



Praxisversuche zur P-Dynamik von Böden bei intensiver Tierhaltung



Einleitung

Ausgehend von einer regional begrenzten Problematik, dass in Folge langjährig überhöhter Ausbringung organisch-mineralischer Dünger – insbesondere von Putenmist – die P-Grundversorgung zahlreicher Böden sehr stark erhöht war und in Folge dessen die im 6 jährigen Turnus erforderliche P-Saldierung nach der Düngeverordnung (DüV) entsprechenden Betrieben Probleme bereiten würde, wurde angeregt, in langjährig ausgerichteten Feldversuchen der Frage nach der P-Verfügbarkeit verschiedener Wirtschaftsdünger in Abhängigkeit vom P-Versorgungszustand verschiedener Standorte nachzugehen.

Versuchsbeschreibung

Versuchsfragen

Hierzu wurden randomisierte Exaktversuche mit 4 facher Wiederholung zu folgenden Versuchsfragen angelegt:

- ⇒ Ertrags- und Qualitätsentwicklung langjährig mit Phosphat ungedüngter Flächen im Vergleich zu einer fachgerechten P-Entzugsdüngung
- ⇒ Wirkungsvergleich und P-Saldo organisch-mineralischer und mineralischer P-Düngung
- ⇒ Entwicklung der Nährstoffsalden (P und K) unter Beachtung einer regelmäßigen Abfuhr von Getreidestroh
- ⇒ Beobachtung der N-Dynamik und des Humushaushaltes langjährig mit Putenmist bzw. Schweinegülle versorgter Böden.

Versuchsplanung

- Anlage von Exaktversuchen auf Praxisflächen als statische Dauerversuche (!) mit und ohne Abfuhr der Ernterückstände
- Versuchsdauer: möglichst langjährig (> 6 Jahre) mit für die Region typischer Fruchtfolge Winterrapen/Körnermais - Winterweizen - Wintergerste

Versuchsdüngung

- N-Düngung: nach NID
- P-Düngung: auf Basis der P-Abfuhr über Ernteprodukte
- K-Düngung: entsprechend der Ausbringmenge mit den Wirtschaftsdüngern



Tabelle 1 Versuchsplan

| Variante | Stickstoff | Phosphor | Kalium | Beobachtung |
|-----------------|---------------------------------|---|--|-------------------------------------|
| 1 | ohne | ohne | ohne | N-Potential |
| 2 | mineralisch (NID) | ohne | ohne | N-/Humus-Dynamik |
| 3 | mineralisch (NID) | mineralisch (Basis:P-Entzug) | mineralisch (Basis:K-Zufuhr organische Düngung) | optimale mineralische Düngung |
| 4 | organisch- mineralisch (NID) | organisch- mineralisch (Basis:P-Entzug) | organisch- mineralisch (K-Zufuhr Düngung) | P-Dynamik- organische Düngung |
| 5 ^{*)} | organisch- mineralisch (NID) | organisch- mineralisch (Basis:P-Entzug) | organisch- mineralisch (K-Zufuhr) | Nährstoffsaldo Strohabfuhr |

^{*)} übrige Varianten ohne Abfuhr der Erntereste

Versuchsdünger

- jeweilige Wirtschaftsdünger der Betriebe: Schweinegülle bzw. Putenmist
- mineralische N-Ergänzung mit KAS (Kalkammonsalpeter) bzw. 1. N-Gabe zu Winterraps mit ASS (Ammonsulfatsalpeter)
- mineralische P- und K-Düngung mit geeigneten im Handel vorrätigen Einzelnährstoffdüngern.

Untersuchungsprogramm (jährlich)

- Nitrat-N zu Vegetationsbeginn, nach der Ernte und im Spätjahr (SchALVO-Termin) bis 90 cm Tiefe
- Analyse der organischen Dünger vor jedem Ausbringungstermin auf relevante Kenndaten
- Ermittlung der Korn- und Stroherträge (Frisch- und Trockenmasse-Erträge)
- Nährstoffanalysen der pflanzlichen Aufwüchse auf alle Hauptnährstoffe zur Erstellung langjähriger Salden
- Beobachtung der Entwicklung der P₂O₅- und K₂O-Bodengehalte sowie der Humus- und Gesamt-N-Gehalte in der Krume

Versuchsstandorte

Nach der Ernte 1997 wurden zur Festlegung der Versuchsstandorte verschiedene Ackerflächen unter den Vorgaben unterschiedlicher P-Versorgung (Versorgungsklasse B – C – D/E), bei möglichst geringer Flächenvariabilität des Versuchsfaktors und mit intensiver Tierhaltung ausgewählt und bodenchemisch untersucht.

Letztendlich wurden je 4 Standorte mit Schweine- bzw. Putenhaltung festgelegt und in das langjährige Versuchsprogramm (s. Tabelle 1) mit Herbstsaat 1997 aufgenommen.

In Tabelle 2 sind die Kenndaten zu Versuchsbeginn der nun schon seit 15 Jahren statisch geführten Versuche aufgelistet. Besonders sind hierbei die unterschiedlichen Kenngrößen zur P- und Humusversorgung hervorzuheben. Erwähnenswert ist weiterhin, dass selbst auf der sehr hoch mit Phosphor versorgten Fläche „Buch a. E.“ keine nennenswerten CAL-P-Gehalte in tieferen

Bodenschichten festgestellt wurden (7 mg CAL-Phosphat/100 g Boden in der Schicht von 30 bis 60 cm!).

Tabelle 2 Kenndaten der (Dauer-) Versuchsstandorte (bei versuchsbeginn 1997)

| Parameter | Einheit | Wallhausen | Kleinansbach | Buch |
|---------------------------------------|---------------|-------------|--------------|-------------|
| Bodenart | | uL | tL | uL |
| pH | | 6,7 | 7,4 | 6,7 |
| Gesamt N | | 0,13 | 0,30 | 0,27 |
| Humus | [% TM] | 2,2 | 3,8 | 3,7 |
| Gesamt P | | 0,06 | 0,09 | 0,13 |
| CAL-P₂O₅ | | 24 | 8 | 85 |
| CAL-K ₂ O | [mg/100 g B.] | 30 | 15 | 47 |
| CaCl ₂ -Mg | | 11 | 58 | 44 |

Krume: 20 cm Tiefe

Anmerkung: Nach zwischenzeitlich 15 Versuchsjahren sind von den ehemals 8 Standorten noch 3 in Bewirtschaftung (s. Tabelle 2), da nach der Ernte der Versuche in den Jahren 2000, 2003 und 2004 die Anzahl der Standorte um 5 reduziert werden musste, weil einige landwirtschaftliche Betriebe kein Interesse an der Langzeitausrichtung der Versuchsserie mehr hatten. Tabelle 2 beschreibt die Ausgangssituation der bis heute ohne Unterbrechung durchgeführten Feldversuche. Auf diese Standorte wird bei der Darstellung ausführlich eingegangen. Die Kenndaten und Versuchsergebnisse der übrigen Standorte werden in reduziertem Umfang im Tabellenanhang dokumentiert.

Zusammenfassend lässt sich über die Versuchsstandorte sagen, dass:

- die Vorgabe einer Staffelung der Phosphatgehalte (Gesamt- und CAL-Phosphat!) erreicht wurde,
- die Anzahl der Standorte im Hinblick auf das Verhältnis Puten- und Schweinehaltung in der Region ausgewogen ist,
- die P-Flächenvariabilität in Abhängigkeit von der jeweiligen Vorgeschichte der Standorte sich im erwarteten Rahmen bewegte,
- es sich durchwegs um schwere, tonreiche – teils humose - Böden handelt,
- die Voraussetzungen einer guten P-(N-)Dynamik seitens des pH-Wertes sowie der C- und N-Gehalte gegeben ist und dass daher
- neben der P-Dynamik auch der N- und C-Haushalt (s. Versuchsplan) beobachtet werden können.

Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden mit der Aussaat der Winterungen 1997/98 gestartet:

- Hierzu wurden die Versuchsflächen dauerhaft eingemessen.
- Für jede Versuchsfläche wurde auf Basis langjähriger Ertragsdurchschnitte unter Beachtung aktueller Nitrat-N-Werte die Düngebedarfsermittlung durchgeführt.
- Auf der Basis der vom Projektpartner LA-Chemie ermittelten Nährstoffgehalte der Wirtschaftsdünger wurde die Versuchsdüngung durchgeführt.
- Grundbodenbearbeitung (in der Regel ohne Pflug), Saatbettbereitung, Aussaat und Pflanzenschutz wurden vom jeweiligen landwirtschaftlichen Betrieb unter Beteiligung des LRA Schwäbisch Hall (Standort Ilshofen) durchgeführt.

Ergebnisse

In einem ersten Berichtsteil werden die Ergebnisse der aktuellen Versuche im Überblick über den gesamten Versuchszeitraum zusammengefasst dargestellt.

Pflanzenerträge, Nährstoffentzüge und Kornqualität

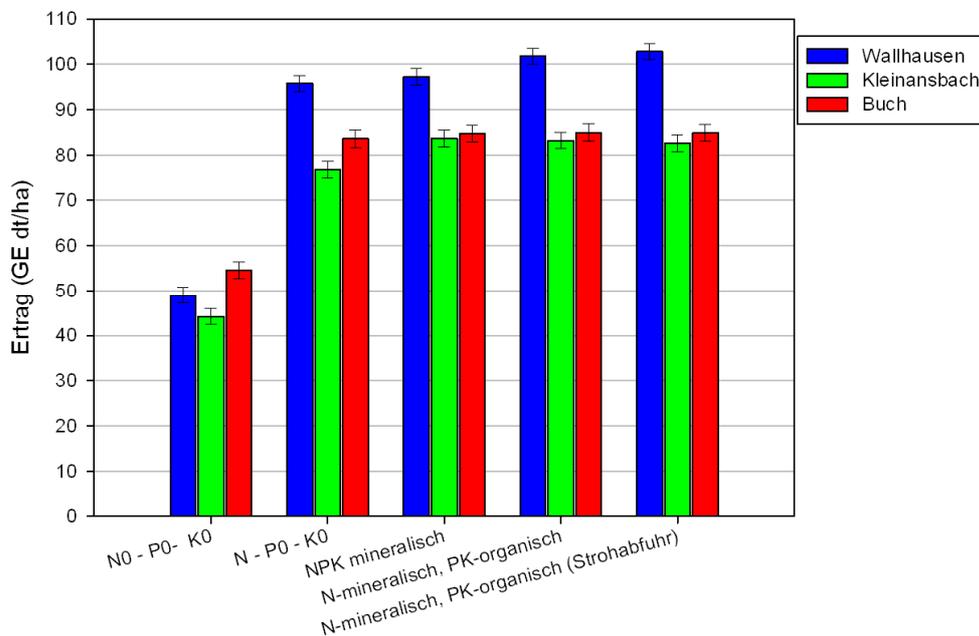


Abbildung 1 Pflanzenerträge – im Mittel der Versuchsjahre (1998 bis 2012)

In Abbildung 1 sind die mittleren Pflanzenerträge sowie die Ober- und Untergrenzen des 95 % Konfidenzintervalls über alle Versuchsjahre an den Standorten „Wallhausen“, „Kleinansbach“ und „Buch“ für die einzelnen Varianten aufgetragen. Statistisch hatte der Faktor „mineralische N-Düngung“ den größten Einfluss auf die Erträge. An zweiter Stelle folgt der Faktor „Standort“ insbesondere als Ausdruck von Witterung und Nährstoffdynamik. Die Faktoren Jahr und Standort sind als gleichwertig einzustufen.

Signifikant sind die Ertragsanstiege zwischen der N-Nulldüngung und den optimal mit Stickstoff versorgten Varianten auf allen Standorten. Es ist zu beachten, dass es sich um statische Versuche handelt. Das heißt, dass die Parzellen „ohne N-Düngung“ bereits 15 Jahre nicht mit Stickstoff gedüngt sind. Trotzdem werden im langjährigen Versuchsmittel noch Erträge zwischen 45 und 55 dt TM/ha erzielt (= N-Nachlieferung und N-Immissionen!). Am Standort „Wallhausen“ sind die Varianten mit Schweinegülle signifikant besser als die ausschließlich mineralisch gedüngten Flächen. Keine Unterschiede sind am Standort „Buch“ bei den gedüngten Varianten festzustellen, jedoch ist die Ertragsdifferenz zwischen Variante 2 und 3 am Standort „Kleinansbach“ wieder signifikant. Dies ist das bislang einzige Ergebnis der langjährigen Versuchsreihe, wonach eine P-Düngung auch eine signifikante Ertragswirkung zeigt (Gehaltsklasse B!).

Da die Rohproteingehalte (Abbildung 2) der Versuchskulturen Winterraps, Wintergetreide und Mais hauptsächlich von der N-Düngung beeinflusst werden, waren diese bei der statistischen Betrachtung vom Einzeljahr (= jeweilige Kultur!) stärker geprägt als von der jeweiligen N-Form (= Variante). Der

Standort selbst spielte nur eine untergeordnete Rolle. Ebenso wurden die TKM der Körnerfrüchte über die jeweilige Genetik (Sorte) und die N-Düngung gesteuert.

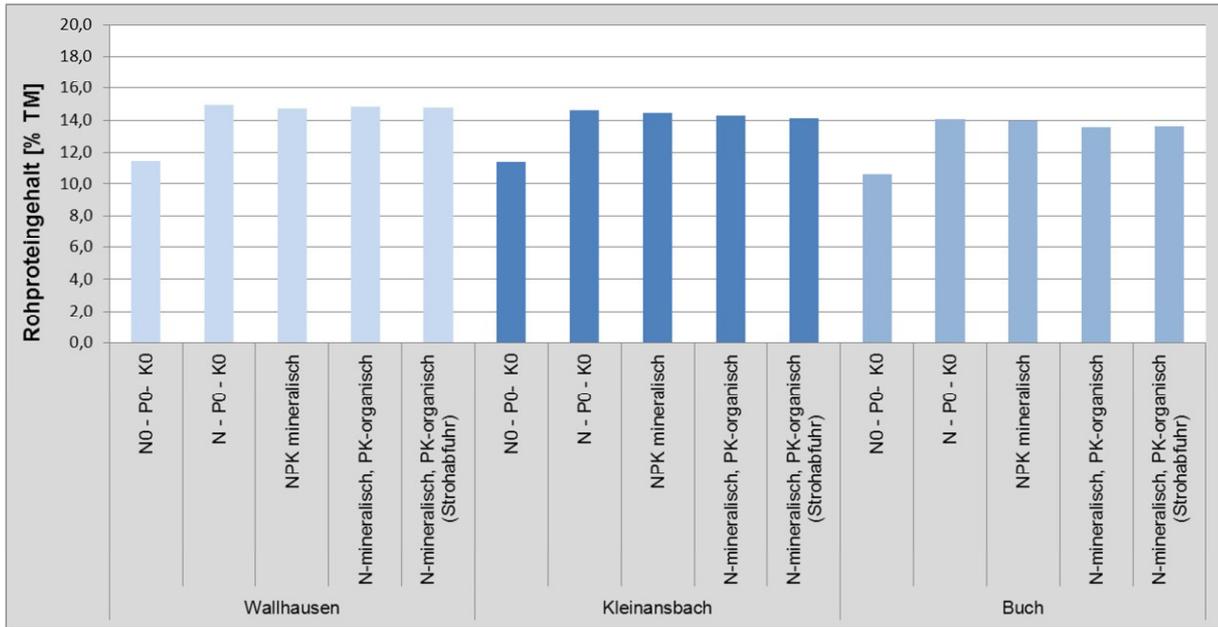


Abbildung 2 Rohproteingehalte im Mittel der Versuchsjahre

Die P-Gehalte [% TM] in den pflanzlichen Ernteprodukten zeigten den deutlichsten Einfluss beim Jahr (= Kultur!); weniger Gewicht hatten Standort und Düngung. So lagen die P-Gehalte bei Getreide zwischen 0,35 und 0,40 % TM, bei Winterraps zwischen 0,80 und 0,90 % TM und bei Mais zwischen 0,20 und 0,25 % TM. Die langjährig gemessenen P-Gehalte bei Korn und Stroh schließen eine Stresssituation – besonders in frühen Entwicklungsstadien - auch auf dem niedrig mit P versorgten Standort „Kleinansbach“ aus. Dementsprechend waren die P-Abfuhr [kg P₂O₅/ha] maßgeblich vom Ertrag der jeweiligen Kultur und somit von der N-Versorgung geprägt (Abbildung 3). P-Düngung und P-Abfuhr waren über die Versuchsdauer, aber auch bei jährlicher Betrachtung absolut ausgewogen.

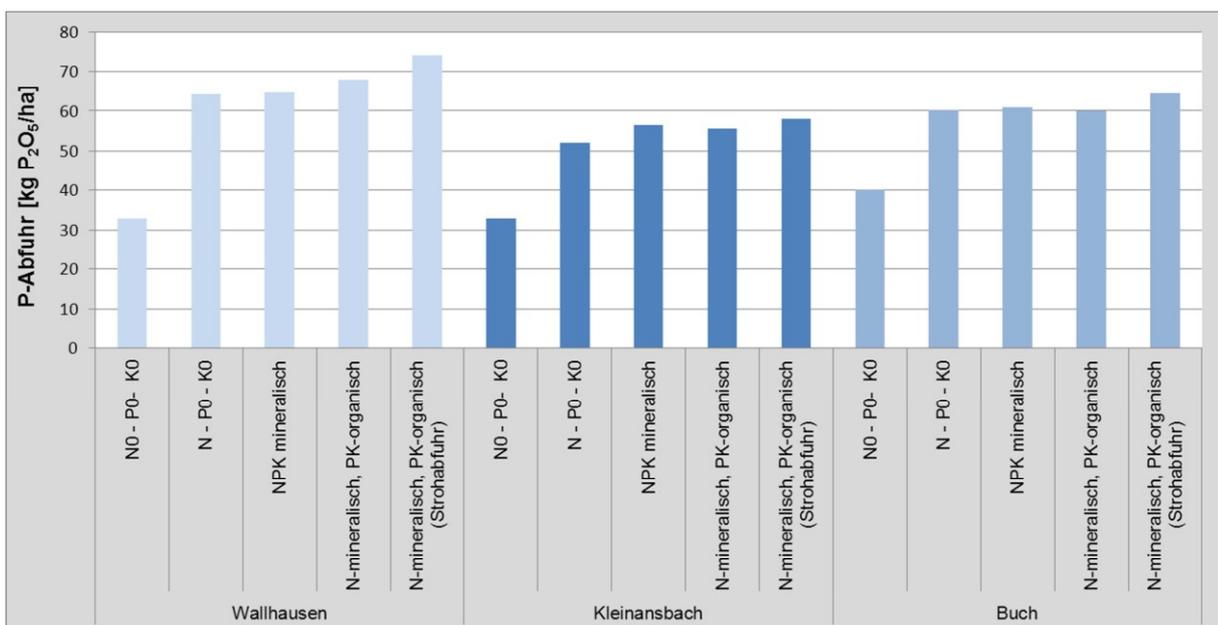


Abbildung 3 P-Abfuhr im Mittel der Versuchsjahre

N- und P-Effizienz, Nährstoff- und Humushaushalt - Boden

Die CAL-löslichen P-Gehalte der Böden (Abbildung 4) haben nach 15 Versuchsjahren am Standort „Wallhausen“ um etwa 10 mg/100 g Boden abgenommen – selbst bei ausgewogener P-Zufuhr (Variante 3). Etwas höher sind die CAL-Werte bei langjähriger Düngung mit Schweinegülle. Am Standort „Kleinansbach“ bleiben die CAL-Gehalte trotz Abfuhr von nahezu 800 kg P₂O₅/ha „ohne P-Düngung“ (s. Tabelle 9) unverändert – auch auf den gedüngten Parzellen kommt es zu keinen Veränderungen. Dies beruht auf dem hohen P-Potential des Bodens von ca. 3.000 kg Gesamt-P/ha in der Krume von 0 – 20 cm. Gute Mineralisationsbedingungen kompensieren über einen langen Zeitraum das geringe Angebot an löslichem Phosphat ohne nennenswerten Ertragsrückgang.

Ob ohne oder mit einer regelmäßigen P-Entzugsdüngung nehmen die CAL-P-Gehalte am Standort „Buch“ (Startwert: 85 mg CAL-P₂O₅/100 g Boden!) um 20 % bis 35 % innerhalb des Versuchszeitraums ab, die Gesamt-P-Gehalte jedoch zu (s. Tabelle 7).

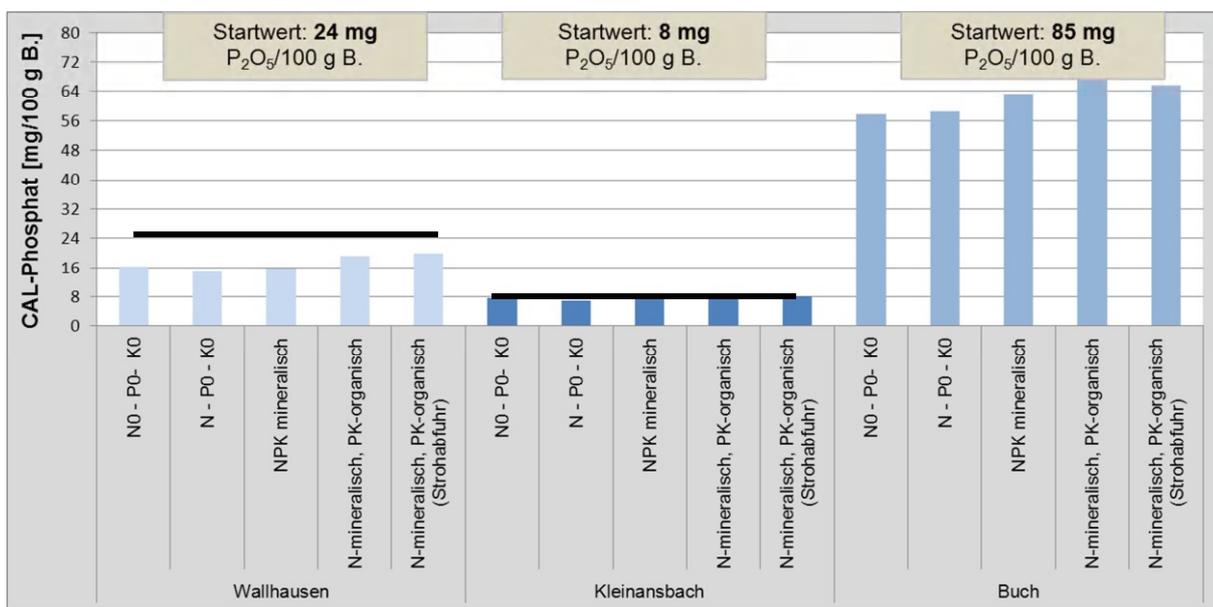


Abbildung 4 CAL-P-Gehalte zu Versuchsbeginn und nach 15 Jahren Versuchsdauer

Unter Beachtung, dass auf den Parzellen ohne N-Düngung im Verlauf von 15 Jahren in Abhängigkeit vom jeweiligen Standort zwischen 820 und 995 kg N/ha abgefahren und nur auf den Parzellen mit organischer Düngung zusätzlich zu den Ernteresten bzw. zur Strohdüngung (Variante 4 „Strohverbleib“) organische Substanz (N und C!) zugeführt wurde, überrascht es doch, dass an den Standorten „Wallhausen“ und „Kleinansbach“ die Humus-, aber auch die Gesamt-N-Gehalte (Abbildungen 5 und 6) im langjährigen Trend unabhängig vom Versuchsdesign nahezu unverändert geblieben sind.

Standort „Buch“ reagiert auf der Kontrolle, aber auch auf den mit Putenmist gedüngten Varianten mit abnehmendem Humusgehalt. Warum die regelmäßige Gabe von Putenmist keine Stabilisierung bedingt, kann mit dem vorliegenden Datensatz nicht erklärt werden. Eine zusätzliche Strohabfuhr (Variante 5) hatte keine signifikante Veränderung der Humusgehalte zur Folge!

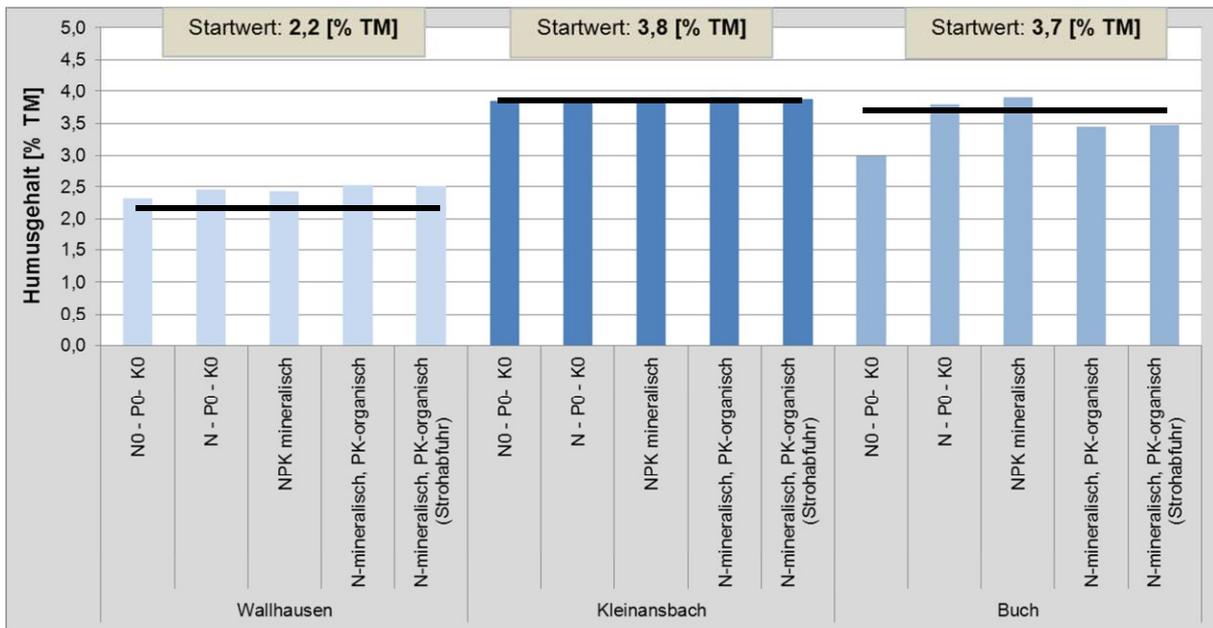


Abbildung 5 Humusgehalte zu Versuchsbeginn und nach 15 Jahren Versuchsdauer

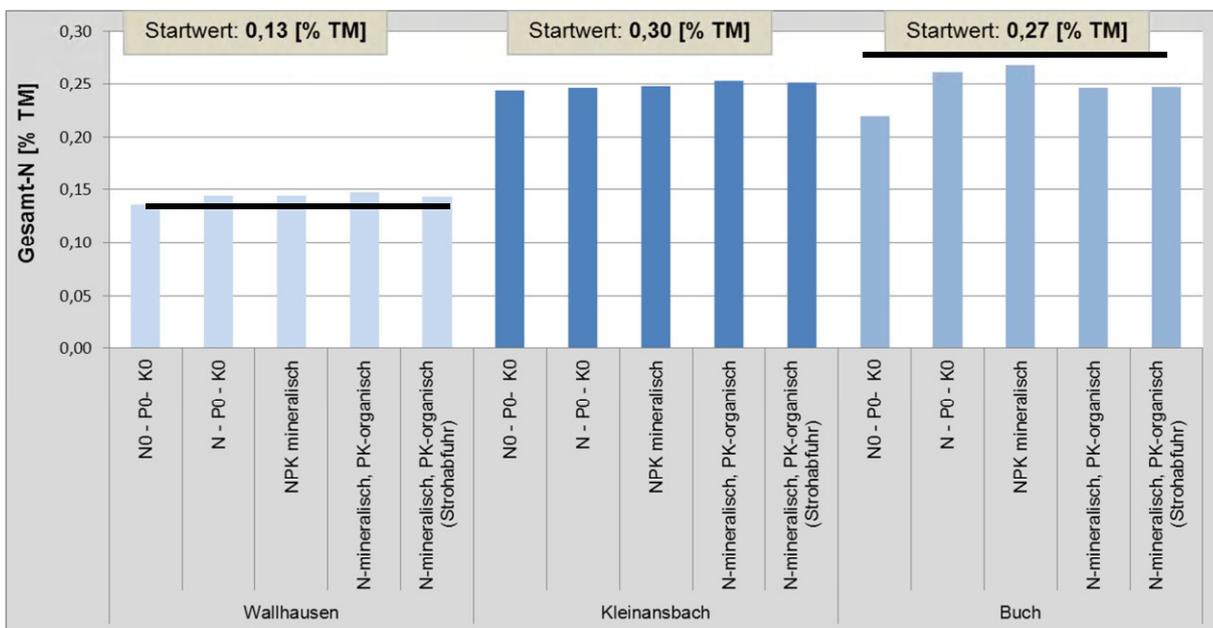


Abbildung 6 Gesamt N-Gehalte zu Versuchsbeginn und nach 15 Jahre Versuchsdauer

Die Tabellen 3 bis 5 zeigen die Nitrat-N-Gehalte im Mittel über die Jahre an den jeweiligen Versuchsstandorten in Abhängigkeit von der N-Düngung zum „Vegetationsbeginn“, „nach der Ernte“ und zum sog. „SchALVO“-Termin.

Tabelle 3 Nitrat-N [kg/ha von 0 – 90 cm] im Mittel der Jahre „Wallhausen“

| Variante | Veg. B. | n. Ernte | SchALVO |
|----------------------------------|--------------------------|----------|---------|
| | [N _{min} kg/ha] | | |
| NoPoKo | 13 | 17 | 17 |
| N PoKo | 18 | 30 | 29 |
| N P K (mineralisch) | 18 | 27 | 30 |
| N P K (org./min.) o. Strohabfuhr | 25 | 31 | 37 |
| N P K (org./min.) m. Strohabfuhr | 26 | 26 | 39 |

In allen Fällen ist nach der Ernte ein größerer Rest-N-Wert festzustellen, der deutlicher mit dem N-Potential des jeweiligen Standortes korrespondiert als mit der N-Düngung bzw. der Düngerform. Im

Spätjahr ist überwiegend ein Anstieg der Nitratwerte festzustellen, der sicherlich nicht vollständig von der Folgekultur – ausgenommen Zwischenfrüchte – ausgenutzt wurde. Dies hatte ein mehr oder minder großes Auswaschungsrisiko über den Winter zur Folge. Unterstellt man die Differenz zwischen dem sog. SchALVO-Wert (Ende November) und dem Wert „Vegetationsbeginn“ als potentielle Verlustgröße, so lägen die N-Verluste „ohne N-Düngung“ unter 10 kg Nitrat-N/ha und Jahr auf allen Standorten, bei einer mineralischen oder organisch-mineralischen N-Düngung bei ca. 10 bis 15 kg/ha am Standort „Wallhausen“ und bei ca. 10 bis > 20 kg/ha auf den beiden anderen Standorten. Ursache hierfür sind die höheren Humus- und N-Gehalte bei intensiverem Umsatz in Folge einer Bodenbearbeitung zur Herbstsaat.

Tabelle 4 Nitrat-N [kg/ha von 0 – 90 cm] im Mittel der Jahre „Kleinansbach“

| Variante | Veg. B. | n. Ernte | SchAIVO |
|----------------------------------|--------------------------|----------|---------|
| | [N _{min} kg/ha] | | |
| NoPoKo | 28 | 24 | 36 |
| N PoKo | 32 | 50 | 56 |
| N P K (mineralisch) | 34 | 46 | 56 |
| N P K (org./min.) o. Strohabfuhr | 43 | 45 | 60 |
| N P K (org./min.) m. Strohabfuhr | 43 | 45 | 57 |

Tabelle 5 Nitrat-N [kg/ha von 0 – 90 cm] im Mittel der Jahre „Buch“

| Variante | Veg. B. | n. Ernte | SchAIVO |
|----------------------------------|--------------------------|----------|---------|
| | [N _{min} kg/ha] | | |
| NoPoKo | 32 | 31 | 36 |
| N PoKo | 38 | 56 | 59 |
| N P K (mineralisch) | 41 | 51 | 54 |
| N P K (org./min.) o. Strohabfuhr | 40 | 47 | 54 |
| N P K (org./min.) m. Strohabfuhr | 40 | 49 | 57 |

Die netto N-Effizienz des zugeführten Stickstoffs lag in Abhängigkeit von der Anbauhäufigkeit der jeweiligen Kulturen Getreide (n = 30), Winterraps (n = 11) und Mais (n = 3) bei 45 % bis 55 % mit mineralischer N-Gabe und bei 45 % bis 70 % in Folge kombinierter mineralisch-organischer N-Düngung (höhere Ausnutzung bei zus. Strohabfuhr!). Diese Werte liegen im Bereich der bekannten N-Ausnutzungsraten. Eine Möglichkeit, die N-Effizienz beim Einsatz von Schweinegülle zu verbessern, könnte der Einsatz moderner Ausbringtechnik (z.B. Injektionstechnik in wachsende Bestände im Frühjahr) sein. Ebenso könnte durch eine „Spreizung“ der Fruchtfolge und Einbau von Zwischenfrüchten das Risiko von N-Verlusten über die Wintermonate verringert werden.

Die Ausnutzungsraten der P-Düngung sind ebenfalls sehr gering und bewegen sich an der Untergrenze der aus anderen Versuchen bekannten Dimensionen von 15 % bis 30 % je nach Düngerform und Kultur. Auch in diesem Fall sind moderne Ausbringtechniken - z.B. platzierte Düngung im Boden - einer Effizienzsteigerung förderlich. Des weiteren ist zu hinterfragen, ob eine P-Entzugsdüngung am Standort „Buch“ ökonomisch und ökologisch sinnvoll ist, oder ob es für den Betrieb nicht besser wäre, Putenmist auf Basis der Nährstofffracht und Humuswirkung an benachbarte Betriebe mit einem nachgewiesenen Nährstoffbedarf (insbesondere von Phosphor!) abzugeben.

Tabelle 6 N- und P-Effizienz [% netto Düngung] im Mittel der Jahre

| Variante | Wallhausen | | Kleinansbach | | Buch | |
|----------------------------------|------------|----|--------------|---|------|---|
| | N | P | N | P | N | P |
| N PoKo | 54 | | 44 | | 45 | |
| N P K (mineralisch) | 54 | 2 | 51 | 7 | 47 | 1 |
| N P K (org./min.) o. Strohabfuhr | 59 | 7 | 51 | 5 | 45 | 0 |
| N P K (org./min.) m. Strohabfuhr | 71 | 16 | 58 | 9 | 58 | 6 |

Tabelle 7 P-Dynamik - CAL- bzw. Ges.-P [kg P/ha von 0 – 20 cm] im Mittel der Jahre

| Variante | N Po Ko | | |
|------------------------------------|--------------|--------------|-------------|
| Parameter | Wallhausen | Kleinansbach | Buch |
| P-Düngung | | | |
| P-Abfuhr | 422 | 341 | 367 |
| Saldo-Düngung | -422 | -341 | -367 |
| CAL-Start | 24 | 8 | 85 |
| CAL-2012 | 7 | 6 | 34 |
| Saldo-CAL-P^{*)} | 178 | 21 | 534 |
| Überschuss bzw. Defizit | -244 | -320 | 167 |
| Ges. P-Start | 1440 | 2160 | 3120 |
| Ges. P-2012 | 1200 | 1920 | 3120 |
| Trend - Ges. P^{*)} | -240 | -240 | 0 |
| | minus 0,01 % | minus 0,01 % | |

| Variante | N P K org | | |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Parameter | Wallhausen | Kleinansbach | Buch |
| P-Düngung | 434 | 425 | 417 |
| P-Abfuhr | 453 | 364 | 365 |
| Saldo-Düngung | -19 | 61 | 51 |
| CAL-Start | 22 | 8 | 91 |
| CAL-2012 | 15 | 10 | 44 |
| Saldo-CAL-P^{*)} | 73 | -21 | 492 |
| Überschuss bzw. Defizit | 54 | 40 | 441 |
| Ges. P-Start | 1440 | 2160 | 3120 |
| Ges. P-2012 | 1560 | 2160 | 3480 |
| Trend - Ges. P^{*)} | 120 | 0 | 360 |
| | plus 0,005 % | | plus 0,015 % |

^{*)} bezogen auf Krumentiefe - 20 cm

In Tabelle 7 ist am Beispiel von 2 Varianten die Situation der P-Dynamik an den einzelnen Versuchsstandorten dargestellt. Ausgewiesen sind die Mengen an Phosphor, nicht an Phosphat in kg/ha!

Bei der Bewertung der Variante „N P0 K0“ fällt auf, dass die P-Ernährung der Pflanzen am Standort „Buch“ rechnerisch ausschließlich aus dem CAL-Pool erfolgt ist. Die Gesamt-P-Fraktion wurde – soweit analytisch erfassbar – nicht wesentlich beeinflusst bzw. reduziert. An den Standorten „Wallhausen“ sowie „Kleinansbach“ wird ein Teil des von den Pflanzen aufgenommenen P aus dem Gesamt-P-Vorrat und ein Teil – insbesondere bei „Wallhausen“ – aus dem CAL-P-Pool entnommen. Da sich die Gesamt-

P-Vorräte an allen Standorten nur unwesentlich verändert haben und die lösliche P-Fraktion ebenfalls noch im mittleren B-Bereich liegt – Ausnahme „Buch“ -, kann auf diese Weise so die bislang gegenüber den gedüngten Flächen kaum unterschiedliche Ertragsentwicklung (15 Jahre ohne P-Düngung!) erklärt werden.

Betrachtet man dagegen die Variante „N PK org.“ (ohne Strohabfuhr), so erkennt man, dass auf allen Standorten mehr oder weniger große P-Überschüsse vorliegen, die nur zu einem kleinen Teil aus dem jährlichen Überschuss der P-Düngung stammen. Vielmehr haben an den besser versorgten Standorten „Wallhausen“ und besonders „Buch“ die CAL-Werte deutlich abgenommen. Dies hat einen rechnerischen P-Überhang zur Folge, der quantitativ in der Gesamt-P-Fraktion wiederzufinden ist. So könnte erklärt werden, warum die CAL-P-Werte bei ausgeglichener P-Bilanz bis zu einer Untergrenze von ca. 10 mg/100 g Boden rückläufig sind, bevor sie stagnieren (siehe „Kleinansbach“).

Wird jedoch jährlich ein hoher P-Überschuss gedüngt – wie dies in den 70 er und 80 er Jahren des vorigen Jahrhunderts durchaus häufig der Fall war (= Ursache für die sehr. hohe P-Versorgung der Fläche „Buch“) – so kommt es parallel zu einer Anreicherung des Gesamt-P-Pools (ca. 40 % des Phosphor aus Putenmist liegen in organischer Form vor) und der löslichen P-Fraktion – besonders bei intensiver Bewirtschaftung, durch die die P-Dynamik (Auf- und Abbauprozesse) angeregt wird.

Ergebnisse (nach Standorten)

In zweiten Berichtsteil werden die Versuchsergebnisse der einzelnen Standorte im Vergleich über den gesamten Versuchszeitraum dargestellt.

Standort I – Versuche mit Schweinegülle („Wallhausen“)

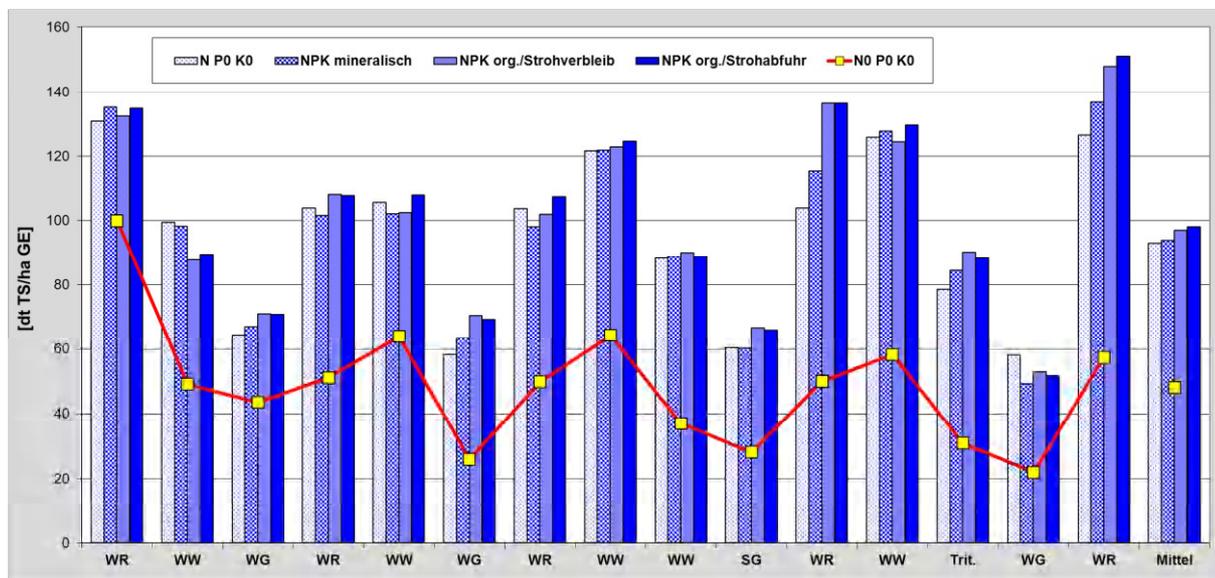


Abbildung 7 Ertragsverlauf (1998 bis 2012): Standort „Wallhausen“

Mit einer N-Düngung liegen die Erträge im langjährigen Mittel bei 93,8 dt GE TM/ha (Abbildung 7). Während die mineralische PK-Düngung keine nennenswerten Ertragssteigerungen zeigt, liegen die Erträge im Falle der PK-Güledüngung um etwa 4 % über der Kontrollvariante ohne PK-Düngung. Seit 2008 deutet sich bei Winterraps eine Ertragspreizung in Folge einer PK-Düngung an. Die positiven Einflüsse einer Güledüngung werden deutlicher. Entsprechend steigen die P-Entzüge bei mineralischer PK-

Düngung um ca. 1 %, bei organischer PK-Düngung um ca. 6 % im Vergleich zur Kontrollvariante an (Abbildung 8).

Tabelle 8 Nährstoffsaldo (1998 bis 2012): Standort „Wallhausen“

| Variante | Nährstoff-Saldo | | | | | |
|---|-----------------|-------------------------------|------------------|-------------|-------------------------------|------------------|
| | [kg/ha] | | | [kg/ha * a] | | |
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| NOP0K0 | -819 | -497 | -289 | -55 | -33 | -19 |
| N P0K0 | 336 | -969 | -560 | 22 | -65 | -37 |
| N P K (mineralisch) | 348 | -25 | -14 | 23 | -2 | -1 |
| N P K (org./min.) o. Strohabfuhr | 168 | -44 | 182 | 11 | -3 | 12 |
| N P K (org./min.) m. Strohabfuhr | -118 | -134 | -484 | -8 | -9 | -32 |

In Tabelle 8 sind die Nährstoffsalden in der Summe über die Laufzeit von 15 Jahren bzw. jährlich aufgelistet. Ertragserwartung und die in Folge ausgebrachten Nährstoffe werden langjährig bestätigt.

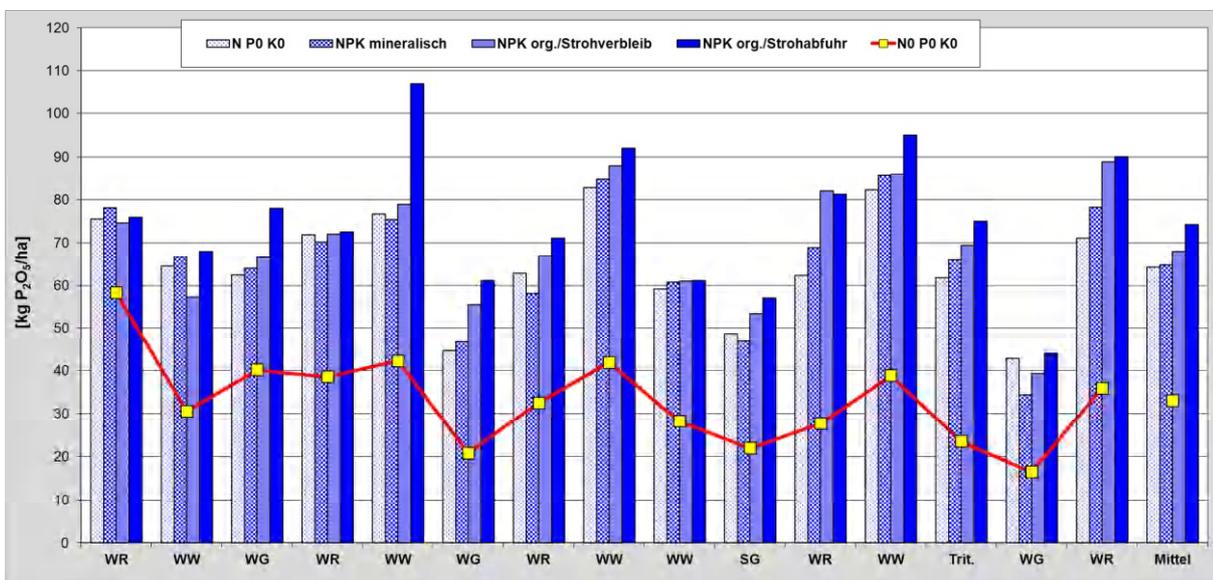


Abbildung 8 Verlauf der P-Abfuhr/Ernteprodukte (1998 bis 2012): Standort „Wallhausen“

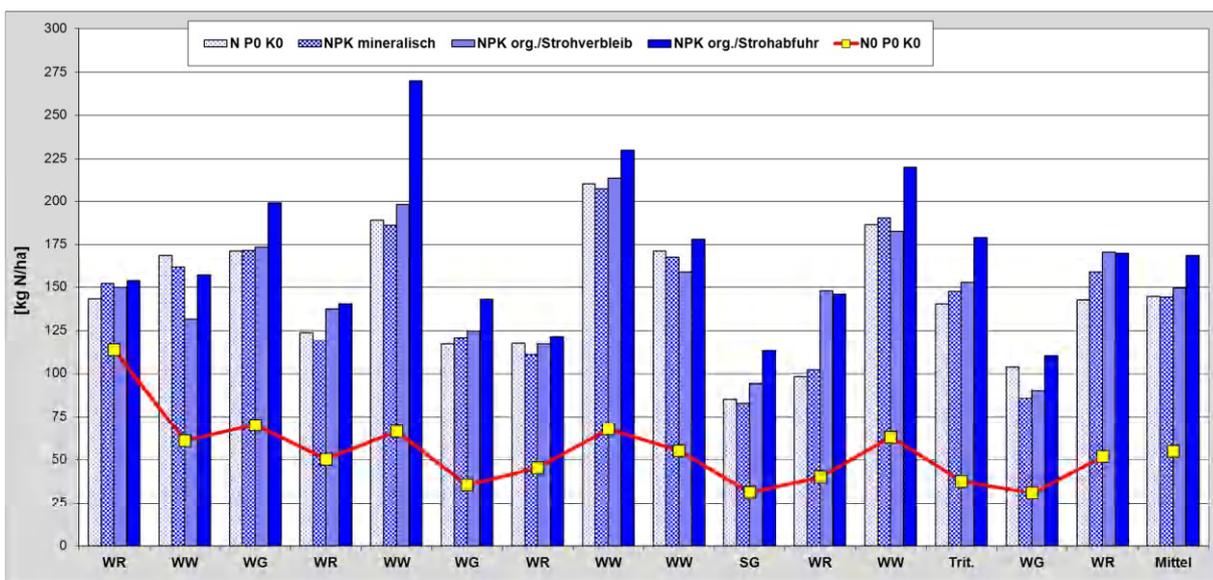


Abbildung 9 Verlauf der N-Abfuhr/Ernteprodukte (1998 bis 2012): Standort „Wallhausen“

Die Ganglinien der CAL-Phosphatgehalte (Abbildung 10) sind über den Versuchszeitraum langsam fallend. Bei den Parzellen „ohne P-Zufuhr“, aber auch bei den mineralisch mit Phosphat versorgten

Varianten ist dies deutlicher als bei den mit Schweinegülle gedüngten Flächen. In einem 4 Jahresrhythmus kommt es nach einer Stabilisierung der CAL-P-Gehalte zu einem kleinen Rückgang. Die Phosphatgehalte stabilisieren sich über 3 Jahre, um im 4. Jahr wieder etwas abzufallen. Ein standorttypisches Gleichgewicht zwischen Zufuhr und Abfuhr hat sich wohl noch nicht eingestellt. Ähnlich verhalten sich die CAL-K-Gehalte im Versuch (Abbildung 11).

Die N-Abfuhr (Abbildung 9) variiert wie die P-Entzüge mit den jährlichen – besonders von einer N-Gabe abhängigen – Erträgen. Deutlich zu erkennen ist der höhere N-Entzug auf Variante 5 „mit Strohabfuhr“ (hoher Getreideanteil!).

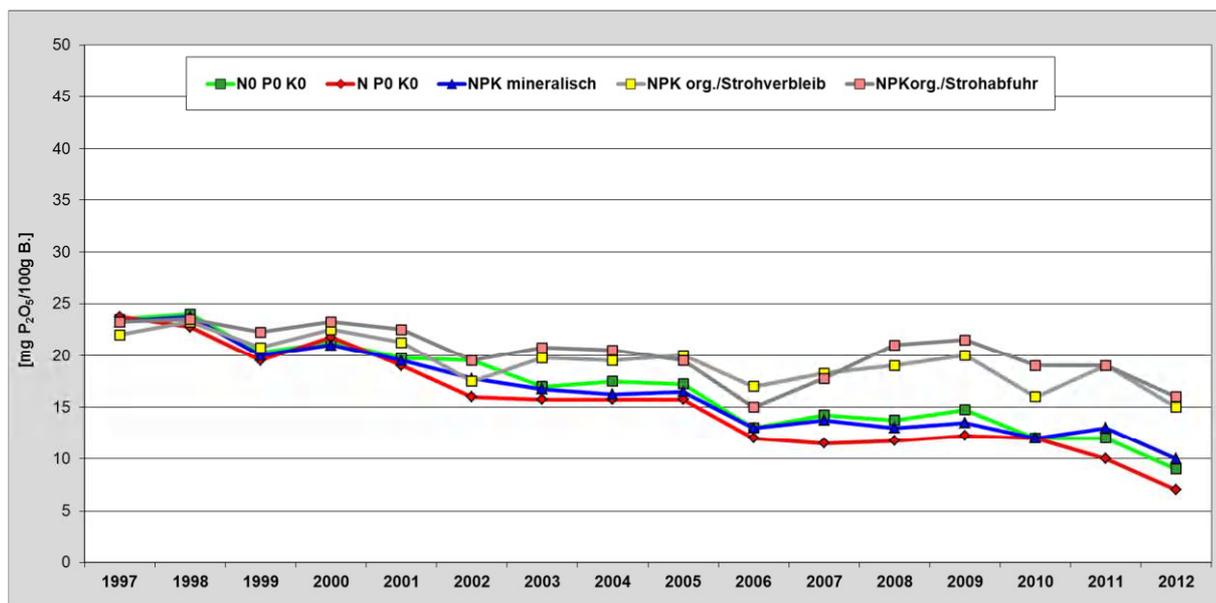


Abbildung 10 Verlauf der CAL-P₂O₅-Gehalte (1998 bis 2012): Standort „Wallhausen“

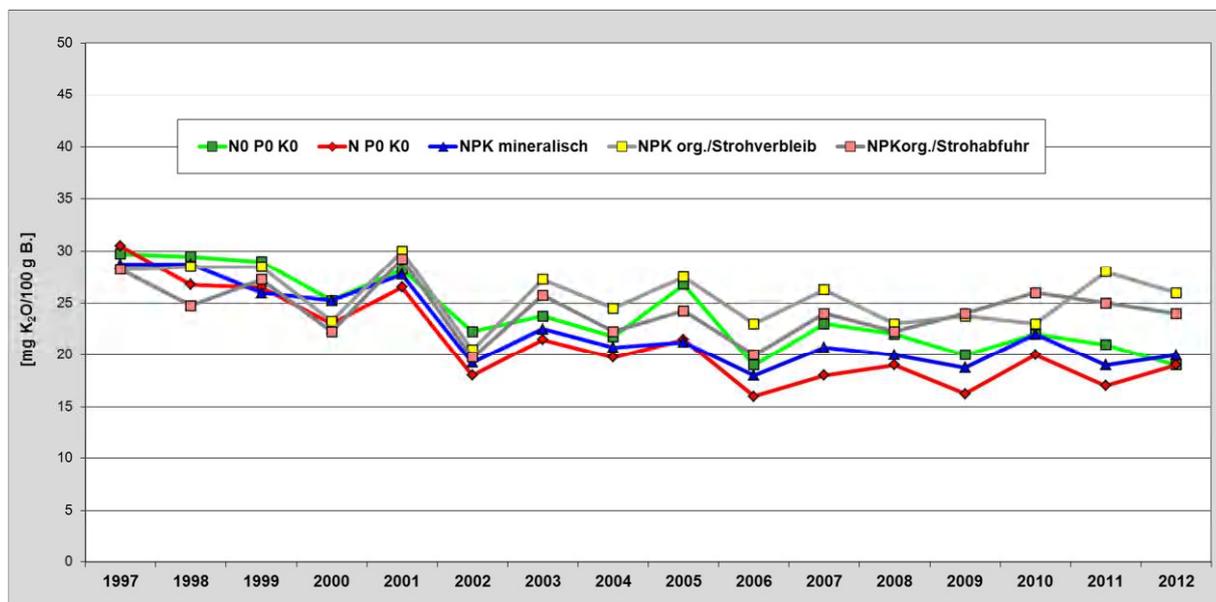


Abbildung 11 Verlauf der CAL-K₂O-Gehalte (1998 bis 2012): Standort „Wallhausen“

Der Verlauf der Nitratwerte (Abbildung 12) über den bisherigen Versuchszeitraum zeigt den bekannten Einfluss des Jahresverlaufes, geprägt von der N-Düngung. Nur in Einzelfällen (auffällig seit 2008 nach Winterraps!) sind die Nitratwerte nach organischer Düngung höher als bei ausschließlicher mineralischer N-Zufuhr. Es zeigt sich aber auch, dass eine nachhaltige Düngung selbst mit organischen Düngern ohne eine unkontrollierte Nitratbildung möglich ist. Voraussetzung sind eine exakte

Düngebedarfsermittlung und die genaue Ausbringung der berechneten N-Mengen zum richtigen Termin.

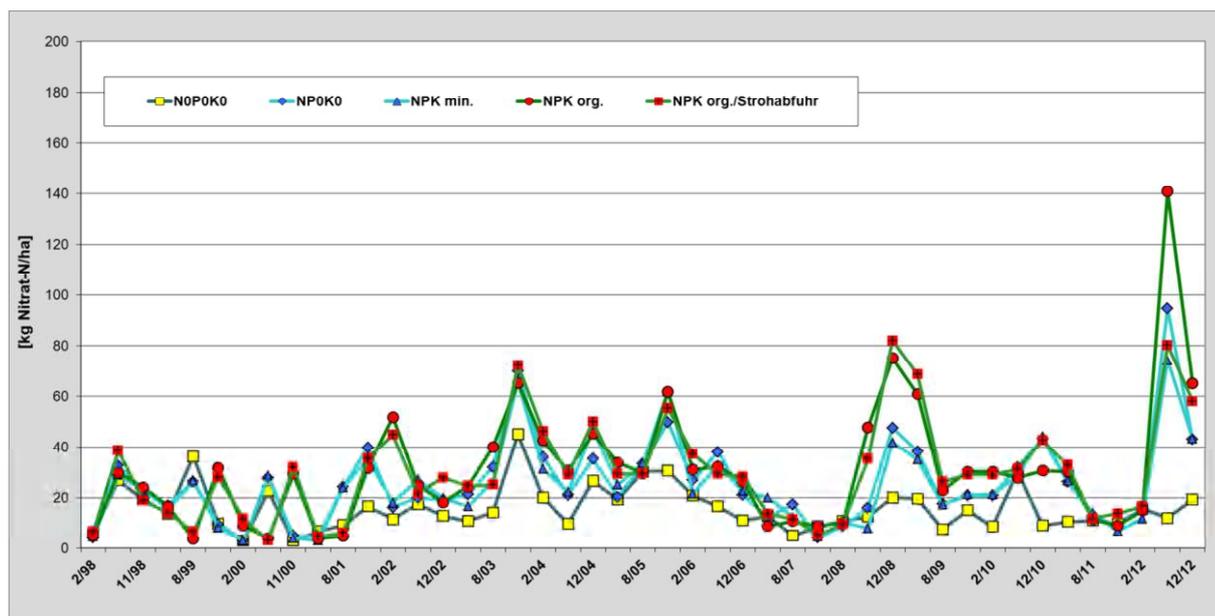


Abbildung 12 Verlauf der Nitrat-N-Gehalte (1998 bis 2012): Standort „Wallhausen“

Standort II – Versuche mit Putenmist („Kleinansbach“)

Mit einer N-Düngung liegen die Erträge im langjährigen Mittel bei 76,7 dt GE TM/ha (Abbildung 13). Eine mineralische sowie organische PK-Düngung führen zu gesicherten Ertragssteigerungen von 9 % bzw. 8 % im langjährigen Mittel. Ebenso erhöht sich das Ertragsniveau mit zunehmender Versuchsdauer. Winterraps verzeichnet den deutlichsten Ertragseffekt in Folge der mineralischen N-Düngung, aber auch der Putenmistgabe. Es ist nicht auszuschließen, dass in Folge der langjährigen Festmistgabe Zusatzeffekte vorhanden sind, die zu Versuchsbeginn noch nicht vorhanden waren, da die Fläche erst 1996 nach langjähriger extensiver Bewirtschaftung vom aktuellen Bewirtschafter gepachtet worden war. Entsprechend steigen die P-Entzüge bei mineralischer PK-Düngung um ca. 8 %, bei organischer PK-Düngung um ca. 6 % im Vergleich zur Kontrollvariante an (Abbildung 14). Dies entspricht einer jährlichen Ausnutzung des mineralisch bzw. organisch gedüngten P von ca. 5 %.

Tabelle 9 Nährstoffsaldo (1998 bis 2012): Standort „Kleinansbach“

| Variante | Nährstoff-Saldo | | | | | |
|----------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|-----------|-------------------------------|------------------|
| | [kg/ha] | | | [kg/ha*a] | | |
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| N0P0K0 | -955 | -494 | -426 | -64 | -33 | -28 |
| N P0K0 | 423 | -781 | -601 | 28 | -52 | -40 |
| N P K (mineralisch) | 242 | 35 | 6 | 16 | 2 | 0 |
| N P K (org./min.) o. Strohabfuhr | 190 | 140 | 23 | 13 | 9 | 2 |
| N P K (org./min.) m. Strohabfuhr | 26 | 99 | -317 | 2 | 7 | -21 |

Aber auch die N-Abfuhr (Abbildung 15) verdeutlicht den positiven Effekt einer regelmäßigen Zufuhr von Putenmist, da die N-Entzüge in diesem Fall um ca. 5 % höher sind als ohne P-Düngung. Die mineralische P-Düngung wird jährlich zu etwa 7 % ausgenutzt. Der restliche P-Bedarf der Pflanzen wird

problemlos aus der vergleichsweise großen Bodenreserve nachgeliefert. Diese Mobilisierungsleistung wird über die großen N- und P-Reserven, aber auch über die ausgezeichnete Humus- und Wasserversorgung des Bodens gewährleistet.

Die Ganglinien der CAL-Phosphat-, aber auch CAL-Kaligehalte (Abbildungen 16 und 17) sind über den Versuchszeitraum nahezu konstant mit geringen „Ausschlägen“, die der jeweiligen Kultur, dem Witterungsverlauf und einem unvermeidbaren Fehler bei der jährlich nach der Ernte durchgeführten Probenentnahme geschuldet sind.

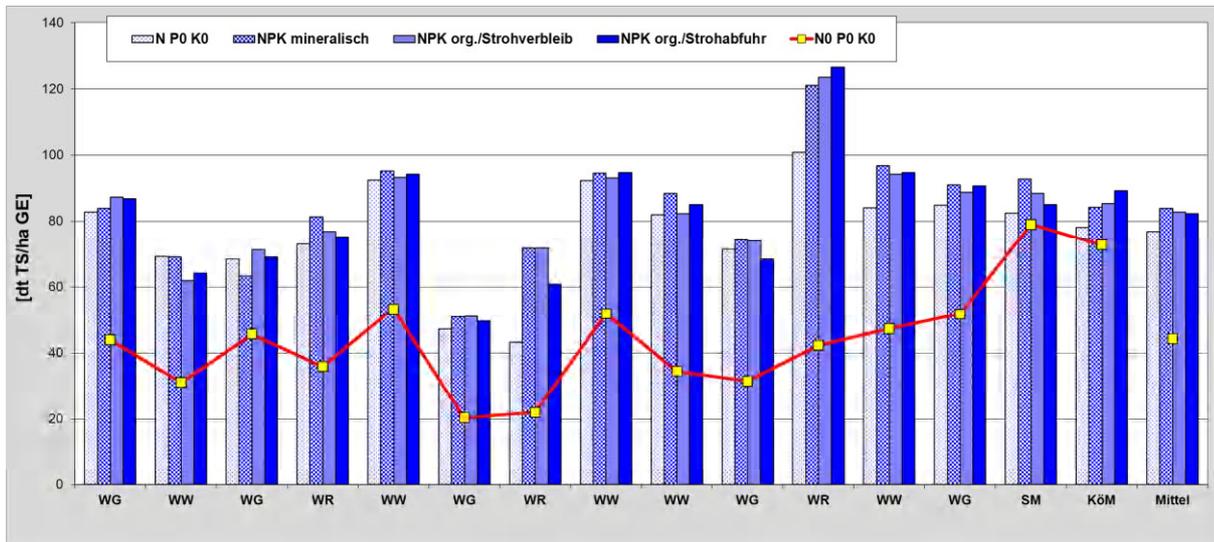


Abbildung 13 Ertragsverlauf (1998 bis 2012): Standort „Kleinansbach“

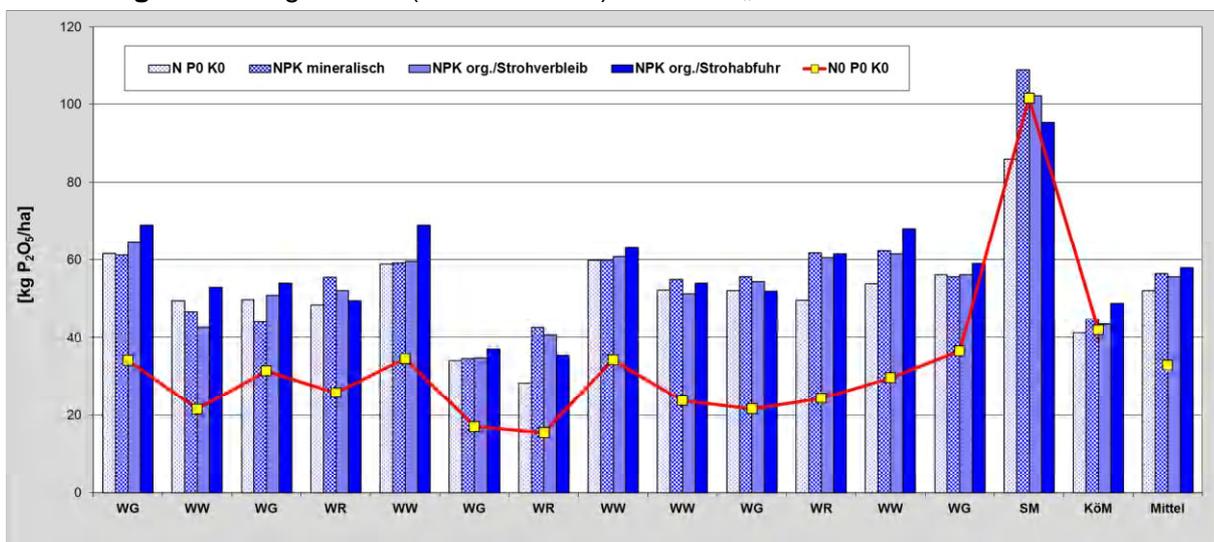


Abbildung 14 Verlauf der P-Abfuhr/Ernteprodukte (1998 bis 2012): Standort „Kleinansbach“

Dagegen ist die Bandbreite bei den Nitrat-N-Werten sehr groß (Abbildung 18). Dies ist zu einem gewichtigen Anteil auch auf die Mineralisationsleistung des Standortes zurückzuführen, die bei der jährlich durchgeführten Düngedarfsermittlung nicht immer ausreichend prognostiziert werden konnte. Ein bekanntes Problem bei Böden mit hohen Humus- und folglich Gesamt-N-Gehalten! Einzig die Variante, die langjährig keine Düngung erhalten hat, bewegt sich mit mehr oder weniger großer Variation in einem aus Sicht des Wasserschutzes akzeptablen Schwankungsbereich.

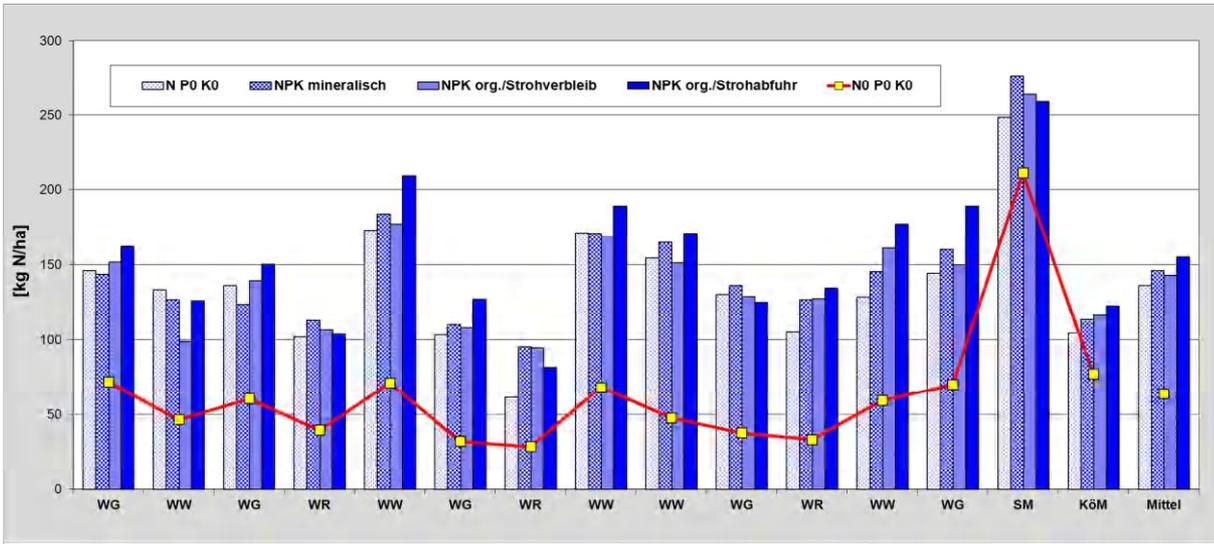


Abbildung 15 Verlauf der N-Abfuhr/Ernteprodukte (1998 bis 2012): Standort „Kleinansbach“

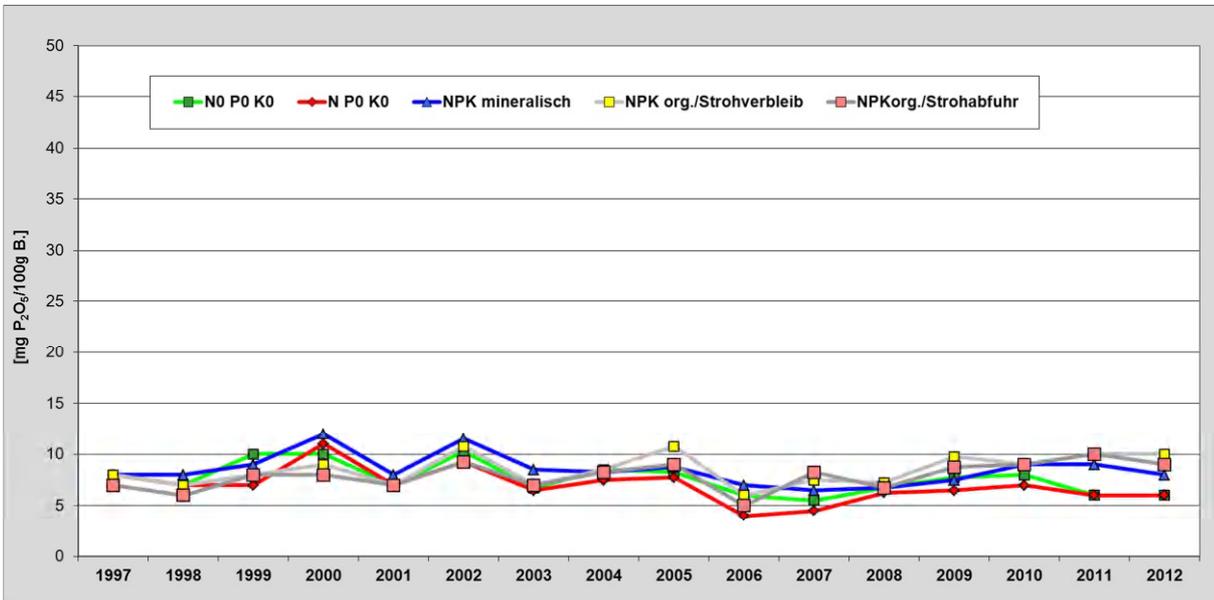


Abbildung 16 Verlauf der CAL-P₂O₅-Gehalte (1998 bis 2012): Standort „Kleinansbach“

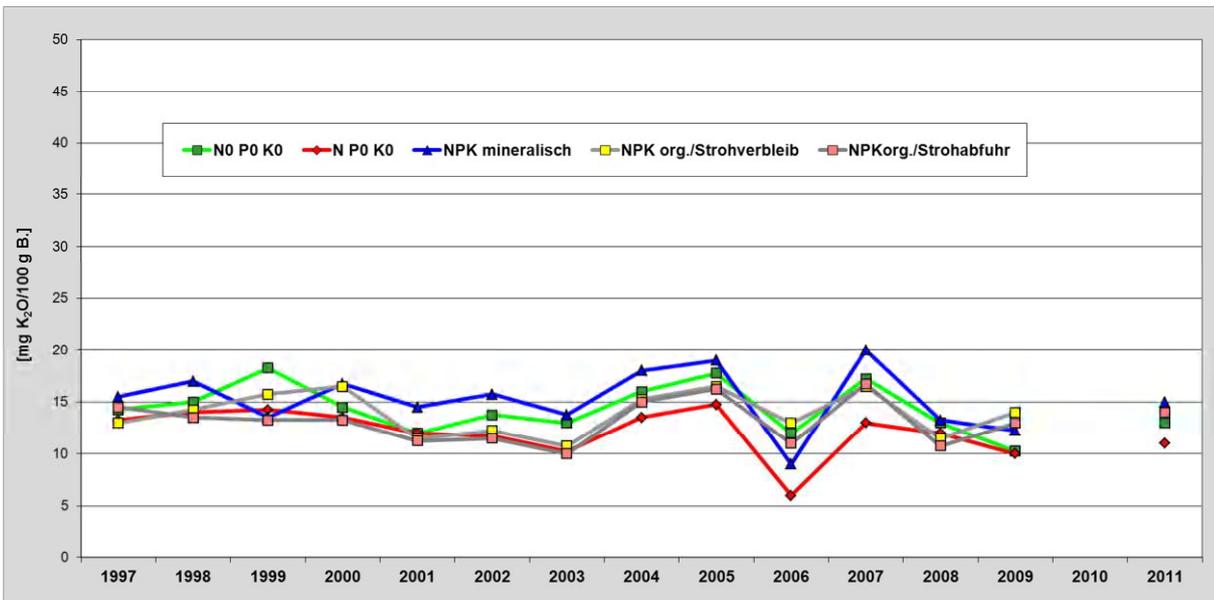


Abbildung 17 Verlauf der CAL-K₂O-Gehalte (1998 bis 2012): Standort „Kleinansbach“

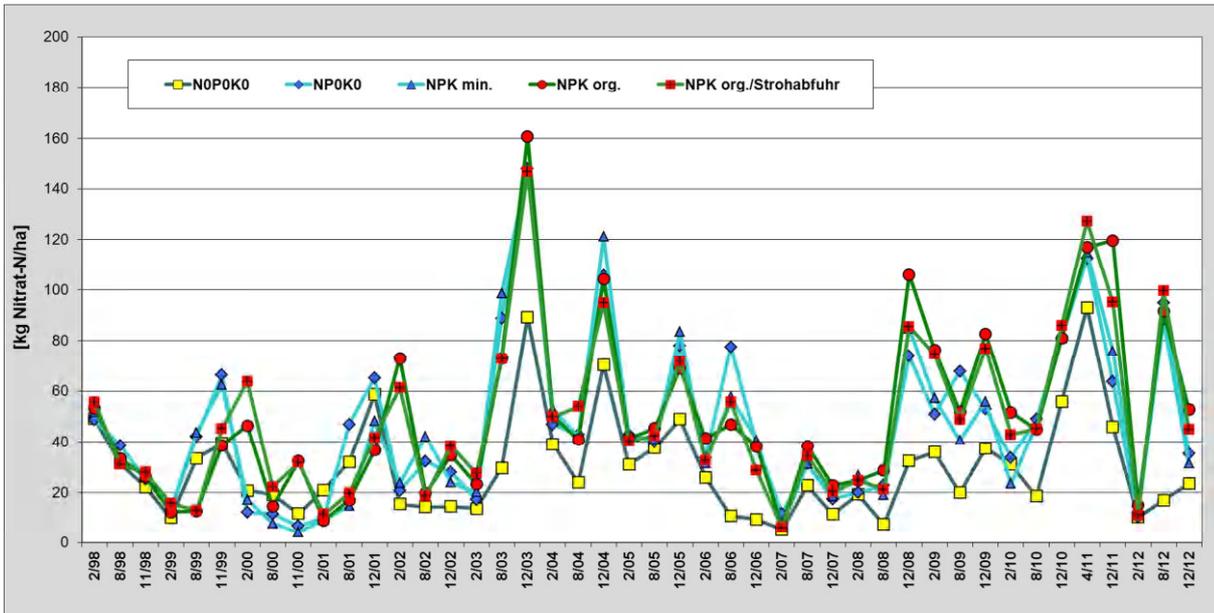


Abbildung 18 Verlauf der Nitrat-N-Gehalte (1998 bis 2012): Standort „Kleinansbach“

Standort III – Versuche mit Putenmist („Buch“)

Im Vergleich zu den bereits beschriebenen Standorten „Wallhausen“ und „Kleinansbach“ waren am Standort „Buch“ die Erträge im langjährigen Mittel ohne N-Düngung mit 52,5 dt GE TM/ha am niedrigsten, obwohl die Rahmenbedingungen zunächst bessere Erträge haben erwarten lassen (Abbildung 19). Eine mineralische sowie organische N-Düngung führen zu deutlichen Ertragssteigerungen von mehr als 50 % im langjährigen Mittel. Die Erträge zeigen einen sehr schwankenden Verlauf über den bisherigen Versuchszeitraum. Winterraps sowie Silomais in 2012 (nach Umbruch von Winterraps!) erzielen die höchsten Erträge. Eine P-Gabe – ob mineralisch oder organisch verabreicht – wirkte sich erwartungsgemäß nicht ertragssteigernd aus.

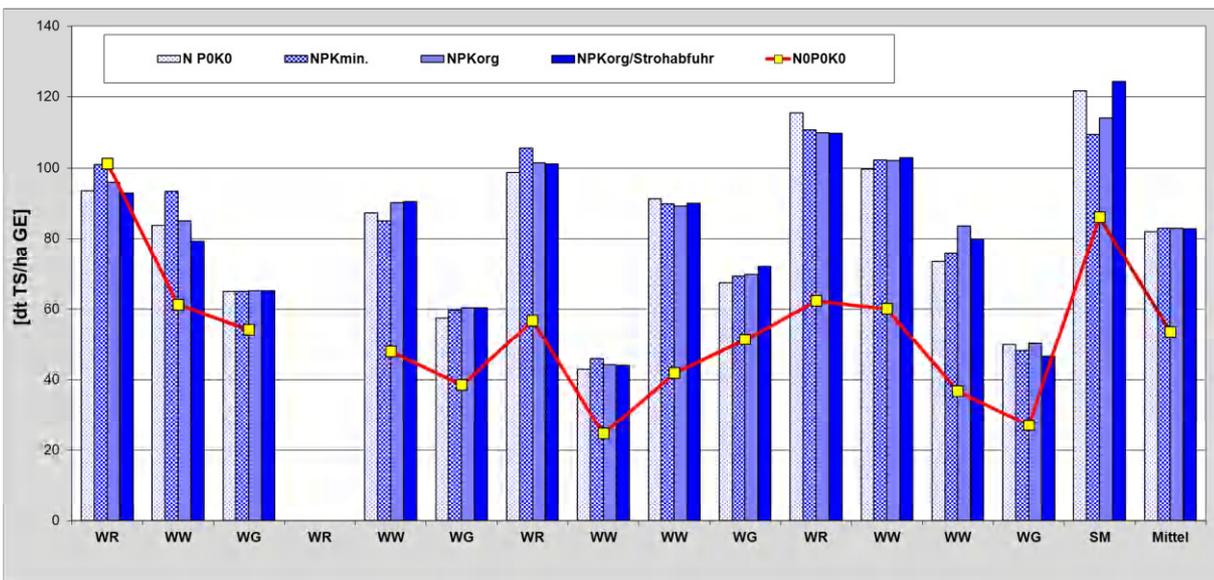


Abbildung 19 Ertragsverlauf (1998 bis 2012): Standort „Buch“

Entsprechend verhalten sich die P- und N-Entzüge bei mineralischer wie organischer PK-Düngung (max. 1 % Mehrentzug!) (Abbildungen 20 und 21). Dies bedeutet eine jährliche Ausnutzung des mineralisch bzw. organisch gedüngten P von ca. 1 %. Bei Strohabfuhr erhöht sich die P-Effizienz auf ca. 6 % jährlich.

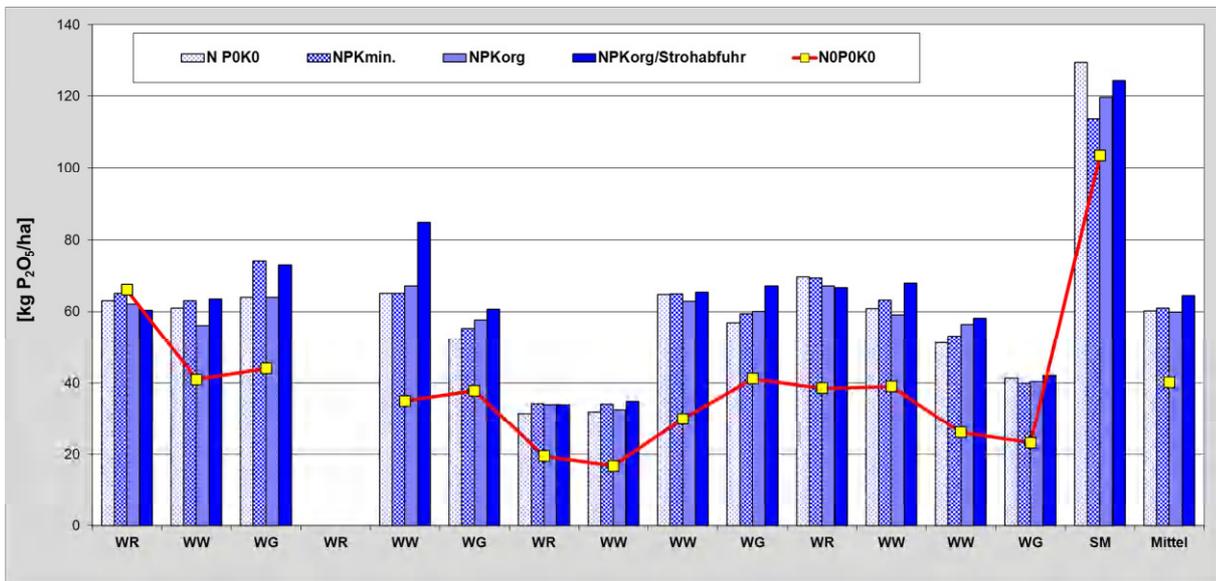


Abbildung 20 Verlauf der P-Abfuhr/Ernteprodukte (1998 bis 2012): Standort „Buch“

Trotz ausgeglichener P-Bilanz der Varianten 3 und 4 (Tabelle 10) sind die CAL-P-, aber auch CAL-K-Gehalte im Boden kontinuierlich rückläufig (Abbildung 22 und 23). Die Gehalte liegen – insbesondere bei der P-Versorgung - immer noch deutlich in Versorgungsklasse „E“, jedoch weisen die Verläufe darauf hin, dass bei ausgewogener oder unterbilanzierter P-Düngung (s. Variante 5 „mit Strohabfuhr“) zunächst die löslichen P-Reserven stärker aufgebraucht werden als die stabileren P-Reserven. Umgekehrt werden im Zuge einer langjährigen P-Überbilanz die stabileren P-Formen besonders gefördert (s. Tabelle 2 Ausgangssituation). Da Kali ebenfalls langjährig leicht unterbilanziert gedüngt wurde, nehmen auch hier die löslichen Gehalte allmählich ab. Bei einer regelmäßigen Bodenuntersuchung besteht jedoch kein Risiko in einen Versorgungsbereich abzurutschen, der Ertragsminderungen oder Ertragsunsicherheiten bedeuten könnte (selbst bei regelmäßiger Strohabfuhr!).

Tabelle 10 jährliche Nährstoffsalden (1998 bis 2012): Standort „Buch“

| Variante | Nährstoff-Saldo | | | | | |
|---|-----------------|-------------------------------|------------------|-----------|-------------------------------|------------------|
| | [kg/ha] | | | [kg/ha*a] | | |
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| N0P0K0 | -994 | -562 | -564 | -71 | -40 | -40 |
| N P0K0 | 275 | -842 | -753 | 20 | -60 | -54 |
| N P K (mineralisch) | 220 | 107 | -121 | 16 | 8 | -9 |
| N P K (org./min.) o. Strohabfuhr | 229 | 118 | -107 | 16 | 8 | -8 |
| N P K (org./min.) m. Strohabfuhr | -59 | 53 | -609 | -4 | 4 | -43 |

Die Bandbreite der Nitrat-N-Werte ist wiederum sehr groß (Abbildung 24). Dies ist zu einem gewichtigen Anteil ebenso wie am Standort „Kleinansbach“ auf die Mineralisationsleistung des Bodens zurückzuführen, die im Laufe des Versuches bei der jährlich durchgeführten Düngebedarfsermittlung immer ausgewogener prognostiziert werden konnte. Der Grund hierfür muss in der langjährigen sehr intensiven Düngung mit Putenmist gesehen werden, in dessen Zusammenhang nicht nur die P-, sondern auch die N-Reserven des Bodens sehr stark angewachsen sind. Diese „Überschüsse“ werden nun im Zuge eines moderaten Düngeverhaltens allmählich verringert. Daher sind die anfänglich

durchaus sehr hohen Rest-N-Werte nach der Ernte, aber auch im Frühjahr allmählich rückläufig und folglich besser mit dem geforderten Wasserschutz vereinbar!

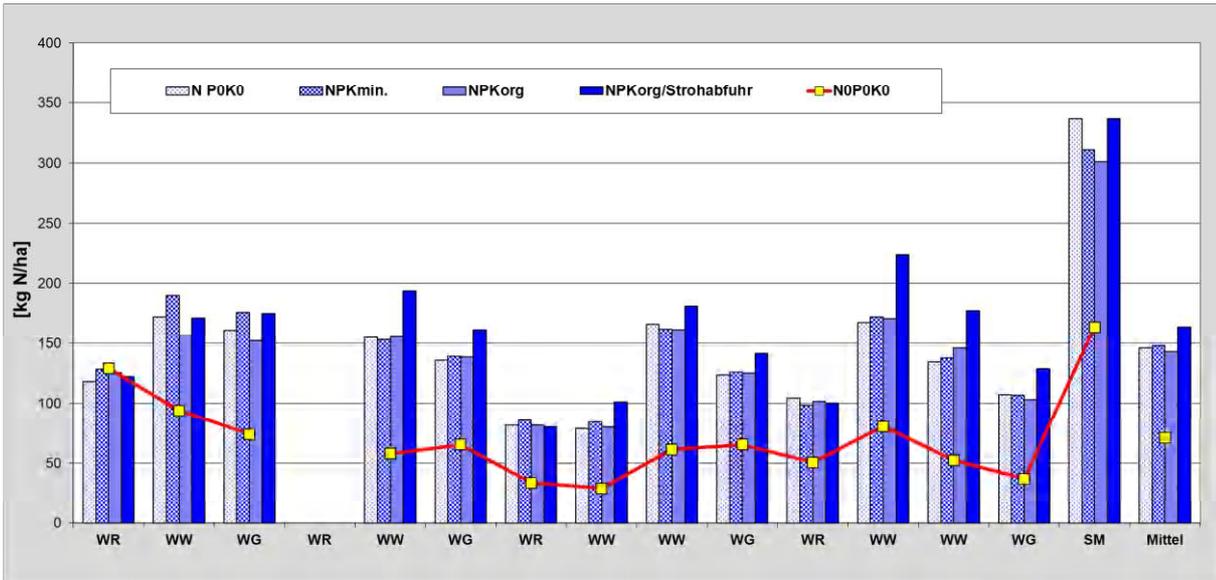


Abbildung 21 Verlauf der N-Abfuhr/Ernteprodukte (1998 bis 2012): Standort „Buch“

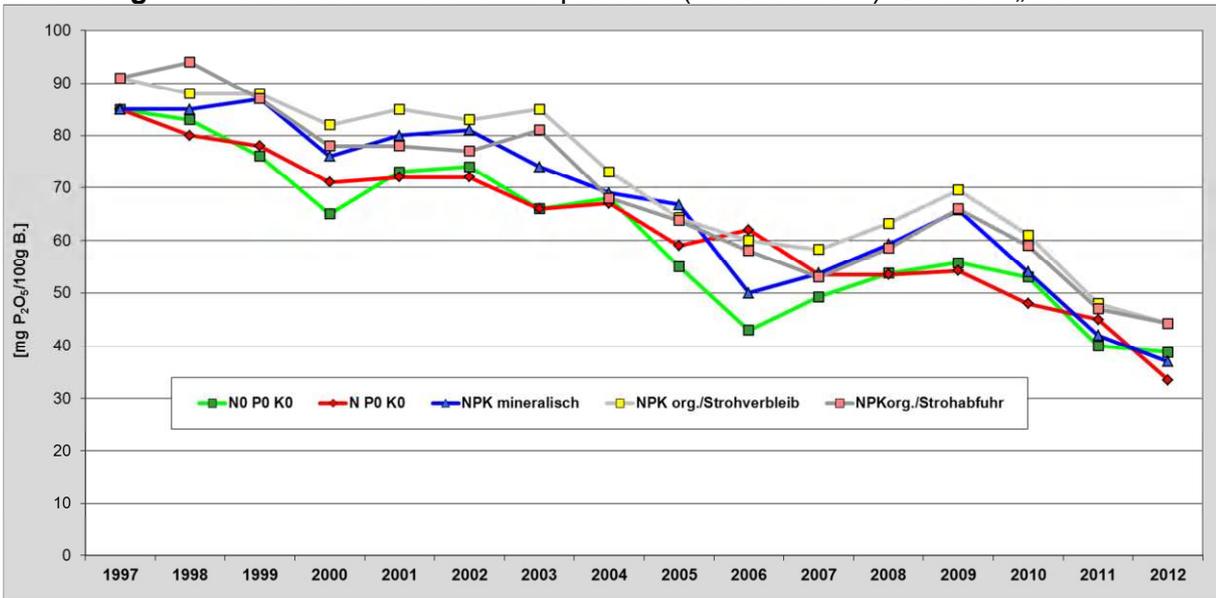


Abbildung 22 Verlauf der CAL-P₂O₅-Gehalte (1998 bis 2012): Standort „Buch“

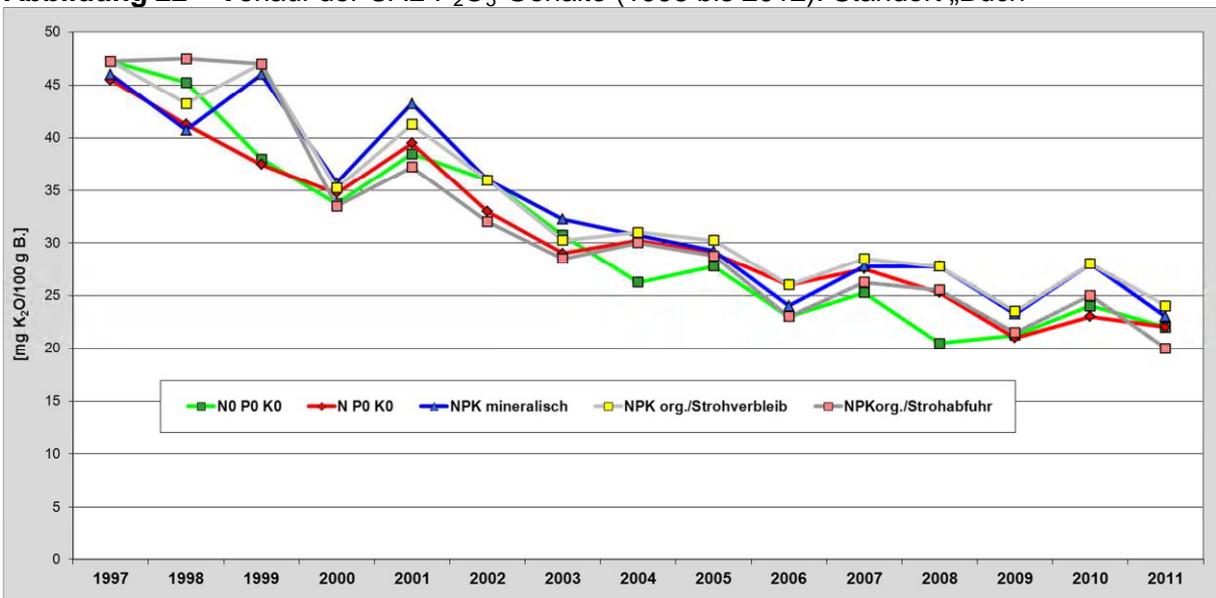


Abbildung 23 Verlauf der CAL-K₂O-Gehalte (1998 bis 2012): Standort „Buch“

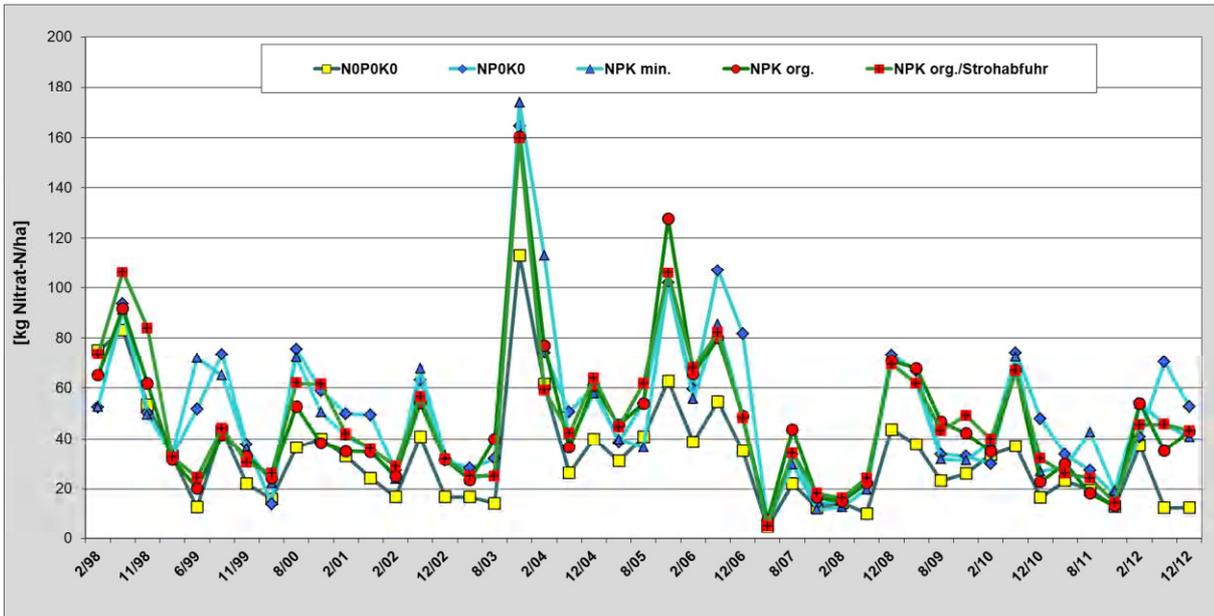


Abbildung 24 Verlauf der Nitrat-N-Gehalte (1998 bis 2012): Standort „Buch“

Fazit

- Eine kultur- und standorttypische N-Düngung führt im Vergleich zu einer Nulldüngung zu statistisch abgesicherten Ertragssteigerungen und Nährstoffabfuhr mit der Möglichkeit, Böden, die lange Zeit in Folge überhöhter Düngung mit Wirtschaftsdünger angereichert wurden, „abzumagern“.
- Langjährig ohne N-Düngung waren die Erträge kontinuierlich rückläufig.
- Eine P-Gabe – ob mineralisch oder organisch-mineralisch verabreicht - hatte nur in Ausnahmefällen (niedrige CAL-P-Versorgung (Gehaltsklasse A oder B), bei Trockenheit oder in Folge von Beeinträchtigungen der Bodenstruktur und bei Kulturen mit sehr hohem P-Bedarf zu Vegetationsbeginn beispielsweise Winterraps) eine signifikante positive Ertragswirkung.
- Die CAL-P-Bodengehalte sind nach bislang 15 Versuchsjahren auf allen Standorten leicht rückläufig, jedoch noch nicht ertragsbegrenzend.
- Am Standort „Buch“ mit sehr hoher P-Versorgung (CAL-P-Ausgangswerte > 80 mg/100 g Boden!) hat eine langjährige exakte P-Düngung eine allmähliche Abnahme der löslichen P-Gehalte zur Folge. Diese erfolgt jedoch nicht kurzfristig, so dass jederzeit mit einer Düngungsmaßnahme reagiert werden kann.
- Die Gesamt-P-Gehalte der Böden (= größter Anteil der P-Reserven) werden bei regelmäßiger P-Entzugsdüngung nicht verringert. Vielmehr deuten die Untersuchungen darauf hin, dass selbst rechnerisch geringe P-Überschüsse zunächst in die stabilere P-Reserve zu Lasten der mobilen CAL-P-Fraktion einfließen.
- Dies hat zur Folge, dass – wie am Standort „Kleinansbach“ beobachtet (CAL-P-Ausgangswerte < 10 mg/100 g Boden!) – Ertragssicherheit und Bodenfruchtbarkeit trotz P-Nulldüngung mittelfristig nicht gefährdet sind.
- Voraussetzung für eine Pflanzenproduktion im unteren „C-Bereich“ bzw. oberen „B-Bereich“ sind jedoch eine ausreichende Wasserversorgung und eine funktionstüchtige Bodenbiologie.

Ergebnis-Anhang

Standort „Niederwinden“

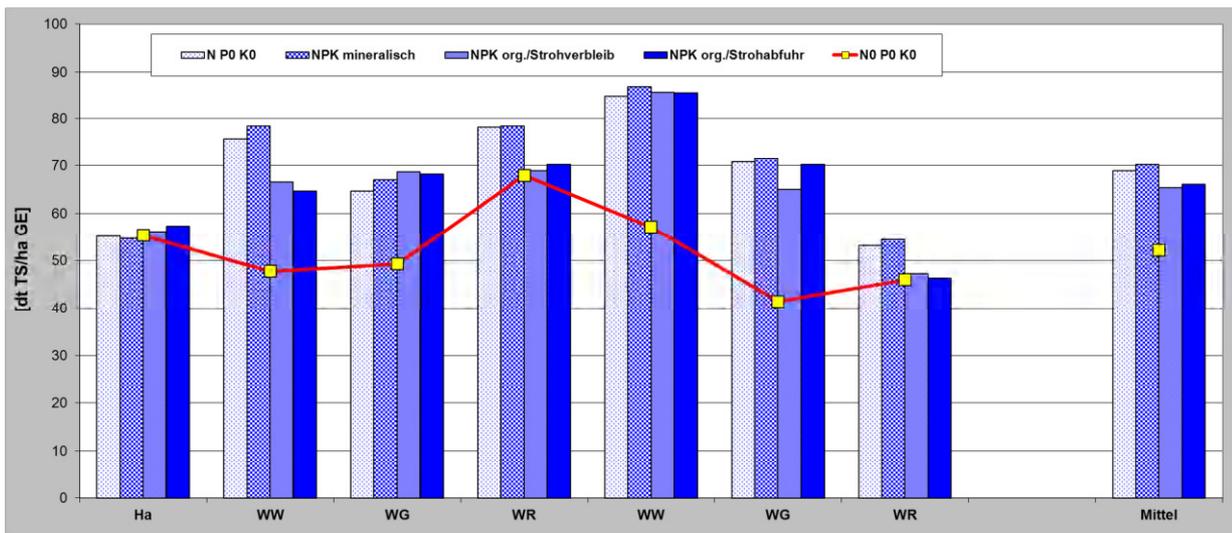


Abbildung 1 Ertragsverlauf (1998 bis 2004): Standort „Niederwinden“

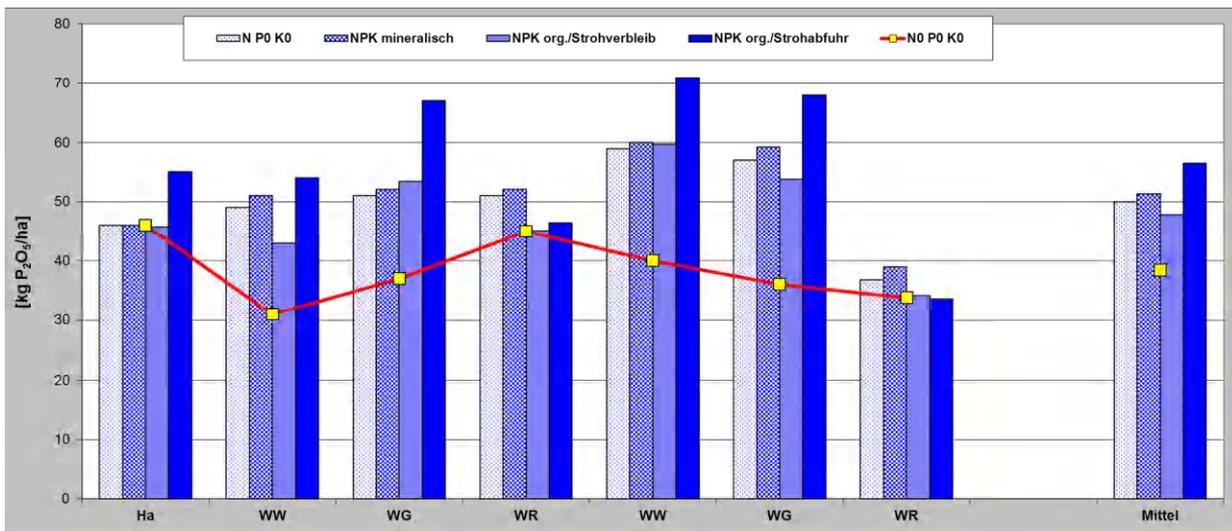


Abbildung 2 Verlauf der P-Abfuhr/Ernteprodukte (1998 bis 2004): Standort „Niederwinden“

Tabelle 1 jährliche Nährstoffsalden (1998 bis 2004): Standort „Niederwinden“

| Variante | Nährstoff-Saldo | | | | | |
|----------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|-------------|-------------------------------|------------------|
| | [kg/ha] | | | [kg/ha * a] | | |
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| NoPoKo | -537 | -269 | -161 | -36 | -18 | -11 |
| N PoKo | 154 | -350 | -205 | 10 | -23 | -14 |
| N P K (mineralisch) | 141 | 74 | 87 | 9 | 5 | 6 |
| N P K (org./min.) o. Strohabfuhr | 234 | 97 | 85 | 16 | 6 | 6 |
| N P K (org./min.) m. Strohabfuhr | 139 | 37 | -205 | 9 | 2 | -14 |

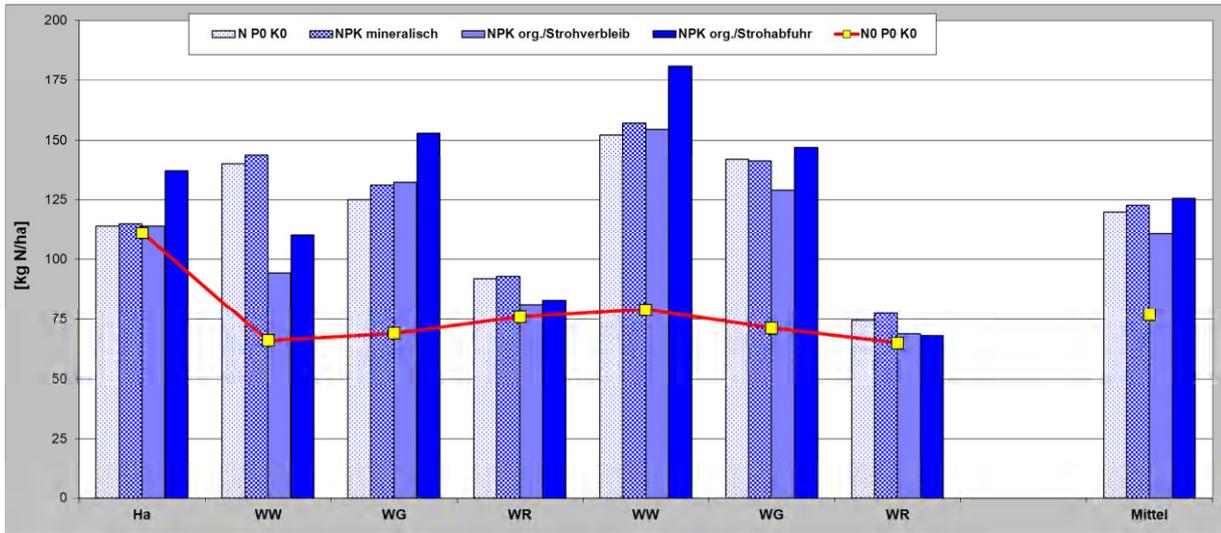


Abbildung 3 Verlauf der N-Abfuhr/Ernteprodukte (1998 bis 2004): Standort „Niederwinden“

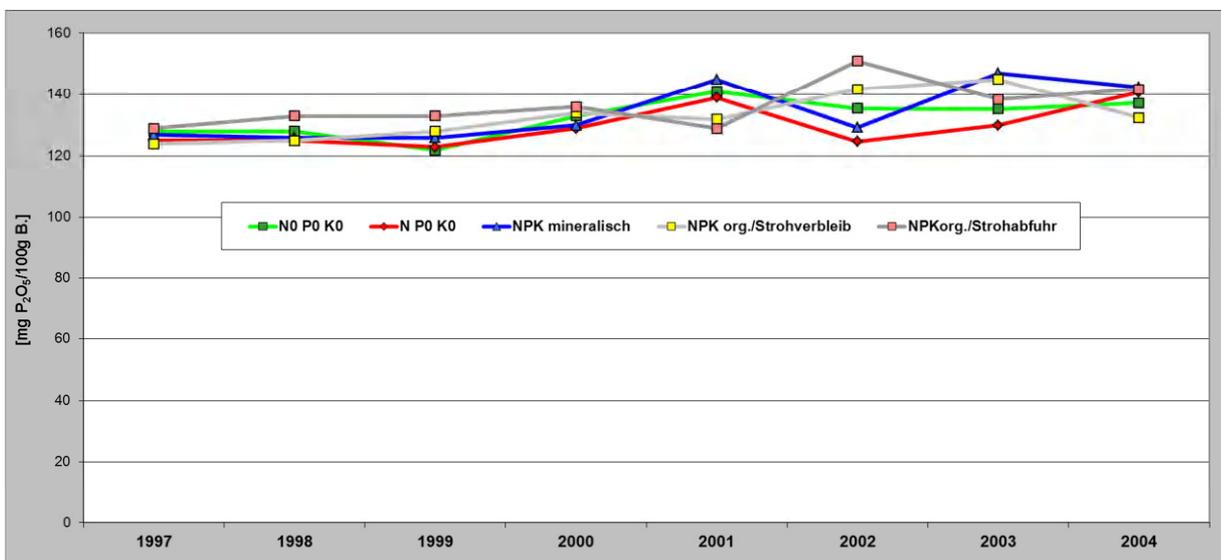


Abbildung 4 Verlauf der CAL-P₂O₅-Gehalte (1998 bis 2004): Standort „Niederwinden“

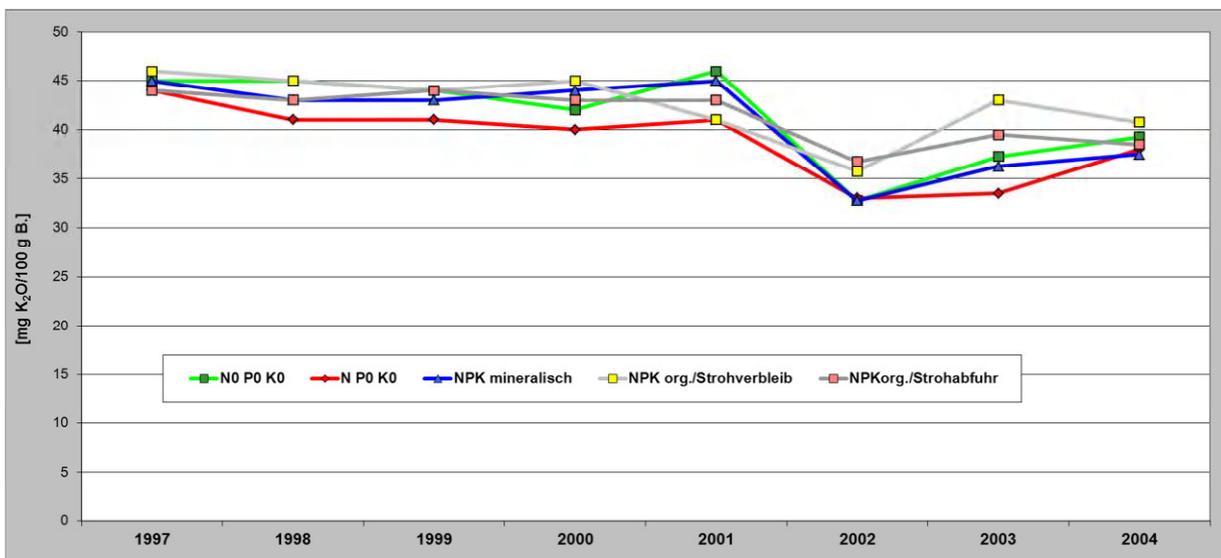


Abbildung 5 Verlauf der CAL-K₂O-Gehalte (1998 bis 2004): Standort „Niederwinden“

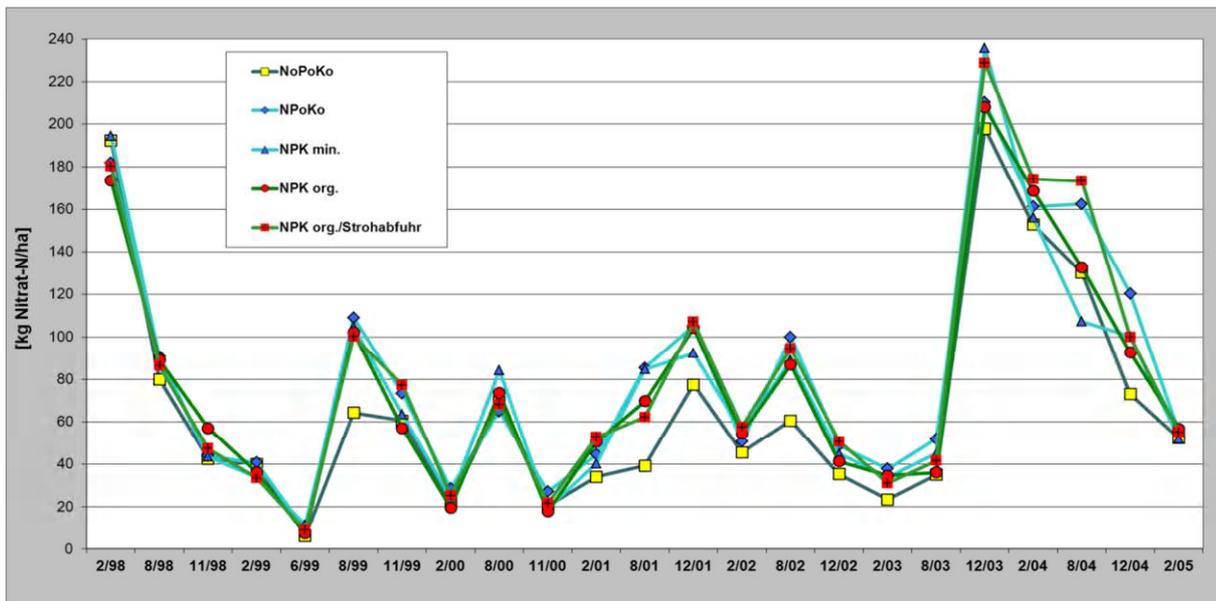


Abbildung 6 Verlauf der Nitrat-N-Gehalte (1998 bis 2004): Standort „Niederwinden“

Fazit

- Die in den Anhangs-Abbildungen 1 bis 6 und der Anhangs-Tabelle 1 dargestellten Ergebnisse am Standort „Niederwinden“ bestätigen die im Hauptteil beschriebenen langjährigen Ergebnisse.
- Jedoch handelt es sich bei diesem Standort um einen extrem hoch mit Phosphat und Stickstoff angereicherten Boden.
- Dies hatte zur Folge, dass die Erträge tendenziell auf den mit Putenmist und mineralischem N gedüngten Varianten eher rückläufig waren.
- Die Verläufe der Nitrat-N-Werte waren über den gesamten Versuchszeitraum z.T. sehr hoch und daher ökologisch als sehr kritisch einzustufen.
- Dies gilt ebenso für die CAL-P-Gehalte im Boden.
- Bei Untersuchungen der Drainagen am Standort im Rahmen eines Projektes in Kooperation mit der TU Karlsruhe Institut für Hydrologie konnten im Jahresgang häufig Ortho-Phosphatgehalte im Drainagewasser gemessen werden, die deutlich über den erlaubten Werten für Grund- und Oberflächenwasser lagen.

Standort „Lenkerstetten“

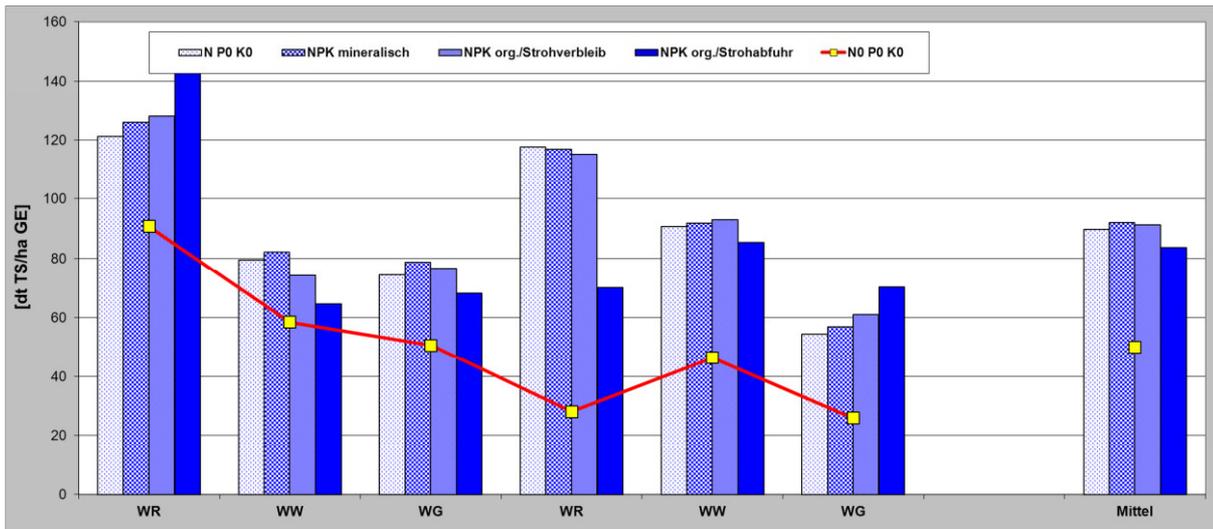


Abbildung 7 Ertragsverlauf (1998 bis 2004): Standort „Lenkerstetten“

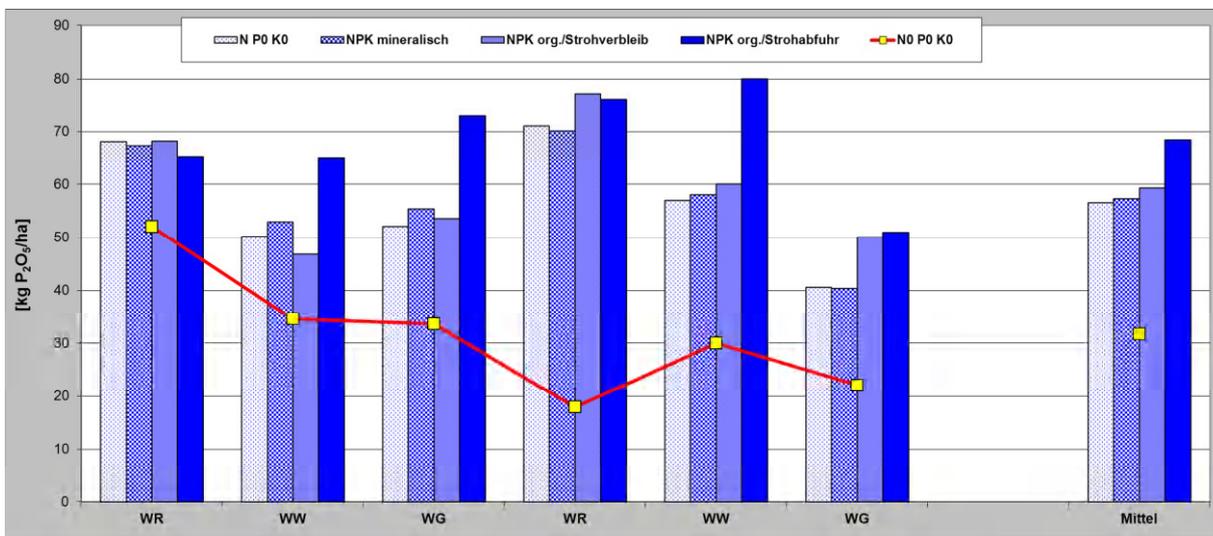


Abbildung 8 Verlauf der P-Abfuhr/Ernteprodukte (1998 bis 2004): Standort „Lenkerstetten“

Tabelle 2 jährliche Nährstoffsalden (1998 bis 2004): Standort „Lenkerstetten“

| Variante | Nährstoff-Saldo | | | | | |
|----------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|-------------|-------------------------------|------------------|
| | [kg/ha] | | | [kg/ha * a] | | |
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| NoPoKo | -382 | -190 | -113 | -25 | -13 | -8 |
| N PoKo | 183 | -339 | -190 | 12 | -23 | -13 |
| N P K (mineralisch) | 140 | 81 | 93 | 9 | 5 | 6 |
| N P K (org./min.) o. Strohabfuhr | 153 | 66 | 158 | 10 | 4 | 11 |
| N P K (org./min.) m. Strohabfuhr | 4 | 12 | -125 | 0 | 1 | -8 |

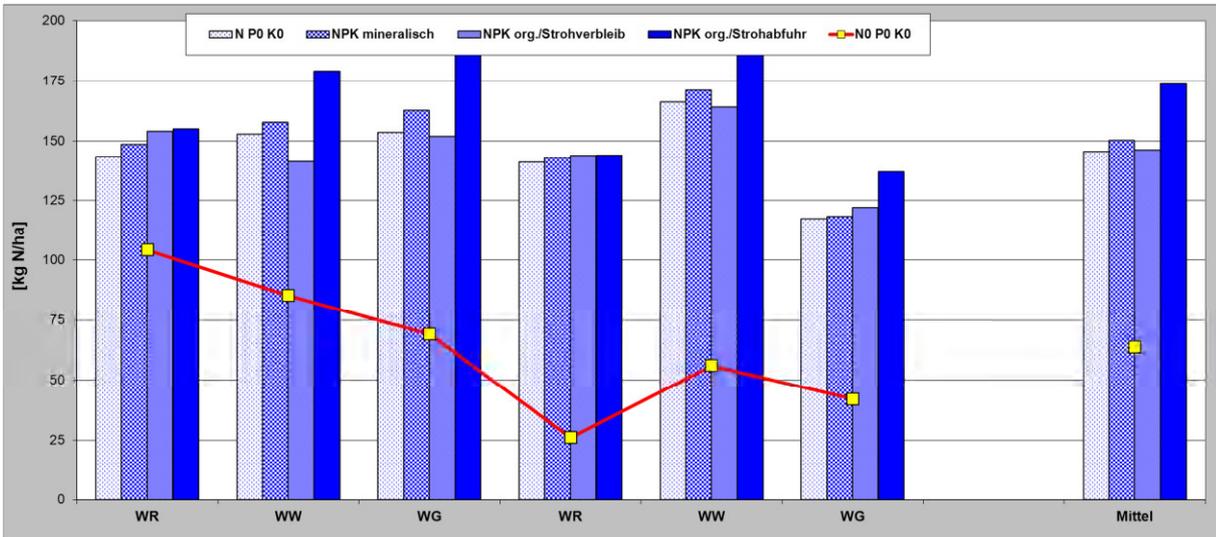


Abbildung 9 Verlauf der N-Abfuhr/Ernteprodukte (1998 bis 2004): Standort „Lenkerstetten“

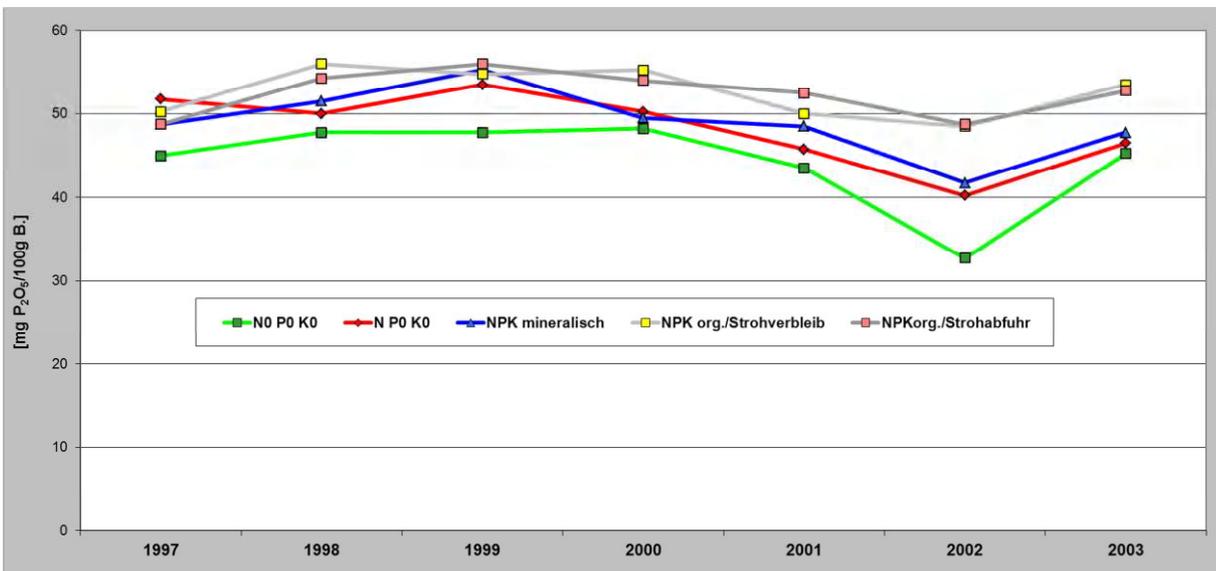


Abbildung 10 Verlauf der CAL-P₂O₅-Gehalte (1998 bis 2003): Standort „Lenkerstetten“

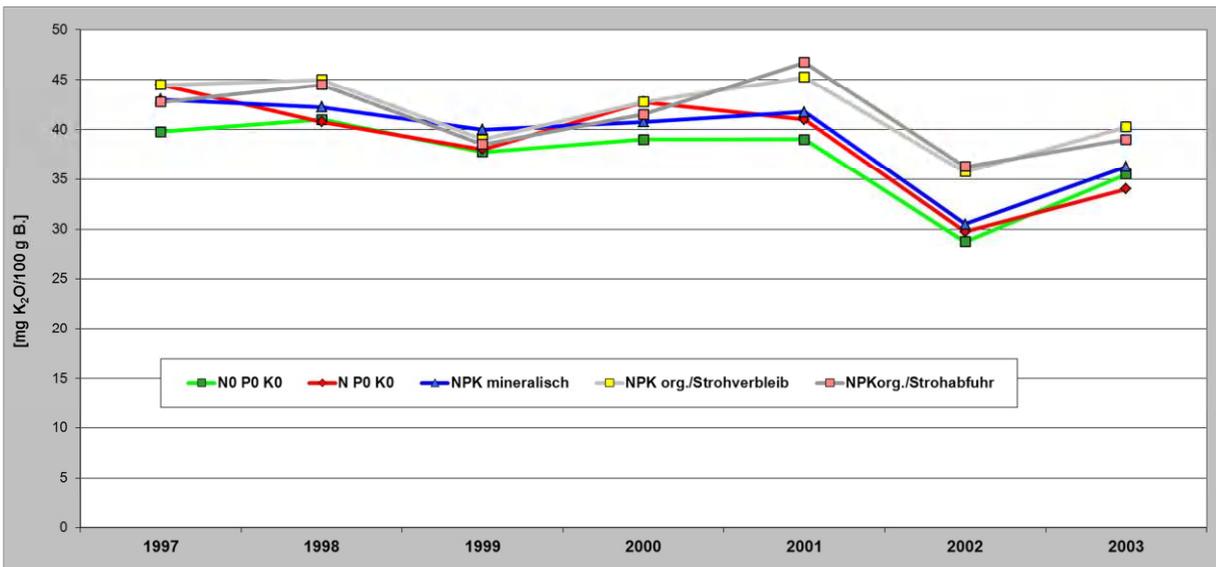


Abbildung 11 Verlauf der CAL-K₂O-Gehalte (1998 bis 2003): Standort „Lenkerstetten“

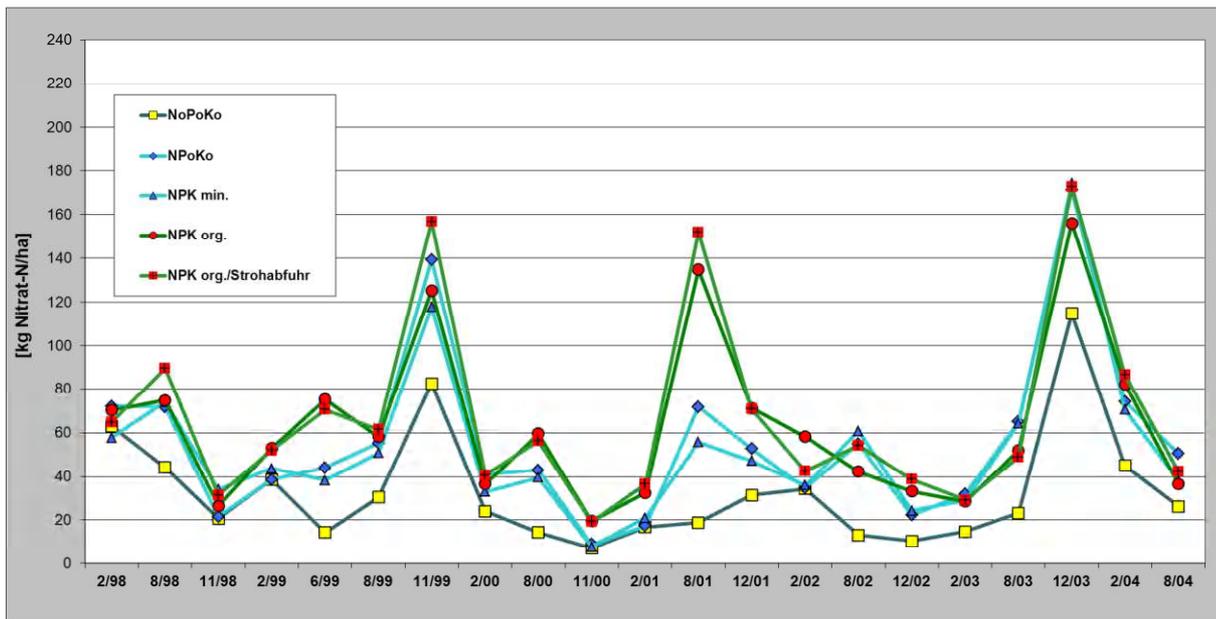


Abbildung 12 Verlauf der Nitrat-N-Gehalte (1998 bis 2004): Standort „Lenkerstetten“

Fazit

- Am Standort „Lenkerstetten“ war in Folge langjähriger intensiver Güllewirtschaft (Schweinegülle) und hofnaher Lage die Nährstoffsituation ähnlich wie am Standort „Wettringen“.
- Trotz allem nahmen die Erträge der ungedüngten Variante bedingt durch ein ungenügendes N-Angebot während der Vegetationszeit deutlicher ab.
- Im Spätjahr stiegen die Rest-Nitratwerte jedoch in Folge der Bodenbearbeitung sowie Durchlüftung und Durchfeuchtung des Bodens wieder kulturabhängig teilweise kräftig an.
- Die Nitrat- und unvermeidbaren P-Austräge im oberirdischen, aber auch im partikulären Makroporen-Transport führen langfristig zu ökologischen Beeinträchtigungen der Bodenwasserqualität, die nur allmählich reduziert werden können.

Danksagung

Ein herzliches Danke für die verlässliche und vertrauensvolle Zusammenarbeit gebührt den Landwirten, die die Versuchsflächen und Arbeitsleistung zur Verfügung gestellt haben, den Kollegen des Landwirtschaftsamtes Ilshofen (ehemals ALLB Blaufelden) – insbesondere Herrn Lang – für die fachliche und technische Unterstützung vor Ort sowie den Kollegen und Kolleginnen aus dem Sachgebiet Pflanzenernährung sowie den Laboren des LTZ Augustenberg.

IMPRESSUM

Herausgeber:
Landwirtschaftliches Technologiezentrum
Augustenberg (LTZ)
Neßlerstraße 23-31
76227 Karlsruhe

Tel.: 0721 / 9468-0
Fax: 0721 / 9468-209
eMail: poststelle@ltz.bwl.de
Internet: www.ltz-augustenberg.de

Bearbeitung und Redaktion:
LTZ Augustenberg
Dr. Markus Mokry
Referat 12: SG Pflanzenernährung

Auflage: Ex.
Druck:

Stand: Dezember 2013