

Versuchsbericht

Wirkung unterschiedlicher Phosphordünger auf Ertrag und Qualität von Dauergrünland



Impressum

Herausgeber: Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum
Naumburger Str. 98, 07743 Jena
Tel.: 0361 574041-000; Fax: 0361 574041-390
Mail: postmaster@tlllr.thueringen.de

Autor: Abteilung Landwirtschaftliche Erzeugung, Gartenbau und Bildung
Referat Pflanzenbau und Ökologischer Landbau
Tel.: 036258 557799; Fax: 036258 557040
Dorit Zopf

Bild: Maik Schwabe

April 2021

Copyright:

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks von Auszügen und der foto-mechanischen Wiedergabe sind dem Herausgeber vorbehalten.

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Material und Methoden	5
3	Witterung	6
4	Ergebnisse	7
5	Fazit	14
6	Abkürzungsverzeichnis.....	15
7	Quellenverzeichnis	16

1 Einleitung

Phosphor (P) stellt ein wichtiges Element des Zellstoff- bzw. Energiestoffwechsels aller Lebewesen dar. Es ist Bestandteil der Erbinformation und an vielen entscheidenden Prozessen der Organismen beteiligt. Phosphor ist als wesentlicher Boden-Grundnährstoff unerlässlich für das Pflanzenwachstum. Nährstoffmangel äußert sich zumeist durch eine Rotfärbung älterer Blätter, gleichzeitig kommt es zu vermindertem Wachstum und reduzierter Blüten bzw. Fruchtbildung. Deshalb werden organische bzw. mineralische Phosphor-Dünger zur Ertragssteigerung eingesetzt. Allerdings führen erhöhte P-Konzentration zur Gewässereutrophierung. Deshalb wird Phosphor in der Düngeverordnung 2017 und deren Ergänzung 2020, neben Stickstoff, eine besondere Bedeutung beigemessen. Bestandteil dieser Regelungen ist die Auflage, dass vor Ausbringung wesentlicher P-Mengen (30 kg P_2O_5 oder 13,1 kg P je Hektar und Jahr) eine Düngebedarfsermittlung je Schlag auf Grundlage Ertrag und P-Gehalt des Pflanzenbestandes sowie unter Berücksichtigung des P-Vorrats im Boden erfolgen muss. Bei Überschreitung vorgegebener Werte im Boden, darf nur noch höchstens bis in Höhe des voraussichtlichen Entzugs gedüngt werden.

Phosphor liegt im Boden meist in gebundener organischer und mineralischer Form vor. Dabei existieren leicht, zumeist wasserlösliche bis schwer lösliche Verbindungen. Bei mineralischen P-Düngemitteln wird der Grad der Pflanzenverfügbarkeit nach der Wasserlöslichkeit des Phosphors unterschieden. Hochaufgeschlossene P-Dünger zeigen eine schnelle Wirksamkeit im Gegensatz zu den kaum behandelten Rohphosphaten. Rohphosphat-Dünger werden daher eher als Langzeitdünger, auch im ökologischen Landbau, eingesetzt.

Derzeit werden auf dem Markt verschiedene, unterschiedlich stark aufgeschlossenen Rohphosphat-Dünger angeboten. Aufgrund der abweichenden Anteile an wasser- bzw. schwerlöslichen P sind auch unterschiedliche P-Düngewirkungen zu erwarten. Deshalb sollte die Wirkung ausgewählter P-haltiger Düngemittel auf Ertrag und Qualität von Dauergrünland untersucht werden.

Bei der P-Düngung ist außerdem zu beachten, dass P bei sehr niedrigen bzw. hohen pH-Werten im Boden zunehmend fixiert wird und damit kaum noch pflanzenverfügbar ist. Der optimale pH-Bereich für die Aufnahme von Phosphor bewegt sich zwischen pH 6,0 bis 7,5. Eine ausreichende Kalkversorgung bzw. hohe Anteile an Humus tragen zu einer effizienten Phosphorausnutzung bei.

2 Material und Methoden

Die Wirkung ausgewählter P-haltiger Düngemittel (Tab. 1) auf Ertrag und Qualität von Dauergrünland war Gegenstand der Untersuchungen.

Tabelle 1: Verwendete Rohphosphat-Dünger (lt. jeweiligem Datenblatt)

Var.	Bezeichnung	Charakteristik	Inhaltstoffe
2	NovaPhos 23	teilaufgeschlossenes Rohphosphat	23 % P ₂ O ₅ , davon 10 % wasserlöslich; 34 % CaO und 20 % Schwefel als SO ₃ (8 % S)
3	DOLOPHOS® 26	weicherdiges Rohphosphat	26 % P ₂ O ₅ ; 40 % CaO und 2 % MgO
4	DOLOPHOS® 6	kohlensaurer Magnesiumkalk mit Phosphat aus Verbrennung von Klärschlamm 70 + 6	6 % P ₂ O ₅ , 3,2 % in 2%-iger Zitronensäure löslich; 60 % CaCO ₃ 10 % MgCO ₃ (40 % basisch wirksame Bestandteile als CaO)

Die einfaktorielle Blockanlage mit 4 Wiederholungen am Standort Oberweißbach (Schieferschutt-Braunerde, Höhenlage: 680 m NHN; Jahresdurchschnittstemperatur: 6,4 °C; jährliche Niederschlagsmenge: 902 mm [30-jährige Mittel 1981 bis 2010, [DWD]]) umfasst neben den drei Düngungsvarianten (2, 3 und 4) noch die Variante ohne P-Zufuhr (1).

Aufgrund der unterschiedlichen Kalkgehalte in den verwendeten Düngern erfolgte für alle Varianten ein Kalkausgleich vor Versuchsbeginn mit kohlensaurem Magnesiumkalk (50/30).

Die P- und N-Bedarfsermittlung erfolgte nach den Vorgaben der Düngeverordnung. Die P-gedüngten Varianten erhielten in den ersten drei Versuchsjahren (2015 bis 2017) jährlich 35 kg P/ha. Aufgrund der Änderungen zur P-Bedarfsermittlung in der DüV2017 erfolgte ab dem vierten Versuchsjahr eine Anpassung der Düngermengen am tatsächlichen Entzug der Varianten über die Jahre. Die jährlich ermittelten Entzugswerte lagen ab 2019 unter den nach DüV2017 möglichen Düngermengen und sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Verabreichte Düngermengen 2015 bis 2020

Jahr	Phosphor				Kalium	Stickstoff
	1	2	3	4	alle Varianten	
	kg P/ha				kg K/ha	kg N/ha
2015	0	35	35	35	200	200
2016	0	35	35	35	200	160
2017	0	35	35	35	200	160
2018	0	27	27	27	200	160
2019	0	23	19	21	200	160
2020	0	21	17	18	200	160

Die Kalium- (40er Kali) und Stickstoffdüngung (KAS) war für alle Varianten identisch und am Entzug orientiert. Die vorgesehene 4-Schnittnutzung mit einem Einsatz von 200 kg N je ha erfolgte im ersten Jahr nur unter massiven Ertragseinbußen. In den Folgejahren konnten nur jeweils 3 Schnitte realisiert werden. Aufgrund dessen reduzierte sich der berechnete N-Einsatz in den Jahren 2016 und 2017 auf 160 kg N/ha. Die Darstellung der Ergebnisse der ersten Untersuchungsperiode 2015 bis 2017 erfolgte für drei Aufwüchse. Dazu wurden die letzten beiden Aufwüchse 2015 zusammengefasst (Zopf, 2018).

Aufgrund der massiven Trockenheit 2018 und 2019 konnten nur jeweils zwei statt der ab 2017 geplanten 3 Aufwüchse jährlich realisiert werden. Der nach DüV2017 ermittelte N-Bedarf entsprach der bereits ab 2016 ausgebrachten Menge von 160 kg N/ha.

Bodenprobenergebnisse (pH, P, K, Mg) wurden zu Versuchsbeginn und jeweils am Ende der 1. und 2. Versuchsperiode (Herbst) ermittelt.

Die Ertragsfeststellung erfolgte mittels Probemahd mit dem Futterernter „Haldrup 55“. Der paarweise Vergleich nach Tukey (Irrtumswahrscheinlichkeit $P = 5\%$) kam für die statistische Auswertung der Erträge zum Einsatz.

Mittels VDLUFA-Standardmethoden erfolgte die Untersuchung der Ernteproben im Labor auf Inhaltsstoffe (TS, Rfa, RP, Ra, ELOS) und Mengen- und Spurenelemente (P, K, Ca, Mg, S, Cl, Na, Mn, Fe, Cu, Zn).

Der Pflanzenbestand wurde per Ertragsanteilschätzung nach KLAPP-STÄHLIN (1936) alle zwei Jahre aufgenommen.

3 Witterung

Wie Abbildung 1 zeigt, lagen die durchschnittlichen monatlichen Temperaturen im 6-jährigen Betrachtungszeitraum oberhalb des 30-jährigen Mittel von 1981 bis 2010. Die Spanne betrug +0,4 K im Mai bis +2,8 K im Dezember. Deutlich zu warm zeigten sich neben Dezember die Monate August und Juni (+2,2 bzw. +2,0 K). Weitere 6 Monate waren mit positiven Abweichungen von +1,3 bis +1,7 K vertreten. Nur 3 Monate (Mai, Oktober, März) wiesen positive Abweichungen unter +1,0 K auf. Für alle 6 Jahre lagen deutlich höhere Durchschnittstemperaturen pro Jahr vor. Die Abweichungen vom 30-jährigen Mittel betrugen zwischen +0,9 K bis +2,0 K.

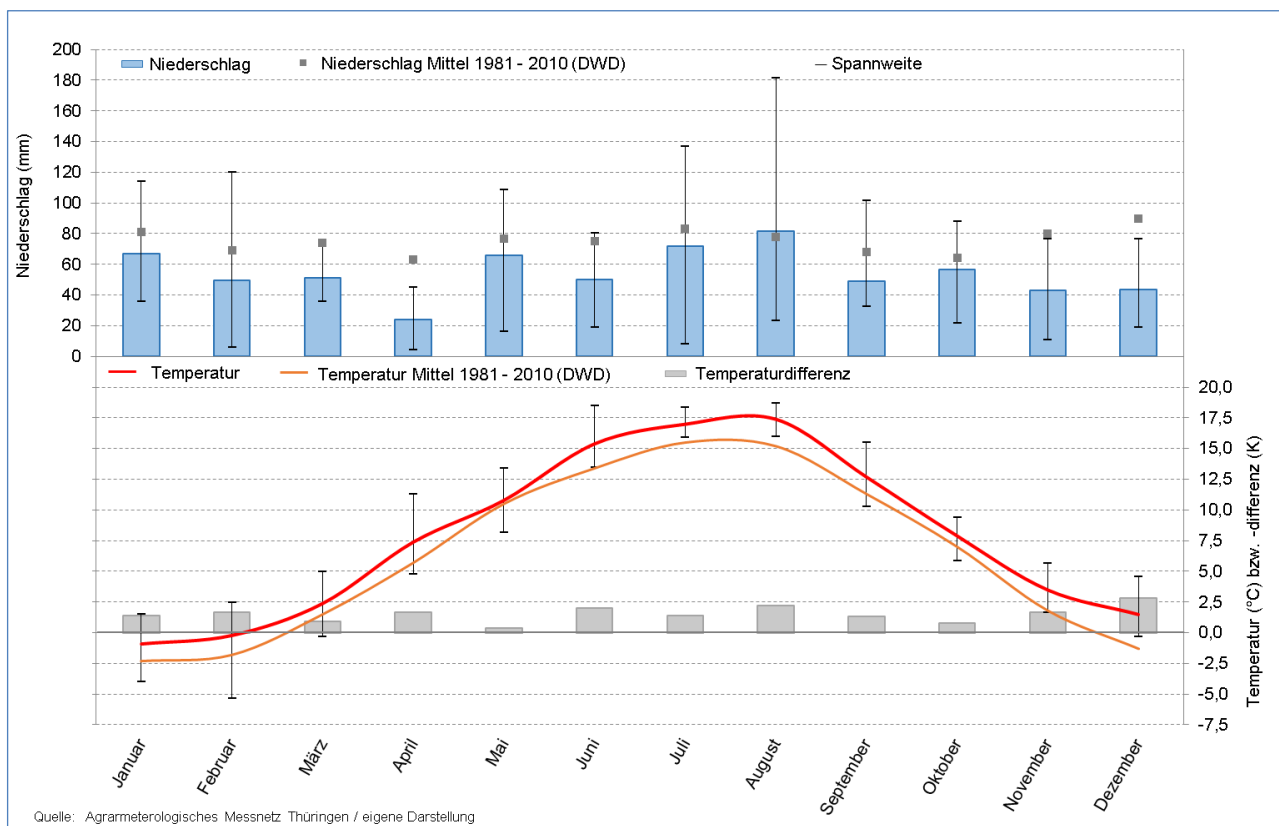


Abbildung 1: Durchschnittliche monatliche Temperatur- und Niederschlagsverteilung am Standort Oberweißbach, 2015 bis 2020 im Vergleich zum langjährigen Mittel

Die Wintermonate einschließlich November zeigten sich in den meisten Jahren deutlich zu warm. So konnten für Januar nur zweimal, für Februar und November nur einmal und Dezember kein Jahr mit monatlichen Durchschnittstemperaturen unter dem langjährigen Mittel registriert werden. Auch die Sommermonate Juni bis August, mit maximalen Monatsmitteln über 18 °C, lagen in allen sechs Jahren oberhalb der langjährigen Temperaturwerte.

Die restlichen Vegetationsmonate schwankten um den langjährigen Erwartungswert. Jedoch lag nur der Monat Mai im Durchschnitt des Betrachtungszeitraumes in diesem Bereich. Im Mittel der Jahre 2015 bis 2017 zeigten sich auch die Monate April und Oktober normaltemperiert, aber vor allem der April war seit 2018 deutlich zu warm und zu trocken. Besonders in den Jahren 2018 (+5,6 K) und 2020 (+3,2 K) kamen massive Niederschlagsdefizite (19 % bzw. 7 % des 30-jährigen Mittels) hinzu. Insgesamt wurde im April, wie auch im Dezember, selbst mit der jeweils maximalen Niederschlagsmenge im Versuchszeitraum das 30-jährige Mittel nie erreicht. Auch die Monate November, März und Juni lagen bei den maximal realisierten Regenmengen nur einmal in sechs Jahren um den langjährigen Wert. Damit wiesen 5 von 12 Monaten im Betrachtungszeitraum permanent Niederschlagsdefizite auf. Die Bodenvorräte an Wasser wurden im Winter zumeist nicht vollständig aufgefüllt und gerade zu Vegetationsbeginn zeigte sich Wasserknappheit. Die Pflanzenbestände gerieten bereits im Frühjahr, besonders in Verbindung mit hohen Temperaturen, unter Stressbedingungen und die mögliche Aufwuchsleistung wurde dadurch negativ beeinflusst.

Insgesamt erreichte nur der Monat August im Mittel des Betrachtungszeitraumes den 30-jährigen Erwartungswert. Es folgten die Monate Januar, Mai, Juli sowie Oktober mit Werten zwischen 83 bis 88 % des langjährigen Monatsmittelwertes. Die größte Spannweite (158 mm) in der Niederschlagsmenge zeigte der Monat August gefolgt von Juli (129 mm) und Februar (114 mm). Daraus resultierte auch die unterschiedliche Verteilung des Regens für den Monat Juli in den beiden 3-jährigen Beobachtungszeiträumen, so lag von 2015 bis 2017 selbst die niedrigste Regenmenge immer über dem langjährigen Mittel und von 2018 bis 2020 die höchste Menge immer darunter.

Sowohl die niedrigste (4,4 mm im April) als auch die höchste gefallene Niederschlagsmenge (181,8 mm im August) im Versuchszeitraum wurde im Jahr 2020 registriert.

Die Hauptwachstumsperiode von April bis einschließlich September zeigte sich nur 2017 normal versorgt, 2 Jahre wiesen 85 % der erwarteten Menge auf und die restlichen 3 Jahre (2015, 2018, 2019) lagen bei Werten von 60 bis 66 %. Die gesamte Niederschlagsmenge pro Jahr erreichte in keinem der Beobachtungsjahre das langjährige Mittel von 1981 bis 2010. Die Werte bewegten sich zwischen 61 % (2018) bis 84 % (2017).

Insgesamt zeigte sich der Versuchszeitraum 2015 bis 2020 zu warm und zu trocken.

4 Ergebnisse

Boden-Nährstoffgehalte

Der pH-Wert bewegte sich während der Versuchsperiode in der pH-Klasse C (Tab. 3). Dies lag für die Variante 1 nicht zuletzt am zu Versuchsbeginn verabreichten Kalkausgleich. Die P-gedüngten Varianten erhielten jährlich, je nach Düngerart, Kalzium in unterschiedlicher Menge. Für die beiden Rohphosphat-Varianten 2 und 3 reichte die zugeführte Menge an Kalzium zur Stabilisierung des Niveaus im unteren Bereich der pH-Klasse C aus. Nur die regelmäßige Zufuhr von kohlensaurem Magnesiumkalk mit Phosphat (Var. 4) wies einen Anstieg des pH-Wertes innerhalb der pH-Klasse C bis zur oberen Grenze auf und befand sich damit auch im Optimum (pH-Wert 5,5 bis 7,5; DLG 2020) für die P-Aufnahme aus dem Boden.

Der Phosphor-Gehalt im Boden zeigte zu Versuchsbeginn ein differenziertes Bild. Bereits zu diesem Zeitpunkt wies die Variante ohne P-Zufuhr (1) den niedrigsten Gehalt im Boden auf. Dieser sank im Lauf der Untersuchungsperiode, wie nicht anders zu erwarten, weiterhin ab. Auch die P-gedüngten Varianten zeigten bis zum Ende der ersten Versuchsperiode 2017 ein Absinken des P-Gehaltes im Boden. Es wurde vermutet, dass durch die Zufuhr von Rohphosphaten, welches kaum schnell lösliches

P liefert, zuerst die Vorräte in der Bodenlösung genutzt wurden und dies zum Absinken der Gehalte führte. Längerfristig sollte aber dieser Prozess gestoppt bzw. umgekehrt werden (Zopf, 2018). Zum Ende der Versuchsperiode 2020 zeigten alle drei mit Rohphosphat versorgten Varianten einen Anstieg der P-Gehalte im Boden, ohne jedoch den Ausgangswert zu erreichen. Da aber auch nur auf Entzug in der zweiten Versuchsperiode gedüngt wurde, konnte mit einem Anstieg über das Ausgangsniveau hinaus nicht gerechnet werden. Die Gehaltsklasse (GHK) B bleibt unverändert erhalten.

Tabelle 3: Entwicklung der Bodennährstoffgehalte

Variante	pH-Wert (CaCl ₂)		P-Gehalt (CAL)		K-Gehalt (CAL)		Mg-Gehalt (CaCl ₂)	
	pH-Klasse		mg/100 g Bo	GHK	mg/100 g Bo	GHK	mg/100 g Bo	GHK
zu Versuchsbeginn	5,6	C	3,8	B	3	A	22,2	E
zum Ende der ersten Versuchsperiode 2017								
1	5,8	C	2,1	A	5	B	30,2	E
2	5,7	C	2,8	B	5	B	30,7	E
3	5,8	C	2,9	B	6	B	33,7	E
4	6,1	C	2,6	B	5	B	39,3	E
zum Ende der zweiten Versuchsperiode 2020								
1	5,7	C	2,4	A	14	C	33,5	E
2	5,6	C	3,4	B	9	B	27,2	E
3	5,6	C	3,0	B	15	C	32,5	E
4	6,2	C	3,1	B	13	C	44,2	E

Die Höhe der Kaliumdüngung zeigte von Beginn an einen positiven Effekt auf den K-Gehalt im Boden. Die Gehalte stiegen von der GHK A bis in GHK C an. Da nur eine geringe Bodennachlieferung am Standort in anderen Versuchen auftrat und dann Kalium schnell zum ertragslimitierenden Faktor wurde, ist davon auszugehen, dass die ausgebrachte Düngermenge über dem tatsächlichen Entzug lag. Das bestätigt auch die Nährstoffbilanz (vgl. Tab. 9).

Die Mg-Gehalte bewegten sich im Versuchszeitraum in dem für mitteleuropäische Böden typischen Bereich zwischen 0,05 bis 0,5 % (Müller, 1980).

Trockenmasse-Ertrag

Das Trockenmasse-Ertragsniveau betrug im Mittel rund 61 dt/ha. Aufgrund der Witterung reduzierte sich das Ertragsniveau im Untersuchungszeitraum. Der hohe Einfluss der Jahreswitterung auf den Ertrag wird in den Einzelwerten in Tabelle 4 sehr deutlich. Trotz entzugsorientierter Düngung in allen Versuchsjahren wurde der Faktor Wasser im Zusammenhang mit hohen Durchschnittstemperaturen zum limitierenden Faktor für die Ertragsbildung. In den Jahren 2015 (63 %), 2018 (66 %) und besonders 2019 (60 %) fielen während der Vegetationsperiode im Bezug zum 30-jährigen Mittel deutlich unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen. Die beiden Jahren 2016 und 2017 wiesen Erträge aus, die das für den Standort zu erwartende Ertragspotential erkennen lassen.

Bis auf das Versuchsjahr 2020 unterschieden sich die Düngungs-Varianten nicht signifikant voneinander. 2020 traten erstmals nachweisbare Ertragsunterschiede zwischen den mit unterschiedlichen DOLOPHOS®-Formulierung gedüngten Varianten 3 und 4 auf. Diese beiden Prüfglieder stellten in der Regel auch in den anderen Versuchsjahren den minimalen bzw. maximalen Trockenmasse-Ertrag.

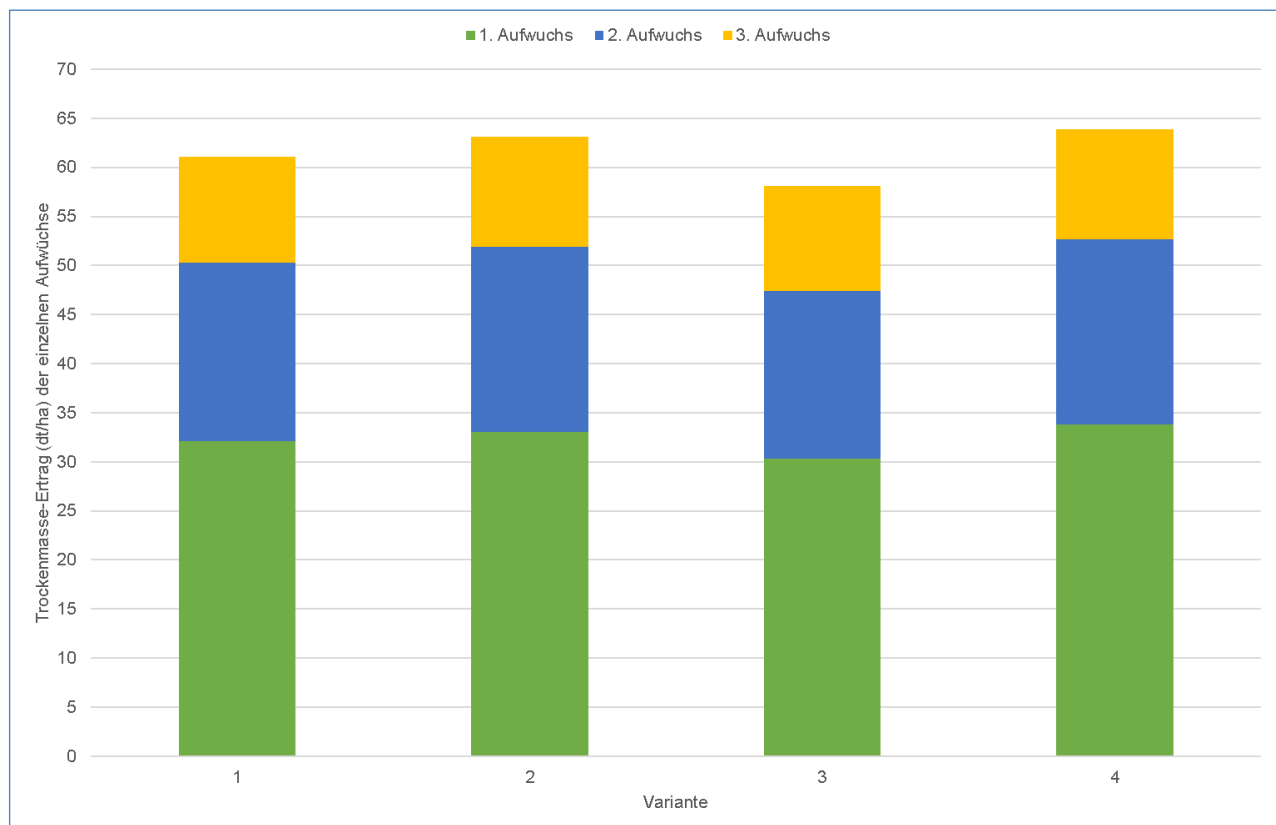
Im Mittel der Jahre wies die Variante 3 den niedrigsten Ertrag auf, gefolgt von der ohne P-gedüngten Variante 1 und dem mit NovaPhos 23 versorgten Prüfglied 2.

Tabelle 4: Trockenmasse-Jahresertrag (dt TM/ha)

Variante	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Mittel
	dt TM/ha						
1	57,4	77,0	76,0	53,6	45,6	57,1 ab	61,1
2	55,5	77,5	79,1	55,6	51,8	58,7 ab	63,0
3	55,8	72,1	73,9	49,4	42,9	54,0 b	58,0
4	54,1	80,8	80,5	53,7	47,4	66,2 a	63,8
GD _{Tukey}	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	11,3	n.s.

Von den hier untersuchten Düngern zeigten nur NovaPhos 23 und der kohlensaure Magnesiumkalk mit Phosphat aus der Verbrennung von Klärschlamm 70+6 (DOLOPHOS® 6) einen höheren Trockenmasse-Ertrag als die P-ungedüngte Variante.

Der Trockenmasse-Jahresertrag wurde zu 52 % vom ersten Aufwuchs gebildet (Abb. 2). Er belief sich bei allen Varianten im 6-jährigen Mittel auf Werte zwischen 30 bis 34 dt/ha TM. Die restlichen Anteile spalteten sich zwischen zweitem und dritten Aufwuchs im Verhältnis 30 % zu 18 % auf. Die Ertragshöhe lag im 6-jährigen Mittel im zweiten Aufwuchs bei 17 bis 19 dt/ha TM und im dritten um 11 dt/ha TM.

**Abbildung 2:** Aufteilung des Trockenmasse-Jahresertrags (dt/ha) auf die einzelnen Aufwüchse (6-jährige Versuchsperiode)

Aus diesen Werten wird auch nochmal ersichtlich wie entscheidend die Niederschlagsversorgung von Vegetationsbeginn bis zum ersten Schnitt für die Höhe des zu erwartenden Jahresertrages ist. Gerade die Frühjahrestrockenheit in der zweiten Untersuchungsperiode erklärt auch die niedrigen Jahreserträge 2018 bis 2020. Wenn dann die restlichen Vegetationsmonate ebenfalls nicht ausreichend mit Regen versorgt werden, kann sich der Pflanzenbestand nicht ausreichend regenerieren und reagiert mit weiteren Ertragsausfällen anstatt den Ertragsausfall vom ersten Aufwuchs teilweise zu kompensieren.

Futter-Qualität

Die wertgebenden Inhaltsstoffe des Erntegutes zeigten bei gleichem Nutzungstermin, wie zu erwarten, nur geringfügige Unterschiede zwischen den Varianten (Tab. 5). Der mittlere Rohproteingehalt (RP) lag im 6-jährigen Versuchszeitraum in allen 3 Aufwüchsen zwischen 12,3 und 14,7 % i.d.TM. Die RP-Gehalte bewegten sich zwischen 9,6 bis 16,0 % i.d.TM. In der Milchkuhfütterung wird ein Gehalt von 16 bis 18 % RP i.d.TM angestrebt.

Die mittleren Rohfasergehalte (RFa) im 1. Aufwuchs lagen mit 26 bis 27 % an der oberen Grenze des optimalen Nutzungsbereiches von 24 bis 28 %. Die Folgeaufwüchse trafen diesen Bereich mit RFa-Gehalten um 24 % perfekt. Daraus ergaben sich etwas höhere Energiegehalte bzw. Verdaulichkeit der zweiten und dritten Aufwüchse. Insgesamt wies das Futter hohe Energiegehalte für alle Varianten über 6 MJ NEL/kg TM auf. Die Verdaulichkeit der organischen Substanz (ELOS) bewegte sich um 70 %.

Die beiden Versuchsperioden unterschieden sich in den wertgebenden Inhaltsstoffen nur marginal voneinander trotz der verschiedenen Witterungsbedingungen.

Tabelle 5: Qualitätsparameter des Frischfutters (6-jähriges Versuchsmittel)

Variante	RP	RFa % i.d. TM	ELOS	NEL ¹⁾ MJ/kg TM
1. Aufwuchs				
1	12,6	26,1	69,0	6,22
2	12,7	26,4	68,1	6,07
3	12,5	26,2	67,0	6,06
4	12,4	26,9	67,7	6,09
2. Aufwuchs				
1	12,4	24,2	69,2	6,42
2	12,3	24,3	72,2	6,62
3	12,5	24,2	71,8	6,57
4	12,3	24,6	71,9	6,54
3. Aufwuchs				
1	14,2	23,8	72,1	6,58
2	14,7	24,1	72,6	6,65
3	13,9	24,1	72,2	6,61
4	14,1	23,6	72,3	6,53

¹⁾ „ELOS-Formel“ GfE 2008

Tabelle 6: Phosphorgehalt (g P/kg TM) in der Pflanze

	1. Aufwuchs				2. Aufwuchs				3. Aufwuchs ¹⁾			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
2015	2,9	3,0	2,8	2,7	2,7	2,7	2,8	2,6	2,8	2,9	2,6	2,8
2016	2,7	3,3	2,8	2,9	3,4	3,8	3,2	3,3	3,8	4,2	3,6	3,9
2017	2,8	3,2	2,9	2,8	2,8	3,2	2,8	2,8	3,5	3,9	3,6	3,5
2018	2,3	2,8	2,5	2,3	2,6	3,0	2,6	2,3				
2019	2,2	2,7	2,6	2,5	2,0	2,2	2,1	1,8				
2020	2,1	2,5	2,4	2,2	1,9	2,3	2,1	1,9	2,6	2,7	2,7	2,6
Mittel	2,5	2,9	2,7	2,6	2,6	2,9	2,6	2,5				

¹⁾ 2018 und 2019 kein 3. Aufwuchs, deshalb kein 6-jähriges Versuchsmittel

Die mit NovaPhos 23 gedüngte Variante (2) wies in allen Untersuchungsperioden und in allen Aufwüchsen, mit Ausnahme des 2. Aufwuchses 2015 und 3. Aufwuchs 2020, den jeweils höchsten P-Gehalt auf (Tab. 6). Die anderen Düngungsvarianten (3, 4) lagen 0,1 bis 0,7 g P/kg TM niedriger und damit auf dem Niveau der ungedüngten Variante. Der P-Gehalt der ungedüngten Variante sank von 2015 bis 2020 stärker als bei den gedüngten Varianten. Die P-Gehalte in der Pflanze fielen aufgrund der Trockenheit in der zweiten Versuchsperiode insgesamt niedriger aus als in der ersten Versuchsperiode. Der für die Milchviehfütterung angestrebte Wert von über 3 g P/kg TM (Tab. 8) wurde 2018 bis 2020 nicht mehr erreicht. Im 6-jährigen Mittel wies nur die mit NovaPhos 23 gedüngte Variante (2) annähernd diesen Gehalt in den ersten beiden Aufwüchsen auf.

Die anderen untersuchten Mengen- und Spurenelemente zeigten bis auf Natrium und Mangan keine eindeutige Differenzierung zwischen den Varianten, sondern eher unterschiedliche Konzentrationen in den Aufwüchsen (Tab. 7). Die jeweils niedrigsten Gehalte in allen Aufwüchsen waren bei Variante 3 für Natrium und Variante 4 bei Mangan zu verzeichnen. Sonst stieg zumeist der Gehalt des jeweiligen Elements mit fortschreitender Nutzung an. Nur Chlor und Kalium wiesen gegenläufige Tendenzen auf. Besonders bei letzterem wurde der direkte Einfluss der Düngung auf den K-Gehalt in der Pflanze deutlich. In allen 3 Aufwüchsen lag der Gehalt oberhalb der aus Sicht der Fütterung optimalen Grenze von 10 g K/kg TM. Allerdings erreichte nur der 1. Aufwuchs den aus pflanzenphysiologischer Sicht optimalen Gehalt von 20 g K/kg TM. Die in Tabelle 8 aufgeführten Bedarfswerte wurden für Kupfer und Zink nie erreicht, dagegen die für Kalium, Magnesium, Eisen und besonders Chlor von Beginn an deutlich überschritten. Alle anderen Mengen- und Spurenelemente (Kalzium, Schwefel, Natrium) lagen zumindest im 1. Aufwuchs im Bereich der angestrebten Bedarfswerte. Bis auf Schwefel überstiegen sie diese in den Folgeaufwüchsen.

Tabelle 7: Ausgewählte Mineralstoffgehalte in der Pflanze (6-jähriges Versuchsmittel)

Var.	K	Ca	Mg	S	Cl	Na	Mn	Fe	Cu	Zn
	g/kg TM					mg/kg TM				
1. Aufwuchs										
1	24,0	5,1	2,6	1,9	16,2	1430	51	107	6,2	24,9
2	24,0	5,5	2,7	2,0	15,8	1499	55	87	6,1	27,7
3	25,0	5,0	2,7	2,0	15,8	1166	58	86	6,4	28,2
4	24,9	5,0	2,7	2,0	16,4	1366	39	103	6,3	25,1
2. Aufwuchs										
1	18,7	8,5	4,3	2,1	16,0	2272	75	161	7,1	27,5
2	18,8	8,4	4,0	2,4	15,7	2386	71	120	6,8	28,9
3	20,4	7,9	3,9	2,2	16,4	2076	85	135	7,0	28,7
4	18,8	7,7	4,0	2,2	16,5	2486	49	142	7,1	25,4
3. Aufwuchs										
1	15,2	9,6	5,1	2,4	13,9	3619	77	228	8,7	30,8
2	15,4	10,0	5,1	2,9	13,6	3303	73	160	8,8	33,6
3	16,9	9,2	5,0	2,4	14,0	2931	76	185	8,4	30,9
4	15,5	9,6	5,2	2,4	14,0	3475	61	173	8,6	28,3

Tabelle 8: Bedarf an Mengen- und Spurenelemente in der Milchkuhfütterung (LfL, 2021)

P	K	Ca	Mg	S	Cl	Na	Mn	Fe	Cu	Zn
g/kg TM						mg/kg TM				
3,3	11	5,4	1,5	2,0	3,3	1400	50	50	10	50

Erforderliche Konzentration der Elemente P, K, Ca, S, Cl und Na in der Gesamtration bei 25 kg Milch/Tag

Richtwerte zum Spurenelementbedarf (Mn, Fe, Cu, Zn) für Milchkühe (GfE) mg/kg Futtermittel TM

Nährstoffbilanz

Trotz der Reduzierung der Stickstoffmenge ab dem 2. Versuchsjahr kam es zu einer positiven N-Bilanz über die Versuchsperiode (Tab. 9). Dies ist dem trockenen 2. Versuchszeitraum geschuldet, in der jährlich aufgrund der geringen Aufwuchsmengen nur ca. 100 kg N/ha verarbeitet wurden.

Tabelle 9: Nährstoffbilanz der einzelnen Versuchsvarianten (6-jähriges Versuchsmittel)

Variante	Düngung (kg/ha)			Entzug (kg/ha)			Bilanz (kg/ha)		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
1	167	0	200	125,3	16,3	127,6	41,6	-16,3	72,5
2	167	29	200	130,4	19,2	132,0	36,6	10,2	68,0
3	167	28	200	118,4	16,0	128,4	48,3	12,2	71,6
4	167	29	200	129,2	17,1	136,9	37,5	11,8	63,1

Auch bei Kalium zeigten sich aufgrund der trockenen Bedingungen 2018 – 2020 nur Entzüge von ca. 120 kg K/ha gegenüber ca. 145 kg K/ha 2015 bis 2018. Damit wiesen alle sechs Untersuchungsjahre eine positive K-Bilanz auf. Dieser Überschuss an Kalium spiegelte sich auch im Anstieg der Bodengehalte wider.

Natürlich sanken auch die P-Entzüge im Zeitraum 2018 bis 2020 auf ca. 13 kg P/ha gegenüber 21 kg P/ha in der ersten Untersuchungsperiode. Insgesamt bewegten sich aber die Bilanzen bei den mit P-gedüngten Varianten über die gesamte Beobachtungsperiode auf vergleichbarem Niveau. Im Zeitraum 2015 bis 2017 sorgten die hohen Erträge und die damit verbundenen Entzüge für Bilanzen zwischen 11 bis 15 kg P/ha und diese blieben im Zeitraum 2018 bis 2020 trotz niedriger Erträge aber aufgrund der entzugsorientierten P-Düngung (Tab. 2) im vergleichbaren Bereich von 10 bis 12 kg Phosphor je ha. Nur die ungedüngte Variante zeigte erwartungsgemäß über den gesamten Untersuchungszyklus negative Bilanzen.

Die Entzug- bzw. Bilanzunterschiede zwischen den Varianten spiegeln sich eher in den geringen Ertragsunterschieden als in den jeweiligen Gehalten in der Pflanze wider.

Zusammensetzung Pflanzenbestand

Es existierten nach 6-jährigem Versuchszeitraum nur marginale Unterschiede zwischen den Varianten (Tab. 10).

Der Grünlandbestand wies zu Beginn des Versuches ein gutes Verhältnis zwischen Gräsern (73 %) und Kräutern (23 %) sowie Leguminosen auf. Die Anteile der Gräser waren stabil und die Kräuter gewannen geringfügige Anteile zu Lasten der Leguminosen über den gesamten Versuchszeitraum. Allerdings gab es innerhalb der Gruppen leichte Verschiebungen der Ertragsanteile der einzelnen Arten.

In der Gruppe der Gräser waren 5 von 13 Grasarten dominant. Der Anteil des Deutschen Weidelgras erwies sich über den Zeitraum am stabilsten. Nur die Variante 2 (NovaPhos 23) zeigte auch bei Goldhafer unveränderte Anteile. Bei den anderen Varianten wurden sowohl Goldhafer als auch Glatthafer und Knaulgras zugunsten der Wiesenrispe leicht zurückgedrängt. Daneben traten weitere vier wertvolle Arten mit deutlichen Ertragsanteilen auf, wie z.B. Wiesenschwingel und Wiesenlieschgras. Minderwertige Grasarten, wie Quecke oder Wolliges Honiggras kamen nur sehr vereinzelt vor.

Bei den Kräutern (19 Arten) waren ebenfalls nur wenige Arten bei allen Varianten bestandsbestimmend. Allen voran Löwenzahn, gefolgt von Schafgarbe, Bärenklau, Wiesen-Sauerampfer, Spitzwegerich und Frauenmantel. Die restlichen Arten fanden sich zumeist nur in geringen Anteilen wieder.

Die Leguminosenfraktion wurde hauptsächlich von Weiß- und Rotklee gebildet.

Der strukturreiche Bestand wies eine durchschnittliche Futterwertzahl nach KLAPP von 6,7 auf. Weitere mittlere Wertzahlen (nach ELLENBERGER) betrugen wie die Reaktionszahl 5,6 und die Stickstoffzahl 6,0 sowie die Feuchtezahl 5,2 und lagen damit im typischen Bereich für Wirtschaftsgrünland.

Während der 6-jährigen Untersuchungsperiode waren bis auf geringe Anteilsverschiebungen keine weiteren Differenzierungen in der Bestandeszusammensetzung zu verzeichnen.

Tabelle 10: Bestandeszusammensetzung einzelnen Versuchsvarianten

		1		2		3		4	
		2016	2020	2016	2020	2016	2020	2016	2020
Gräser									
Rot-Straußgras	<i>Agrostis capillaris</i>	r	r	r	+	1	2	2	1
Wiesen-Fuchsschwanz	<i>Alopecurus pratensis</i>	r			+	+	+		
Glatthafer	<i>Arrhenatherum elatius</i>	8	5	7	4	8	6	10	8
Knautgras	<i>Dactylis glomerata</i>	20	16	24	17	22	13	21	14
Gemeine Quecke	<i>Elytrigia repens</i>		+		+				
Wiesen-Schwingel	<i>Festuca pratensis</i>	2	3	2	2	2	3	2	3
Rot-Schwingel	<i>Festuca rubra</i>	1	4	2	2	1	2	2	3
Wolliges Honiggras	<i>Holcus lanatus</i>	r				+			
Deutsches Weidelgras	<i>Lolium perenne</i>	20	22	20	22	19	19	20	18
Gemeine Hainsimse	<i>Luzula campestris</i>							r	
Wiesen-Lieschgras	<i>Phleum pratense</i>	+	1	+	3	1	4	+	3
Wiesen-Rispe	<i>Poa pratensis</i>	4	10	4	11	4	14	7	14
Goldhafer	<i>Trisetum flavescens</i>	17	11	15	15	14	8	12	9
Kräuter									
Gemeine Schafgarbe	<i>Achillea millefolium</i>	3	3	4	3	3	4	2	6
Gemeiner Frauenmantel	<i>Alchemilla vulgaris</i>	+	1	1	1	+	1	+	+
Wiesen-Kerbel	<i>Anthriscus sylvestris</i>					r	+	r	1
Gänseblümchen	<i>Bellis perennis</i>	+	r	+	+	+	+	+	+
Rundbl. Glockenblume	<i>Campanula rotundifolia</i>						r		
Hirtentäschel	<i>Capsella bursa-pastoris</i>		r						
Gemeines Hornkraut	<i>Cerastium holosteoides</i>	+	+	r	+	+	+	+	+
Gemeine Kratzdistel	<i>Cirsium vulgare</i>								r
Wiesen-Labkraut	<i>Galium mollugo</i>		+						
Wiesen-Bärenklau	<i>Heracleum sphondylium</i>	3	5	2	3	5	5	3	4
Gemeines Ferkelkraut	<i>Hypochoeris radicata</i>	r	r	+		+	r	+	
Herbst-Löwenzahn	<i>Leontodon autumnalis</i>					r	+		r
Spitz-Wegerich	<i>Plantago lanceolata</i>	+	+	+	+	1	+	r	1
Scharfer Hahnenfuß	<i>Ranunculus acris</i>	r	+			r	r		
Wiesen-Sauerampfer	<i>Rumex acetosa</i>	2	1	2	+	2	1	2	1
Stumpfbblätteriger Ampfer	<i>Rumex obtusifolius</i>	r		r		r	+	r	+
Gemeiner Löwenzahn	<i>Taraxacum officinale</i>	15	16	12	14	13	17	13	13
Feld-Ehrenpreis	<i>Veronica arvensis</i>					r		r	
Gamander-Ehrenpreis	<i>Veronica chamaedrys</i>	r	+	+	r	+	+	+	+
Leguminosen									
Wiesen-Rotklee	<i>Trifolium pratense</i>	1	+	1		1		+	
Weiß-Klee	<i>Trifolium repens</i>	4	2	4		3	1	4	1
Zaun-Wicke	<i>Vicia sepium</i>				3			r	r

5 Fazit

Im Mittel der 6-jährigen Versuchsperiode wurden zwischen den einzelnen Prüfgliedern keine signifikanten Ertragsdifferenzen sowie Unterschiede in der Futterqualität bzw. im Pflanzenbestand nachgewiesen.

Zwei der Rohphosphatdünger ließen eine positive Beeinflussung hinsichtlich des Pflanzenertrages erkennen. So wiesen NovaPhos 23 und der kohlensaure Magnesiumkalk mit Phosphat aus der Verbrennung von Klärschlamm 70+6 (DOLOPHOS® 6) einen höheren Trockenmasse-Ertrag auf als die P-ungedüngte Variante.

Die Variante mit NovaPhos 23-Düngung (2) bewirkte in allen Jahren und Aufwüchsen den höchsten P-Gehalt in Pflanze. Dieser lag rund 0,3 g P/kg TM höher als in den anderen P-gedüngten Varianten und der ungedüngten Vergleichsvariante. Zwischen den gedüngten Varianten 3 und 4 der Variante ohne P-Zufuhr zeichnete sich ein indifferentes Bild auf vergleichbarem Niveau ab. Allerdings zeigte sich, dass der P-Gehalt des Erntegutes in der trockeneren, zweiten Periode niedriger ausfiel, obwohl gleichzeitig eine positive Bilanz bei den gedüngten Varianten von 10 bis 12 kg P/ha vorlag.

Im Boden kam es - wie erwartet - zum Absinken des P-Gehaltes bei unterlassener P-Düngung. Ebenfalls sanken in der ersten Versuchsperiode die P-Gehalte im Boden in den P-gedüngten Varianten ab. In der zweiten Versuchsperiode wurde dieser Rückgang gestoppt. Eine Differenzierung der Wirkung der geprüften Rohphosphatdünger war nicht erkennbar.

Eine weitere Fortführung des Versuches wäre wünschenswert, um Langzeitwirkungen zu erkennen bzw. zu gewinnen. Aufgrund begrenzter Versuchskapazität im Referat wurde die Versuchsdurchführung eingestellt.

6 Abkürzungsverzeichnis

% i.d. TM	Prozent in der Trockenmasse
° C	Grad Celsius
Ca	Kalzium
CaCl ₂	Bodenuntersuchungsmethode: Calciumchlorid - Auszug
CaCO ₃	Calciumcarbonat
CAL	Bodenuntersuchungsmethode: Calcium-Acetat-Laktat-Auszug zur Bestimmung von Phosphor und Kalium
CaO	Calciumoxid
Cl	Chlor
Cu	Kupfer
dt	Dezitonne
dt/ha	Dezitonnen je Hektar
DüV	Düngeverordnung
DWD	Deutscher Wetterdienst
ELOS	Enzymlösliche organische Substanz
Fe	Eisen
g/kg TM	Gramm je Kilogramm Trockenmasse
GD	Grenzdifferenz
GfE	Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
GHK	Gehaltsklasse
ha	Hektar
K	Temperaturdifferenz in Kelvin (nur im Abschnitt 3. Witterung)
K	Kalium
KAS	Kalkammonsalpeter
kg/ha	Kilogramm je Hektar
m ü. NHN	Meter über Normalhöhennull
Mg	Magnesium
mg/100 g Bo	Milligramm je 100 Gramm Boden
mg/kg TM	Milligramm je Kilogramm Trockenmasse
MgCO ₃	Magnesiumcarbonat
MgO	Magnesiumoxid
MJ/kg TM	Mega-Joule je Kilogramm Trockenmasse
mm	Millimeter
Mn	Mangan
N	Stickstoff
Na	Natrium
NEL ELOS (GfE 2008)	Netto-Energie-Laktation berechnet nach ELOS-Formel (GfE, 2008)
P	Phosphor
P ₂ O ₅	Phosphat
pH	pH-Wert
RA	Rohasche
RFa	Rohfaser
RP	Rohprotein
S	Schwefel
SO ₃	Schwefeltrioxid
TM	Trockenmasse
Var.	Variante
VDLUFA	Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
vgl.	Vergleich
Zn	Zink

7 Quellenverzeichnis

Agrarmeteorologisches Messnetz Thüringen

[https://www.wetter-th.de/Internet/global/i-](https://www.wetter-th.de/Internet/global/inetcntr.nsf/dlr_web_full.xsp?src=P2JOU3NV80&p1=9KTJ45X0Q9&p3=54XFVMRE66&p4=TV09HU5GGI)

netcntr.nsf/dlr_web_full.xsp?src=P2JOU3NV80&p1=9KTJ45X0Q9&p3=54XFVMRE66&p4=TV09HU5GGI
zuletzt aufgerufen am 29.03.2021

Datenblatt DOLOPHOS® 26

<http://www.dueka.de/produkte/kalke/dolophosr-26/>

zuletzt aufgerufen am 29.03.2021

Datenblatt DOLOPHOS® 6

<http://www.dueka.de/produkte/kalke/dolophosr-6/>

zuletzt aufgerufen am 29.03.2021

Datenblatt NovaPhos 23

<https://www.iclfertilizers.com/de/products/p-23>

zuletzt aufgerufen am 29.03.2021

DLG (2020): Hinweise zur Kalkdüngung. DLG-Merkblatt 456. - DLG e.V. Frankfurt/Main (Hrsg), 1. Auflage. 27 S.

DüV (2017): Verordnung zur Neuordnung der guten fachlichen Praxis beim Düngen vom 26.Mai 2017. - Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017 Teil I. Nr. 32, S. 1305 - 1348

DüV (2020): Verordnung zur Änderung der Düngeverordnung und anderer Vorschriften vom 28. April 2020. - Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020 Teil I. Nr. 20, S. 846 - 861

DWD: 30-jähriges Mittel 1981 - 2010 für die Referenzstation Oberweißbach (TLL).

http://www.wetter-th.de/Internet/AM/inetcntrtl.nsf/cuhome.xsp?src=2060D27LT4&p1=title%3D1981-2010%7E%7Eurl%3D%2FInternet%2FAM%2FNotesDWD.nsf%2F%28Web_Refstat_n_Th%C3%BCrtingen_JM%29%2F38DBD5A394E43EA8C1257FED00315C4B%3FOpenDocument&p3=SV564YH0G3

zuletzt aufgerufen am 29.03.2018

Ellenberger, H.; Weber, H.E.; Düll R.; Wirth, V.; Werner, W.; Paulißen, D. (1991): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. - Script Geobotanica, Universität Göttingen. 284 S.

GfE, Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (2008): Neue Gleichungen zur Schätzung der Umsetzbaren Energie für Wiederkäuer von Gras- und Maisprodukten. - Proc. Soc. Nutr. Physiol., 17 S. 191 - 198

Klapp, E. und A. Stählin (1936): Standorte, Pflanzengesellschaften und Leistung des Grünlandes. Verlag E. Ulmer, Stuttgart.

Klapp, E.; Boeker, P.; König, F. und A. Stählin (1953): Wertzahlen der Grünlandpflanzen. - Das Grünland 2/53, Verlag Schaper, Hannover., S. 38-40

LfL, (2021): Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Schafe, Ziegen. - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), Freising-Weihenstephan, 46. unveränderte Auflage, 110 S., im Internet

unter: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/gruber_tabelle_fuetterung_milchkuehe_zuchtrinder_schafe_ziegen_lfl-information.pdf

zuletzt aufgerufen 22.03.2021

Müller, G. (1980): Bodenkunde. - VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 392 S.

Zopf, D. (2018): Versuchsbericht „Wirkung unterschiedlicher Phosphordünger auf Ertrag und Qualität von Dauergrünland“ 2015 - 2017.

[http://www.tll.de/www/daten/pflanzenproduktion/futterbau_gruenland/gruenland/VB_P-DM_15-17%20\(2\).pdf](http://www.tll.de/www/daten/pflanzenproduktion/futterbau_gruenland/gruenland/VB_P-DM_15-17%20(2).pdf)

zuletzt aufgerufen am 29.03.2021