

# Fachinformation

## Präzisierung des P-Düngebedarfs auf Ackerland durch zusätzliche Bestimmung der P-Freisetzungsrate

### Veranlassung

Die Ermittlung der P-Versorgung der Böden erfolgt in Thüringen nach der CAL-Methode nach SCHÜLLER (1969), bei Carbonat haltigen Böden nach der Modifizierung nach ZORN und KRAUSE (1999). Die Eignung dieses Verfahrens zur Charakterisierung der P-Versorgung der Böden wurde in vielen Feld- und Gefäßversuchen bestätigt. Die CAL-Methode ist die Verbandsmethode des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA, 2012).

In Thüringen und anderen Ackerbauregionen sinkt die P-Versorgung der Böden zum Teil dramatisch infolge langjährig negativer P-Bilanzen. Das Beibehalten bzw. die Rückkehr zu einer bedarfsgerechten P-Düngung auf unterversorgten Standorten erfordert experimentell belegte Richtwerte für die Düngebedarfsermittlung sowie eine Optimierung der Düngemittelapplikation.

In den letzten Jahren wurde in Feldversuchen geprüft, inwieweit durch Anwendung weiterer Bodenuntersuchungsverfahren die Aussagefähigkeit der Bodenanalytik noch verbessert werden kann. Als hierfür gut geeignet erwies sich die Methode der P-Freisetzungsrate nach FLOSSMANN und RICHTER (1982). Dieses Verfahren wurde im ehemaligen Institut für Pflanzenernährung Jena entwickelt und in den 1980er Jahren bereits erfolgreich zur P-Düngungsberatung eingesetzt. Untersuchungen in aktuellen und abgeschlossenen Feldversuchen zur P-Düngung bestätigten die Eignung der P-Freisetzungsrate zur Präzisierung der P-Düngebedarfsprognose als ergänzende Zusatzmethode (ZORN et al., 2012 und 2015; ZORN und SCHRÖTER, 2017). Die CAL-Methode bleibt auch weiterhin das Standardverfahren zur Ermittlung der P-Versorgung der Böden in Thüringen. Die aktuelle Kalibrierung der Richtwerte zur Bewertung der P-Freisetzung erfolgte auf Grundlage der aktuellen Feldversuchsergebnisse.

## Regelungen der Düngeverordnung vom 26.05.2017 zur P-Düngung

Vor dem Aufbringen wesentlicher P-Mengen ( $>30 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$  und Jahr) ist der P-Düngebedarf zu ermitteln. Grundlage dafür bilden repräsentative Bodenuntersuchungen für jeden Schlag ab einem Hektar im Abstand von maximal sechs Jahren. Die Düngeverordnung begrenzt für Schläge mit einem mittleren P-Gehalt (gewogenes Mittel) von mehr als  $20 \text{ mg P}_2\text{O}_5/100 \text{ g}$  die P-Zufuhr auf maximal der Höhe der voraussichtlichen P-Abfuhr, wobei im Rahmen einer Fruchtfolge die voraussichtliche P-Abfuhr für einen Zeitraum von höchstens drei Jahren zu Grunde gelegt werden kann. Unterhalb dieser Schwelle ist die schlagbezogene P-Zufuhr nicht begrenzt. Der P-Saldo des betrieblichen Nährstoffvergleiches im Mittel der sechs letzten Düngejahre soll den Kontrollwert  $20 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$  und Jahr nicht überschreiten. Der Kontrollwert wird ab dem Düngejahr 2018 schrittweise auf  $10 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$  gesenkt.

## Methodische Grundlagen und Berechnungen

Die Phosphatfreisetzungsrateschwindigkeit beschreibt die P-Nachlieferungsgeschwindigkeit aus der festen Phase des Bodens in die Bodenlösung (= P-Kinetik), nach dem die Pflanzenwurzeln der Bodenlösung das Phosphat entzogen haben. Im Labor wird das wasserlösliche Phosphat (P-Gehalt in der Bodenlösung + leicht lösliches P) entfernt und danach der Boden 10 min mit Wasser geschüttelt und anschließend ein zweites Mal der P-Gehalt der Extraktionslösung gemessen. Die innerhalb von 10 min gelöste P-Menge entspricht dabei der P-Nachlieferung aus der festen Phase des Bodens und beschreibt die Geschwindigkeit der P-Lieferung, die für Pflanzen in Phasen mit hohem P-Bedarf eine große Bedeutung für P-Ernährung und Ertragsbildung besitzt.

Aus beiden P-Fractionen der P-Freisetzung können nach FLOSSMANN und RICHTER (1982) der dimensionslose Kinetikfaktor  $k_{10}$  sowie die P-Freisetzungsrateschwindigkeit nach folgenden Gleichungen errechnet werden:

1. Wasserextraktion 1:20; 60 min =  $P_{H2O}$
2. Wasserextraktion 1:20; 10 min =  $P_{10}$

### Berechnungen

$$P_A = P_{CAL} - P_{H2O} \quad (\text{Dimension: mg P/kg Boden, Umrechnung: mg P/100 g} \times 10)$$

$$k_{10} = 0,1 \times \ln [P_A / (P_A - P_{10})] \quad (\text{Kinetikfaktor, Dimension: min}^{-1})$$

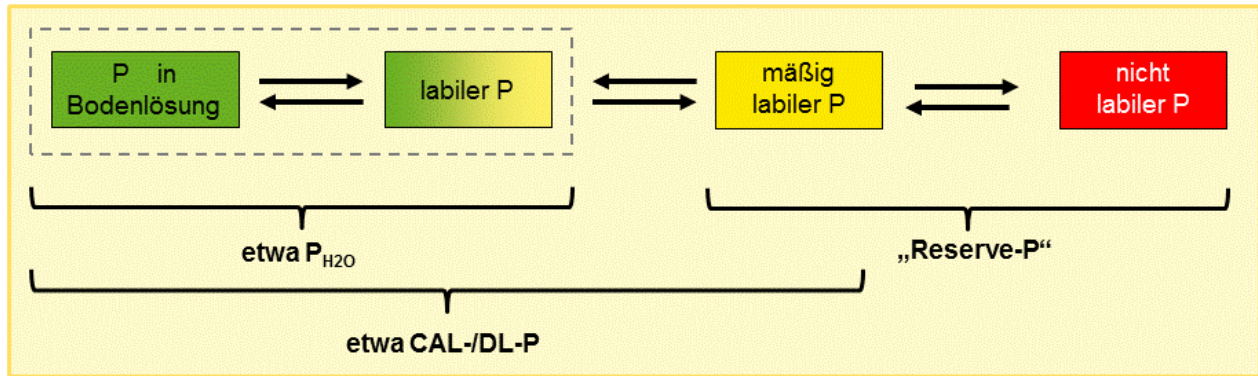
$$P_{fr} = k_{10} \times P_{CAL} \times 1000 \quad (\text{Dimension: } \mu\text{g P/kg Boden} \times \text{min})$$

Das Prinzip dieses Verfahren zeigt Abbildung 1.

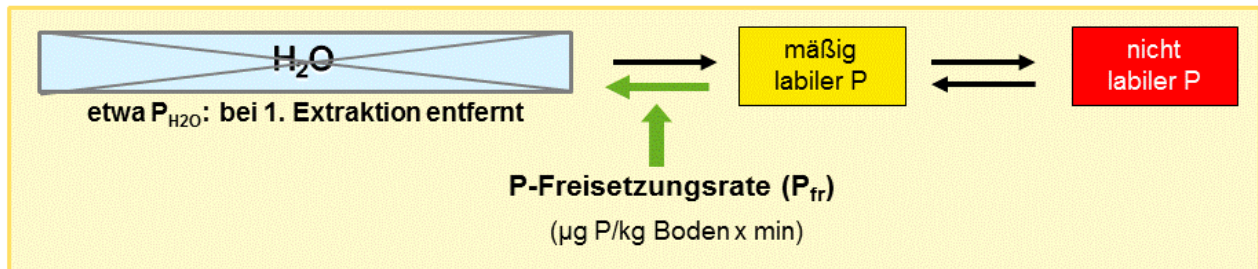
In Abhängigkeit von relativ stabilen Bodeneigenschaften kann die P-Freisetzung der Böden bei vergleichbarem CAL-löslichen P-Gehalt erheblich schwanken. Dieser Zusammenhang bildet die Grundlage für die Präzisierung des P-Versorgungszustandes.

Alle Angaben und Bewertungen beziehen sich auf die Bodenschicht 0 bis 20 cm.

**1. Schritt der Untersuchung (1. Extraktion; Boden : H<sub>2</sub>O = 1:20; 60 min)**



**2. Schritt der Untersuchung (2. Extraktion; Boden : H<sub>2</sub>O = 1:20; 10 min)**



**Abbildung 1:**

Prinzip der P-Freisetzungsrate ( $P_{fr}$ ) nach FLOSSMANN und RICHTER (1982), nicht maßstabsgerecht

**Bewertung der P-Freisetzungsrate**

Die Bewertung der P-Freisetzungsrate erfolgt unter Berücksichtigung des  $P_{CAL}$ -Gehaltes in 3 Kinetikstufen, die auf Grundlage der Ergebnisse von 15 aktuellen und abgeschlossenen Feldversuchen zur P-Düngung kalibriert wurden (Tab. 1).

Die oberen und unteren Richtwerte für die Kinetikstufe II können durch folgende Gleichungen errechnet werden.

obere Richtwerte:	$P_{fr} (\mu\text{g P/kg} \times \text{min}) = 100 \times P_{CAL} + 50$	( $P_{CAL}$ als mg P/100 g)
	$P_{fr} (\mu\text{g P/kg} \times \text{min}) = 10 \times P_{CAL} + 50$	( $P_{CAL}$ als mg P/kg)
untere Richtwerte:	$P_{fr} (\mu\text{g P/kg} \times \text{min}) = 80 \times P_{CAL}$	( $P_{CAL}$ als mg P/100 g)
	$P_{fr} (\mu\text{g P/kg} \times \text{min}) = 8 \times P_{CAL}$	( $P_{CAL}$ als mg P/kg)

Kinetikstufe II entspricht einer mittleren P-Freisetzungsrate, die keine Korrektur der Gehaltsklasse auf Grundlage der CAL-Untersuchung erfordert. In Kinetikstufe I liegt eine überdurchschnittlich hohe P-Freisetzungsgeschwindigkeit vor, die eine Reduzierung der P-Düngung ermöglicht. Die Kinetikstufe III kennzeichnet eine niedrige P-Freisetzungsrate, die einen Zuschlag zur P-Düngung erfordert (Tab. 2).

**Tabelle 1:** Richtwerte für die P-Freisetzungsrate ( $P_{fr}$ ) nach FLOSSMANN und RICHTER (1982) in Böden in Abhängigkeit des  $P_{CAL}$ -Gehaltes (Wertebereich: 10 bis 150 mg CAL-P/kg Boden)

CAL-P		P-Freisetzungsrate $P_{fr}$ (Kinetikstufe)		
		niedrig (III)	mittel (II)	hoch (I)
mg/100 g	mg/kg	µg P/kg Boden x min		
1	10	<80	80 - 150	>150
1,5	15	<120	120 - 200	>200
2	20	<160	160 - 250	>250
2,5	25	<200	200 - 300	>300
3	30	<240	240 - 350	>350
3,5	35	<280	280 - 400	>400
4	40	<320	320 - 450	>450
4,5	45	<360	360 - 500	>500
5	50	<400	400 - 550	>550
5,5	55	<440	440 - 600	>600
6	60	<480	480 - 650	>650
6,5	65	<520	520 - 700	>700
7	70	<560	560 - 750	>750
7,5	75	<600	600 - 800	>800
8	80	<640	640 - 850	>850
8,5	85	<680	680 - 900	>900
9	90	<720	720 - 950	>950
9,5	95	<760	760 - 1000	>1000
10	100	<800	800 - 1050	>1050
10,5	105	<840	840 - 1100	>1100
11	110	<880	880 - 1150	>1150
11,5	115	<920	920 - 1200	>1200
12	120	<960	960 - 1250	>1250
12,5	125	<1000	1000 - 1300	>1300
13	130	<1040	1040 - 1350	>1350
13,5	135	<1080	1080 - 1400	>1400
14	140	<1120	1120 - 1450	>1450
14,5	145	<1160	1160 - 1500	>1500
15	150	<1200	1200 - 1550	>1550

**Tabelle 2:** Bewertung der P-Freisetzungsrate

Kinetikstufe	P-Freisetzungsrate	Auswirkung auf den P-Düngebedarf unter Beachtung der P-Gehaltsklasse
I	hoch	Reduzierung der P-Düngung
II	mittel	keine Korrektur der P-Düngung
III	niedrig	Erhöhung der P-Düngung

Die Anpassung der Höhe der P-Düngung erfolgt durch Korrektur der P-Gehaltsklasse (Tab. 3).

**Tabelle 3:** Bewertung der P-Freisetzungsrates unter Berücksichtigung der P-Gehaltsklasse (nach CAL-Methode)

P-Freisetzungsrates (Kinetikstufe)	P-Gehaltsklasse nach CAL-Methode	P-Düngeempfehlung analog Gehaltsklasse (Umstufung)
hoch (I)	A	B (- A*)
	B	C
	C	D
	D	E
mittel (II)	A	ohne Korrektur
	B	
	C	
	D	
niedrig (III)	A	A
	B	A
	C	B
	D	C

\* keine Reduzierung der P-Düngeempfehlung, wenn der P<sub>CAL</sub>-Gehalt in der unteren Hälfte der Gehaltsklasse A liegt.

Tabelle 4 zeigt das ab 01.01.2019 verbindliche Grundschemas für die Empfehlungen zur Ermittlung des P-Düngebedarfs auf Ackerland in Thüringen.

**Tabelle 4:** Richtwerte für die Gehaltsklassen für Phosphor bei Ackerland (Entnahmetiefe: 0 – 20 cm, verbindlich ab 01.01.2019) sowie jährliche Zu- bzw. Abschläge von der P-Abfuhr (Grundschemas)

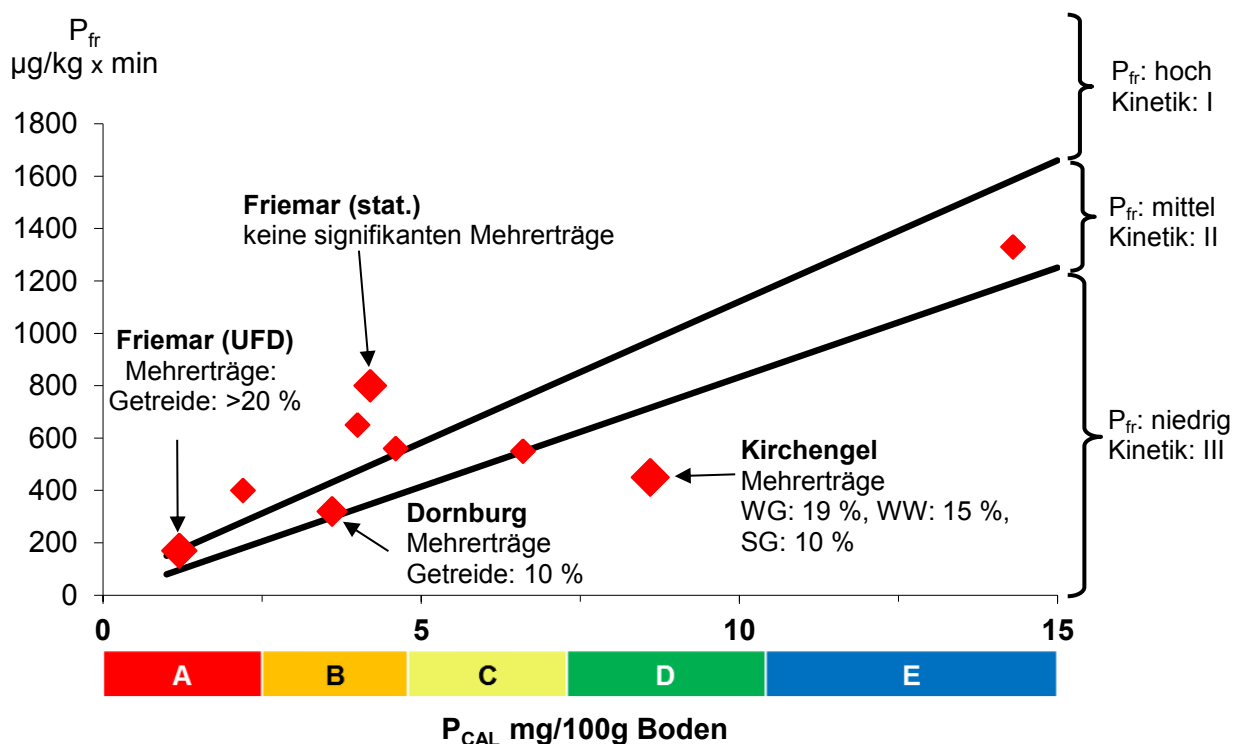
Gehaltsklasse	CAL-P		Zu- bzw. Abschlag von der P-Abfuhr (kg P/ha)
	mg P/100 g Boden	mg P/kg Boden	
A (sehr niedriger Gehalt)	≤ 2,5	≤ 25	+25
B (niedriger Gehalt)	2,6 - 5,0	25 - 50	+15
C (mittlerer Gehalt)	5,1 - 7,5	51 - 75	0
D (hoher Gehalt)	7,6 - 10,0	76 - 100	-25 <sup>1)</sup>
E (sehr hoher Gehalt)	≥10,0	≥100	keine P-Düngeempfehlung

<sup>1)</sup> keine Empfehlung für die mineralische P-Düngung, P-Zufuhr über organische Dünger bis zur Höhe der P-Abfuhr möglich

Im Rahmen der routinemäßigen Bodenuntersuchung auf Grundnährstoffe wird die zusätzliche Bestimmung der P-Freisetzungsrates auf ausgewählten Flächen unter Berücksichtigung bei der P-Düngerbemessung empfohlen. Untersuchungen von FLOSSMANN und RICHTER (1982) sowie aktuelle Auswertungen der TLL zeigen, dass die Ergebnisse der P<sub>fr</sub>-Bestimmung bei weitgehender Beibehaltung des bisherigen Düngungsmanagements ca. 8 bis 10 Jahre gültig sind.

## P-Freisetzungsrate des Bodens in Thüringer Feldversuchen zur P-Düngung

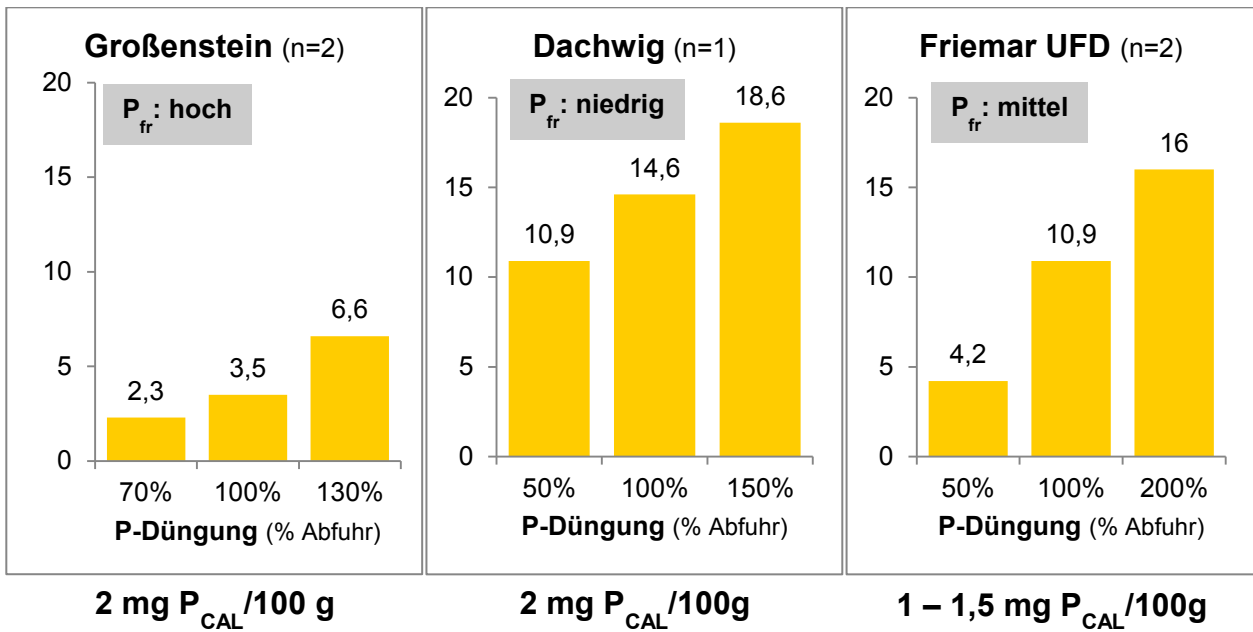
In aktuellen und abgeschlossenen Feldversuchen zur P-Düngung wurde versuchsbegleitend die P-Freisetzungsrate bestimmt. Abbildung 2 zeigt das Prinzip der Bewertung der P-Freisetzungsrate im Vergleich zum  $P_{CAL}$ -Gehalt des Bodens. Insgesamt liegt eine große Variabilität der P-Freisetzungsrate auf den untersuchten Standorten vor, die eine zusätzliche Untersuchung auf  $P_{fr}$  zur präziseren Bewertung der P-Verfügbarkeit als sinnvoll erscheinen lässt. Zum Beispiel weisen die Lössstandorte Friemar (statischer P-Versuch) und Dornburg P-Gehalte in der Gehaltsklasse B auf. In Friemar mit hoher P-Freisetzungsrate ist die P-Düngewirkung nicht signifikant, während in Dornburg (mittlere P-Freisetzungsrate) die Mehrerträge durch P-Düngung bis 10 % betragen. Auf dem Standort Kirchengel in Gehaltsklasse D, aber niedriger P-Freisetzungsrate, bewirkt die P-Düngung sehr hohe Mehrerträge.



**Abbildung 2:**

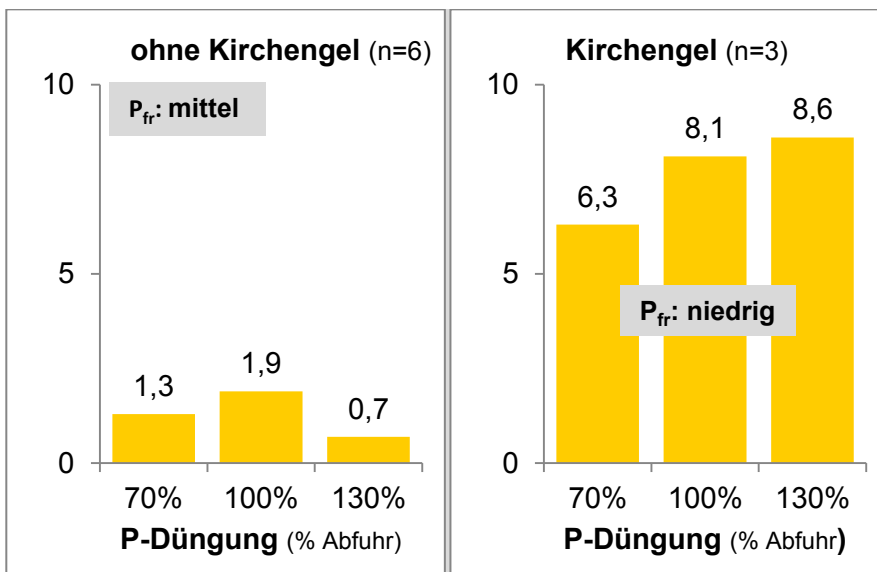
Bewertung der P-Freisetzungsrate unter Berücksichtigung des  $P_{CAL}$ -Gehaltes  
Beispiel: Nullparzellen der P-Düngungsversuche 2011 (ZORN et al., 2016 ergänzt)

Die Auswertung der P-Düngungsversuche zu Winterweizen zeigt, dass die P-Düngewirkung in Gehaltsklasse A (Abb. 3) und D (Abb. 4) wesentlich durch die P-Freisetzungsrate beeinflusst wird.



**Abbildung 3:**

Mehrertrag (dt Korn/ha) durch P-Düngung zu Winterweizen in Thüringer Feldversuchen mit P-Gehaltsklasse A (ZORN et al., 2016)



**Abbildung 4:**

Mehrertrag (dt Korn/ha) durch P-Düngung zu Winterweizen in Thüringer Feldversuchen mit P-Gehaltsklasse D (ZORN et al., 2016)

## Literatur

- FLOSSMANN, R.; RICHTER, D. (1982): Extraktionsmethode zur Charakterisierung der Kinetik der Freisetzung von P aus der festen Phase des Bodens in die Bodenlösung. Archiv Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkunde 26, S. 703-709.
- VDLUFA (2012): Methode A 6.2.1.1, Bestimmung von Phosphor und Kalium im Calcium-Acetat-Lactat-Auszug. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Auflage, 6. Teillieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- SCHÜLLER, H. (1969): Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. Z. Pflanzenernähr., Düngg., Bodenk., 123, Heft 1, S. 48 – 63.
- ZORN, W.; KRAUSE, O. (1999): Untersuchungen zur Charakterisierung des pflanzenverfügbaren Phosphats in Thüringer Carbonatböden. 162, 5, S. 463 – 469. J. Plant Nutr. Soil Sci..
- ZORN, W.; SCHRÖTER, H.; KIEßLING, G. (2012): Untersuchungen zur P- und K-Dynamik in Ackerböden - Ergebnisse aus Thüringer Feldversuchen. VDLUFA-Schriftenreihe Band 68/2012, Kongressband 2012, S. 315 - 322.
- ZORN, W.; SCHRÖTER, H.; KIEßLING, G. (2016): Ergebnisse von P-Düngungsversuchen zu Winterweizen in Thüringen. VDLUFA-Schriftenreihe Band 73/2016, Kongressband 2016, S. 225 – 232.
- ZORN, W.; SCHRÖTER, H. (2017): Neue Methoden ermitteln Phosphorversorgung. Getreidemagazin 1/2017, S. 50 – 54.
- ZORN, W.; SCHRÖTER, H.; KIEßLING, G. (2015): Präzisierung des P-Düngebedarfs auf dem Ackerland durch zusätzliche Bodenuntersuchungen. VDLUFA-Schriftenreihe 71 (2015), Kongressband 2015, S. 86 - 93.

Die Neuauflage dieser Fachinformation vom Juli 2018 ist ab sofort gültig.

### Impressum

Herausgeber: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft  
Naumburger Str. 98, 07743 Jena  
Tel.: 0361 574041-000, Fax: 0361 574041-390  
Mail: postmaster@tll.thueringen.de

**Autoren:** Dr. Wilfried Zorn, Hubert Schröter, Günter Kießling

Juli 2018

### Copyright:

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