frühjahrsdüngung) bis 9 (Herbstdüngung) Monate zwischengelagert. Die Gülle stammte vom Bio-Institut der HBLFA Raumberg-Gumpenstein und ist durch den offenen Laufhof sowie Spritzwasser des Melkstandes mehr oder weniger stark verdünnt. Besonders im Herbst steigt die Verdünnungsrate, da den Kühen Vollweide gewährt wird. Die Nährstoffkonzentration ist daher im Rottemist höher als in der verdünnten Gülle. Die Düngemengen wurden für beide Düngervarianten auf die empfohlenen Stickstoffmengen (BMLFUW 2006) und innerhalb des österreichischen Programmes für eine umweltgerechte Landwirtschaft (ÖPUL 2007) angepasst (Tab. 1).

Die geologischen Rahmenbedingungen sind durch die Lage innerhalb der kristallinen Gesteine der Niederen Tauern gekennzeichnet. Das Ausgangsgestein der Versuchsflächen ist der leicht verwitternde phyllitische Glimmerschiefer (www.gis.steiermark.at), worauf sich Carbonat-freie Braunerden mit sauren bis leicht sauren pH-Werten von 5,2 bis 5,8 entwickelt haben. Die österreichische Bodenkartierung bezeichnet den Bodentyp als Felsbraunerde, die Bodenart als lehmigen Sand (www.bodenkarte.at). Der Boden beider Versuchsflächen ist tiefgründig (AB >70 cm), mit für Dauergrünland typischem fließendem Übergang zwischen A und B-Horizont. Beide Standorte liegen ca. 40 Höhenmeter voneinander entfernt. Der Anger ist um 5° steiler als die Hauswiese und etwas mehr nach Westen exponiert (Tab. 2, Abb. 1). Das Klima ist relativ kühl mit einem Jahresmittel

Tabelle 1: Hauptfaktoren Wirtschaftsdünger und Schnitzzahl sowie Mähzeitpunkt

Variante	Faktorstufenkombination		Mähzeitpunkte			
	Schnitte	Düngerart u. N-Menge	1	2	3	4
2M	2	Mist - 70kgN ha ⁻¹	Juni 1-8	Aug. 17-20	*Okt. 19-21	–
2G	2	Gülle-70kgN ha ⁻¹	Juni 1-8	Aug. 17-20	*Okt. 19-21	–
3M	3	Mist-120kgN ha ⁻¹	Mai 16-23	Juli 18-21	Sept. 13-29	–
3G	3	Gülle-120kgN ha ⁻¹	Mai 16-23	Juli 18-21	Sept. 13-29	–
4M	4	Mist-150kgN ha ⁻¹	Mai 9-12	Juni 27-30	Aug. 1-5	Sept. 13-29
4G	4	Gülle-150kgN ha ⁻¹	Mai 9-12	Juni 27-30	Aug. 1-5	Sept. 13-29

* 3. Schnitt im Spätherbst, um Nachweide zu simulieren

Tabelle 2: Standortbeschreibung der Untersuchungsflächen Anger und Hauswiese

Parameter	Anger	Hauswiese
Seehöhe m ü.A. (ÖK 1:10000)	920	960
Koordinaten	47°15.952'N, 14°30.808'E	47°16.058'N, 14°30.787'E
Hangneigung (Grad)	12	7
Exposition	235°SW	215°SW
Pflanzengesellschaft	Kriech-Schaumkresse-Goldhaferwiese	Frauenmantel-Glatthaferwiese

von 5,9 °C und einem Jahresniederschlag von 900-1000 mm, wovon 700 bis 800 mm in der Haupt-Vegetationsperiode von Mai bis Oktober fallen (PRETTENTHALER 2010). Der Pflanzenbestand des Angers kann im weiteren Sinne den Goldhaferwiesen, jener der Hauswiese den Glatthaferwiesen zugeordnet werden. Für nähere Informationen zum Versuchsaufbau und Beschreibung des Pflanzenbestandes siehe ANGERINGER et al. (2013b).



Abbildung 1: Fotos der Versuchsfelder: A Hauswiese (23.07.2010, 2. Ernte Variante 3,4), B Anger (03.06.2010, 1. Ernte Variante 1,2), Bilder: Angeringer

Am 07.04.2009 und 15.04.2012 wurden mittels Schüsserlbohrer auf allen 60 Parzellen Mischproben aus jeweils 10 Einstichen je Parzelle von 0-10 cm Tiefe gezogen. Die Untersuchung erfolgte an der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES) nach der jeweiligen ÖNORM (Öst. Normungsinstitut) für folgende Kennwerte: pH-Wert (CaCl₂), Phosphor (mgP/kg CAL), Kalium (mgK/kg CAL), Humus (% 650°C TOC) und Gesamtstickstoff (Nt%). Als erklärende Variable aus den Vegetationsdaten wurden die Nährstoffzahlen (N-Zahl) aus ELLENBERG (1996) herangezogen. Dabei wurde der quantitative mittlere Zeigerwert aus den maximal je Aufnahme auftretenden Deckungsprozenten jeder Art für jedes Jahr berechnet (DIERSCHKE 1994):

$$mZ_{quant.} = \frac{\sum(Z \times D\%)}{\sum D\%}$$

wobei: Z = Zeigerwert und D% = Deckungswert in Prozent, höchster Wert innerhalb eines Jahres für jede Art: Frühjahr, Sommer, Herbst.

Ergebnis und Diskussion

1.1 pH-Wert

Der pH-Wert (CaCl₂) zeigt einen leicht steigenden Trend von 2009 auf 2012, bei allen Varianten und beiden Standorten (Tab. 3). Die Behandlung hatte keinen direkten Einfluss auf den pH-Wert (Tab. 4), auf der Hauswiese stieg der pH-Wert bei den Mistvarianten, am Standort Anger bei Gülledüngung an (Abb. 2). Der Versuchszeitraum ist demnach zu kurz, um eine sichere Aussage des Einflusses der Wirtschaftsdüngerarten auf den pH-Wert treffen zu können. Beide Untersuchungsflächen liegen im ökologisch günstigen Silikat-Pufferbereich nach ULRICH (1981) zwischen 5,7-5,8 (Anger) und 5,9-6,0 (Hauswiese), ihre Basensättigung kann als günstig angenommen werden. Innerhalb der pH-Spanne von 5 bis 6,5 ändert sich zwar die Artenzusammensetzung und der Mineralstoffgehalt in den Aufwüchsen, der Masseertrag wird jedoch im gedüngten Grünland erst in den Extremen außerhalb dieser Grenzen beeinflusst (VOIGTLÄNDER & JACOB 1987). BOHNER et al. (2007) fanden durchschnittlich einen pH-Wert von 5,2 in Kriech-Schaumkresse-Goldhaferwiesen und 6,5 in Frauenmantel-Glatthaferwiesen, diese beiden Grünlandgesellschaften liegen also an den jeweiligen Enden des für Dauerwiesen optimalen Boden-pH-Wertbereiches. Der Anstieg des pH-Wertes von 2009 auf 2012 kann sowohl auf die gezieltere Düngung mit dem neutralen Wirtschaftsdünger als auch auf die Witterung vor der Probenahme zurückgeführt werden.

Insgesamt wurden im Versuchsverlauf keine besonderen Witterungsextreme gemessen, die Witterung 2012 war 7 Tage vor der Probenahme feuchter und kühler als 2009. Kurzfristige Schwankungen sind aufgrund der vielen Einflussfaktoren auf den pH-Wert des Bodens jederzeit möglich und deren Ursachen schwer zu erfassen.

Eine Bodenversauerung wurde bei Brachfallen von Wirtschaftswiesen infolge der Anwachsenden Streuschicht gefunden (GISI & OERTLI 1981). Im 150-jährigen Park Grass Experiment sank der pH-Wert auf den ungedüngten Parzellen in den 1960-80-er Jahren infolge erhöhter HNO₃ und H₂SO₄-Einträge menschlichen Ursprungs aus dem Niederschlag ab, und erreichte 2000 wieder das Niveau von 1856 (SILVERTOWN et al. 2006).

Tabelle 3: Entwicklung Bodenparameter je Standort 2009 und 2012 deskriptiv (x, (s²), n=30), sowie in Abhängigkeit des Jahreseinflusses (ProcMixed, n=30, α=0,05). Gehaltsstufen bei P und K: B=niedrig, C=ausreichend, D=hoch (BMLFUW 2006).

Bodenparameter	Hauswiese 2009	Anger 2012	2009	2012	p (Jahr)
pH (CaCl ₂)	5,9 (0,17)	6 (0,21)	5,7 (0,15)	5,8 (0,16)	0,0035
P (mg/kg)	71, D (17)	57, C (11)	36, B (8)	31, B (8)	< 0,0001
K (mg/kg)	271, D (68)	264, D (105)	133, C (41)	122, C (49)	0,4013
Humus (%)	8,3 (0,9)	7,4 (0,7)	7,4 (0,6)	6,3 (0,4)	< 0,0001
Nt (%)	0,44 (0,05)	0,43 (0,04)	0,4 (0,03)	0,39 (0,02)	0,2077
C _{org} /Nt	11,1 (0,4)	10 (0,5)	10,8 (0,4)	9,4 (0,3)	< 0,0001
N _{mZ}	5,6 (0,2)	5,5 (0,4)	5,3 (0,1)	5,2 (0,3)	0,0032

Tabelle 4: Entwicklung Bodenparameter von 2009 auf 2012 in Abhängigkeit von der Behandlung (*ProcMixed* n=10, $\alpha=0,05$).

Parameter	Wirtschaftsdüngerart				Nutzungen/Jahr					s_e
	Gülle LSM	Mist LSM	SEM	p	2 LSM	3 LSM	4 LSM	SEM	p	
pH	5,9	5,9	0,058	0,6223	5,8 ^a	5,8 ^a	5,9 ^a	0,060	0,2484	0,16
P mg/kg	46	52	1,926	0,0102	48 ^a	51 ^a	47 ^a	2,222	0,2311	11,57
K mg/kg	174	221	21,79	<0,0001	192 ^a	198 ^a	203 ^a	22,475	0,6958	56,19
Humus %	7,2	7,5	0,226	0,0185	7,4 ^a	7,5 ^a	7,2 ^a	0,234	0,2445	0,65
N _t	0,41	0,42	0,013	0,0333	0,41 ^a	0,42 ^a	0,41 ^a	0,014	0,2821	0,03
C _{org} /N _t	10,3	10,4	0,053	0,1221	10,5 ^a	10,3 ^{ab}	10,2 ^b	0,065	0,0068	0,41
mZ_N _{quant}	5,46	5,37	0,046	0,0121	5,3 ^c	5,4 ^b	5,6 ^a	0,049	<0,0001	0,16

1.2 Humus, Gesamtstickstoff und C/N-Verhältnis

Der Humusgehalt, ausgedrückt in Prozent Kohlenstoff („total organic carbon (TOC)“), ist für Grünland typisch als hoch einzustufen. Hier liegt die gut versorgte Hauswiese (7-8%) einen Prozentpunkt über dem Anger (6-7%). Der Abstand zwischen den Standorten blieb auch zu Versuchsende konstant, allerdings verringerte sich der Humusgehalt um einen Prozentpunkt bei allen Varianten auf beiden Standorten (Tab. 3). Die Mistdüngung hatte einen signifikanten Einfluss auf den Bodenhumusgehalt, mit einem geringen Unterschied zu Gülledüngung von 0,3%. Die Schnitanzahl hatte hingegen keinen Einfluss. Dieselbe Entwicklung gibt es beim Gesamtstickstoffgehalt (N_t), der ebenfalls bei den Mistvarianten in geringem Maß ansteigt. Das C/N-Verhältnis als Maßzahl für die Humusqualität, verengt sich bei Nutzungsintensivierung, ein Indiz für die raschere Nährstoffumsetzung im Boden (Tab. 4, Abb. 2). BOHNER et. al. (2007) geben im Mittel für Goldhaferwiesen 5,7% und für Glatthaferwiesen 6,7% C_{org} an. CAPRIEL

& SEIFERT (2009) fanden im Mittel des Wirtschaftsgrünlandes 6,2%, VOIGTLÄNDER & JACOB (1987) geben für lehmige Sandböden unter Dauergrünland 7,5% C_{org} an.

Die Vergleichbarkeit der einzelnen Humus- und Kohlenstoffangaben ist in absoluten Zahlen dabei nur eingeschränkt gegeben, da unterschiedliche analytische und Erhebungsmethoden angewendet werden. Erstere konnten keine globalen Veränderungen im Humusgehalt über 20 Jahre auf den bayerischen Boden-Dauerbeobachtungsflächen feststellen, wohl aber Hinweise auf eine Abnahme des Humusgehaltes auf einigen Standorten, das mit einer Abnahme des Viehbesatzes und Reduktion des anfallenden Wirtschaftsdüngers in Verbindung gebracht wird.

Eine Humussteigerung (C_t) von 0,4% im Vergleich zu einer ungedüngten Variante fand ZÜRN (1968 in VOIGTLÄNDER & JACOB 1987) und schließt, dass die Humuswirkung von Stallmist ohne mineralische Ergänzungsdüngung auf Dauergrünland von untergeordneter Bedeutung. NEUDORFER & BUCHGRABER (2003) fanden auf einem *Poo-Trisetetum* über Braunlehm 8-10,5% Humus, wobei die

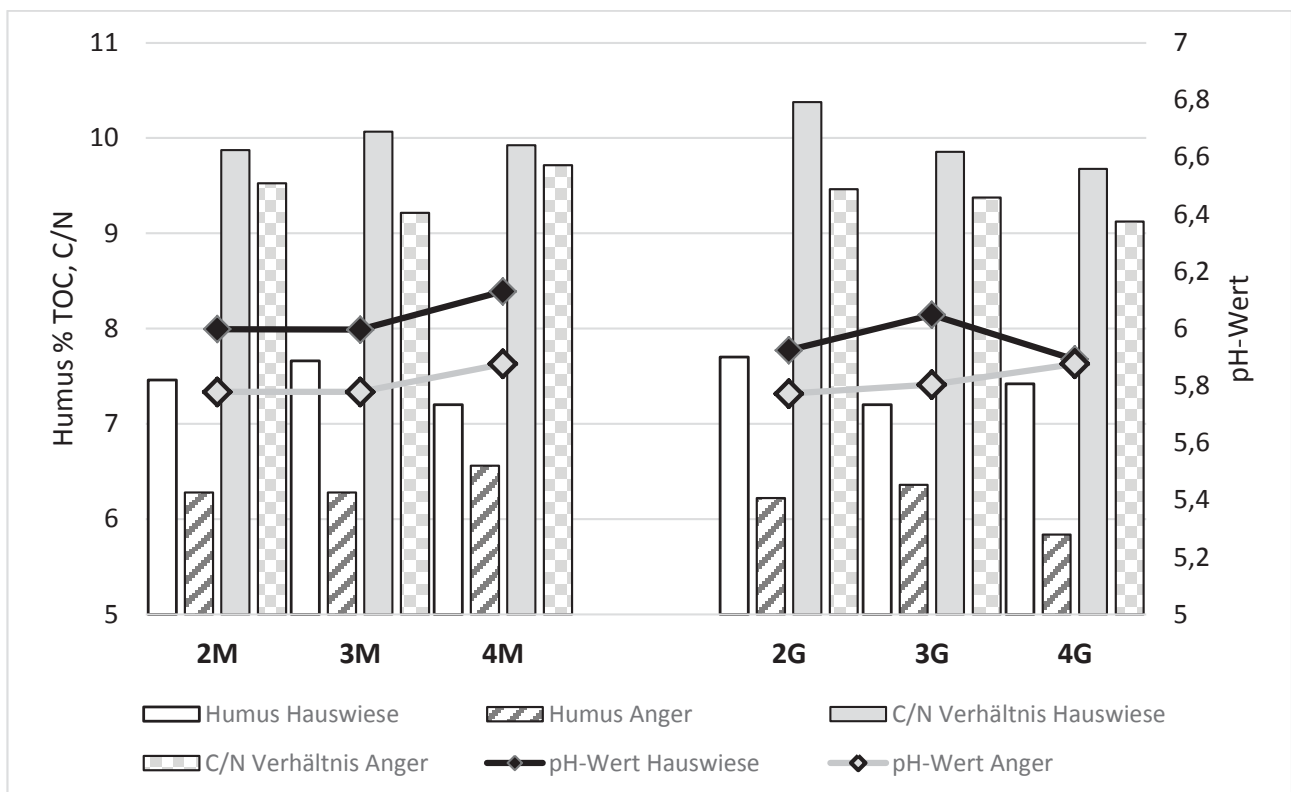


Abbildung 2: Humusgehalt (% TOC), C_{org}/N_t-Verhältnis und pH-Wert in Abhängigkeit von Standort und Behandlung (2, 3, 4 Schnitte/Jahr; M=Mist, G=Gülle; x, n=5) zu Versuchsende 2012.

Tabelle 5: Gedüngte Mengen P und K in kg/ha, empfohlene Düngemenge laut Richtlinien für die sachgerechte Düngung (kursiv, BMLFUW 2006).

Phosphor	Behandlung					
	2M	2G	3M	3G	4M	4G
Herbst 2008	17		29		36	
2009	18	15	30	26	37	30
2010	21	16	33	26	40	31
2011	17	14	30	28	36	31
Empfehlung	20	20	28	28	35	35
Kalium						
Herbst 2008	85		147		182	
2009	52	75	88	195	109	182
2010	124	76	194	185	237	178
2011	144	76	233	153	284	164
Empfehlung	100	100	140	140	170	170
Stickstoff fest	70	70	120	120	150	150

Tabelle 6: Entwicklung der Nährstoffbilanz (Düngereintrag – Ernteentzug ohne Verluste) der Hauptnährstoffe N, P, K von 2009 auf 2012 je Variante und Jahres-Wechselwirkungen, (ProcMixed, n=10, $\alpha=0,05$).

Bilanz		Behandlung						SEM	p	Dünger* Jahr	Schnitte* Jahr	s _e
		2M	2G	3M	3G	4M	4G					
		LSM	LSM	LSM	LSM	LSM	LSM					
N	kg/ha	-119	-129	-136	-135	-170	-212	9	0,0154	0,0258	0,0009	37
P	kg/ha	-13	-17	-12	-18	-12	-22	1	0,0157	0,2018	0,0318	5
K	kg/ha	-121	-147	-154	-163	-159	-214	9	0,0156	< 0,0001	0,0276	43

Wirtschaftsdüngervarianten nach 32 Versuchsjahren höhere Humusgehalte hatten als die rein mineralisch gedüngten Parzellen. Im Dauerversuch Rothamsted verdreifachte sich der Gehalt an C_{org} bei Stallmistdüngung von 1852 bis 1988 (JENKINSON 1988 in BLUME et al. 2010).

Welche Faktoren den Jahreseffekt der generellen Humusabnahme hervorgebracht haben, kann nicht zweifelsfrei beantwortet werden. Neben Witterungseinflüssen (milde Winter), kommen auch methodische Abweichungen in Frage (manuelle Entfernung von mehr oberirdischer Biomasse 2012). Die Verengung des C/N-Verhältnisses bei Erhöhung der Nutzung ist auf die Güllevarianten zurückzuführen (Abb. 2), der angebotene Stickstoff im Flüssigdünger liegt zu ca. 50% in pflanzenverfügbarer Form (NH₄) vor, im Stallmist wird die N-Direktwirkung hingegen von 0 bis 30% angenommen (VOIGTLÄNDER & JACOB 1987).

1.3 N-Bilanz, Phosphor und Kalium

Da davon ausgegangen wurde, dass die gebundenen Nährstoffe in Rottemist erst langsam freiwerden, wurde die Erstdüngung bereits im Herbst 2008 durchgeführt. In Tabelle 5 sind die gedüngten Phosphor- und Kaliummengen aufgelistet. Darin sind die hohen Kaliummengen im Rottemist ersichtlich, wie auch die starke Schwankung dieses Nährstoffes im Jahresvergleich. Der Phosphorgehalt schwankt nur wenig, im Mistdünger sind die Gehalte höher. Die empfohlenen Düngemengen laut den österreichischen Richtlinien für die sachgerechte Düngung (BMLFUW 2006) werden für Phosphor eingehalten, bei Kalium mit steigender Nutzungsintensität, vorrangig bei Mistdüngung überschritten (Tab. 5).

Die N, P, K- Entzüge konnten jedoch aufgrund der hohen Erntemengen bei empfohlenen Düngemengen über die Wirtschaftsdünger alleine nicht ausgeglichen werden, wo-

durch die Bilanzen für die Hauptnährstoffe Stickstoff und Kalium stark negativ, und für Phosphor leicht negativ sind. Wie Tabelle 6 zeigt, hat die Nutzungsintensität auf die Nährstoffbilanz (Düngereintrag – Ernteentzug ohne Verluste) von allen 3 Hauptnährstoffen einen signifikanten Einfluss. Bei Gülledüngung ist die Bilanz aufgrund höherer Erträge im Schnitt stärker negativ als bei Rottemist.

Der N-Entzug bei 4 Schnitten und Gülledüngung liegt nach 2 Versuchsjahren um 100kgN/ha höher als bei traditioneller Nutzung (Tab. 6, Abb. 3), dieselbe Beobachtung machten THOMET et al. (1989) auf höher gelegenen Goldhaferwiesen in der Schweiz bei vergleichbarer Intensivierung (Vorverlegung des 1. Schnittes um 4 Wochen). Der N-Entzug liegt in unserem Versuch zwischen 119 und 212kg/ha, beim Schweizer Düngerversuch zwischen 130 (2 Schnitte) und 168kgN/ha (4 Schnitte). Zumindest ein Teil des Stickstoffbe-

darfes kann über die Knöllchenbakterien der Leguminosen ausgeglichen werden, KAHNT (2008) gibt jährliche N-Fixierleistungen von reinen Weißkleebeständen zwischen 220 bis 530kg/ha an. Die Stickstoff-Nettomineralisation in Böden unter Berg-Goldhaferwiesen (Trisetetum) liegt ungedüngt bei 60, mit Düngung über 150 kgN/ha (RUNGE 1978 in DIERSCHKE & BRIEMLE 2002). Da die Erträge beim Möderbrugg-Versuch während des Versuchszeitraumes ansteigen (ANGERINGER, unpubl.), wurden die fehlenden Nährstoffe aus dem Boden nachgeliefert. NEUDORFER & BUCHGRABER (2003) erzielten bei einer 32-jährigen N-Aushagerung auf einem Poo-Trisetetum des Alpenvorlandes und 3 Nutzungen noch 8,5 t TM/ha mit mineralischer PK-Ergänzung und bei 2 Nutzungen 6 t TM/ha ohne Düngung. Den hohen Ertrag führen sie auf den N-Ausgleich aus dem Leguminosen-Ertragsanteil von 23% zurück.

Der Ausgangsgehalt an Phosphor kann als „ausreichend bis hoch“ in der Hauswiese und „niedrig“ beim Anger angenommen werden. Abbildung 3 zeigt den Phosphor und Kaliumgehalt zu Versuchsende in Abhängigkeit der Behandlung an, und stellt diese zusammen mit den Bilanzen (Düngung-Ertrag) Gehaltsstufen dar. Der Phosphorgehalt im Boden nimmt im Versuchszeitraum generell ab (Tab. 3), bei den Güllevarianten stärker als bei Mistdüngung (Tab. 4). Zur stärksten Abnahme des Kaliumgehaltes führt die Gülledüngung (Tab. 4). Besonders deutlich ist die Abnahme der Phosphor- und Kaliumgehalte in den 4-Schnitt-Güllevarianten der Hauswiese, hier sind die Nährstoffausträge am Größten (Abb. 3). Die Anzahl der Schnitte hat hingegen alleine betrachtet keinen direkten Einfluss auf den Nährstoffgehalt im Boden (Tab. 3).

Nach BOHNER & SOBOTIK (2000) sind die Goldhaferwiesen des angrenzenden Ennstales größtenteils niedrig mit Phosphor und ausreichend mit Kalium versorgt. Im Mittel

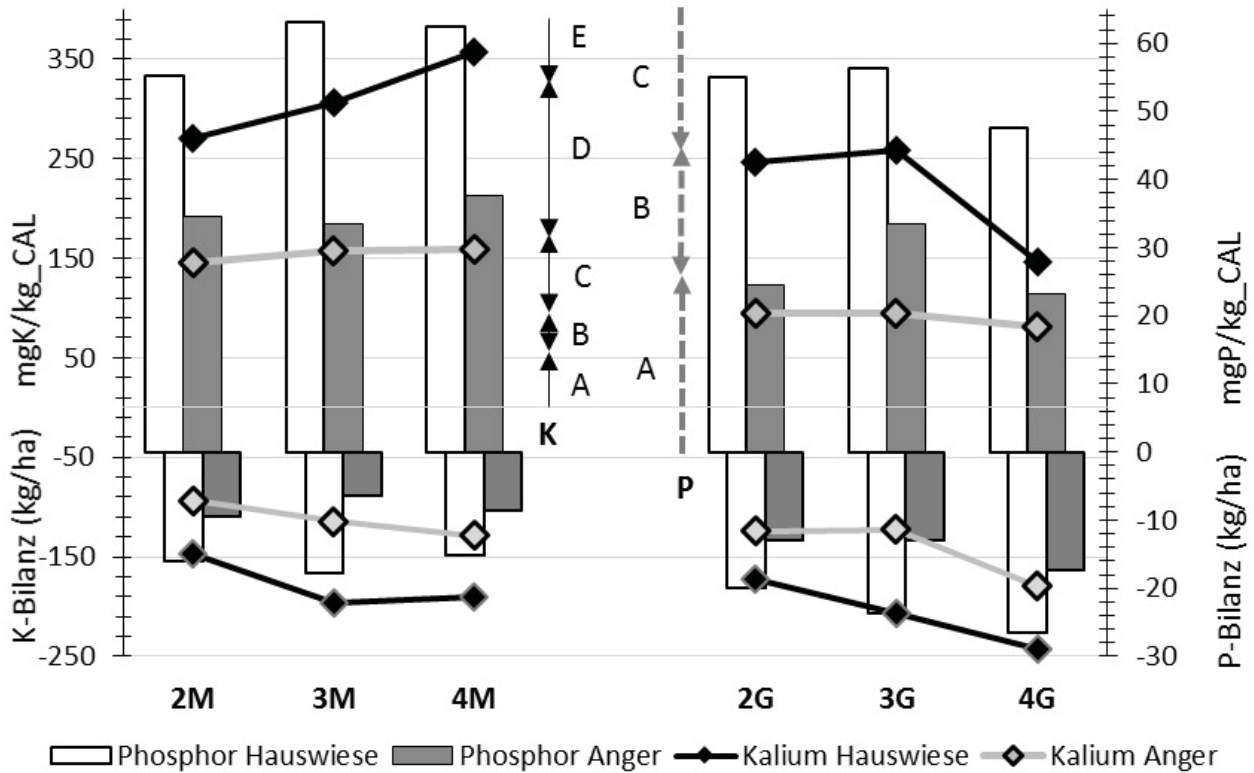


Abbildung 3: Bodengehalte Kalium und Phosphor (mg/kg_CAL) in Abhängigkeit von Standort und Behandlung (2, 3, 4 Schnitte/Jahr; M=Mist, G=Gülle; x, n=5) zu Versuchsende 2012; Gespiegelt <0: K, P-Bilanz (Düngung-Ernte in kg/ha, x 09-11, n=15). Vertikale Pfeile stellen Gehaltsstufen der Düngeempfehlungen für Kalium (links, schwarz) und Phosphor (rechts, grau unterbrochen) dar: A=sehr niedrig, B=niedrig, C=ausreichend, D=hoch, E=sehr hoch (BMLFUW 2006).

fanden sich 38 mg/kg P und 97 mg/kg K auf 30 verschiedenen Standorten (BOHNER et. al. 2007). Der Phosphorgehalt im Oberboden von Wirtschaftsgrünland zählt zu den besten Bodenindikatoren für die Bewirtschaftungsintensität und Bodenfruchtbarkeit, wobei artenreiche Grünlandgesellschaften einen P-Gehalt von <25 mg/kg P aufweisen (BOHNER 2005). JANSSENS et.al. (1998) fanden einen Zusammenhang zwischen niedrigem Phosphorgehalt und hoher Artenvielfalt im Dauergrünland Westeuropas.

1.4 Nährstoffzahl

Die Nährstoffzahl nach ELLENBERG (1996) dient als Antwortvariable des Pflanzenbestandes auf sich ändernde Nährstoffgehalte im Boden, in erster Linie Stickstoff. Die Wiesenarten reagieren sensibel auf die Bodengehalte von Phosphor und Kalium, die N-Zahl ist in der besser versorgten Hauswiese höher, und nimmt analog zu P und K im Versuchszeitraum ab (Tab. 3). Eine intensivere Bewirtschaftung führt zudem zu einem deutlichen Anstieg der N-Zahl (Abb. 4).

Die N-Zahl kann in Zusammenhang mit der Stickstoffbilanz gebracht werden, die Entzüge sind bei intensiver Nutzung durch den hohen Mehrertrag stärker negativ. Abbildung 5 zeigt den Zusammenhang zwischen N-Bilanz und mittlerer N-Zahl im Jahr 2011. Die frühe Nutzung hat also einen hohen Einfluss auf den Pflanzenbestand, sie fördert jene Arten, die nährstoffreichere Standorte bevorzugen, obwohl die N-Bilanz stark negativ ist. Ein Indiz dafür, dass frühe und häufige Nutzung einen stärkeren Einfluss auf

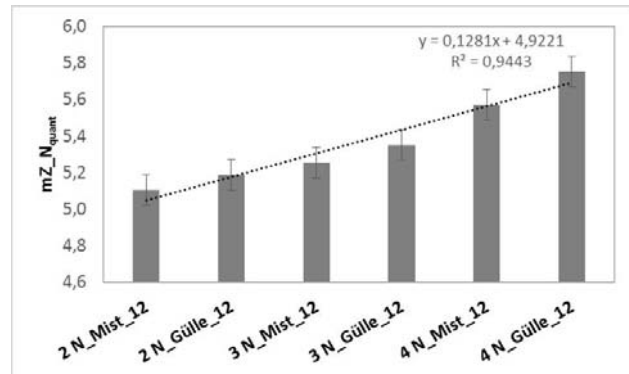


Abbildung 4: Entwicklung der mittleren N-Zeigerwerte (LS-MEANS und SEM, ProcMixed, n=10, a=0,05) in Abhängigkeit der Behandlung, punktiert: lineare Trendlinie mit Regressionsfunktion und Bestimmtheitsmaß (R²).

den Pflanzenbestand hat als die Wirtschaftsdüngerart. Der Zusammenhang zwischen Stickstoffbilanz und N-Zahl ist stärker als bei Phosphor ($R = 0,44$) und Kalium ($R = 0,4$).

Schlussfolgerung

Im Grünland-Intensivierungsversuch Möderbrugg konnten bereits nach 3 Jahren signifikante Änderungen der wichtigen Bodenparameter Humus (TOC), C_{org}/N_T-Verhältnis, Phosphor (CAL) und Kaliumgehalt (CAL) aufgrund der Wirtschaftsdüngerart nachgewiesen werden. Nur der BodenpH-Wert (CaCl₂) blieb nach 3 Jahren GÜlledüngung im Vergleich zu Mistdüngung konstant.

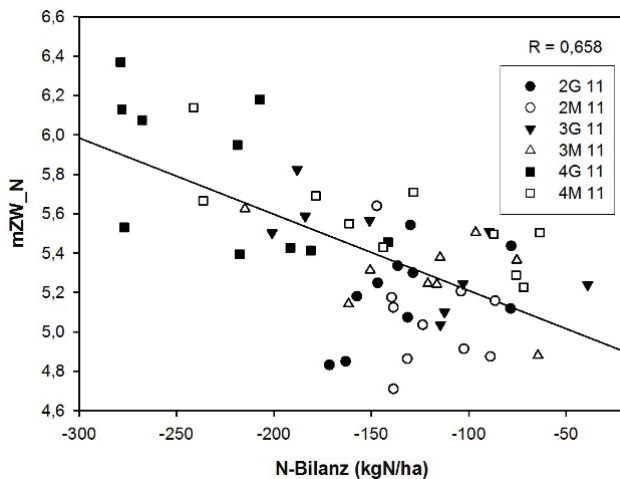


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen mittlerer N-Zahl und N-Bilanz zu Versuchsende 2011. (R=Regressionskoeffizient, n=60).

Die Mistdüngung führt dabei zu höheren Humusgehalten, mehr Phosphor und Kalium im Boden sowie einem weiteren C/N-Verhältnis. Umgekehrt führt die GÜlledüngung zu einer rascheren Nährstoffumsetzung im Boden und zu höheren Erträgen. Dies macht sich auch im Pflanzenbestand bemerkbar, jene Arten die nährstoffreichere Standorte bevorzugen, erreichen bei GÜlledüngung und häufigerem Schnitt höhere Deckungswerte. Der Pflanzenbestand sowie das C/N-Verhältnis reagieren im Gegensatz zu den Bodenkennwerten stärker auf die Erhöhung der Schnitzzahl und Vorverlegung der ersten Mahd. Durch die hohen Bruttoerträge kommt es bei Phosphor zu leichten, bei Stickstoff und Kalium zu hohen Entzügen, welche mit zunehmender Intensität ansteigen. Die Entzüge werden zwar durch eine generelle Abnahme an Phosphor- und Kaliumgehalt im Boden zu Versuchsende sichtbar, die Schnitzzahl hat hingegen hier noch keinen Einfluss. Die Erträge steigen sogar innerhalb von 3 Jahren in allen Varianten an, während sich der Pflanzenbestand bereits an die intensivere Bewirtschaftung anpasst, durch Zunahme der Nährstoffzeigerarten.

Durch die Beurteilung des Pflanzenbestandes können Bewirtschaftungsänderungen, vor allem hinsichtlich GÜlledüngung und Vorverlegung des ersten Schnittes bald festgestellt werden. Die Bodenparameter Phosphor, Kalium und Humusgehalt geben zudem einen guten Überblick über die Ertragsleistung des Bestandes und Nährstoffnachlieferungsvermögen aus dem Boden. Beide Merkmale, sowohl Pflanzenbestand als auch Bodenparameter, verändern sich rascher als die Ertragsdaten. Sie sollten also in der Praxis im Auge behalten werden, denn starke Nährstoffentzüge können über eine längere Zeitspanne (mind. 3 Jahre) aus dem Bodenvorrat ausgeglichen werden.

Literatur

Angeringer, W., Starz, W., Pfister, R., Rohrer, H. & G. Karrer (2011): Vegetation change of mountainous hay meadows to intensified management regime in organic farming. *Grassland Science in Europe* 16: 353-355.

Angeringer, W., Starz, W., Pfister, R., Rohrer, H. & G. Karrer (2013a): Wirkung verschiedener Nutzungsintensitäten auf montane Goldhaferwiesen im Biolandbau. In: D. Neuhoﬀ, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm & U. Köpke (Hrsg.) (2013): *Ideal und Wirklichkeit - Perspektiven Ökologischer Landwirtschaft. Beiträge*

zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, 5. - 8. März 2013: 172-175.

Angeringer, W., Starz, W., Pfister, R., Rohrer, H. & G. Karrer (2013b): Nutzungsgrenzen montaner Heuwiesen – Ergebnisse eines 3-jährigen on-farm-Feldversuches im obersteirischen Pölstal. *Fachtagung für biologische Landwirtschaft, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 07. November 2013: 69-74.*

Blume, H.-P., Brümmer, G.W., Schwertmann, U. et al. (2010): *Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde* (16. A.). Spektrum Verl. Heidelberg 569pp.

Bohner, A. & M. Sobotik (2000): Das Wirtschaftsgrünland im Mittleren Steirischen Ennstal aus vegetationsökologischer Sicht. In: PALME, H. (Eds.): *MAB-Forschungsbericht: Landschaft und Landwirtschaft im Wandel. Austrian Academy of Sciences, Proceedings 22-23.09.2000*, p. 15-50, Vienna.

Bohner, A. (2005): Soil chemical properties as indicators of plant species richness in plant communities. *Grassland Science in Europe* 10: 48-51.

Bohner, A., Grims, F. & M. Sobotik (2007): Die Rotschwingel-Straußgraswiesen im Mittleren Steirischen Ennstal – Ökologie, Soziologie und Naturschutz. *Mitt. Naturwiss. Ver. Steiermark* 136: 113-134.

Bohner, A., Angeringer, W. & M. Sobotik (2011): Ist die GÜlleflora heute noch ein Problem? In: Elsässer, M., Diepolder, M., Huguenin-Elie, O., Pötsch, E., Nußbaum, H. & J. Messner: *GÜlle 11: GÜlle und Gärrestdüngung auf Grünland. Tagungsband S. 218-221.*

Buchgraber, K. & G. Gindl (2004): *Zeitgemäße Grünlandbewirtschaftung* (2. A.). Leopold Stocker Verlag Graz 192pp.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT, BMLFUW (2006): *Richtlinien für die sachgerechte Düngung* (6.A.), Wien 79pp.

Capriel, P. & D. Seifert (2009): 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern 3: Entwicklung der Humusgehalte zwischen 1986 und 2007. *Schriftenr. d. Bayr. Landesanst. f. LW.* 10/2009, 48pp.

Dierschke, H. (1994): *Pflanzensoziologie: Grundlagen und Methoden.* UTB Stuttgart, 683pp.

Ellenberg, H. (1996): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen* (5A). Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart 1096pp.

Gisi, U. & Oertli, J.J. (1981): Oekologische Entwicklung in Brachland verglichen mit Kulturwiesen. I. Physikalisch-chemische Veränderungen im Boden. *Acta Oecologica/Oecol. Plant.* 2 (16): 7-21, Gauthier-Villars. S. 11-15.

Janssens, F., Peeters, A., Tallowin, J.R.B., Bakker, J.P., Bekker, R.M., Fillat, F. & Oomes, M.J.M. (1998): Relationship between soil chemical factors and grassland diversity. *Plant and Soil* 202: 69-70.

Kahnt, G. (2008): *Leguminosen im konventionellen und ökologischen Landbau.* DLG-Verlag Frankfurt, 151pp.

Klapp, E. (1954): *Wiesen und Weiden* (2.A.). Verlag Paul Parey Berlin 519pp.

Kutschera, L. & M. Sobotik (1985): GÜlleflora – Unterschiede durch Klima und Boden. *Nutzanwendung der Pflanzensoziologie in der Praxis. Bericht über die 7. Arbeitstagung "Fragen der GÜllerei"*, BAL Gumpenstein, S. 79-119.

Neudorfer, E. & K. Buchgraber (2003): Langzeitwirkung und Beurteilung der Düngung von Dauergrünland in den Nördlichen Voralpen. *Veröff. d. BAL Gumpenstein* 38, Irdning, 121pp.

Pretenthaler, F., Podesser A. & H. Pilger (Eds.) (2010): *Klimaatlas Steiermark, Periode 1971-2000. Eine anwenderorientierte Klimatographie. Studien zum Klimawandel in Ö.* Bd. 4. Ö. Akad. d. Wiss. Wien, 346pp.

Silvertown, J., Poulton, P., Johnston, E., Edwards, G., Heard, M. & P.M. Biss (2006): The Park Grass Experiment 1856-2006: its contribution to ecology. *Journal of Ecology* 94: 801-814.

Thomet, P., Elmer, R. & F. Zweifel (1989): Einfluss der Stickstoffdüngung und des Schnittregimes auf Pflanzenbestand und Ertrag von Naturwiesen höherer Lagen. *Landwirtschaft Schweiz*, Bd. 2: 67-75.

- Ulrich, B. (1981): Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. Z. Pflanzenernaehr. Bodenkultur 144: 289-305.
- Voigtländer, G. & H. Jacob (1987): Grünlandwirtschaft und Futterbau. Ulmer Stuttgart 480pp.
- www.bodenkarte.at, 10.08.2014: Digitale Bodenkarte von Österreich (eBod). Hrsg.: Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW).
- www.gis.steiermark.at, 10.08.2014: Digitaler Atlas Steiermark – Geologie & Geotechnik. Hrsg.: Amt der steiermärkischen Landesregierung, A7 – Geoinformation.