

Zur Problematik der Kaliumversorgung im Ökologischen Landbau unter Berücksichtigung der Anwendung von Pflanzenextrakt

Hartmut Spieß*

Einleitung

Hinsichtlich der Nährstoffversorgung der Pflanzen wird im Ökologischen Landbau eine aktive Nährstoffmobilisierung aus dem Bodenvorrat angestrebt (SCHELLER, 1988). In der Vergangenheit zeigte sich jedoch, dass vor allem in langjährig ökologisch bewirtschafteten Betrieben Qualitätseinbußen durch Kalimangel zu beobachten waren (MENGEL, 1979; SCHULTE, 1996). Anfang der 90er Jahre zeigte sich zudem in den regelmäßigen Qualitätsuntersuchungen von Gemüsesäften der Fa. EDEN-Waren GmbH, Hünfeld, dass ca. 15-20 Prozent der angelieferten Möhrenpartien aus ökologischem Anbau ein ungünstiges Kalium:Natrium-Verhältnis von teilweise < 1 aufwiesen. Damit entsprachen sie nicht den Qualitätsansprüchen an einen kaliumreichen, aber natriumarmen Möhrensaft mit Mindestgehalten von 2200 mg Kalium und Höchstgehalten von 500 mg Natrium pro Liter. Zur Beantwortung der Frage, in welchem Maße durch eine nach Öko-Richtlinien konforme K-Düngung das K:Na-Verhältnis in Möhren kurzfristig angehoben werden kann, wurde eine Zusammenarbeit von Hessischer Landwirtschaftlicher Versuchsanstalt (Analytik), Fa. EDEN-Waren (Analytik), Landwirtschaftsgemeinschaft Dottenfelderhof und dem Institut für Biologisch-Dynamische Forschung (Versuchsdurchführung) vereinbart (SPIESS et al. 1999). Als Standort für Kali-Steigerungsversuche wurde der Demeterbetrieb Dottenfelderhof gewählt, für welchen die geschilderte K:Na-Problematik im Möhrenanbau zutraf. Parallel zu diesen Versuchen wurde eine Studie zur Praxissituation mit Boden- und Pflanzenuntersuchungen von 41 Betrieben angefertigt (HAGEL, 1995).

Nach ökosystemaren Gesichtspunkten kann jedoch eine Substituierung mit Kalisalzen in Frage gestellt werden. Außerdem kommt neben anderen betrieblichen Maßnahmen zur Verbesserung der Kaliversorgung im Biologisch-Dynamischen Landbau eine gezielte Anwendung der Kompostpräparate in Frage (MATTHES et al., 2000). Darüber hinaus empfahl der Begründer dieser Wirtschaftsweise R. Steiner, bei Düngung von Kali zur besseren Aufnahme des Kaliums durch die Pflanze ein Pflanzengift einzusetzen, namentlich von Rotem Fingerhut [*Digitalis purpurea*] (HEINZE, 1983). Diese bisher nur im Gefäßversuch untersuchte Maßnahme (FRITZ et al., 1999; FRITZ u. KÖPKE, 2001) wurde im Praxisbetrieb in einen 1997 angelegten Langzeitdüngungsversuch mit Kalimagnesia und Gesteinsmehlen mit folgender Fragestellung integriert:

1. Wie wirken gleiche Kaliumgaben von Kalimagnesia, Orthoklas und Basaltmehl auf Boden und Pflanze hinsichtlich Nährstoffverfügbarkeit, Ertragsbildung und Nährstoffaufnahme im Rahmen der betrieblichen Fruchtfolge.
2. Welchen Einfluss hat eine vergleichende Behandlung mit *Digitalis*-Tinktur.

Material und Methoden

Der Versuchsstandort Dottenfelderhof bei Bad Vilbel liegt am Rande der südlichen Wetterau. Das langjährige Temperaturmittel beträgt 9,4°C, die Niederschlagssum-

*) Dr. habil. Hartmut Spieß, Institut für Biologisch-Dynamische Forschung, Zwst. Dottenfelderhof, Holzhausenweg 7, 61118 Bad Vilbel, e-mail: spiess@ibdf.de; internet: www.ibdf.de, www.dottenfelderhof.de
me 705 mm. Bei den überwiegend schwereren Böden toniger/lehmgiger Schluff, (**Tab. 1**) handelt es sich beim Versuchsschlag "Hölle 2" um kolluvial bedeckte Parabraunerde aus Hochflutlehm über pleistozänem Sand, beim "Himmelacker Straße" und "Himmelacker-Kirschberg" um erodierte Parabraunerde aus Lößlehm über Löß, zum Teil unterlagert von tertiärem Sediment. Nach **Tabelle 1** sind die Versuchsäcker humusarm. Das pflanzenverfügbare Kali liegt in Versorgungsstufe A bis B, Phosphor zwischen B und C, Magnesium in Stufe D. Natrium zeigt stark erhöhte verfügbare Gehalte gegenüber den von HAGEL (1995) ermittelten Werten. Aufgrund der Tonverlagerung steigen mit zunehmender Bodentiefe der K-Gehalt und die K-Fixierung an.

Tab. 1: Nährstoffgehalte und Textur der Böden vor Versuchsanlage. Dfh.

Tiefe	C _t	N _t	pH	K ₂ O	K _{Ges}	K _{fix}	P ₂ O ₅	Mg	Na	Na _{Ges}	Textur		
	%	%	CaCl ₂	CAL	Kö.w.	nass	CAL	CaCl ₂			S	U	T
mg/100 g Boden													
"Hölle 2", Frühjahr 1993													
0-30cm	0,9	0,11	6,3	8	207	1,4	16	8	2,4	9	24,4	60,7	14,9
30-60cm	0,6	0,09	6,2	6	286	11,8	12	9	3,2	13	22,4	57,5	20,1
60-90cm	0,4	0,07	6,1	6	368	32,7	6	13	3,4	15	15,7	58,0	26,3
"Himmelacker-Straße", Herbst 1994													
0-30cm	0,9	0,10	6,6	5	255	23,0	14	7	2,5	12	26,0	60,8	13,2
30-60cm	0,5	0,09	6,7	5	281	26,1	12	8	2,2	10	25,4	57,5	17,1
60-90cm	0,3	0,06	6,7	6	366	36,4	8	10	3,0	12	27,8	48,3	23,9
"Himmelacker-Kirschberg", Frühjahr 1997													
0-30cm	1,0	0,11	6,7	4	204	27,6	12	6	2	12	25,6	64,6	9,8
30-60cm	0,7	0,08	6,6	4	216	27,6	10	7	2	12	24,9	61,1	14,0
60-90cm	0,4	0,06	6,4	5	301	33,1	8	10	2	12	23,6	55,0	21,4

Die K-Steigerungsversuche zu Möhren 1993 und 1995 wurden als randomisierte Blockanlage mit 4 bzw. 3 Wiederholungen und Parzellengrößen von 24 bzw. 36 m² angelegt. Vorfrucht war in beiden Jahren Kartoffel. Als Dünger wurde Kalimagnesia (30/10) in sechs Steigerungsstufen (0, 200, 400, 600, 800 und 1000 kg/ha K) verwendet. Bei der Frühjahrsdüngung 1993 wurde wegen den großen Salzmengen Kalimagnesia ab K₄₀₀ in zwei geteilten Gaben verabreicht. Die Düngung zu Möhren 1995 erfolgte in einer Gabe im Herbst zur Grundbodenbearbeitung.

Der Kalidünger-Gesteinsmehl-Versuch wurde 1997 als zweifaktorielle Spaltanlage (Lateinisches Quadrat) mit vier Wiederholungen eingerichtet. Die Dünger-Großparzellen [1. ungedüngt, 2. Kalimagnesia (30% K₂O, 10% MgO), 3. Orthoklas (12% K₂O) 4. Basaltmehl (2% K₂O)] betragen 48 m², die Kleinparzellen (*Digitalis*-Behandlung) 24 m². Im Rahmen der Fruchtfolge des Hofes werden jeweils zu den Hackfrüchten und zu den mehrjährigen Leguminosen 400 kg/ha K gedüngt.

Die *Digitalis*-Behandlungen auf Basis 10%iger Tinktur erfolgen direkt auf den Dünger (6,5%ig, 200 l/ha). Bei der zweijährigen Luzerne (2000, 2001) wurde die Behandlung modifiziert. Zu jeweils drei Schnitten wurden während des Wachstums fünf bzw. vier Spritzungen mit *Digitalis-Tinktur* (200 l/ha, 1%ig) zusammen mit dem biodynamischen Kieselpräparat ausgebracht.

Bisher wurden untersucht: 1997 Kartoffeln (K-Düngung), 1998 Winterweizen (Nachwirkung, vgl. KLETT, 1999), 1999 Hafer mit Untersaat Luzernegras (K-Düngung), 2000, 2001 Luzernegras (Nachwirkung, *Digitalis*-Spritzungen).

Versuchsergebnisse

I Einfluß steigender Kalimagnesia-Gaben auf Qualität und Ertrag von Möhren

Im Hinblick auf die Bodenanalysen der unmittelbar vor der Ernte der Möhren gezogenen Bodenproben aller Parzellen in den Krumentiefen 0-15 und 15-30 cm spiegelte sich die Ausbringung des Düngers wider (SPIESS, 1994, 1997). Während bei Frühjahrsdüngung das Kali in der oberen Bodenschicht von 0-15 cm verblieb, fanden sich bei Herbstdüngung und Bodenbearbeitung mit dem Pflug die höheren Kaligehalte in der Krumentiefe 15-30 cm. Weiterhin zeigte sich, dass bei Frühjahrsdüngung die CAL-löslichen Kali-Werte zum Zeitpunkt der Ernte wesentlich höher lagen als nach Herbstdüngung. Das spricht dafür, dass bei letzterer das Kalium stärker am Sorptionskomplex gebunden wurde.

Hinsichtlich der Ertragsbildung waren die erreichten Möhrenerträge von 550 dt/ha (1993) und 400 dt/ha (1995) Frischmasse Ausdruck der unterschiedlichen Wachstumszeit und der gefallenen Niederschläge. Generell führte die Kalimagnesiadüngung bei der Möhrenwurzel zu Ertragserhöhungen von 8 bis 28% (Abb. 1). Das zeigt, dass die Kaliversorgung auf den untersuchten Standorten einen wachstumsbegrenzenden Faktor darstellt, was ältere Untersuchungsergebnisse von MENGEL (1979) sowie LÜCKE und v. BOGUSLAWSKI (1984) bestätigt. Eine ertragssteigernde Wirkung der Magnesiumzufuhr dürfte bei der hohen Mg-Versorgung des Bodens nur eine untergeordnete Rolle spielen, was auch für Schwefel anzunehmen ist. Ertragsdepressionen traten lediglich bei Frühjahrsdüngung 1993 ab der Düngungsstufe K₆₀₀ auf. Beim Kraut lagen bei den Trockenmasseerträgen keine statistisch gesicherten Unterschiede vor

* - Irrtumswahrscheinlichkeit GV $\alpha = 5\%$, gleiche Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant

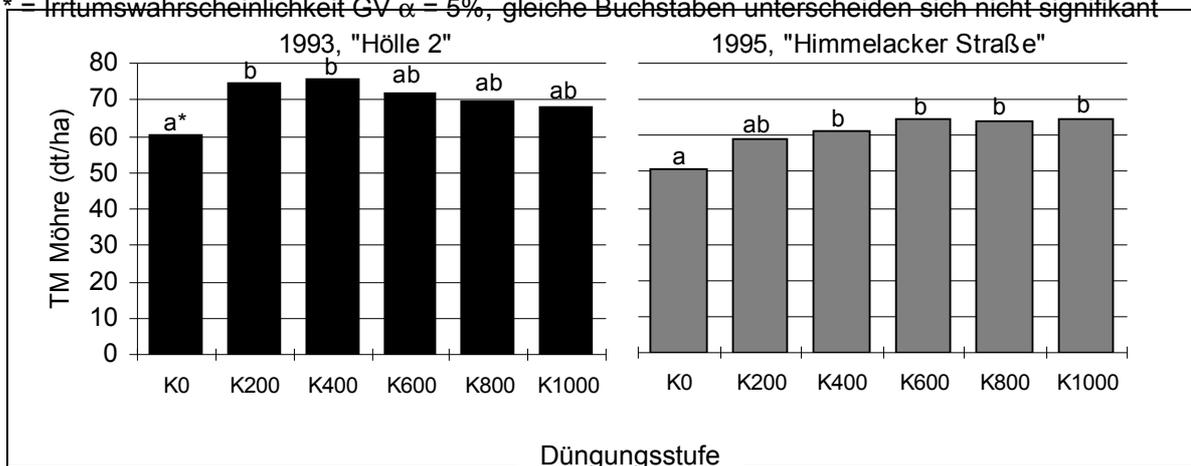


Abb. 1: Trockenmasseerträge von Möhren bei steigender Kalimagnesiadüngung, Df.hof

In Bezug auf die Qualität des Möhrensaftes führte die Kalimagnesiazufuhr zu einer erheblichen Verbesserung der nach EDEN wertgebenden Inhaltsstoffe (**Tab. 2**).

Tab. 2: Qualität von Möhrensaft bei steigender Kalimagnesiadüngung. Dfh.

Düngungsstufe	Kalium mg/l		Natrium mg/l		K : Na		Extrakt %		β-Carotin mg/l		Nitrat mg/l	
	1993	1995	1993	1995	1993	1995	1993	1995	1993	1995	1993	1995
K 0	858	1377 a*	1038	1037	0,8	1,3	9,6	12,0	93	113	111	206
K 200	1408	2073 ab	789	860	1,8	2,4	9,7	12,0	75	134	59	367
K 400	1535	2433 b	1058	722	1,5	3,4	9,8	12,0	148	169	57	417
K 600	1699	2732 b	1009	695	1,7	3,9	8,5	13,0	155	174	77	283
K 800	1555	2940 b	715	707	2,2	4,2	9,7	13,2	153	192	53	171
K1000	1826	2890 b	779	720	2,3	4,0	9,8	12,3	118	165	65	254

*) Irrtumswahrscheinlichkeit GV $\alpha = 5\%$, gleiche Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant

Aufgrund der Technik der Saffherstellung entstand eine hohe Streuung der Einzelwerte, so dass lediglich der Anstieg der Kaligehalte 1995 statistisch abzusichern war. Demgegenüber zeigte die Untersuchung der Nährstoffgehalte in der Trockensubstanz generell signifikante Veränderungen, die düngungsbedingt zu einem Anstieg der K:Na-Verhältnisse von < 1:1 auf > 4:1 führten (vgl. SPIESS, 1994, 1997). Damit bestätigte sich, dass durch ein erhöhtes K-Angebot weniger Natrium von der Pflanze aufgenommen wird. Besonders positiv wirkte sich die Zufuhr von Kalimagnesia auf die Gehalte an β-Carotin aus. Wenig beeinflusst davon zeigten sich Extrakt- und Nitratgehalte sowie die Haltbarkeit der Möhren.

II Wirkung von Kalimagnesiadüngung im Vergleich mit Gesteinsmehlen und *Digitalis*-Anwendung auf Ertrag, Nährstoffentzug und Qualität von Kartoffeln, Weizen, Hafer und Luzernegras

Kartoffeln

Die deutlichsten Versuchsergebnisse mit signifikanten Resultaten hinsichtlich der Düngerarten und der *Digitalis*-Behandlung traten im ersten Versuchsjahr mit Kartoffeln auf. Bezüglich der Ertragsbildung der Kartoffeln waren zunächst keine großen Differenzierungen zwischen den Düngungsvarianten festzustellen. Jedoch zeigten sich bei der Knollensortierung erhebliche Unterschiede. So war aufgrund einer besseren Knollenausbildung der Anteil von Knollenuntergrößen gegenüber der ungedüngten Kontrolle bei Kalimagnesia um 36 %, bei Orthoklas um 17 % und bei Basalt um 10 % vermindert (**Abb. 2**). Dies führte zu den in **Tabelle 3** genannten signifikant verschiedenen Reinerträgen. *Digitalis* beeinflusste den Knollenertrag nicht. Bei der Untersuchung der Nährstoffgehalte zeigte sich jedoch, dass der Fingerhut-Extrakt die Aufnahme der Kationen K, Mg, Na, aber auch S teils signifikant verbesserte. Dies spiegeln auch die Nährstoffentzüge in **Tabelle 3** wider. Während *Digitalis* im Mittel der Düngungsvarianten den K- und Mg-Entzug um 7% bzw. 10% signifikant förderte, lag der Anstieg bei S um 5% nahe der Signifikanzschwelle. Eine Düngewirkung trat nur bei Kalimagnesia auf und betraf alle drei gedüngten Elemente K (+42%), Mg (+28%) und S (+23%). Da Orthoklas lediglich 0,02 %, aber Basalt rd. 13 % MgO enthält, ist die signifikante Steigerung

der Mg-Entzüge bei den Gesteinsmehlen auf eine verbesserte Mg-Aufnahme aufgrund der *Digitalis*-Wirkung zurückzuführen. Demgegenüber blieben die N- und P-Entzüge sowohl von der Düngung als auch von *Digitalis* unbeeinflusst.

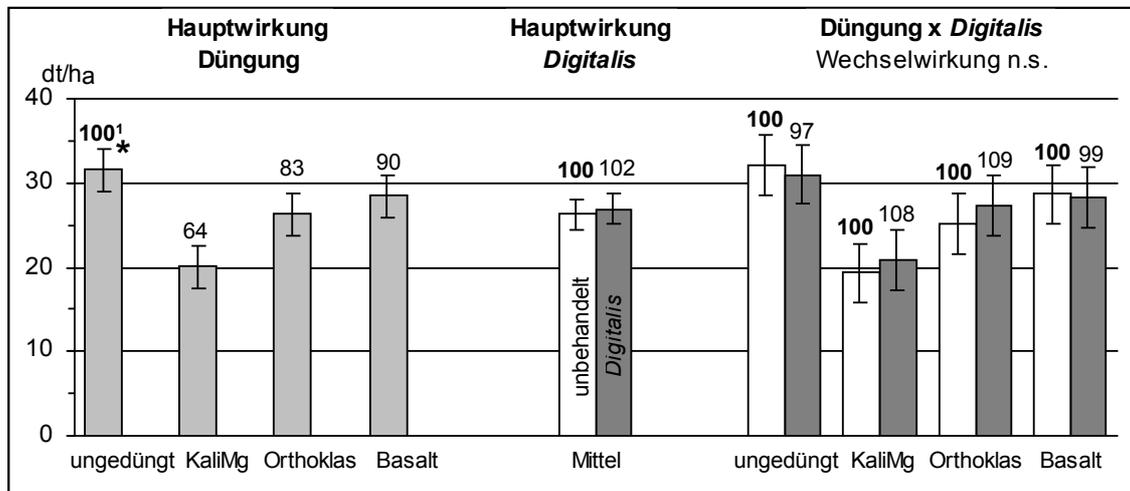


Abb. 2: Anteil Knollenuntergrößen in Abhängigkeit von Kali- und Gesteinsmehldüngung sowie *Digitalis*-Behandlung. Dfh. 1997

*) Grenzdifferenz LSD α 5% ¹⁾ rel.

Tab. 3: Einfluss von Kali- und Gesteinsmehldüngung sowie *Digitalis*-Behandlung auf Knollen-Reinertrag und Nährstoffentzug von Kartoffeln. Dfh. 1997

Düngung/ Behandlung	Reinertrag dt/ha FM	Gesamt-Nährstoffentzüge kg/ha				
		N	P	K	Mg	S
ungedüngt	202,9 a*	95,7	14,5	90,2 b	5,29 c	9,0 c
Kalimagnes.	233,9 b	91,6	15,0	127,9 a	6,75 a	11,1 a
Ortoklas	207,6 a	94,6	14,9	100,2 b	6,10 b	9,9 b
Basaltmehl	206,1 a	95,0	14,6	96,8 b	5,84 b	9,4 bc
ohne <i>Digitalis</i> .	212,9	93,2	14,5	100,1 A	5,72 A	9,6
mit <i>Digitalis</i>	212,3	95,2	15,0	107,4 B	6,27 B	10,1

*) ungleiche Buchstaben unterscheiden sich signifikant: $\alpha = 5\%$

Bezüglich der Knollenqualität wurde die Blaufleckigkeit der Kartoffel besonders durch Kalimagnesia reduziert.

Wie die Kosten:Nutzen-Rechnung ohne die Berücksichtigung der Ausbringungskosten in **Tabelle 4** ausweist, führt nur die Düngung mit Kalimagnesia zu einem positiven Saldo, wogegen die angewandten Gesteinsmehle durch die geringe Düngungseffizienz zu negativen Salden führen. Damit bestätigt sich, dass sich ihr Einsatz nicht bei kurzfristig wirksamen Düngungsmaßnahmen empfiehlt.

Tab. 4: Kosten:Nutzen-Rechnung zur Düngung von Kartoffeln. Dfh. 1997

Düngungsvariante	ungedüngt	Kalimagnesia	Orthoklas	Basalt
Düngerkosten	-	41 DM/dt	40 DM/dt	3 DM/dt
Reinertrag dt/ha	203	234	208	206
Erlös DM/ha (50 DM/dt)	10 150	11 700	10 400	10 300

Mehrerlös DM/ha		+1 550	+250	+150
Dünger DM/ha	-	653	1 500	600
Differenzbetrag DM/ha		+907	-1 250	-450

Winterweizen

In der Prüfung der Nachwirkung der Düngung traten 1998 bei Winterweizen, cv. BUSSARD keine Differenzierungen in der Ertragsbildung auf (**Tab. 5**), auch wenn in der Jugendentwicklung stärkere Abweichungen vorhanden waren (vgl. KLETT, 1999). So zeigte sich bei der Auszählung der Keimdichte nach Winter der höchste Pflanzenbestand bei Kalimagnesia-, der niedrigste bei Orthoklasdüngung mit signifikanten Unterschieden von 12 %. Ein bisher nicht gefundener Faktor dieser Gesteinsmehlvariante bewirkte weiterhin Depressionen beim Grünschnittertrag und bei der Anzahl ährentragender Halme.

Demgegenüber wurde bei beiden Düngungsvarianten eine verbesserte Phosphoraufnahme festgestellt (**Tab. 5**). Dabei dürfte dieser Effekt bei Kalimagnesia auf die günstigeren Wachstumsbedingungen, bei Orthoklas auf die Kompensation der geringen Bestandesdichte durch verbesserte Kornbildung zurückzuführen sein. In diesem Zusammenhang ist hervorzuheben, dass *Digitalis*, welches im Frühjahr zwei Mal auf den Boden gespritzt wurde, zu einer signifikanten Senkung der Phosphoraufnahme führte. Signifikant erhöhte Kaliumentzüge wurden nur bei der leicht pflanzenverfügbaren Düngerform gemessen.

Tab. 5: Einfluss von Kali- und Gesteinsmehldüngung sowie *Digitalis*-Behandlung auf die Erträge (86%TM) und Nährstoffentzüge von Winterweizen. Dfh. 1998

Düngung/ Behandlung	Ertrag		Gesamt-Nährstoffentzüge kg/ha				
	Korn	Stroh	N	P	K	Mg	S
	dt/ha						
ungedüngt	52,5	46,7	120,5	17,6 c	50,8 b*	8,57	9,2
Kalimagnes.	52,0	49,8	119,9	19,4 a	61,3 a	8,33	10,2
Orthoklas	53,2	48,3	124,1	19,2 ab	53,4 b	8,74	9,5
Basaltmehl	53,6	47,6	123,4	17,9 bc	53,4 b	8,72	9,5
ohne <i>Digitalis</i> .	53,2	49,0	122,6	19,1 A	55,3	8,70	9,8
mit <i>Digitalis</i>	52,5	47,3	121,3	18,0 B	53,6	8,48	9,5

*) ungleiche Buchstaben unterscheiden sich signifikant: $\alpha=5\%$

Hafer

Eine erneute Düngung einschließlich Fingerhut-Behandlung wurde im Frühjahr 1999 vor Hafer (Sortengemenge Erbgraf/Panther) mit Luzernegrasuntersaat in der oben genannten Weise ausgebracht.

Ein Ergebnis, welches hervorgehoben werden soll, ist die Auszählung der Anzahl aufgelaufener Pflanzen (Feldaufgang). Die gedüngten Mengen von 16 dt/ha Kalimagnesia, 33 dt/ha Orthoklas und 200 dt/ha Basaltmehl beeinflussten erheblich die Keimung des Hafers. Nach **Abbildung 3** förderten die Dünger den Haferaufgang (Pflanzen/m²) in der Reihenfolge Ungedüngt (237) < Kalimagnesia (286) < Orthoklas (296) < Basaltmehl (308). Demgegenüber führte die Anwendung von Fingerhut zu einer signifikanten Wechselwirkung. Während beim niedrigsten Feldaufgang bei Ungedüngt *Digitalis* eine signifikante Steigerung um 19 % bewirkte,

fürte der Pflanzenextrakt bei der höchsten Keimrate bei Basaltmehl zu einer Reduzierung um 11 %. Mit diesem Resultat liegt eine ähnliche ausgleichende bzw. normalisierende Wirkung, wie sie von biologisch-dynamischen Präparaten bekannt ist, vor.

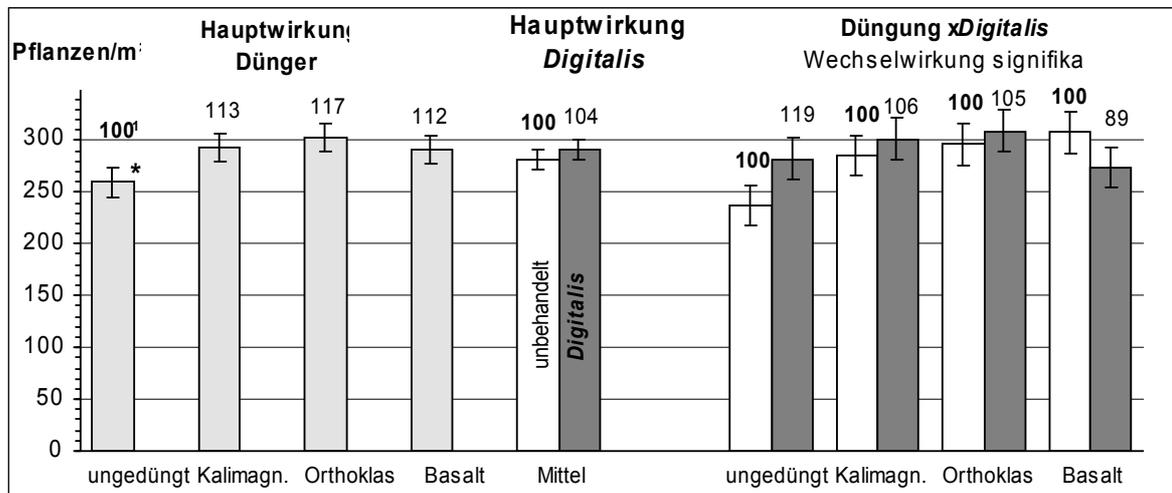


Abb. 3: Keimdichte (Pflanzen/m²) von Hafer in Abhängigkeit von Kali- und Gesteinsmehldüngung sowie *Digitalis*-Behandlung. Dfh. 1999

*) Grenzdifferenz LSD α 5% ¹) rel.

Diese aufgezeigten Unterschiede in der Keimung wurden jedoch nicht ertragswirksam, zumindest nicht in der Trockenmasse von Korn und Stroh, wie der **Tabelle 6** zu entnehmen ist.

Allerdings traten in der Frischmasse des Strohes stärkere Differenzierungen auf, die vor allem die Kalimagnesia-Variante mit statistisch gesicherten Mindererträgen gegenüber der ungedüngten Kontrolle, welche den Höchstertrag erreichte, mit 8 % Differenz auswies. Gleichzeitig führte die *Digitalis*-Behandlung zu einer signifikanten Verminderung beim frischen Stroh in Höhe von 5 %.

Bezüglich der Nährstoffaufnahme zeigen die Gehalte der Hauptelemente mit Ausnahme der Kalimagnesia-Variante keine deutlichen düngungsbedingten Unterschiede. Die gesichert höheren Kalium- und Schwefelentzüge von +39 % K und 10 % S wurden nicht ertragswirksam. Bezüglich der niedrigeren Magnesiumentzüge bestätigte sich der Ionenantagonismus zwischen K und Mg.

Tab. 6: Einfluss von Kali- und Gesteinsmehldüngung sowie *Digitalis*-Behandlung auf die Erträge (86 % TM) und Nährstoffentzüge von Hafer. Dfh. 1999

Düngung/ Behandlung	Ertrag Korn Stroh dt/ha		Gesamt-Nährstoffentzüge kg/ha				
			N	P	K	Mg	S
ungedüngt	50,7	34,1	101,0	17,8	68,3 b*	8,16	10,4 b
Kalimagnesia	51,4	32,3	96,2	17,5	94,9 a	7,91	11,4 a
Orthoklas	51,7	32,6	100,3	17,6	69,5 b	8,18	10,4 b
Basaltmehl	51,6	33,0	99,8	17,7	68,1 b	8,15	10,7 b
ohne Digitalis	51,5	33,6	99,8	17,8	75,8	8,13	10,7
mit Digitalis	51,3	32,3	98,8	17,5	74,7	8,07	10,8

*) ungleiche Buchstaben unterscheiden sich signifikant: $\alpha = 5\%$

Luzernegras, 1. Nutzungsjahr

Im Hinblick auf die durchgeführten Bestandesbonituren wurde bereits im Herbst des Ansaatjahres beobachtet, dass der Luzernebestand durch die Konkurrenz der Deckfrucht düngungsabhängige Unterschiede aufwies. Dieser Düngungseffekt zeigte sich verstärkt im folgenden Frühjahr, wonach sich die Luzerne gegenüber dem Gras in den Kalimagnesiaparzellen im Vergleich zur Kontrolle und Gesteinsmehl um 20 % deutlich besser etabliert hatte (**Abb. 4**).

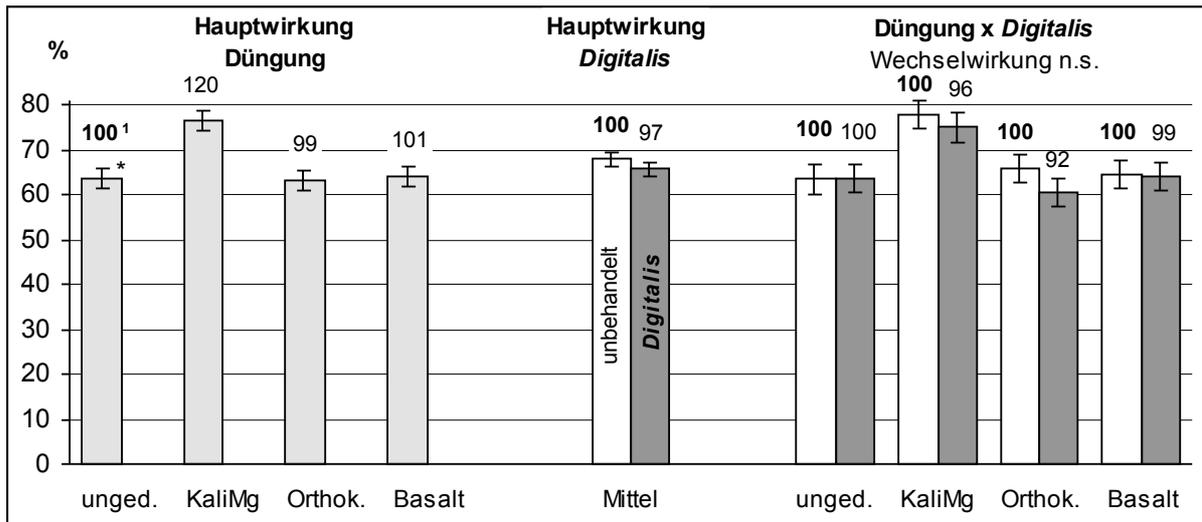


Abb. 4: Prozentualer Anteil von Luzerne am Gesamtbestand in Abhängigkeit von Kali- und Gesteinsmehldüngung sowie *Digitalis*-Behandlung. Dfh. 2000

*) Grenzdifferenz LSD $\alpha = 5\%$ 1) rel.

In ähnlicher Größenordnung lag nach **Tabelle 7** auch der Ertragszuwachs durch Kalimagnesia, wobei die Ertragserhöhungen von 13 % bzw. 10 % bei den Gesteinsmehlen vor allem auf die Wirksamkeit des *Digitalis*-Extraktes zurückzuführen sind. Dieser bewirkte eine signifikante Wachstumssteigerung im Mittel aller Düngungsvarianten um 5 %, die höchste in der ungedüngten Kontrolle von 13 %.

Tab. 7: Einfluss von Kali- und Gesteinsmehldüngung sowie *Digitalis*-Behandlung auf TM-Ertrag und Nährstoffentzug von Luzernegras. 1. Nutzungsjahr Dfh. 2000

Düngung/ Behandlung	TM-Ertrag 3 Schnitte dt/ha	Gesamt-Nährstoffentzüge kg/ha				
		N	P	K	Mg	S
ungedüngt	101,2 a*	277,0 a	32,4 a	201,7 b	22,4 a	22,9 a
Kalimagnesia	124,2 b	369,5 c	34,8 b	319,1 a	24,5 b	27,9 c
Orthoklas	114,0 c	324,1 b	36,2 b	213,3 b	25,4 bc	25,0 b
Basaltmehl	111,5 c	312,6 b	35,1 b	212,5 b	26,0 c	24,8 b
ohne Digitalis	109,9 A	314,6	33,7 A	230,1 A	24,0 A	24,6 A
mit Digitalis	115,5 B	327,0	35,5 B	243,2 B	25,2 B	25,7 B

*) ungleiche Buchstaben unterscheiden sich signifikant: $\alpha = 5\%$

Hinsichtlich der Nährstoffentzüge (**Tab. 7**) ist bemerkenswert, welchen positiven Einfluss die Düngung im Zusammenhang mit der *Digitalis*-Behandlung auf die

Steigerung der Erträge, aber auch auf die N-Gehalte ausübte. Beide Maßnahmen summierten sich und führten zu enormen Steigerungen der N-Entzüge vor allem bei der Mineraldüngervariante. Hier betrug die Mehrentzüge im Mittel 33 % und zeigten eine deutliche Abhängigkeit von der zunehmenden Schnittnutzung mit + 52 % beim ersten, + 29 % beim zweiten und + 12 % beim dritten Schnitt.

Die Behandlung mit *Digitalis*-Tinktur förderte die N-Aufnahme im Mittel aller Varianten mit + 4 %. Teilweise war dieser Einfluss statistisch abzusichern und konnte, wie beim ersten Schnitt in der ungedüngten Kontrolle, + 21 % erreichen.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass sowohl die Düngungs- als auch Behandlungsmaßnahmen die Bestandsbildung der Luzerne als auch die Tätigkeit der Knöllchenbakterien gefördert haben müssen, in deren Folge die N-Einlagerung in die Pflanze stieg. Dem Kalium dürfte dabei eine herausragende Rolle zukommen, da es besonders in der Proteinsynthese und für die Konformation der Proteine essentielle Bedeutung hat.

Beim Phosphor sind im Gesamtentzug sowohl die Düngervarianten als auch die *Digitalis*-Behandlung der Kontrolle gesichert überlegen. Die erhöhte Phosphoraufnahme aus dem Boden dürfte im Zusammenhang mit erhöhter Wurzelaktivität bzw. verstärkter Wurzelausscheidung zusammenhängen, durch die Phosphor im Boden biologisch aufgeschlossen wurde.

Die Kaliumentzüge waren in erster Linie dominiert durch die im Durchschnitt um 58 % gesteigerten K-Entnahmen durch die Pflanzen bei Kalimagnesiadüngung. Das entspricht einer 80-prozentigen Nährstoffausnutzung des Düngers ohne Berücksichtigung des Bodenkalis. Demgegenüber blieben die Gesteinsmehle mit um 6 bzw. 5 % höheren Entzügen im Vergleich zur Kontrolle weit zurück. Diese Steigerungsrate wurde bereits durch *Digitalis* erreicht, wobei die Förderung der Kaliumaufnahme im Düngungsmittel statistisch gesichert ist. Damit bestätigt sich die eingangs zitierte Angabe Rudolf Steiners über die Förderung der K-Aufnahme durch Anwendung eines Pflanzengiftes.

Bei den Magnesiumentzügen kommt der K-Mg-Antagonismus zum Tragen, wonach trotz Zufuhr von Mg über das Patentkali in dieser Variante nicht die höchsten Entzüge gefunden werden. Die höchsten Entzüge bei den Gesteinsmehlvarianten mit + 14 % und + 16 % sind in erster Linie auf die düngungsbedingten Ertragssteigerungen, aber auch auf die hohen Mg-Gehalte in Basalmehl zurückzuführen. Wiederum zeigt sich der positive Einfluss der Fingerhut-Behandlung auf die Mg-Aufnahme, die im Mittel aller Varianten 5 % beträgt und statistisch abgesichert ist.

Bezüglich der S-Aufnahme unterschieden sich die Dünger, allen voran Kalimagnesia, signifikant von den um 18 % bzw. 10-11 % geringeren Werten der Kontrolle bzw. Gesteinsmehle. An diesem Ergebnis war wiederum die Wirkung des Fingerhut-Extraktes mit 5 % beteiligt, vor allem über die gesteigerten Erträge bei annähernd konstanten S-Gehalten.

Luzernegras, 2. Nutzungsjahr

Trotz der zweimaligen Kalimagnesia-Düngung in Höhe von 800 kg/ha K innerhalb der letzten fünf Jahre erschöpfte die Luzerne das pflanzenverfügbare Kalium (CAL) im Boden bereits im ersten Jahr sehr stark (vgl. **Abb. 6**). Die Probenahme nach dem letzten Schnitt im Herbst ergab bei der ungedüngten Kontrolle und bei den Gesteinsmehl-Varianten Werte zwischen 2 bis 3 mg K₂O, welche gegenüber der Kalimagnesia-Variante mit 7 mg K₂O je 100g Boden signifikant niedriger lagen. Ähnliche Unterschiede fanden sich beim pflanzenverfügbaren Mg (CaCl₂), allerdings auf etwas höherem Niveau: 4 bis 5 mg Mg gegenüber 7 mg Mg/100 g Boden. Diese Unterschiede in der Kaliversorgung beeinflussten nachhaltig den Anteil Luzerne am Gesamtbestand. Während noch im ersten Luzerneanbaujahr die Kalimagnesiadüngung gegenüber allen anderen Varianten zu einem um 20 % höheren Anteil führte, stieg er nach **Abbildung 5** im zweiten Nutzungsjahr auf 40 % im Vergleich mit der Kontrolle. Auch die Gesteinsmehle wirkten sich nun positiv auf die Konkurrenzkräft der Luzerne aus. Die Fingerhut-Behandlungen wiesen eine durchschnittliche Steigerung des Luzerneanteils um 4 Prozent auf.

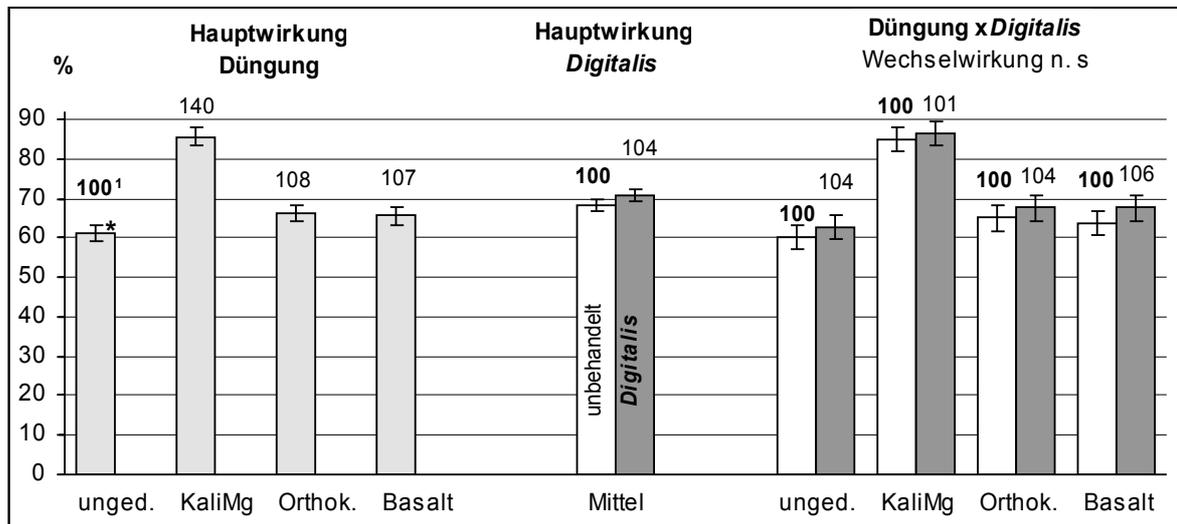


Abb. 5: Prozentualer Luzerneanteil am Gesamtbestand von Luzernegras (2. Jahr, 1. Schnitt) in Abhängigkeit von Düngung und *Digitalis*-Behandlung. Dfh. 2001

*) Grenzdifferenz LSD α 5% ¹) rel.

Aus der Zusammenfassung der Erträge und Nährstoffentzüge in **Tabelle 8** geht hervor, dass sich die Förderung des Luzernewachstums durch Kalimagnesia-düngung auch im zweiten Jahr bestätigte. In allen Fällen unterscheidet sich diese Variante von der ungedüngten Kontrolle signifikant mit +15 % beim Ertrag und bei den Entzügen mit +16 % bei N, +7 % bei P, +55 % bei K, +7 % bei Mg und +11 % bei S. Die Gesteinsmehlvarianten führten mit Ausnahme von Mg zu keinen gesicherten Düngewirkungen, wobei die signifikant höheren Mg-Entzüge bei Basaltmehl auf dessen hohem MgO-Gehalt von rd. 13 % beruhen dürften.

Die Spritzungen von *Digitalis* bewirkten in allen Fällen signifikante Steigerungen bei den Erträgen und Nährstoffentzügen in einem Bereich von 5 bis 7 %.

Tab. 8: Einfluss von Kali- und Gesteinsmehldüngung sowie *Digitalis*-Behandlung auf TM-Ertrag und Nährstoffentzug von Luzernegras. 2. Nutzungsjahr Dfh. 2001

Düngung/ Behandlung	TM-Ertrag 3 Schnitte dt/ha	Gesamt-Nährstoffentzüge kg/ha				
		N	P	K	Mg	S
ungedüngt	148,8 b*	415,8 b	47,1 b	212,7 b	34,0 c	32,6 b
Kalimagnesia	171,0 a	480,4 a	50,4 a	330,7 a	36,5 ab	36,3 a
Orthoklas	148,6 b	410,7 b	47,9 b	205,0 b	34,9 bc	32,5 b
Basaltmehl	151,5 b	424,6 b	48,4 b	214,7 b	37,2 a	33,5 b
ohne Digitalis	151,1 A	419,1 A	47,3 A	235,1 A	34,7 A	33,0 A
mit Digitalis	158,9 B	446,6 B	49,6 B	246,5 B	36,5 B	34,5 B

*) ungleiche Buchstaben unterscheiden sich signifikant: $\alpha=5\%$

Entwicklung der Kali- und Magnesiumgehalte im Boden

Abschließend wird ein Überblick über die Entwicklung der pflanzenverfügbaren (CAL-löslichen) Gehalte an K_2O und Mg über den Berichtszeitraum gegeben. Die Bodenuntersuchungswerte zeigen in **Abbildung 6**, dass einerseits ein deutlicher Fruchtfolgeeffekt vorhanden ist, der sich vor allem darin äußert, dass nach Luzernegras das pflanzenverfügbare Kalium im Boden stark erschöpft wird.

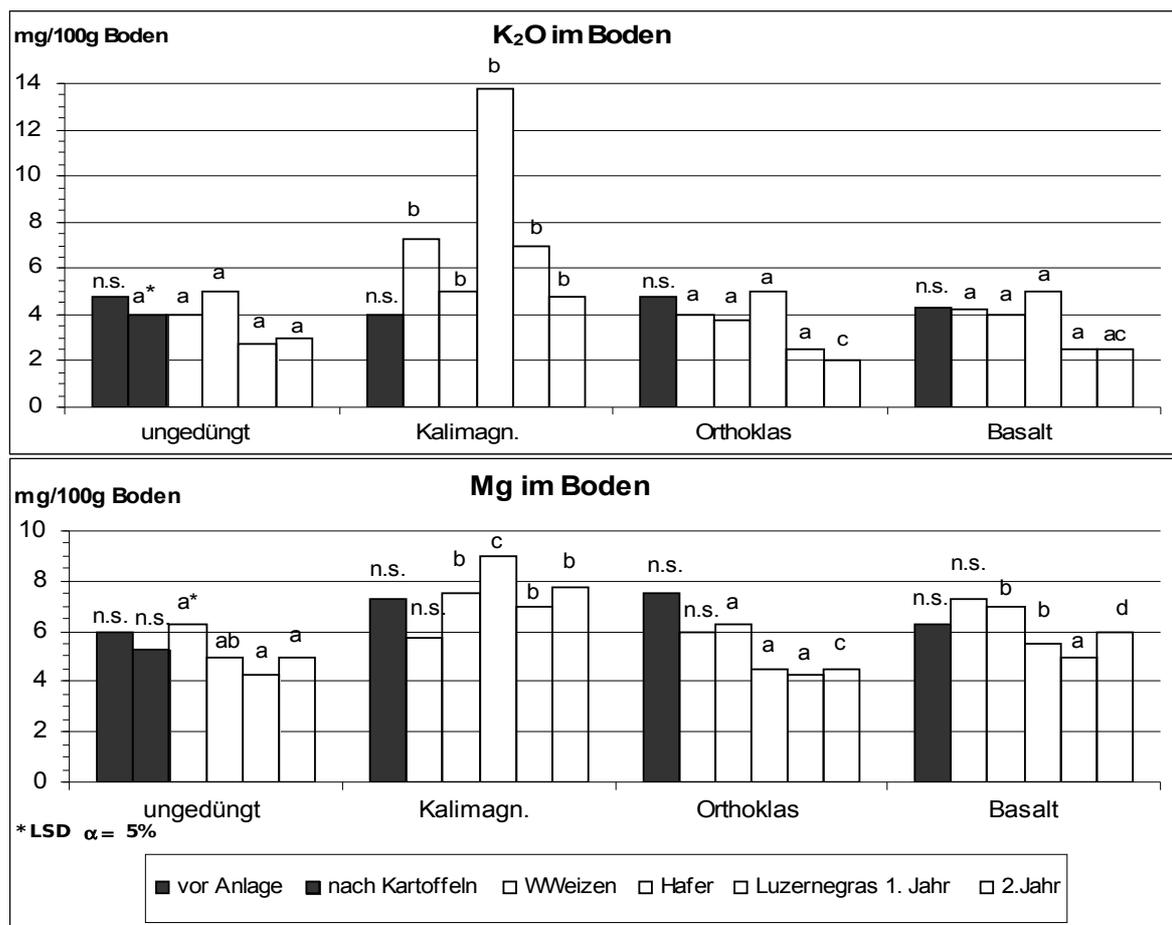


Abb. 6: K_2O und Mg-Gehalte (CAL) im Boden während der fünfjährigen Laufzeit des Feldversuchs mit Kali- und Gesteinsmehldüngung. Dottenfelderhof 1997-2001

Andererseits wird deutlich, dass nur durch Kalimagnesia kurzfristig der verfügbare K-Level im Boden angehoben wird. Bei der guten Mg-Versorgung der Böden kann sehr wahrscheinlich auf die Mg-Zufuhr verzichtet werden, wobei bei der Kali-Düngung der Ionenantagonismus mit Mg berücksichtigt werden muss. Dies zeigte sich vor allem in niedrigen Mg-Gehalten im Luzernegras, was beim Futter als problematisch anzusehen ist. Von nicht unerheblichem Interesse dürfte sein, dass neben Kalimagnesia Basaltmehl nach dem zweiten Luzernejahr zu signifikant höheren Mg-Gehalten im Boden führte.

Zusammenfassung und Schlußbetrachtung

Aufgrund der Hinweise von Fa. EDEN, dass ökologisch angebaute Möhren zum Teil zu geringe Kalium- und erhöhte Natrium-Gehalte aufwiesen, wurden 1993 und 1995 auf dem Dottenfelderhof zunächst Steigerungsversuche mit Kalimagnesia durchgeführt. Untersuchungen auf diesem Standort haben belegt, dass bei pflanzenverfügbaren Gehalten von $<5 \text{ mg K}_2\text{O je 100g Boden}$, K-Fixierung und negativer K-Bilanz ($- 46 \text{ kg K/ha}\cdot\text{a}$) die Möhren nur ein Drittel "üblicher" K-Gehalte, aber die dreifache Menge "üblicher" Na-Gehalte aufwiesen (Lücke u. v. Boguslawski, 1984). Ob dies ernährungsphysiologisch bedenklich ist, ist nicht geklärt. Die Kali-bedürftigkeit des Standortes zeigte sich vor allem in den durch K-Düngung eingetretenen Ertragssteigerungen der Möhre bis 28%. Durch das erhöhte K-Angebot ließ sich die Na-Aufnahme vermindern, so dass das K:Na-Verhältnis den geforderten Wert von $>4,4$ nahezu erreichte. Durch die Kalimagnesiadüngung erhöhten sich - als ein Maßstab der Qualität - vor allem die β -Carotingehalte.

Im Düngungsversuch mit Kalimagnesia- und Gesteinsmehldüngung sowie *Digitalis*-Behandlung zeigte sich ebenfalls, dass unter den Bedingungen langjährig ökologischer Bewirtschaftung kaliumbedürftige Kulturen wie die Kartoffel und Luzerne auf eine K-Düngung mit erheblichen Ertragssteigerungen und verbesserter Qualität reagieren. Hafer sowie Weizen in der Nachwirkung reagierten ertraglich nicht auf die Düngung, was bestätigt, dass Getreide ein hohes Aneignungsvermögen für Kalium hat.

Um eine Kalimangelsituation in Boden und Pflanze kurzfristig zu beheben, sind nur leichtlösliche K-Dünger geeignet, keine Gesteinsmehle wie Orthoklas und Basalt. Die Behandlung mit *Digitalis*-Extrakt unterstützte die Düngewirkung positiv, war aber auch ohne mineralische Düngung wirksam. Die durch die Düngung als auch durch die *Digitalis*-Behandlung enorm erhöhten Stickstoffentzüge bei Luzernegras verweisen darauf, dass die Tätigkeit der Knöllchenbakterien bzw. die Wurzelaktivität durch diese Maßnahmen gefördert wurde. Für den Ökologischen Landbau ist dieser Sachverhalt hinsichtlich der Gestaltung einer positiven N- und Humusbilanz von evidenter Bedeutung. Aufgrund der vorliegenden Resultate kann davon ausgegangen werden, dass von dem Fingerhut eine Belebung der Stoffwechselfvorgänge in der Pflanze sowie zwischen Boden und Pflanze ausgeht.

Bei Kalimangelproblemen empfiehlt sich daher im landwirtschaftlichen Betrieb neben der intensiven Anwendung biologisch-dynamischer Präparate, insbesondere des Schafgarbenpräparates (vgl. MATTHES u. SPIESS, 2001) und einer gegebenenfalls stofflichen Substituierung zusätzlich eine *Digitalis*-Tinktur in der beschriebenen Form anzuwenden.

Darüber hinaus sollten alle betrieblichen Maßnahmen ergriffen werden, um Nährstoffverluste, z.B. bei der Lagerung der Wirtschaftsdünger, zu vermeiden oder bspw. durch Herstellung eines hoferigenen Düngers auf Holzhäckselbasis die K-Bilanz zu verbessern. Eine Kalizufuhr von außen ist denjenigen Betrieben anzuraten, bei denen, bedingt durch Bodengenese und Bewirtschaftung (negative Nährstoffbilanz, niedrige K-Versorgungsstufe), eine aktive Nährstoffmobilisierung von Kalium sich bisher als nicht gangbar für eine ausreichende Kaliversorgung der Pflanzen erwiesen hat. Dabei sollte auch der Einsatz kommunaler organischer Dünger geprüft werden.

Dank

Für die finanzielle Unterstützung dieses Forschungsprojektes danke ich der Gemeinnützigen Treuhand Landwirtschaft, Pforzheim, der Gemeinnützigen Treuhandstelle, Bochum, dem Rudolf Steiner-Fonds für wissenschaftliche Forschung, Nürnberg sowie der Software AG-Stiftung, Darmstadt.

Literatur

- FRITZ, J. BAUER, S., KLÖS, J., KÖPKE, U. 1999: Hornkieselanwendungen in Kombination mit Pflanzentinkturen. Beitr. 5. Wiss.tag. Ökol. Landbau, S.423-427, Verlag Dr. Köster, Berlin
- Fritz, J. u. U. Köpke 2001: Hornkieselanwendungen in Kombination mit Pflanzenextrakten zu Sommerweizen. in: Reents, H.J. (Hg.): Von Leit-Bildern zu Leit-Linien. Beitr. 6. Wiss.tag. Ökol. Landbau, Weihenstephan, S. 297-300, Verlag Dr. Köster, Berlin
- HAGEL, I.1995: Zum Kalium:Natrium-Verhältnis in Demeter-Möhren. Leb. Erde 2, 103-109
- HEINZE, H. 1983: Zur Frage der Mineraldüngung. in: Mensch und Erde. Verlag Goetheanum, CH-Dornach
- KLETT, B. 1999: Zur Nachwirkung einer Düngung mit Kalimagnesia, Orthoklas und Basaltmehl unter Zusatz von *Digitalis*-Extrakt auf das Wachstum von Winterweizen bei biologisch-dynamischer Bewirtschaftung. Dipl.arb. Kassel-Witzenhausen
- LÜCKE, J. & E. v. BOGUSLAWSKI, 1984: Begleitenden wissenschaftliche Untersuchungen der biologisch-dynamischen Wirtschaftsweise auf dem Dottenfelderhof. Landwirtsch. Forschung 37, 3-4, 248-267
- MATTHES, C., SPIESS, H., HACKER, M. 2000: Keimung, Wassereffizienz, Knolle und Blatt im Einfluß des Schafgarbenpräparates. Leb. Erde 2, 36-38
- MATTHES, C. u. H. SPIESS 2001: Zur Wirkung des biologisch-dynamischen Schafgarbenpräparates auf Radies im Gefäßversuch bei variiertem Kalimagnesiadüngung. in: Reents, H.J. (Hg.): Von Leit-Bildern zu Leit-Linien. Beitr. 6. Wiss.tag. Ökol. Landbau, Weihenstephan, S. 289-292, Verlag Dr. Köster, Berlin
- MENGEL, K. 1979: Pflanzenbau ohne Mineraldüngung, eine Alternative? Kali-Briefe 14 (10), 707-711
- SHELLER, E. 1988: Aktive Nährstoffmobilisierung durch die Pflanzen. Selbstverlag, D-36160 Dipperz
- SCHULTE, G. 1996: Nährstoffverarmung durch ökologischen Landbau? bio-land 3, 26-27
- SPIESS, H. 1994, 1997: Kalium:Natrium-Verhältnis in Demeter-Möhren. Forschungsberichte IBDF, unveröffentlicht
- SPIESS, H., J. HEYN, H. SCHAAF, u. A. FIORETTO 1999: Einfluß steigender Kalimagnesia-Gaben auf Qualität und Ertrag von Möhren im Ökologischen Landbau. Beitr. 5. Wiss.tag. Ökol. Landbau, S.270-274, Verlag Dr. Köster, Berlin
- SPIESS, H., P. SCHMIDT, H. HORST u. H. SCHAAF 2001: Wirkung eines Extraktes von *Digitalis purpurea* bei Düngung von Kalimagnesia, Orthoklas und Basaltmehl auf Wachstum und Nährstoffaufnahme von Kulturen einer biologisch-dynamischen Fruchtfolge. in: Reents, H.J. (Hg.): Von Leit-Bildern zu Leit-Linien. Beitr. 6. Wiss.tag. Ökol. Landbau, Weihenstephan, S. 293-296, Verlag Dr. Köster, Berlin