

## Ergebnisse 20-jähriger Untersuchungen zur Phosphor- und Kaliumdüngung von Niedermoorgrünland in Nordostdeutschland als Basis für eine entzugsgerechte Düngungsempfehlung

Hertwig, F.<sup>1</sup>, Wacker, J.<sup>1</sup> und Schuppenies, R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg  
Gutshof 7, 14641 Paulinenaue

<sup>2</sup> Unter den Eichen 25 A, 14641 Paulinenaue  
[frank.hertwig@lelf.brandenburg.de](mailto:frank.hertwig@lelf.brandenburg.de)

### Einleitung und Problemstellung

Die nachhaltige Bewirtschaftung von Niedermoorgrünland erfordert zur effektiven Nutzung der natürlichen Ressourcen Wasser und Bodenstickstoff geeignete Bewirtschaftungsmaßnahmen. Dazu gehört neben der Schaffung bzw. Erhaltung leistungsfähiger Narben ebenso die Düngung. Gleichzeitig fordert die Düngeverordnung auch auf dem Grünland, die durch die Nutzung entzogenen Nährstoffe zu ersetzen und den durch die Gehaltsklassen charakterisierten Versorgungszustand des Bodens entsprechend zu berücksichtigen.

Ein wichtiger Standort für das Grünland in Nordostdeutschland ist das Niedermoor. Es stellt einerseits aufgrund der nahezu ganzjährigen Mineralisierung organischer Substanz große Mengen an Stickstoff (N) bereit, ist aber andererseits oft durch niedrige Gehalte an Makronährstoffen, insbesondere an Kalium (K), gekennzeichnet. Düngungsempfehlungen für Niedermoorgrünland müssen diesen Besonderheiten Rechnung tragen, aber auch ständig auf ihre Aktualität überprüft werden.

### Material und Methoden

In den nachfolgenden Ausführungen werden Ergebnisse von Phosphor- und Kaliumdüngungsversuchen auf Niedermoor (Mo IIa) am Standort Paulinenaue im Havelländischen Luch dargestellt.

Der Düngung nach Entzug durch die Pflanzenbestände wurden erwartete Trockenmasseerträge von 65 und 105 dt/ha bei einer Stickstoff (N)-Gabe von 0 bzw. 150 kg/ha nach Dreischnittnutzung unterstellt. Für den Entzug (1,0\*E) wurden ein in langjährigen Untersuchungen abgeleiteter Phosphor (P)-Gehalt in der Pflanze von 3 g/kg TM und ein K-Gehalt von 20 g/kg TM in den jeweiligen Versuchen veranschlagt. Die Variation der Grunddüngergaben betrug im P-Versuch das 0,5- und 1,5-fache des Entzuges und im K-Versuch wegen der erwarteten schnelleren Reaktion das 0,7- und 1,3-fache des Entzuges. Bei der N-Stufe von 150 kg/ha wurde auf das sonst im üblichen Düngungsversuch enthaltene Prüfglied „ohne K-Düngung“ auf Grund der fehlenden praktischen Bedeutung verzichtet. Ab dem Versuchsjahr 2009 erfolgte im Kaliumversuch eine Anpassung der Kaliumdüngermenge an die gestiegenen Erträge (Tabelle 1).

Tabelle 1: Darstellung der Varianten

		ohne N	mit N
Nutzungsziele	Nutzungshäufigkeit	3	3
	N-Düngung (kg/ha)	0	150
	Erwarteter Ertrag (dt TM/ha)	65	105
	K-Gehalt (g/kg TM)	20	20
	P-Gehalt (g/kg TM)	3	3
K-Düngung (kg/ha)	ohne K (0,0*E)	0	–
	0,7*Entzug (0,7*E)	112 <sup>1)</sup> (91)	161 <sup>1)</sup> (147)
	1,0*Entzug (1,0*E)	160 <sup>1)</sup> (130)	230 <sup>1)</sup> (210)
	1,3*Entzug (1,3*E)	208 <sup>1)</sup> (169)	299 <sup>1)</sup> (273)
P-Düngung (kg/ha)	ohne P (0,0*E)	0	0
	0,5*Entzug (0,5*E)	10	16
	1,0*Entzug (1,0*E)	20	32
	1,5*Entzug (1,5*E)	30	48

<sup>1)</sup> ab Versuchsjahr 2009

Die P-, K-Düngung erfolgte stets zum 1. Aufwuchs. Die Versuche wurden 1997 angelegt, sodass nach Abschluss der Erntearbeiten 2016 die Ergebnisse von insgesamt 20 Versuchsjahren vorliegen. Die N-Gaben (80/70 kg/ha) wurden als Kalkammonsalpeter zu den beiden ersten Aufwüchsen, die P- und K-Düngung als einmalige Frühjahrsgabe als Triplesuperphosphat bzw. 60iger Kali verabreicht. Gleichzeitig wurden 210 kg K/ha in Form von 60iger Kali zu allen Prüfgliedern im Phosphorversuch und 32 kg P/ha als Triplesuperphosphat zu allen Prüfgliedern im Kaliumversuch gedüngt.

Jährlich wurden die Bodengehalte an pflanzenverfügbarem Phosphor und Kalium über die Doppel-Lactat-Methode (DL-Methode) bestimmt. Die Ermittlung der Mineralstoffgehalte in der Pflanze und im Boden erfolgte im Landeslabor Brandenburg entsprechend den gültigen VDLUFA-Methoden.

### Ergebnisse und Diskussion

Grundsätzlich ist auf diesem Standort festzustellen, dass im Mittel der 20 Versuchsjahre durch den Einsatz von 150 kg N/ha ein Mehrertrag von ca. 40 dt TM/ha realisiert werden kann.

Im K-Versuch (Tabelle 2) sind bei gleicher N-Stufe die Ertragsunterschiede im Bereich der Entzugsdüngung von 0,7\*E bis 1,3\*E auch nach 20 Versuchsjahren nicht signifikant. In den mit Stickstoff gedüngten Prüfgliedern gab es in den 20 Versuchsjahren zwei witterungsbedingte Ausnahmen. 1999 lag die Variante 0,7\*E signifikant niedriger als die Varianten 1,0\*E bzw. 1,3\*E und 2013 lag die Variante 1,0\*E signifikant niedriger als die Varianten 0,7\*E und 1,3\*E. Dagegen ist bei Verzicht auf die K-Düngung der Ertragsabfall bedeutend und sehr schnell eingetreten. Schon nach drei Versuchsjahren lag der Ertrag dieser Variante dauerhaft signifikant niedriger als die nach Entzug gedüngten Parzellen und erreichte im Versuchsjahr 2016 nur noch ca. 30 % des Ertrages der Vergleichsvariante. Der Ertragsrückgang geht mit einer drastischen Abnahme des K-Gehaltes einher, der schnell unter 10 g/kg TM absinkt und 2016 bei nur noch 5,5 g/kg TM lag. Im Vergleich dazu lagen die Gehaltswerte bei der entzugsgerechten K-Düngung im Mittel aller Versuchsjahre bei 19,6 g/kg TM bei den Prüfgliedern ohne N und bei 21,4 g/kg TM bei den mit 150 kg N/ha gedüngten.

Tabelle 2: Trockenmasseertrag und mittlerer Kaliumgehalt im Versuchszeitraum von 1997 bis 2016

Variante	TM-Ertrag (dt/ha)			Kaliumgehalt in der Pflanze (g/kg TM)		
	1997	1997–2016	2016	1997	1997–2016	2016
ohne N-Düngung						
0,0* K	63,8	43,6	30,8	17,6	8,0	5,5
0,7*Entzug	61,9	80,3	104,8	19,2	15,9	15,8
1,0*Entzug	63,4	81,0	102,1	22,3	19,6	18,4
1,3*Entzug	67,8	85,9	110,1	23,4	22,7	22,1
mit N-Düngung						
0,7*Entzug	107,6	115,1	126,9	19,7	16,8	17,1
1,0*Entzug	112,9	121,4	135,6	26,9	21,4	19,6
1,3*Entzug	103,3	122,3	139,5	27,4	24,4	24,0

Infolge der höheren als zu Versuchsbeginn geplanten Erträge ist die K-Bilanz in allen Varianten negativ (Tabelle 3). Aus diesem Grunde wurde 2009 und 2017 eine Anpassung der Kaliummenge an die höheren Erträge vorgenommen. Trotz dieser negativen K-Bilanz ging nur in den nicht mit Kalium versorgten Parzellen der K-Gehalt im Boden von 12,6 mg auf 7,5 mg/100 g Boden und damit in die Gehaltsklasse B (7–10 mg/100 g Boden) zurück. Dieser eindeutige Zusammenhang zwischen K-Bilanz und Bodengehalt lässt sich aber nicht immer feststellen. So konnte bei den Varianten mit 0,7\*E bzw. 1,0\*E auch bei negativer K-Bilanz keine deutliche Veränderung der Gehalte im Boden festgestellt werden. Nur bei den höher gedüngten Varianten (1,3\*E) stieg trotz negativer K-Bilanz der Bodengehalt von 13,6 auf 29,9 mg/100 g Boden bei den Prüfgliedern ohne N sowie von 8,9 auf 20,3 mg/100 g Boden bei den mit 150 kg N/ha gedüngten an.

Dieser Anstieg ist aber nicht statistisch gesichert und schwankt zwischen den einzelnen Jahren teilweise sehr stark, was auch aus den Ergebnissen der Regressionsberechnungen sichtbar wird.

Die in diesen Untersuchungen ermittelten K-Bilanzen allein erlauben auf dem vorliegenden grundwassernahen Niedermoorstandort keine zuverlässigen Rückschlüsse auf Veränderungen im Gehalt des Bodens an Kalium sowie auch auf die realisierbaren Erträge. Die Ergebnisse weisen auf eine schwierige Beurteilung der K-Dynamik auf Niedermoorgrünland hin. Die Bodenuntersuchungswerte unterliegen dabei deutlichen jährlichen Schwankungen, die sich nicht mit K-Bilanzen erklären lassen (Abbildung 1). Dies wird insbesondere bei der über dem Entzug gedüngten Variante deutlich.

Tabelle 3: K-Bilanz und K-Gehalt des Bodens im Versuchszeitraum von 1997 bis 2016

Variante	K-Bilanz (kg/ha/a)	K-Gehalt im Boden mg K/100 g			Regression Jahre/Bodengehalt	
		1997	1997–2016	2016	Koeffizient	Bestimmtheitsmaß
ohne N-Düngung						
0,0* K	-35,0	12,6	7,8	7,5	-0,22	0,37
0,7*Entzug	-27,8	8,2	9,1	10,7	-0,09	0,05
1,0*Entzug	-16,8	12,0	12,8	15,6	-0,16	0,08
1,3*Entzug	-10,4	13,6	18,2	29,9	0,23	0,04
mit N-Düngung						
0,7*Entzug	-40,3	8,1	6,7	9,3	0,01	0,00
1,0*Entzug	-41,3	10,3	9,8	11,0	-0,04	0,01
1,3*Entzug	-15,3	8,9	13,3	20,3	0,04	0,00

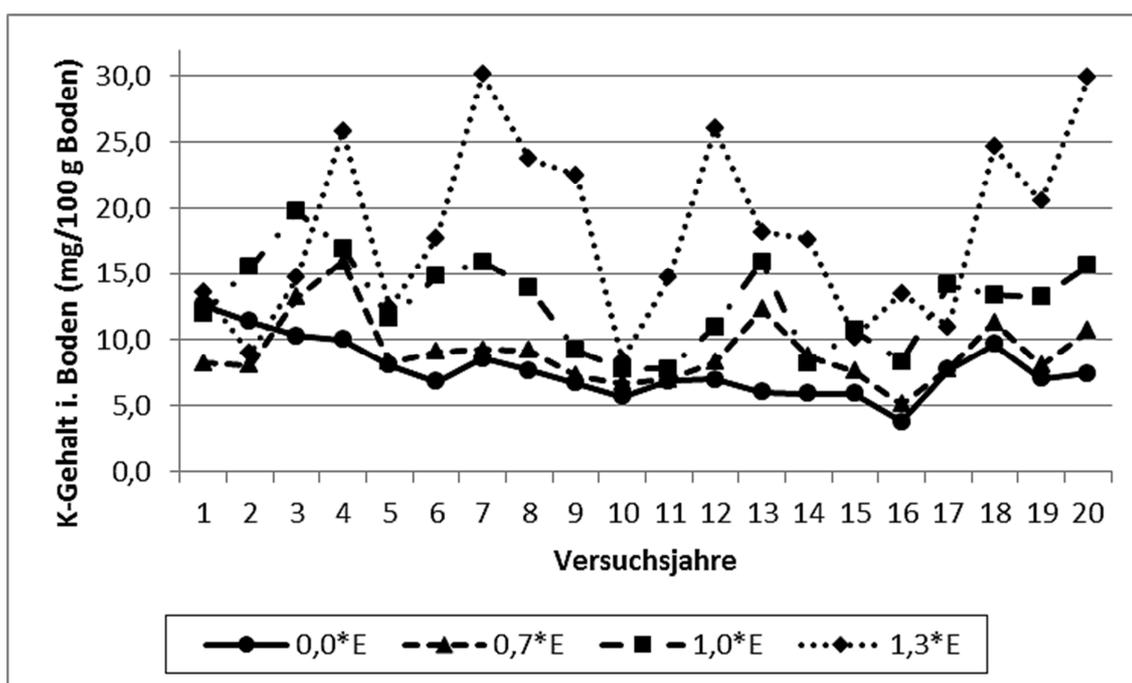


Abbildung 1: Entwicklung des Kaliumgehaltes im Boden in Abhängigkeit von der K-Düngung bei der Variante ohne Stickstoffdüngung

Im P-Versuch (Tabelle 4) sind die Ertragsdifferenzen zwischen den Prüfgliedern auf gleicher N-Stufe im Bereich der Entzugsdüngung von 0,5\*E bis 1,5\*E statistisch nicht gesichert. In den 20 Versuchsjahren gab es in der Variante mit Stickstoffdüngung nur 1998 eine Ausnahme. Im 2. Versuchsjahr war der Ertrag des entzugsgerecht gedüngten Prüfgliedes (1,0\*E) sogar signifikant niedriger als im Prüfglied 0,5\*E, was gelegentlich einer größeren Versuchsstreuung bei Versuchen auf Niedermoorstandorten geschuldet ist. In dem Teilversuch ohne N-Düngung waren die Erträge bei Verzicht auf die P-Düngung im Durchschnitt geringer, aber nur in den Jahren 2013 und 2014 konnten die Unterschiede statistisch abgesichert werden.

In dem Teilversuch mit einer N-Düngung von 150 kg/ha sind infolge des höheren Entzuges die Ertragsdifferenzen bei Verzicht auf Phosphor schneller und deutlicher eingetreten. Hier sind die Ertragsunterschiede in einzelnen Versuchsjahren (2001, 2004, 2005, 2007) und ab 2009 dauerhaft signifikant niedriger.

Der P-Gehalt im Pflanzenmaterial als gewogenes Mittel für den Gesamtertrag liegt bei der entzugsgerechten Düngung über die 20 Versuchsjahre im Bereich um die 3 g/kg TM. Damit wurde zwar eine leicht negative P-Bilanz realisiert (Tabelle 5), die Bodengehalte blieben mit jährlichen Schwankungen aber in der Gehaltsklasse C (5,8–8,0 mg/100 g Boden). In einzelnen Jahren wurde trotz negativer P-Bilanz sogar die Klasse D erreicht.

Bei der reduzierten P-Düngung (0,5\*E) liegen die P-Gehalte im Pflanzenmaterial im Bereich zwischen 2,3–2,9 g/kg TM. Bei solchen Werten ist noch nicht mit einem signifikanten Ertragsrückgang zu rechnen, die P-Bilanz ist aber mit -13,7 und -14,8 kg/ha/Jahr schon deutlich negativer. Das spiegelt sich auch in den Bodenwerten im unteren Bereich der Klasse C bzw. teilweise schon in der B wider. Pflanzengehalte von unter 2 g P/kg TM, wie sie sich nach mehreren Jahren des Verzichtes auf die Phosphordüngung einstellen, gehen immer mit einem gesicherten Ertragsrückgang einher. Dabei reduzieren sich die P-Bodengehalte schon deutlich und das Bestimmtheitsmaß der linearen Regressionsanalyse erreicht hier Werte von 0,46 bzw. 0,70.

Tabelle 4: Trockenmasseertrag und mittlerer Phosphorgehalt im Versuchszeitraum von 1997 bis 2016

Variante	TM-Ertrag (dt/ha)			Phosphorgehalt in der Pflanze (g/kg TM)		
	1997	1997–2016	2016	1997	1997–2016	2016
ohne N-Düngung						
0,0*P	67,0	78,3	88,9	3,6	2,6	2,2
0,5*Entzug	59,7	82,6	94,1	3,5	2,9	2,3
1,0*Entzug	62,8	80,3	95,2	3,3	3,2	3,2
1,5*Entzug	57,3	82,7	98,5	3,3	3,4	3,4
mit N-Düngung						
0,0*P	109,6	95,5	99,5	3,2	2,0	1,7
0,5*Entzug	106,0	115,7	125,4	3,2	2,7	2,3
1,0*Entzug	98,9	116,6	134,3	3,5	3,2	3,0
1,5*Entzug	105,8	119,9	133,1	3,6	3,7	3,7

Tabelle 5: P-Bilanz und P-Gehalt des Bodens im Versuchszeitraum von 1997 bis 2016

Variante	P-Bilanz (kg/ha*a)	P-Gehalt im Boden mg P/100 g			Regression Jahre/Bodengehalt	
		1997	1997–2016	2016	Koeffizient	Bestimmtheitsmaß
ohne N-Düngung						
0,0* P	-20,3	9,4	6,8	4,9	-0,21	0,70
0,5*Entzug	-13,7	8,3	7,9	5,5	-0,21	0,46
1,0*Entzug	-6,0	7,6	11,7	10,1	-0,03	0,01
1,5*Entzug	1,8	9,7	14,7	16,5	0,16	0,10
mit N-Düngung						
0,0*P	-19,2	7,3	5,4	5,0	-0,09	0,46
0,5*Entzug	-14,8	7,3	7,4	5,5	-0,16	0,38
1,0*Entzug	-5,8	6,9	10,2	7,8	-0,02	0,00
1,5*Entzug	3,9	8,6	15,9	21,7	0,40	0,37

Sehr deutlich sind die Ergebnisse bei dem Prüfglied mit erhöhter P-Düngung (1,5\*E). Trotz der höheren Phosphordüngung konnte in allen Jahren kein statistisch gesicherter Mehrertrag gegenüber der entzugsgerechten Düngung realisiert werden.

Diese höheren P-Gaben gehen einher mit einer Steigerung der P-Gehalte in dem Pflanzenmaterial auf über 3,5 g/kg TM und einer Erhöhung des Bodengehaltes an Phosphor bis in die Gehaltsklasse D.

Bei Gehalten von deutlich über 15 g und teilweise sogar über 20 g P/100 g Boden kann zeitweise auf eine Phosphordüngung verzichtet werden.

Grundsätzlich ist aber festzustellen, dass der P-Gehaltswert des Bodens in den einzelnen Jahren sehr stark schwankt, und nicht immer kann ein eindeutiger Zusammenhang zu den hier aufgezeigten Parametern (Ertrag, P-Gehalt im Pflanzenmaterial und im Boden sowie P-Bilanz) hergestellt werden (Abbildung 2). Das zeigen auch die Ergebnisse der Regressionsanalyse mit teilweise nur sehr geringen Bestimmtheitsmaßen.

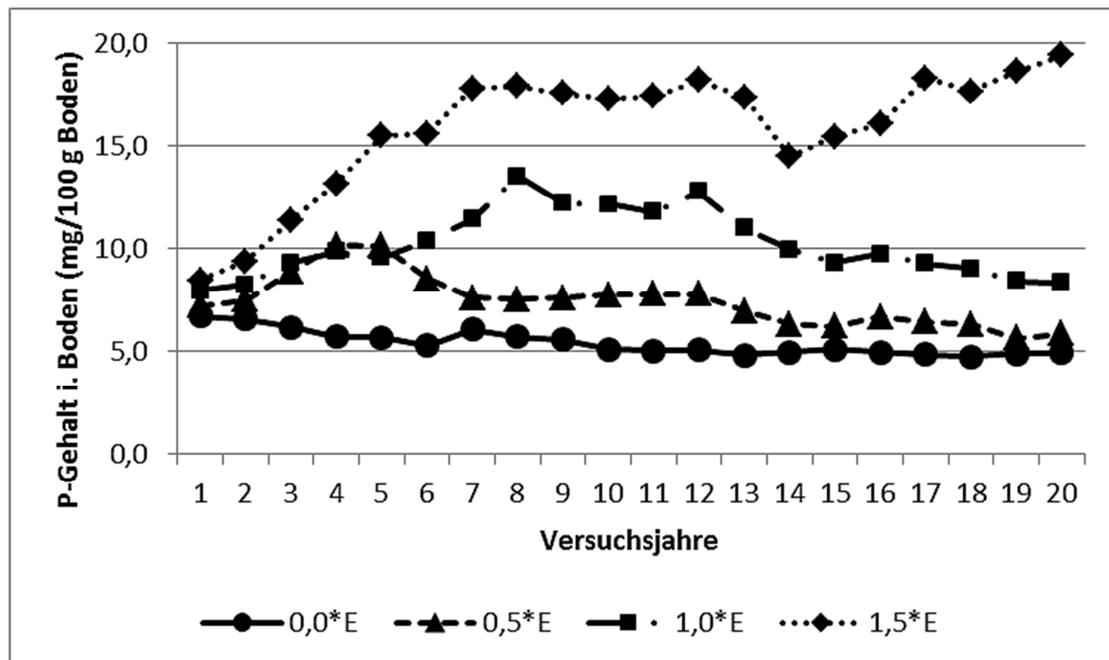


Abbildung 2: Entwicklung des Phosphorgehaltes im Boden in Abhängigkeit von der P-Düngung bei der Variante mit Stickstoffdüngung

Der Nährstoffgehalt an Phosphor und Kalium in der Futtertrockenmasse vom Grünland hängt von der Düngung, dem Versorgungsgrad des Bodens, der Bestandeszusammensetzung und dem Erntetermin ab. Letzterer spielt vor allem beim 1. Aufwuchs eine Rolle, der in Abhängigkeit von den Wachstumsbedingungen und den Anforderungen an den Futterwert in einer großen Spanne erfolgen kann. Dabei hat sich der Erntetermin auch nach der Zusammensetzung des Bestandes und seiner physiologischen Entwicklung zu richten. Unter Beachtung dieser Bedingungen lassen sich aus den in Paulinenaue vorliegenden Versuchen für das Niedermoor und weitere grundwasserbeeinflusste Standorte Spannen ableiten, die für eine ausgewogene Versorgung der Gras dominierten Pflanzenbestände mit Phosphor und Kalium gelten (Tabelle 6).

Tabelle 6: Pflanzenbaulich optimaler Versorgungsgrad mit Phosphor und Kalium von grasbetonten Grünlandbeständen für die Futternutzung

Aufwuchs	Ernte	Nährstoffgehalt (g/kg TM)	
		Phosphor	Kalium
1.	Früh (Anfang Mai)	3,0–3,5	25–30
	Mittel (Mitte–Ende Mai)	2,8–3,3	22–28
	Spät (Anfang Juni)	2,5–3,0	17–25
2.	28–49 Tage <sup>1)</sup>	2,5–3,5	15–25
3.	32–42 Tage <sup>1)</sup>	3,0–3,5	15–25
4.	35–42 Tage <sup>1)</sup>	3,0–3,5	15–25
5.	> 30 Tage <sup>1)</sup>	3,0–3,5	15–25

<sup>1)</sup>Wachstumstage nach letztem Schnitt

### Schlussfolgerungen

Auf Niedermoorgrünland sichert eine Entzugsdüngung, die sich an dem erwarteten Jahresertrag und einem Gehalt von 3 g P/kg TM sowie 20 g K/kg TM in der Pflanze orientiert, standorttypische Erträge. Die Über- bzw. Unterversorgung in den untersuchten Bereichen hat in 20 Versuchsjahren keine signifikanten Veränderungen des Ertrages bewirkt. Die Unterlassung der K-Düngung führt dagegen stets zu einem kontinuierlichen Ertragsrückgang. Die Dynamik hängt vom Ausgangswert des K-Gehaltes im Boden ab. Das gilt prinzipiell auch für die P-Düngung. Allerdings spielt sich der Ertragsrückgang wegen der gegenüber Kalium geringeren Aufnahme in größeren Zeiträumen ab und konnte bei diesen Untersuchungen bei der Variante mit N-Düngung erst nach 13 Jahren dauerhaft signifikant festgestellt werden.

Extreme Mangelbereiche für den K-Gehalt in der Pflanzenmasse sind durch Gehalte von weniger als 10 g/kg TM gekennzeichnet. Gedüngte Bestände sollten im Mittel der Aufwüchse mindestens 20 g/kg TM aufweisen. Werden sehr hohe Erträge erwartet und im Frühjahr eine einmalige K-Gabe von mehr als 250 kg/ha verabreicht, reagiert der Pflanzenbestand mit Luxuskonsum an Kalium. Dieser lässt sich nur durch Teilung der Gabe vermeiden.

P-Gehalte, die unter 2,5 g/kg TM liegen, weisen auf Mängel in der Nährstoffversorgung hin. Fällt der Gehaltswert sogar unter 2,0 g/kg TM liegt ein starker Mangel vor und es muss mit empfindlichen Ertragseinbußen gerechnet werden. Das kann durch Düngung auf der Grundlage eines Entzuges von 3 g P/kg TM verhindert werden.

Wenn in gedüngten, grasbetonten Grünlandaufwüchsen im gewogenen Jahresmittel ein P-Gehalt von 3,0 bis 3,5 g und ein K-Gehalt von 18 bis 25 g/kg TM ermittelt wird, liegt ein Versorgungsgrad mit Phosphor bzw. Kalium vor, der eine hohe Ausnutzung des Ertragspotenzials erwarten lässt und Luxuskonsum vermeidet.