



Hochschule Neubrandenburg  
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Prof. Dr. Bernhard Seggewiß

Dr. Eckhard Lehmann

## **Bachelorarbeit**

**„Wirkung variiertes Phosphor- und Kaliumdüngung auf den Ertrag, in der Fruchtfolge Winterraps, Winterweizen, Kartoffeln und Wintergerste“**

von

Martin Raabe

urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2011-0511-1

Oktober 2011

## **Danksagung**

Hiermit möchte ich all denen danken, die mir bei der Entstehung meiner Bachelorarbeit geholfen haben.

Als erstes möchte ich Prof. Dr. Bernhard Seggewiß, für die Ratschläge zur Auswertung der Daten, danken. Besonderen Dank an Dr. Eckhard Lehmann, von der LFA Gülzow, für die kurzfristig ermöglichten Treffen und die Bereitstellung der Daten, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Einen besonderen Dank erhält meine Familie für ihr Verständnis, ihre Geduld und ihre antreibende Motivation, in Momenten in denen mir diese fehlte.

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Benutzung der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde noch keiner anderen Prüfungsbehörde in gleicher oder ähnlicher Form vorgelegt.

Neubrandenburg, den 25.10.2011

Martin Raabe

## **Zusammenfassung**

Die Grundlage dieser Arbeit ist ein 12 jähriger Dauerversuch der Landesforschungsanstalt Mecklenburg-Vorpommern. Es soll festgestellt werden, welchen Einfluss verschiedene Düngevarianten mit Phosphor und Kalium in der Fruchtfolge Winterraps, Winterweizen, Kartoffeln und Wintergerste auf den Ertrag haben. Hierzu wurden 3 Varianten mit Düngung, nach „LUFÄ“ Empfehlung, „Entzug 50% und 100%“ und eine Variante ohne Düngung angelegt. Da der Anteil an Betrieben mit Viehhaltung in den letzten Jahren immer weiter zurück ging und das Stroh nicht benötigt wird, verbleibt es auf dem Feld.

Die Erträge der Kulturen weisen in der Variante nach „LUFÄ“ und „Entzug 100%“ nur beim Wi.-Weizen und bei der Kartoffel eine Erhöhung auf. Durch die im Erntegut und im Stroh gemessenen Nährstoffgehalte konnte festgestellt werden, dass diese nicht den von der VDLUFÄ veröffentlichten Richtwerten entsprachen. Mit Hilfe der Messung der Bodengehalte wurde eine Anreicherung der Nährstoffe vor allem in der Variante nach „LUFÄ“ sichtbar. Die Folge war der Wechsel in die höhere Gehaltsklasse. Die Werte der VDLUFÄ müssen angepasst werden um eine entzugsangepasste Düngung der Pflanzen zu erreichen.

## **Abstract**

The basis of this paper is a long-term test of about 12 years of the research institute “Landesforschungsanstalt Mecklenburg-Vorpommern”. It examines the impact of different types of fertiliser of phosphor and potassium in a crop rotation from winter rapeseed to winter wheat, potatoes and winter barley on the crop yield. To do so three types of fertiliser were tested, one according to the suggestion of the “LUFA” association, a type of “Entzug 50%” and “Entzug 100%”, as well as one variant without any fertiliser. Because of the decrease of stock farming in recent years, the straw remains on the field.

Whilst using the fertiliser types of “LUFA” and „Entzug 100%“, an increasing crop yield was proved within of winter wheat and potatoes only. Through the measured nutritional value in the crop yield and the straw it could be determined that this data does not accord with the standard value of the “VDLUFA” association. Via the measurement of the soil content the amounts of nutrients, as given from the “LUFA” association, could be proved. The consequence is a change into a higher content level. Therefore, the measurements of the “VDLUFA” have to be corrected in order to achieve an abstraction aligned fertilisation for the plants.

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	7
Abbildungsverzeichnis .....	8
Tabellenverzeichnis.....	9
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Literaturteil.....</b>	<b>12</b>
2.1. Phosphor und Kalium in der Pflanze.....	12
2.1.1. Funktionen und Mangelsymptome des Phosphors .....	12
2.1.2. Funktionen und Mangelsymptome des Kaliums .....	13
2.2. Nährstoffbilanzierung.....	14
2.3. Fruchtfolge / Rotation .....	15
<b>3. Material und Methoden .....</b>	<b>17</b>
3.1. Standort .....	17
3.1.1. Lage .....	18
3.1.2. Klima .....	18
3.1.3. Boden.....	18
3.2. Versuchsplan .....	18
3.3. Fruchtfolge .....	20
<b>4. Ergebnisse .....</b>	<b>22</b>
4.1. Veränderung der Nährstoffgehalte im Boden.....	22
4.2. Veränderung der Nährstoffgehalte im Erntegut .....	30
4.3. Wirkung auf den Ertrag.....	35
4.4. Phosphor und Kalium im Stroh.....	37
<b>5. Auswertung.....</b>	<b>38</b>
<b>6. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>42</b>
<b>7. Anhang .....</b>	<b>44</b>

## Abkürzungsverzeichnis

VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs - und Forschungsanstalten
LFA M-V	Landesforschungsanstalt Mecklenburg-Vorpommern
DüV	Düngeverordnung
HNV	Haupternteprodukt (marktfähige Ware) zu Nebenernteprodukt-Verhältnis
BG	Bodengruppe
GK	Gehaltsklasse
TM	Trockenmasse
P/K	reine Nährstoffe Phosphor / Kalium
$K_2O/P_2O_5$	Phosphor/Kalium in oxidiertem Form
dt	Dezitonne
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
ADP/ATP	Adenosindiphosphat / Adenosintriphosphat

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Liebig-Tonne.....	10
Abbildung 2: Standorte der LFA (Quelle: LFA).....	17
Abbildung 3: Lageplan der Versuchsvarianten (Prüfglieder 1, 2, 4 und 15) (Quelle: LFA) ...	19
Abbildung 4: Verlauf der Bodengehalte (LUFA, Schlag 1) über den Versuchszeitraum.....	24
Abbildung 5: Nährstoffbilanz gerechnet nach tatsächlich gemessenen Werten (Gehalt an reinem Nährstoff in TM), LUFA Variante Schlag 1 .....	25
Abbildung 6: Nährstoffbilanz berechnet nach Tabellenwerten (Gehalt an reinem Nährstoff in TM), LUFA .....	26
Abbildung 7: Niederschlagsmengen und Phosphor Bodengehalte (Schlag 1).....	26
Abbildung 8: Niederschlagsverteilung und Kalium Bodengehalte.....	28
Abbildung 9: Mittelwerte der Rotationssalden aller Schläge (1998 - 2009).....	29
Abbildung 10: Phosphorgehalt in der Gerste .....	31
Abbildung 11: Kaliumgehalt in der Gerste .....	31
Abbildung 12: Phosphorgehalt im Weizen .....	32
Abbildung 13: Kaliumgehalt im Weizen .....	32
Abbildung 14: Phosphorgehalt im Raps.....	33
Abbildung 15: Kaliumgehalt im Raps.....	33
Abbildung 16: Phosphorgehalt in der Kartoffel.....	34
Abbildung 17: Kaliumgehalt in der Kartoffel .....	34
Abbildung 18: Relativerträge je Fruchtart und Rotation.....	36



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:Niederschlagsmengen der Versuchsjahre (Jahressumme/Summe Januar-August) (Quelle: LFA M-V) .....	18
Tabelle 2: Fruchtfolge und Sorten (Quelle: LFA M-V).....	20
Tabelle 3: Ausgangswerte der 4 Versuchsschläge (mg/100g Boden).....	22
Tabelle 4: Gehalt an verfügbarem Phosphor und Kalium im Boden, zu Beginn und zum Ende der 3.Rotation .....	23
Tabelle 5: P - Bodengehalte/Jahr (Schlag 1).....	27
Tabelle 6: Salden der einzelnen Düngevarianten von Schlag 1, Werte in kg/ha .....	30
Tabelle 7: Schwankungsbreite der Nährstoffgehalte im Erntegut, 1998 - 2009 .....	35
Tabelle 8: Plan- und Ist-Erträge der Kulturen in den einzelnen Düngevarianten, in dt/ha (für Gerste ab 3. Rotation 85dt/ha).....	37
Tabelle 9: Mittlere jährliche Nährstoffzufuhr durch das verbleibende Stroh, Vergleich Tabellenwerte zu den im Stroh gemessenen Gehalten (errechnet anhand der Variante „LUFA“).....	37

## 1. Einleitung

Phosphor und Kalium sind für alle Lebewesen unverzichtbare Nährstoffe. Im menschlichen Körper ist es eines der wichtigsten Elektrolyte zur Regulierung des Membranpotentials und für die Rolle der Muskeltätigkeit mitverantwortlich. In der Pflanze steuert Kalium den Wasserhaushalt. Phosphor hingegen dient dem Menschen beim Aufbau der Knochen und Zähne und ist für wichtige Energieprozesse in der Pflanze verantwortlich. (LEITENBERGER, B. <http://www.bernd-leitenberger.de/mineralstoffe.shtml>(28.5.2010); KNITTEL et al., 2003)

Im 19. Jahrhundert waren die meisten Nährstoffe bereits bekannt und so veröffentlichte Justus Liebig 1855 seine Theorie vom „Gesetz des Minimums“. Liebig beschreibt darin, dass der Nährstoff, der am wenigsten vorhanden, also im Mangel ist, den Ertrag der Kulturen begrenzt und somit das Entwicklungsverhalten mit beeinflusst (KNITTEL et al., 2003). Am einfachsten ist es, dies an einem Holzfass darzustellen, bei dem die Daube, die am kürzesten ist, die Höhe des Wasserstandes, also den Ertrag, begrenzt. Diese Darstellung ist als Liebig-Tonne bekannt (Abbildung 1).

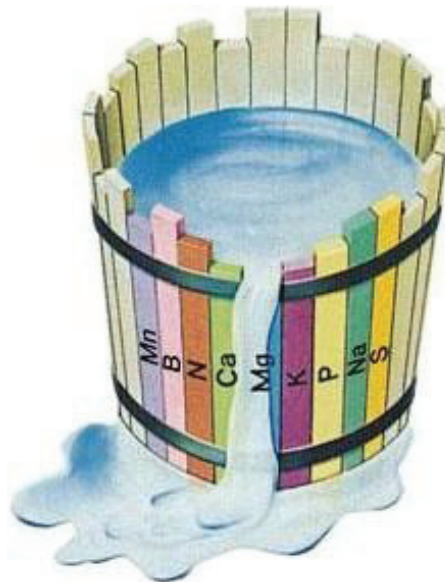


Abbildung 1: Liebig-Tonne

Diese Erkenntnisse in Bezug auf die Nährstoffversorgung der Pflanzen und der Fortschritt in anderen Bereichen, wie Pflanzenbau und Pflanzenzucht, haben dazu geführt, die Nahrungsgrundlage der wachsenden Bevölkerung zu sichern. „Zur guten fachlichen Praxis gehört, dass die Düngung nach Art, Menge und Zeit auf den Bedarf der Pflanzen und des Bodens unter

Berücksichtigung der im Boden verfügbaren Nährstoffe und organischen Substanz sowie der Standort- und Anbaubedingungen ausgerichtet wird. Der Nährstoffbedarf der Pflanzen richtet sich nach ihrer Ertragsfähigkeit unter den jeweiligen Standort- und Anbaubedingungen sowie den Qualitätsanforderungen an die Erzeugnisse.“ (DÜNGEMITTELGESETZ, 2009).

Das Ziel, des hier dargestellten Dauerversuches, soll es sein, mit den aus ihm gewonnen Ergebnissen, Hinweise zur praktischen Handhabung der Grunddüngung bei optimalem (Gehaltsklasse C) und bei suboptimalem Versorgungszustand (Gehaltsklasse B/A) abzuleiten. Mit den Grundnährstoffen Phosphor und Kalium wurde eine „Bodendüngung“ durchgeführt, die sich am Pflanzenbedarf orientiert. Am wichtigsten ist es aber einen ausreichenden Bodengehalt zu erhalten, der eine optimale Pflanzenversorgung sichert. (LFA GÜLZOW)

## **2. Literaturteil**

### **2.1. Phosphor und Kalium in der Pflanze**

#### **2.1.1. Funktionen und Mangelsymptome des Phosphors**

Phosphor ist ein wichtiger Bestandteil von verschiedenen Abläufen in der Pflanze. Er dient zur Aufrechterhaltung der Zellstruktur als Baustein der Zellwand und fungiert ebenso in der DNA und RNA als Träger von Erbinformationen. Positive Effekte sind auch bei der Bewurzelung und Bestockung festzustellen. Außerdem fördert er die Blüte. Phosphor dient auch als Energieträger bei den Kohlenhydrat-, Fett- und Eiweißstoffwechseln. Hier tritt er in Form von Adenosindiphosphat (ADP) und Adenosintriphosphat (ATP) auf. In den Mitochondrien wird Energie durch Abgabe eines Phosphates von ATP, dann auf andere Stoffe übertragen und es entsteht ADP, welches dann wieder bereit ist energiereiches Phosphat aufzunehmen und dorthin zu transportieren, wo es benötigt wird. (LÜTKE ENTRUPP & OEHMICHEN, 2000; KNITTEL et al., 2003)

Abhängig von der Stärke des Mangels kommt es bei allen Kulturpflanzen zu einer Hemmung oder auch zu komplettem Stillstand des Wachstums. Durch die Anthocyanbildung bedingt, verfärben sich die Blätter dunkel- bis blaugrün, auch rotviolett- bis purpurfarben. Die jüngeren Blätter sehen zwar gesund aus, sind jedoch kleiner als die älteren, an denen die Mangelerscheinungen zuerst erkennbar sind. Wird der verminderte Wuchs außer Acht gelassen, kann dieses Erscheinungsbild, aufgrund der intensiv blauen Verfärbung, abhängig von der Pflanzenart, leicht mit einer Stickstoffübersorgung verwechselt werden. Die Pflanzen können über einen längeren Zeitraum so verharren, bis bei anhaltendem Mangel sich braune nekrotische Flecken zuerst auf den älteren Blättern bilden, die dann absterben und schließlich auch abfallen. Es kommt auch zu verkleinerten Blüten, die ebenso Missbildungen aufweisen können. Überwinternde Kulturen, wie das Getreide, haben eine geringere Winterhärte und mangelnde Bestockung, was zu lückigen Beständen führt. Weiterhin zu beobachten sind verzögertes Wachstum, dunkelgrüne Blätter, purpurfarbene Stängel und Blattscheiden. Die aufrecht stehenden Blätter vertrocknen von der Spitze beginnend, haben nach unten geneigte Blattspitzen und verbleiben in der „Starrtracht“. Die Ähren verfärben sich purpurrötlich. Ebenso wird beim Getreide die Backqualität vermindert und die Stärkeeinlagerung in die Getreidekörner gehemmt. Auch bei der Kartoffel sind schwach entwickelte Pflanzen in „Starrtracht“ mit dünnen Stängeln ein typisches Erscheinungsbild. Die Blätter, vorwiegend die älteren, sind dunkelgrün und nach oben eingerollt. Die Knollen weisen rostbraune Flecken auf. Beim Raps stellt sich ein ähnliches Bild dar. Die älteren

Blätter sind rot gefärbt und es kommt zu frühem Blattfall, gehemmtem Wachstum und dünnen Stängeln. (BERGMANN, 1993)

### **2.1.2. Funktionen und Mangelsymptome des Kaliums**

Kalium ist ein wichtiger Nährstoff zur Regulierung des Wasserhaushaltes der Pflanze. Es erhöht den Turgordruck, was zu einer Zellstreckung und daraus folgend zu Blattflächenwachstum führt. Durch seine hohe Mobilität in der Pflanze ist es in der Lage den osmotischen Druck in den Stomata-Zellen zu regulieren. Es beeinflusst dem zufolge das Öffnen und Schließen der Spaltöffnungen und steuert auch die Wasseraufnahme über die Wurzel. Wenn die Pflanze Kalium in sich aufnimmt, erlangt sie eine bessere Winterfestigkeit, sodass Auswinterungsschäden reduziert werden können. Infolge des durch Kaliummangels schlecht regulierten Turgors kommt es bei allen Kulturpflanzen zu einer „Welketracht“, also herab hängenden Blättern. Die jüngeren Blätter sind kleiner als die älteren und haben ein kräftiges Grün. Der Durchmesser der Blattstiele ist geringer. Die älteren Blätter sterben zuerst von der Spitze her, bzw. vom Rand ausgehend ab. An diesen Stellen treten dann Nekrosen auf. (LÜTKE ENTRUPP & OEHMICHEN, 2000; KNITTEL et al., 2003; BERGMANN, 1993)

Beim Getreide wachsen schmale, blaugrüne Blätter. Die älteren vergilben von der Spitze her und entlang des Blattrandes. Sie werden anschließend braun bis rotbraun. Die Getreidepflanze lässt die Blätter hängen - zeigt „Welketracht“. Sie hat eine übermäßige Bestockung, aber wenige ährentragende Halme. Die Stängel sind kurz und dünn. Durch mangelhafte Verholzung kommt es vermehrt zu Lager – „Kali stärkt den Halm“.

Der Raps hat blaugrüne Blätter, die eine wellige Oberfläche und nach unten gebogene Blattspreiten aufweisen. Die älteren Rapsblätter zeigen helle Blattspitzen. Die Blattränder werden gelbbraun und später chlorotisch-nekrotisch. Diese Verfärbungen breiten sich bis zur Blattmitte hin aus. Die sich nach oben einrollenden „verbrannte Blattränder“ sterben vorzeitig ab. Die angesetzten Schoten sind schwach ausgebildet.

Einen gedrungenen buschigen Wuchs zeigt die Kartoffel. Der Bestand ist gelblich und die Blattränder und –spitzen werden braun. Die Blätter sind mit aufgerollten Blatträndern und Blattspitzen schöpfkellenartig nach unten gebogen. Sie sind teilweise leicht gewellt. Das

Kartoffelkraut stirbt unter Verbrennungserscheinungen vorzeitig ab. Die Lagerfähigkeit der Knollen wird schlechter. Sie färben sich kurz nach dem durchschneiden blau. Es kann auch, ähnlich wie beim Bormangel, zu „Hohlherzigkeit“ kommen. (BERGMANN, 1993)

## **2.2. Nährstoffbilanzierung**

Da die Bevölkerung weltweit und somit auch in Deutschland in den letzten Jahrzehnten ein besseres Umweltbewusstsein entwickelt hat und immer mehr Nachhaltigkeit gefordert und gefördert wird, ist auch die Landwirtschaft dazu aufgerufen, diesem Gedanken zu folgen. Es wurden Richtlinien geschaffen, die dazu beitragen sollen die vom Menschen geprägte Kulturlandschaft zu schützen und zu pflegen. Diese sind mit den Cross Compliance Bestimmungen verflochten. Der Betrieb oder Landwirt erhält Prämienzahlungen und verpflichtet sich als Gegenleistung zum Einhalten dieser Vorgaben, die auch als die „Gute fachliche Praxis“ bekannt sind. Eine dieser Richtlinien ist die Düngeverordnung (DüV). Deren rechtliche Grundlage, das Düngegesetz ist. Die DüV regelt die Anwendung von Düngestoffen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen und das Vermindern von stofflichen Einträgen, insbesondere den Eintrag von Schadstoffen in den Boden. In der aktuellen DüV-Fassung sind verbindliche Vorschriften nur noch für die Pflanzennährstoffe Stickstoff und Phosphor enthalten. Die zur Ernährung der Pflanzen ebenso notwendigen Nährstoffe Kalium, Magnesium, Schwefel, der Kalk und die Spurennährstoffe sind weniger gewässer – und umweltgefährdend und werden daher nicht mehr geregelt. (DÜNGEVERORDNUNG MECKLENBURG-VORPOMMERN, 2007) Durch die vorher erwähnte DüV und die infolge steigender Energiepreise sich vertuernden Düngemittel, sinken die Nährstoffsalden der Hauptnährstoffe immer weiter, sodass diese bei Phosphor und Kalium, abhängig vom Betriebstyp, keinen oder nur leichten Überschuss vorweisen. Es ist aber auch zu erkennen, dass Betriebe, die keine Viehhaltung betreiben, bzw. Regionen, in denen die Viehhaltung sehr gering verbreitet ist, weniger Überschüsse verzeichnen, was wiederum dem hohen Anteil an anfallenden Wirtschaftsdüngern geschuldet ist. (KNITTEL et al., 2003)

Im Allgemeinen ist die Nährstoffbilanzierung „der rechnerisch durchgeführte Vergleich zwischen den einem System zugeführten und den aus dem System wieder entfernten oder in ihm verbliebenen Nährstoffen“. (LEXIKON LANDWIRTSCHAFT, 2002) Laut DüV sind alle Betriebe über 10 ha dazu verpflichtet eine Nährstoffbilanz, für alle vom Betrieb bewirtschafteten Schläge, zu erstellen. In dieser Bilanz müssen alle Daten zur Nährstoffzufuhr:

- über organische und mineralische Düngemittel einschließlich pflanzlicher Komposte bzw. Gärsubstrate
- über Zufuhr von Saatgut
- über die symbiontische N-Bindung

und Nährstoffabfuhr:

- durch Abfuhr mit Ernteprodukten
- durch Abfuhr von Nebenprodukten (u.a. Stroh, Blatt)

für einen Schlag, bezogen auf die Fruchtfolge dokumentiert werden. Ziel dieser Bilanzen ist es, eine ausgewogene Nährstoffversorgung zu erlangen und die Bodengehalte in der optimalen Versorgungsstufe Klasse C zu halten. (DÜNGUNGSBROSCHÜRE, 2004)

Die Nährstoffbilanz dient der Beurteilung sich verändernder Bodengehalte und hat somit auch eine Kontrollfunktion über mögliche Umwelteinflüsse die aus der Düngung hervorgehen (höhere Bodengehalte).

Auch die Nährstoffgehaltsklassen beurteilen die Versorgung. Die optimale Gehaltsklasse ist C. Hier wird nur eine Erhaltungsdüngung in Höhe des Nährstoffentzuges der Kultur gedüngt. Es ergibt sich nur ein geringer Mehrertrag. Unterversorgte Böden sind den GK A oder B zuzuordnen. Hier ist ein starker Düngebedarf, der höher sein sollte als die Pflanzen benötigen, um somit auch einen Mehrertrag zu erreichen. Überversorgte Böden entsprechen der GK D oder E. Aufgrund der hohen bis sehr hohen Nährstoffgehalte ist hier nur eine schwache oder auch keine Düngung notwendig. Im Versorgungsbereich der GK D kann ein Mehrertrag bei Blattfrüchten, wie der Kartoffel, möglich sein. (RICHTWERTE FÜR DIE UNTERSUCHUNG UND BERATUNG ZUR UMSETZUNG DER DÜNGEVERORDNUNG IN M-V)

### **2.3. Fruchtfolge / Rotation**

LÜTKE ENTRUP (1986) verstehen die Fruchtfolge als „die zeitliche Aufeinanderfolge der einzelnen Kulturpflanzen im Laufe der Jahre auf ein und demselben Feld. Grundlage der Fruchtfolge ist das Anbau- oder Fruchtartenverhältnis. Dieses gibt den prozentualen Anteil der einzelnen Kulturpflanzen an der gesamten Ackerfläche in einem Jahr an. Jede Fruchtfolge wird also durch das Anbau-, Fruchtarten-, oder Ackerflächenverhältnis charakterisiert“. (LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN, 2000)

DIEPENBROCK & ELLMER/LÉON beschreiben die Fruchtfolge als einen „geordneten, zeitlich sinnvollen Wechsel der Pflanzenbestände auf dem Ackerland. Sie soll die effektive Nutzung des Bodens während der gesamten Vegetationszeit und somit hohe Biomasseproduktion gewährleisten, die bestmögliche Nutzung von Vorfrucht- und Fruchtfolgewirkungen unterstützen, zur Gesunderhaltung der Pflanzenbestände beitragen sowie die Vermehrung von bodenbürtigen Schaderregern verhindern“. Ihr Ziel soll es sein, „die Bodenfruchtbarkeit nachhaltig zu reproduzieren“. (DIEPENBROCK & ELLMER/LÉON, 2005)

Da sehr marktorientiert produziert wird und eher die Kulturen angebaut werden mit denen man den höchsten Deckungsbeitrag erzielt, kann man nicht mehr von typischen Fruchtfolgen ausgehen. Viel eher könnte man diese „Fruchtfolgen“ nur noch als Rotationen bezeichnen, da der typische Wechsel von Blattfrucht zu Halmfrucht nicht immer gegeben ist, aber dennoch Rücksicht auf die Verträglichkeit der einzelnen Kulturen genommen wird. Laut SCHUBERT ist eine Rotation „die Abfolge verschiedener Kulturarten“ innerhalb der Fruchtfolge. (SCHUBERT, 2006)



### 3. Material und Methoden

#### 3.1. Standort

Gülzow ist der Hauptsitz der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei in Mecklenburg – Vorpommern. Hier ist unter anderem auch das Institut für Acker- und Pflanzenbau beheimatet.

Die Kernaufgaben<sup>1</sup> des Institutes sind:

- Regionalspezifische Sortenempfehlungen für die landwirtschaftliche Praxis und Erarbeitung von Sortenstrategien für die Saat- und Pflanzgutwirtschaft in MV
- Markt- und standortgerechte Mähdruschfruchtproduktion
- Produktion und Einführung von nachwachsenden Rohstoffen für die energetische Nutzung im Bereich fester, flüssiger und gasförmiger Energieträger
- Optimierung acker- und pflanzenbaulicher Strategien im Rahmen des Bewirtschaftungssystems ökologischer Landbau



Abbildung 2: Standorte der LFA (Quelle: LFA)

<sup>1</sup> Quelle:LFA

### 3.1.1. Lage

Der Versuchsstandort Gülzow bei Güstrow liegt im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern, ca. 90 km nordöstlich von Neubrandenburg. Hinsichtlich des Klimas und der Bonität des Bodens entspricht der Standort dem Hauptteil des Ackerlandes in Mecklenburg-Vorpommern.

### 3.1.2. Klima

Das Klima am Standort Gülzow ist kontinental-warmgemäßigt und bedingt durch die Nähe zur Ostsee mit maritimen Einflüssen geprägt. Die Erfassung aller Wetterdaten erfolgt durch eine sich am Versuchsstandort befindende Wetterstation. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 8,2 °C und das Mittel des jährlichen Niederschlages liegt bei 542 mm (Tabelle 1). (LFA GÜLZOW, 2010)

**Tabelle 1: Niederschlagsmengen der Versuchsjahre (Jahressumme/Summe Januar-August) (Quelle: LFA M-V)**

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Jahressumme	590	525	496	592	660	360	517	550	651	862	533	577
Januar-August	404	342	349	369	501	234	377	337	362*	674	359	368

\* davon 221 mm im August (langj. Mittel = 52 mm)

### 3.1.3. Boden

Der Boden entspricht nach dem Zuordnungsschema der VDLUFA der Bodengruppe 2 und setzt sich aus schwach bis stark lehmigem Sand zusammen. Die Ackerzahl am Versuchsstandort reicht von 30 bis 55 Bodenpunkten. Der Humusanteil des Bodens beträgt 1,4% und der pH-Wert liegt zwischen 5,7 und 6,0. (LFA GÜLZOW, 2010)

## 3.2. Versuchsplan

Der Versuch begann mit der Aussaat im Herbst 1997 und endete 2009 nach der letzten Ernte. In dem Dauerdüngungsversuch mit Phosphor und Kalium wird die Wirkung der mineralischen Herbst- und Frühjahrsdüngung in einer 4 – gliedrigen Fruchtfolge Winterraps – Winterweizen – Kartoffeln – Wintergerste geprüft. Die Gerste und vor allem Weizen und Raps sind gegenwärtig die hauptsächlich angebauten Kulturarten. Die Kartoffel als stark Nährstoff zehrende Frucht, hat aufgrund der geringen Anbaufläche (14.200ha in M-V), kaum

noch eine große Bedeutung und ist nur noch in spezialisierten Betrieben zu finden (BODENNUTZUNG M-V, 2009). Da das Stroh auf dem Feld verblieb, berücksichtigte man auch die sich seit 1990 verändernde Anbaustruktur und den Rückgang der Tierbestände im Nordosten Deutschlands.

Insgesamt werden je Fruchtart 11 Varianten (Abbildung 3) geprüft, von denen wiederum 4 in dieser Arbeit miteinander verglichen werden. Als Standard diente die Variante ohne mineralische Phosphor- und Kalium-Düngung. Die Versuchspartzen sind in einer Langpartzen-Standardanlage mit 4-facher Wiederholung angelegt.

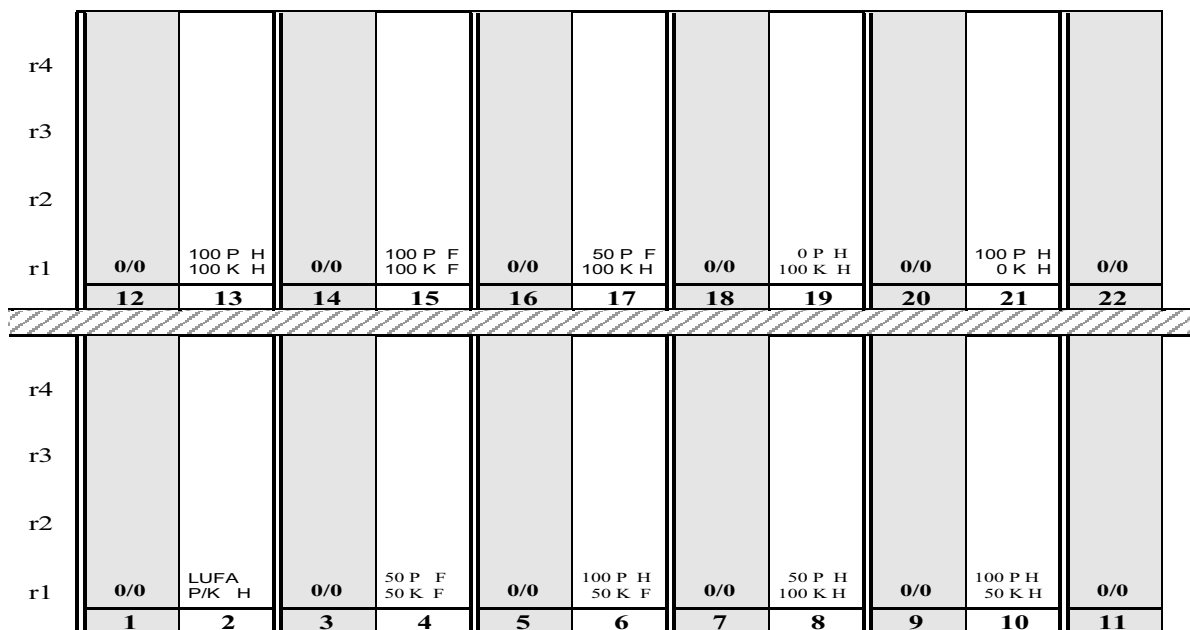


Abbildung 3: Lageplan der Versuchsvarianten (Prüfglieder 1, 2, 4 und 15) (Quelle: LFA)

Die Parzellengröße beträgt 9 m x 9 m, wobei nur eine Kernbeerntung auf 1,5 m x 9 m erfolgt. Auf den 1 ha großen Fruchtfolgefeldern ist die Standardvariante gleichmäßig verteilt, sodass die Versuchsauswertung unter Nutzung der Geostatistik erfolgen kann. Die Varianten, die in dieser Arbeit verglichen werden, sind die Standardvariante ohne mineralische P/K-Düngung, die Düngung nach Empfehlung der LUFA Rostock (Beachtung des Zielesertrages, der Gehaltklasse, der Nährstoffzufuhr aus organischer Düngung) mit dem Düngezeitpunkt im Herbst und die Düngung nach Nährstoffabfuhr auf dem Niveau 100% und 50% mit dem Düngezeitpunkt im Frühjahr. Die Zieleserträge für die 1. Rotation lagen bei 90 dt/ha für Weizen und Gerste, 45 dt/ha Raps und 450 dt/ha Kartoffeln. Nach Auswertung der Erträge der ersten und zweiten Rotation wurden die Planerträge für Getreide auf 85dt/ha korrigiert. Die gefallenen Düngermengen orientieren sich an dem Entzug durch die Kulturpflanzen, bzw.

variieren sie in der „LUFÄ“-Variante entsprechend den jährlichen Empfehlungen. Der Versuch soll so lange laufen bis die Bodengehalte der Standardvariante in die Gehaltsklassen A/B abgesunken sind. Die vollständigen Düngermengen können dem Anhang entnommen werden.

### 3.3. Fruchtfolge

Die Fruchtfolge des Versuchs beinhaltet Winterraps; Winterweizen, Kartoffeln und Wintergerste. Diese stellen die typischen Kulturen der Region dar. Dabei dient die Kartoffel als stark Nährstoff zehrende Frucht, da sie in ihrer Anbauintensität nicht so stark ist wie die anderen Fruchtfolgeglieder. Bei der Sortenwahl wurde darauf geachtet, dass die verwendeten Sorten auch die Situation in der Praxis widerspiegeln. Einen Überblick gibt die Tabelle 2.

Tabelle 2: Fruchtfolge und Sorten (Quelle: LFA M-V)

<b>Fruchtarten:</b>	<b>Wi.-Raps</b>	<b>Wi.-Weizen</b>	<b>Kartoffeln</b>	<b>Wi.-Gerste</b>	
Sorte:	Express	Ritmo	Likaria	Theresa	
seit 2006:	Elan	Dekan	Likaria	Merlot	
<b>Fruchtfolge:</b>	<b>Schlag 1</b>	<b>Schlag 2</b>	<b>Schlag 3</b>	<b>Schlag 6</b>	
1997/1998	Wi.-Gerste	Kartoffeln	Wi.-Weizen	Wi.-Raps	1. Rotation
1998/1999	Wi.-Raps	Wi.-Gerste	Kartoffeln	Wi.-Weizen	
1999/2000	Wi.-Weizen	Wi.-Raps	Wi.-Gerste	Kartoffeln	
2000/2001	Kartoffeln	Wi.-Weizen	Wi.-Raps	Wi.-Gerste	
2001/2002	Wi.-Gerste	Kartoffeln	Wi.-Weizen	Wi.-Raps	2. Rotation
2002/2003	Wi.-Raps	Wi.-Gerste	Kartoffeln	Wi.-Weizen	
2003/2004	Wi.-Weizen	Wi.-Raps	Wi.-Gerste	Kartoffeln	
2004/2005	Kartoffeln	Wi.-Weizen	Wi.-Raps	Wi.-Gerste	
2005/2006	Wi.-Gerste	Kartoffeln	Wi.-Weizen	Wi.-Raps	3. Rotation
2006/2007	Wi.-Raps	Wi.-Gerste	Kartoffeln	Wi.-Weizen	
2007/2008	Wi.-Weizen	Wi.-Raps	Wi.-Gerste	Kartoffeln	
2008/2009	Kartoffeln	Wi.-Weizen	Wi.-Raps	Wi.-Gerste	

Die hier gewählte und auch für die Region typische Fruchtfolge wird bedingt durch die Ansprüche der Kulturen untereinander.

Die Gerste ist aufgrund ihrer frühen Abreife eine gute Vorfrucht für den Winterraps. Ihre Position nach der Kartoffel bewirkt bei ihr sichere und höhere Erträge als nach Weizen, da mögliche Erreger keine neue Nährgrundlage nach dem Weizen haben. Allerdings müssen die Kartoffeln zeitig gerodet werden, um eine rechtzeitige Aussaat der Gerste sicherzustellen. Der Winterraps stellt eine gute Vorfrucht für Winterweizen. Die mit den Ernteresten

zurückbleibenden Nährstoffe, vorrangig Stickstoff, können vom Weizen genutzt werden und fördern somit einen Mehrertrag. Der Raps als Ölfrucht ist in der heutigen Zeit als Energieträger von den Feldern nicht mehr weg zudenken. Die beste Vorfruchteignung für Raps bildet die Kartoffel, da sie einen guten Boden, günstig für die Jugendentwicklung, hinterlässt. Aber durch die geringe Anbaufläche der Kartoffel und des hohen Flächenanteils des Rapses wird er nach Getreide, meist Gerste, angebaut.

#### 4. Ergebnisse

##### 4.1. Veränderung der Nährstoffgehalte im Boden

Zu Beginn des Versuchs wurden im Jahr 1997 Bodenproben entnommen um die Nährstoffgehalte festzustellen (Tabelle 3). Diese lagen auf den Schlägen 1 und 6 in der Gehaltsklasse C mit 7,3 mg P/100g Boden und 7,2 mg P/100g Boden. Bei den Schlägen 2 und 3 lagen diese in der Gehaltsklasse D bei 8,9 mg P/100g Boden und 9,1 mg P/100g Boden. Für Kalium wurden die Schläge 1, 3 und 6 mit 11,8 mg K/100g Boden, 12 mg K/100g Boden und 11 mg K/100g Boden der Gehaltsklasse D zugeordnet. Schlag 2 konnte mit einem Wert von 9,9 mg K/100g Boden der Gehaltsklasse C zugeordnet werden. Die Werte der Gehaltsklasse C liegen für P (reiner Nährstoff) bei 5,6 – 8,0 mg/100g Boden und für K (reiner Nährstoff) bei 8 – 11 mg/100g Boden.

Tabelle 3: Ausgangswerte der 4 Versuchsschläge (mg/100g Boden)

	Schlag 1	Schlag 2	Schlag 3	Schlag 6
P	7,3	8,9	9,1	7,2
K	11,8	9,9	12,0	11,0

In der nachfolgenden Tabelle 4 sind die durchschnittlichen Ausgangswerte dargestellt. Diese liegen beim Phosphor und beim Kalium eindeutig in der Gehaltsklasse C. Zum Ende der 3. Rotation ist je nach Düngungsvariante ein Absinken bzw. ein Ansteigen der Bodengehalte zu verzeichnen. Die letzten Werte der 3. Rotation aller Schläge sind hier als Mittelwert dargestellt. Hier sieht man, dass der Phosphor in der ungedüngten Variante statt wie zu Beginn im oberen Bereich der GK C und im unteren Bereich der GK D, sich nun mit 6,6 mg/100g Boden im unteren Bereich der GK C befindet. Beim Kalium fand ein Absinken von GK C in den mittleren Bereich der GK B, auf 5,5 mg/100g Boden statt.

Tabelle 4: Gehalt an verfügbarem Phosphor und Kalium im Boden, zu Beginn und zum Ende der 3. Rotation

Düngungsvariante	Veränderung der Bodengehalte 1997 → 2009	
	P mg/100g Boden	K mg/100g Boden
ohne P/K = <b>Standard</b>	8 → 6,6	11 → 5,5
nach LUFA-Empfehlung	8 → 8,9	11 → 10,2
nach Entzug 50%	8 → 7,5	11 → 7,1
nach Entzug 100%	8 → 8,9	11 → 11,8

In den Varianten, die nach LUFA gedüngt wurden, befindet sich der pflanzenverfügbare Phosphor mit 8,9 mg/100g Boden nun im unteren Bereich der GK D. Kalium verzeichnet nur eine Erhöhung auf 10,2 mg/100g Boden und bleibt in GK C. Bei der Düngung nach 50% des Entzuges wird ein leichtes Absinken gemessen, allerdings bleibt das pflanzenverfügbare Phosphor mit 7,5 mg/100g Boden noch im oberen Bereich der GK C. Beim Kalium hingegen sorgt das Absinken auf 7,1 mg/100g Boden für einen Wechsel in die GK B. In der Düngungsvariante nach 100% des Entzuges erfolgt beim Phosphor ein Ansteigen auf 8,9 mg/100g Boden und somit auch ein Aufsteigen in den unteren Bereich der GK D und beim Kalium wird mit 11,8 mg/100g Boden die Schwelle zur GK D erreicht.

Die Erläuterungen im der Ergebnisse erfolgen anhand der Daten des Schlages 1. Die Daten der anderen Schläge können im Anhang eingesehen werden. Die Abbildung 4 zeigt die Variante nach LUFA des Schlages 1, außerdem sind die linearen Regressionslinien dargestellt. Die Regressionslinie (schwarz) des Phosphors verdeutlicht noch einmal die in Tabelle 4 dargestellten Zahlen, das Erreichen der GK D. Beim Kalium zeigt die Regressionslinie (rot) ebenso einen positiven Verlauf.

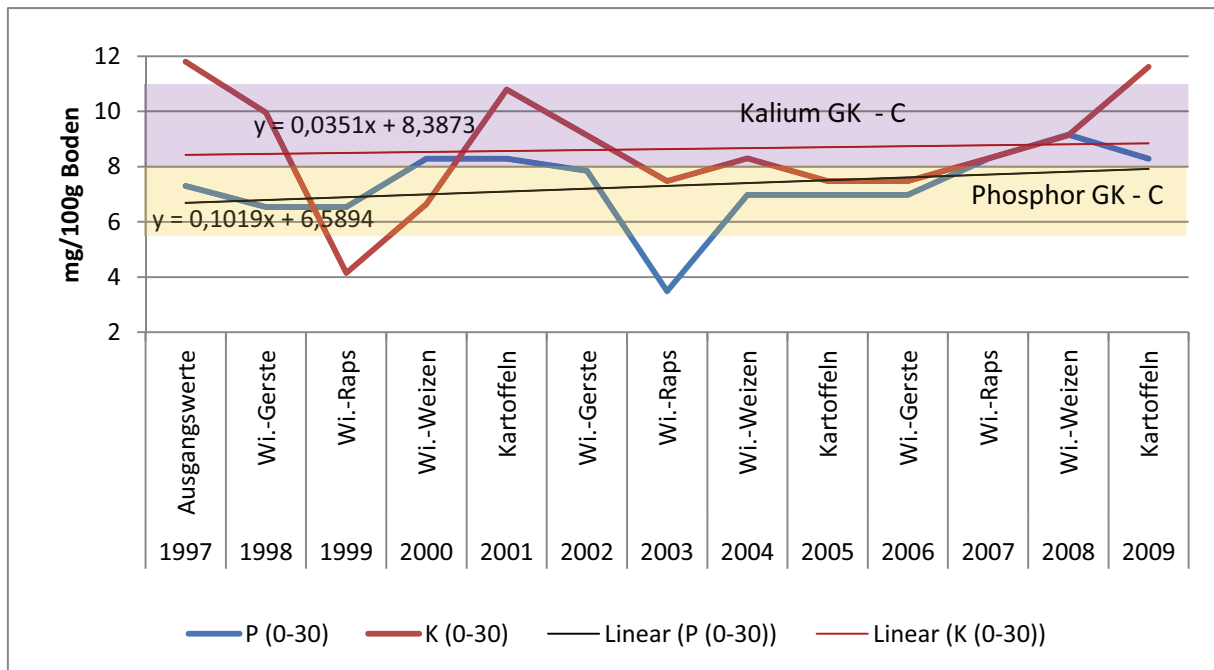


Abbildung 4: Verlauf der Bodengehalte (LUFA, Schlag 1) über den Versuchszeitraum

In der Bilanz von Schlag 1 wird mit den tatsächlichen Düngermengen, die ausgebracht wurden, und den nach jeder Kultur sowohl im Erntegut als auch im Stroh gemessenen Nährstoffgehalten in der Trockensubstanz gerechnet. Die Abbildung 5 lässt erkennen, dass nach der 3. Rotation ein sehr positiver Saldo entsteht. Nach der Ernte 2009 sind dies 135 kg/ha beim Phosphor und 1207 kg/ha beim Kalium. Diese Werte sollen sich laut Berechnung der Nährstoffbilanz als Vorrat im Boden über 12 Jahre hinweg angesammelt haben. Die linearen Regressionslinien (Abbildung 4) und das Erreichen der GK D stimmen also mit der errechneten Nährstoffbilanz überein.



Fruchtart	Zufuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)			
W Gerste -		41,42	201,69		29,04	23,51	1998	1. Rotation	
Stroh Gerste -					4,54	81,41			
Saldo =		7,84	96,77						
W Raps -	Düngung	40,98	153,55		27,66	26,85			
Stroh Raps -					13,50	117,40	1999		
Stroh Gerste +		4,54	81,41						
Saldo =		12,20	187,48						
W Weizen -	Düngung	39,24	125,33		26,60	33,01			
Stroh Weizen -					7,48	58,34	2000		
Stroh Raps +		13,50	117,40						
Saldo =		30,86	338,86						
Kartoffel -	Düngung	29,21	296,31		22,35	189,95			
Stroh Weizen +		7,48	58,34				2001		
Saldo =		45,21	503,56						
W Gerste -	Düngung	39,68	175,13		27,56	34,26		2002	2. Rotation
Stroh Gerste -					1,92	49,92			
Saldo =		55,41	594,51						
W Raps -	Düngung	40,98	153,55		25,16	21,67			
Stroh Raps -					4,15	101,72	2003		
Stroh Gerste +		1,92	49,92						
Saldo =		69,00	674,59						
W Weizen -	Düngung	36,19	83,00		23,17	37,07			
Stroh Weizen -					5,43	80,20	2004		
Stroh Raps +		4,15	101,72						
Saldo =		80,75	742,05						
Kartoffel -	Düngung	24,85	196,71		17,30	186,24			
Stroh Weizen +		5,43	80,20				2005		
Saldo =		93,72	832,71						
W Gerste -	Düngung	39,68	175,13		19,12	25,33		2006	3. Rotation
Stroh Gerste -					13,10	48,83			
Saldo =		101,17	933,68						
W Raps -	Düngung	40,98	153,55		30,44	27,91			
Stroh Raps -					6,15	85,28	2007		
Stroh Gerste +		13,10	48,83						
Saldo =		118,67	1022,88						
W Weizen -	Düngung	36,19	83,00		30,99	37,69			
Stroh Weizen -					0,83	21,61	2008		
Stroh Raps +		6,15	85,28						
Saldo =		129,18	1131,86						
Kartoffel -	Düngung	23,33	223,52		17,91	169,77			
Stroh Weizen +		0,83	21,61				2009		
Saldo =		135,43	1207,21						

Abbildung 5: Nährstoffbilanz gerechnet nach tatsächlich gemessenen Werten (Gehalt an reinem Nährstoff in TM), LUFA Variante Schlag 1

Die Abbildung 6 zeigt eine Nährstoffbilanz, die nur mit den Tabellenwerten der Richtwerte der Länder gerechnet wurde, und den von der LUFA empfohlenen Düngemengen. Wie in der vorherigen Abbildung ist hier die gleiche Reihenfolge der Kulturen dargestellt. In allen 3 Salden nach je einer Rotation ist bei beiden Nährstoffen ein ähnliches Schlussaldo errechnet worden. Hier sind die Werte beim Phosphor mit 116 kg/ha und beim Kalium mit 1177 kg/ha zwar nicht ganz so hoch, aber es reicht aus um zu zeigen, dass hier der gleiche Effekt auftritt. (Nährstoffbilanzen anderer Schläge im Anhang)

Fruchtart	Zufuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)
W Gerste		41	202		25	36
Stroh Gerste -					7	73
Saldo =		9	92			
W Raps		41	142		30	32
Stroh Raps -					7	89
Stroh Gerste +		7	73			
Saldo =		19	186			
W Weizen		39	125		27	39
Stroh Weizen -					7	60
Stroh Raps +		7	89			
Saldo =		32	302			
Kartoffel		24	223		24	193
Stroh Weizen +		7	60			
Saldo 1 =		39	392			
Saldo 2 =		77	785			
Saldo 3 =		116	1177			

Abbildung 6: Nährstoffbilanz berechnet nach Tabellenwerten (Gehalt an reinem Nährstoff in TM), LUFA

In der Abbildung 7 sind die Varianten ohne mineralische P-Düngung und mit mineralischer P-Düngung des ersten Schlags dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass die beiden Kurven zum Ende der 2. und auch in der 3. Rotation immer weiter auseinander gehen und hier der Wechsel in eine andere Gehaltsklasse deutlich wird.

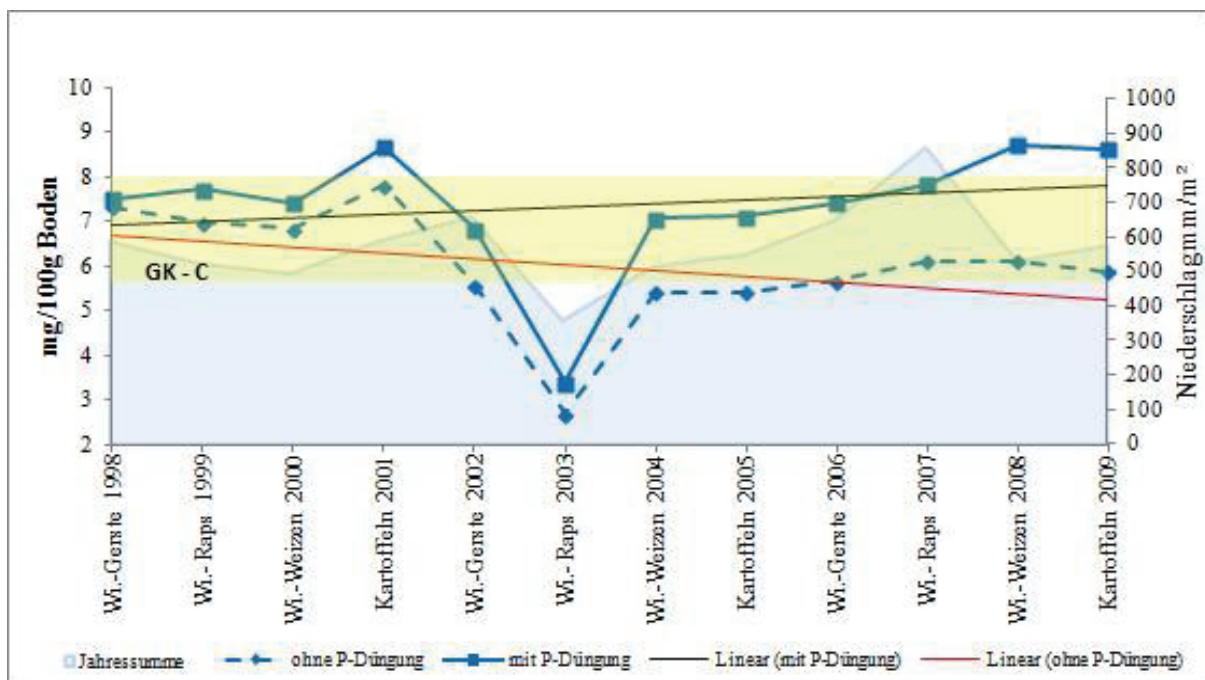


Abbildung 7: Niederschlagsmengen und Phosphor Bodengehalte (Schlag 1)

In der nicht gedüngten Variante liegt der Gehalt an P nach der 1.Rotation bei 7,8 mg/100g Boden, nach der 2.Rotation bei 5,41 mg/100g Boden und nach der 3.Rotation bei 5,89 mg/100g Boden. Es wird eine Verringerung des Phosphors sichtbar. In der Variante mit mineralischer Düngung liegt der Wert nach der 1.Rotation bei 8,68 mg/100g Boden, nach der 2.Rotation bei 7,11 mg/100g Boden und nach der 3.Rotation bei 8,36 mg/100g Boden.

Mit den einzelnen Werten zum Ende einer Rotation ist es als nicht so leicht einen Trend zu erkennen. Um den Verlauf zu verdeutlichen wurden die linearen Regressionslinien (Trendlinien) eingefügt. Man kann also mit Hilfe dieser beiden Trendlinien darauf schließen, dass sich der Phosphor in der gedüngten Variante weiter anreichert und im Gegensatz dazu zeigt die Trendlinie für die nicht gedüngte Variante, dass sich der Gehalt des pflanzenverfügbaren Phosphors im Boden verringert und es sogar zum Absinken in eine andere Gehaltsklasse kommen kann, da der Wert für Phosphor 2009 nur noch knapp über der Grenze zu der Gehaltsklasse B liegt. Der starke Einbruch der beiden Kurven im Jahr 2003 ist auf den Jahreseffekt zurückzuführen, da in diesem Jahr nur 360 mm Niederschlag zu verzeichnen waren. Demzufolge war nicht genug Phosphor in der Bodenlösung und somit auch nicht ausreichend für die Pflanzen verfügbar. Die gemessenen Werte jedes Jahres sind in Tabelle 5 aufgelistet.

**Tabelle 5: P - Bodengehalte/Jahr (Schlag 1)**

Kultur	Jahr	ohne P-Düngung	mit P-Düngung
Ausgangswert	1997	7,32	7,32
Wi.-Gerste	1998	7,32	7,50
Wi.- Raps	1999	6,98	7,72
Wi.-Weizen	2000	6,85	7,41
Kartoffeln	2001	7,80	8,68
Wi.-Gerste	2002	5,58	6,85
Wi.- Raps	2003	2,70	3,40
Wi.-Weizen	2004	5,41	7,06
Kartoffeln	2005	5,41	7,11
Wi.-Gerste	2006	5,67	7,41
Wi.- Raps	2007	6,10	7,85
Wi.-Weizen	2008	6,10	8,72
Kartoffeln	2009	5,89	8,63

- Werte der Variante ohne P-Düngung = Mittelwert der 0-Varianten

- Werte der Variante mit P-Düngung = Mittelwert aus Düngung nach LUFA, 100% und 50%

Vergleicht man nun die Niederschlagsverteilung (Abbildung 8) mit der Kaliummenge im Bereich von 0 – 30 cm und dann nachfolgend von 30 – 60 cm, so fällt auf, dass der von der LUFA mit einberechnete Verlust an Kalium durch Auswaschung in tiefere Bodenschichten

nicht klar zu erkennen ist, da es hier in der Krume (0 – 30 cm) zu einer Erhöhung des Kaliumgehaltes kommt (schwarze Regressionslinie). In den folgenden Jahren erreicht der Boden die höhere Gehaltsklasse. In der Schicht von 30 – 60 cm ist ein leichtes Absinken des Kaliumgehaltes gemessen worden. Dieser Wert beruht allerdings nur auf 3 Messwerten, die jeweils zum Ende einer Rotation erfasst wurden.

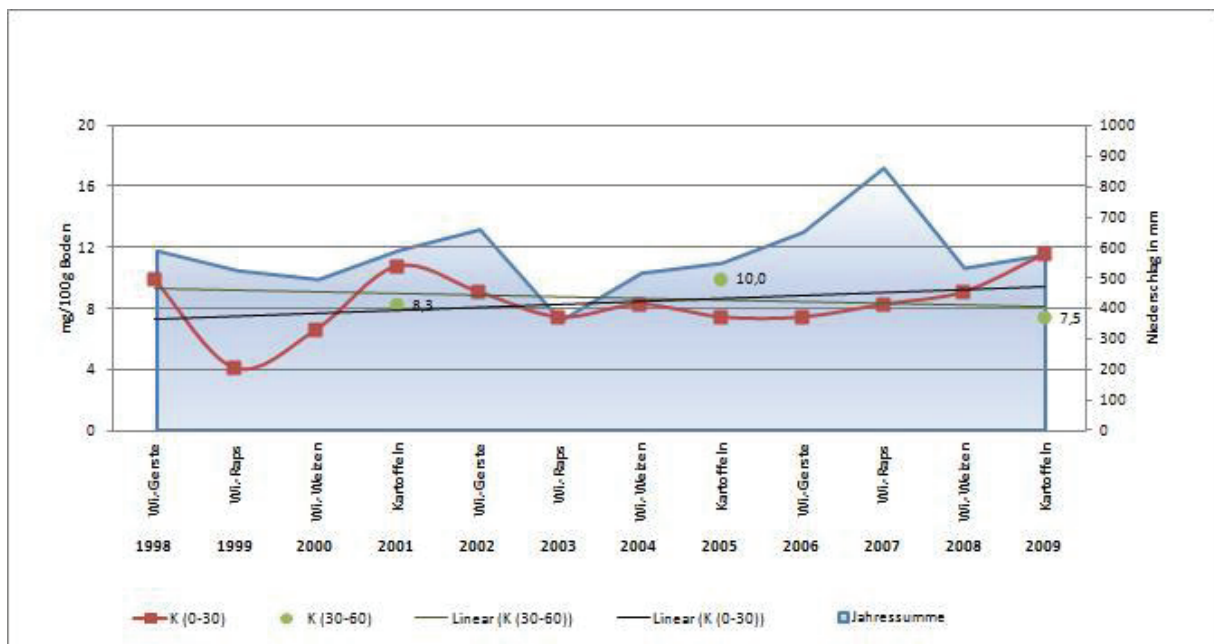


Abbildung 8: Niederschlagsverteilung und Kalium Bodengehalte

Grund für die Auswaschung des Kaliums aus der Ackerkrume in tiefere Bodenschichten können sandhaltige Böden sein. Diese haben weniger Tonteilchen an die sich das Kalium binden kann, sodass es auch nur in geringer Konzentration in die Bodenlösung abgegeben werden kann. Die jährlichen Auswaschungsverluste können zwischen 5 und 50 kg/ha  $K_2O$  liegen. Diese Menge ist natürlich auch abhängig von der Niederschlagsmenge. (KNITTEL et al., 2003) Der hier im Versuch vorhandene Boden zählt aber aufgrund seiner hohen Bonität von 30 – 55 Bodenpunkten zu den eher mittleren Böden, bei denen die Verluste um die 10 kg/ha  $K_2O$  liegen. (LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN, 2000)

Die Abbildung 9 fasst die Salden der 1. – 3. Rotation aller Schläge zusammen. Es wird deutlich, dass in den Varianten „ohne Düngung“ und mit nur „50% Düngung“ des eigentlichen Entzuges der Bodenvorrat angegriffen wird und die Nährstoffgehalte im Boden weiter absinken. Bei der Variante „Düngung nach LUF A Empfehlung“ wird schon nach der ersten Rotation sichtbar, dass bei Kalium eine Anreicherung stattfindet und sich bis Ende der

3. Rotation konstant erhöht. In der Variante Düngung nach „100% des Entzuges“ findet auch eine Anreicherung des Kaliums statt. Diese Werte bleiben allerdings zum Ende der 3. Rotation noch weit unter dem Wert der ersten Rotation der Variante „Düngung nach LUFA Empfehlung“.

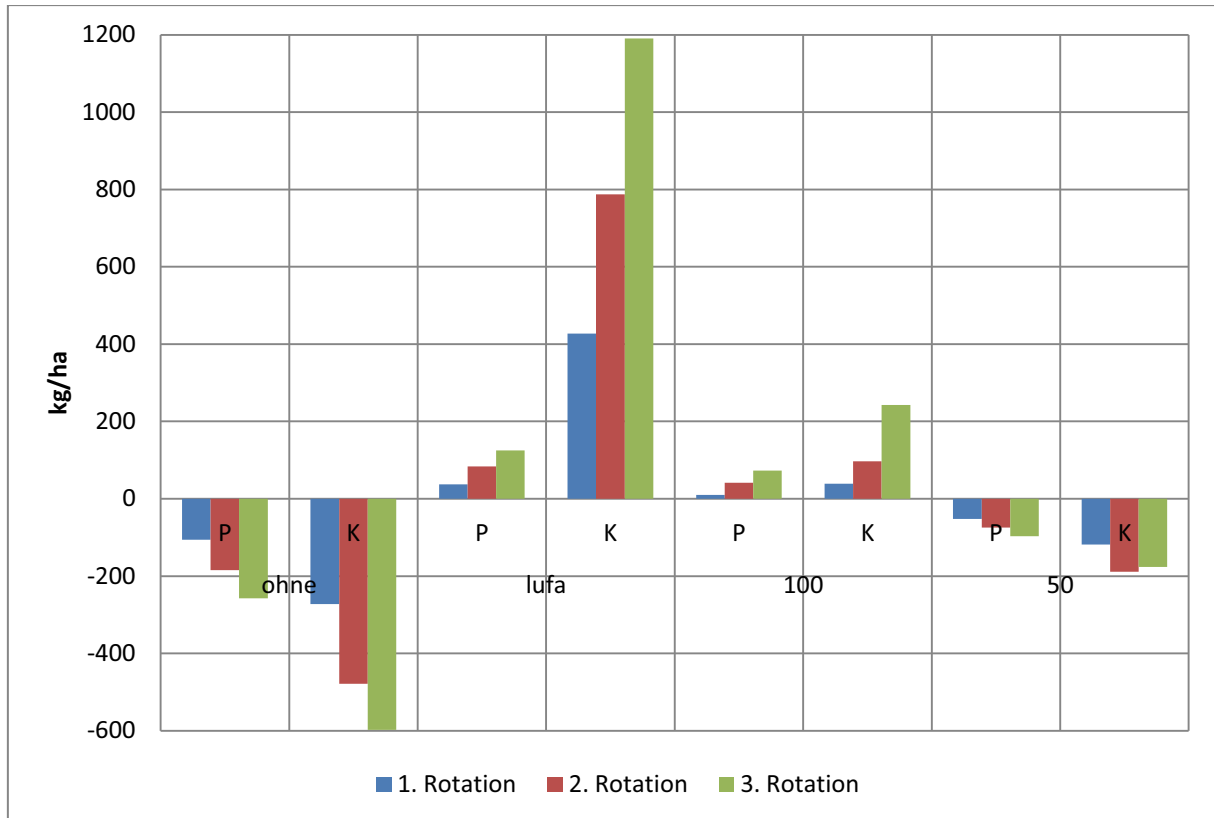


Abbildung 9: Mittelwerte der Rotationssalden aller Schläge (1998 - 2009)

Die nach den Tabellenwerten berechnete Nährstoffbilanz ohne Düngung verglichen mit den tatsächlich gemessenen Bodengehalten des Schlags 1 lässt erkennen, dass die Pflanzen in den 3 Rotationen wesentlich weniger Nährstoffe entziehen als ihnen theoretisch angerechnet wird (Tabelle 6). Wenn man den Saldo (nach Tabellenwerten) der 3. Rotation berechnet, so erhält man bei Phosphor einen Wert von -319 kg/ha. Das sind 67 kg/ha mehr, als die Pflanzen in den 12 Jahren wirklich entziehen. Beim Kalium sind es innerhalb von 12 Jahren 94 kg/ha weniger. In der „LUFA“ Variante ist nach den einzelnen Rotationen zu erkennen, dass die Pflanzen weniger Phosphor und Kalium aufnehmen als bisher vermutet. Angesichts der weiter ansteigenden Werte kommt es zu einer Anreicherung im Boden. Im Durchschnitt weichen die Tabellenwerte um ca. 40 kg von den tatsächlich gemessenen Werten ab. Die geringsten Abweichungen weist die Variante Düngung nach „100% Entzug“ auf. Diese Werte, die von

den landwirtschaftlichen Fachbehörden herausgegeben werden, kommen den erhobenen Daten am nächsten.

**Tabelle 6: Salden der einzelnen Düngevarianten von Schlag 1, Werte in kg/ha**

nach Tabellenwerten	ohne P/K		LUFA		100% Entzug		50% Entzug	
	P	K	P	K	P	K	P	K
1. Rotation	-106	-216	39	392	20	52	-43	-124
2. Rotation	-213	-433	77	785	40	104	-87	-248
3. Rotation	-319	-649	116	1177	60	156	-130	-372
gemessen	P	K	P	K	P	K	P	K
1. Rotation	-102	-204	45	504	7	60	-46	-96
2. Rotation	-185	-372	94	833	36	116	-64	-112
3. Rotation	-253	-554	135	1207	65	237	-89	-177
Differenz von Tabellenwerten zu gemessenem Wert	5	12	7	111	13	8	-3	28
	28	61	16	48	4	12	23	135
	67	94	19	30	5	81	41	195

#### 4.2. Veränderung der Nährstoffgehalte im Erntegut

Im folgenden Abschnitt werden die Gehalte an Phosphor und Kalium im Erntegut dargestellt, beim Getreide und Raps der Gehalt in den Körnern und bei der Kartoffel in den Knollen. Die Abbildung 10 bis 17 enthalten die Messwerte aller Jahre der einzelnen Kulturen und Düngungsvarianten sowie den dazugehörigen Tabellenrichtwert der Nährstoffe Phosphor und Kalium.

Die Abbildung 10 stellt den Phosphorgehalt in der Gerste dar. Nach den Richtwerten zur Umsetzung der Düngeverordnung liegt der Wert für Phosphor bei 0,41 kg/dt TM. In den ersten beiden Jahren und besonders im 2. Jahr des Versuches sind höhere Werte als der Tabellenwert gemessen worden. Der höchste der Versuchsjahre mit 0,59 kg/dt TM in der Variante „LUFA“. Die Jahre 2006 („Entzug 100“) und 2007 („ohne“ Düngung) liegen mit jeweils 0,42 kg/dt auch über dem Tabellenwert. In allen anderen Jahren liegen die Werte darunter. Der niedrigste Gehalt im Erntegut wurde im Jahr 2006 in der Variante „ohne“ Düngung mit 0,23 kg/dt TM gemessen.

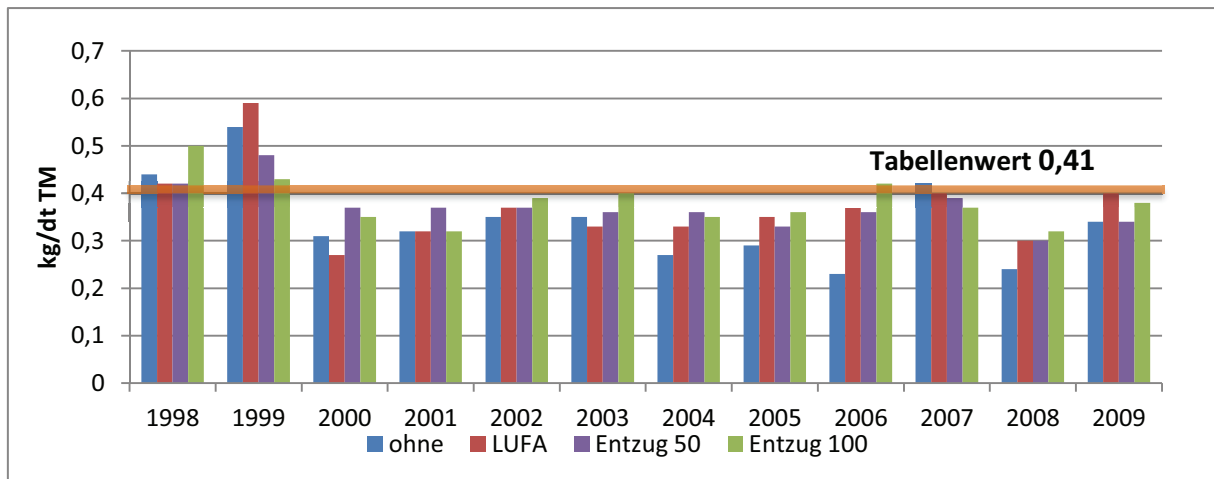


Abbildung 10: Phosphorgehalt in der Gerste

Den Kaliumgehalt der Gerste zeigt die Abbildung 11. Nach den Richtwerten zur Umsetzung der Düngeverordnung liegt der Wert für Kalium bei 0,58 kg/dt TM. Deutlich zu erkennen ist, dass in keinem der Versuchsjahre eine Überschreitung des Tabellenwertes stattfand. Der höchste Wert trat im Jahr 2006 mit 0,53 kg/dt TM in der Variante „Entzug 100“ auf und der niedrigste im Jahre 2000 in der „LUFA“ Variante mit 0,27 kg/dt TM.

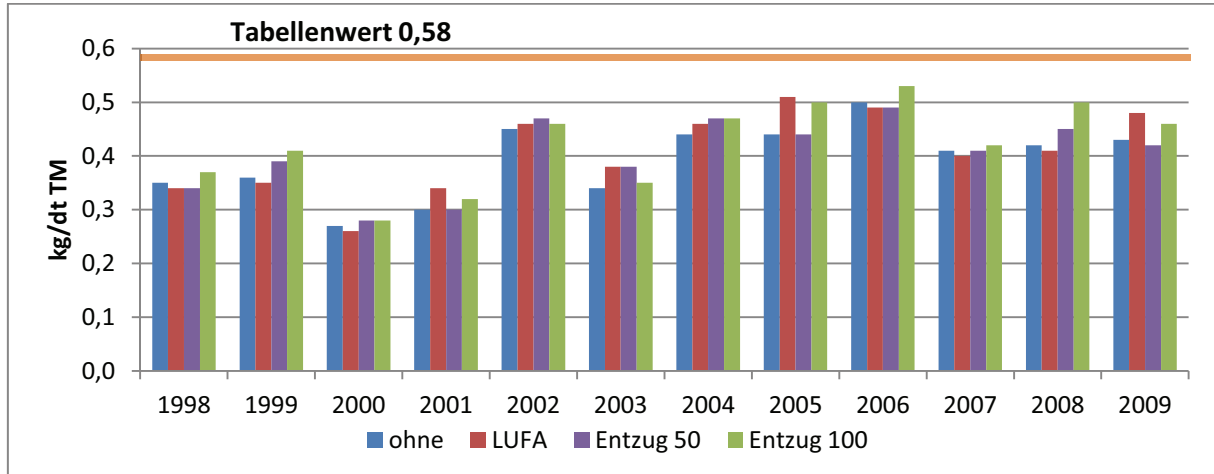


Abbildung 11: Kaliumgehalt in der Gerste

In der Abbildung 12 ist der Phosphorgehalt des Weizens dargestellt. Der Tabellenrichtwert entspricht dem der Gerste. In keinem der 12 Versuchsjahre ist der Tabellenwert erreicht worden. Der höchste Gehalt an Phosphor wurde 1998 bei „Entzug 50“ mit 0,38 kg/dt TM gemessen und der niedrigste Wert 2003 in der Variante „ohne“ Düngung mit 0,25 kg/dt TM. Aufgrund eines Düngefehlers konnte für das Jahr 2003 keine Auswertung erfolgen.

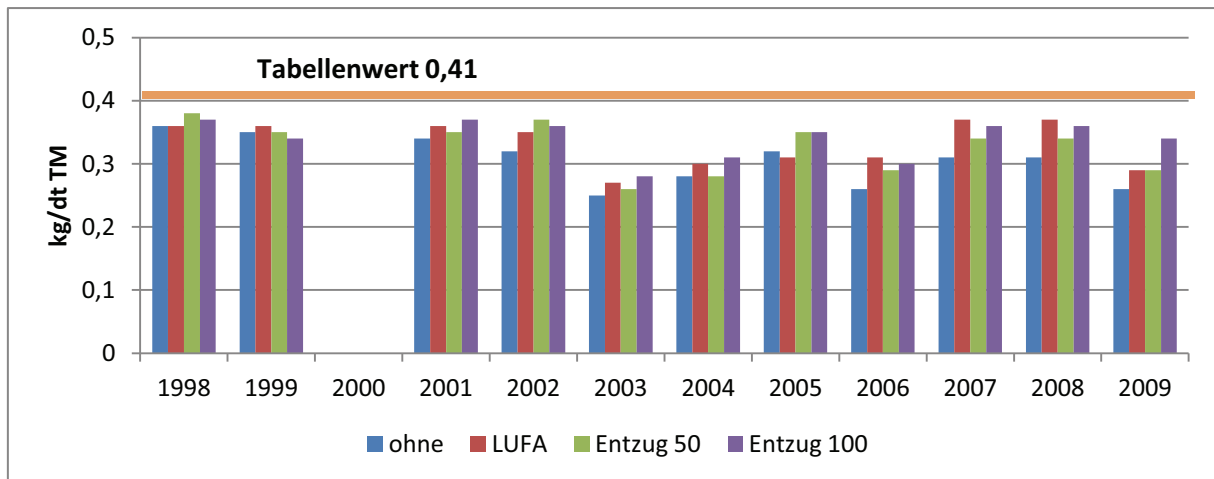


Abbildung 12: Phosphorgehalt im Weizen

Der Kaliumgehalt im Weizen (Abbildung 13) entspricht dem Tabellenrichtwert der Gerste. Wie beim Phosphor wird auch beim Kalium in keinem Jahr der Tabellenwert erreicht. Der höchste Gehalt tritt mit 0,5 kg/dt TM in der Variante „ohne“ Düngung 2004 auf und kommt dem Richtwert am nächsten. Der niedrigste wurde im Jahr 2001 bei den Varianten „ohne“ Düngung und „Entzug 100“ mit 0,26 kg/dt TM gemessen. Auch hier konnte das Jahr 2000 aufgrund eines Düngefehlers nicht ausgewertet werden.

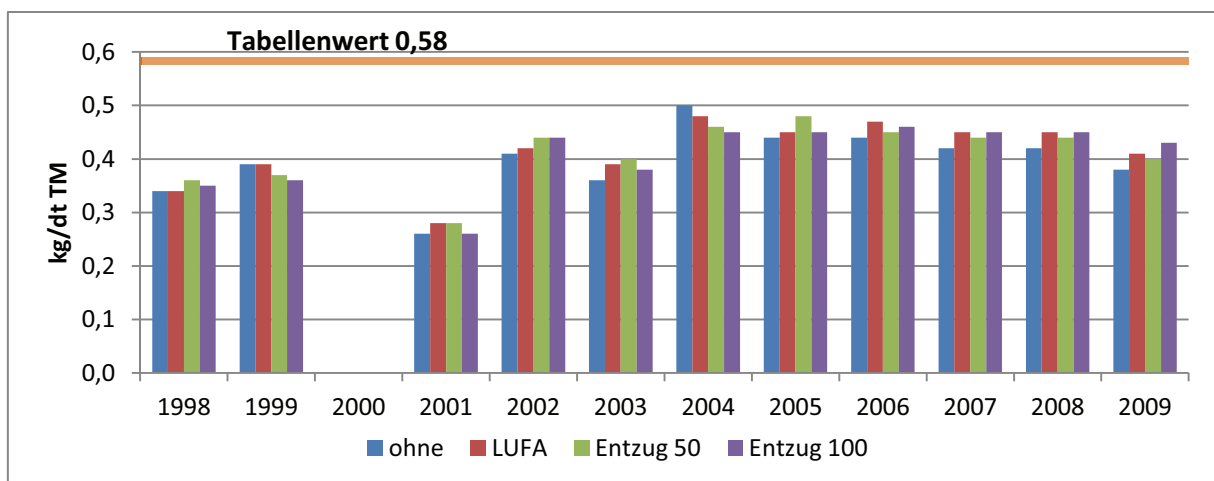


Abbildung 13: Kaliumgehalt im Weizen

Beim Raps (Abbildung 14) liegt der Tabellenwert für Phosphor bei 0,87 kg/dt TM. In keinem der Versuchsjahre wird dieser Wert erreicht. Der höchste Gehalt im Erntegut wurde im Jahr 2000 in der Variante „Entzug 100“ mit 0,84 kg/dt TM gemessen und der niedrigste mit 0,6 kg/dt TM im Jahr 2005 in der Variante „LUFA“ und 2006 in der Variante „ohne“ Düngung.



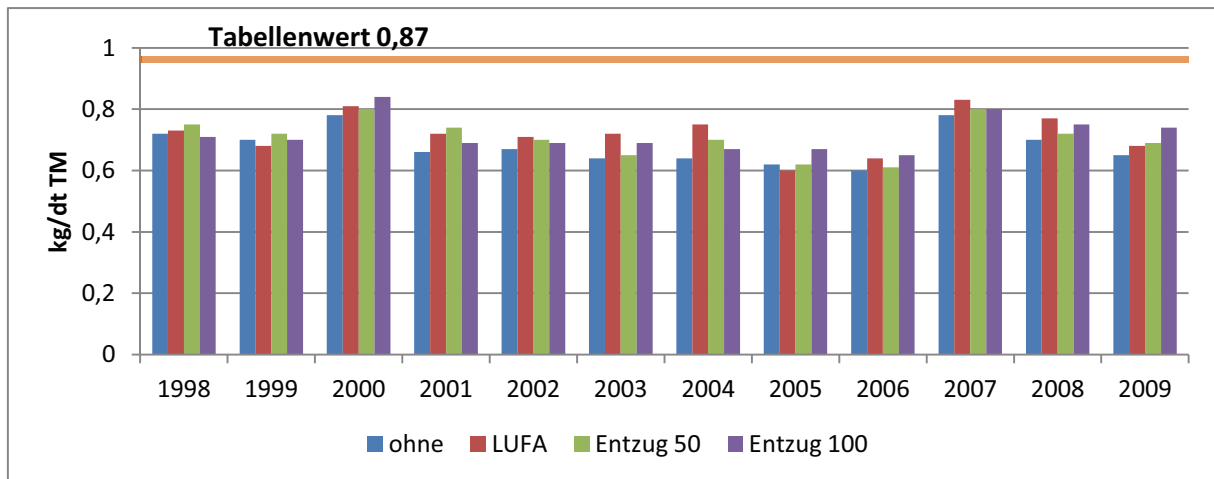


Abbildung 14: Phosphorgehalt im Raps

In der Abbildung 15 wird der Kaliumgehalt im Raps - Erntegut dargestellt. Der Tabellenrichtwert liegt hierfür bei 0,91 kg/dt TM und wird auch wie zuvor beim Phosphor in keinem der Jahre erreicht. Der höchst Wert wurde 2007 in der Variante „LUFA“ mit 0,38 kg/dt TM gemessen und der niedrigste 2000 in der Variante „ohne“ Düngung mit 0,54 kg/dt TM festgestellt.

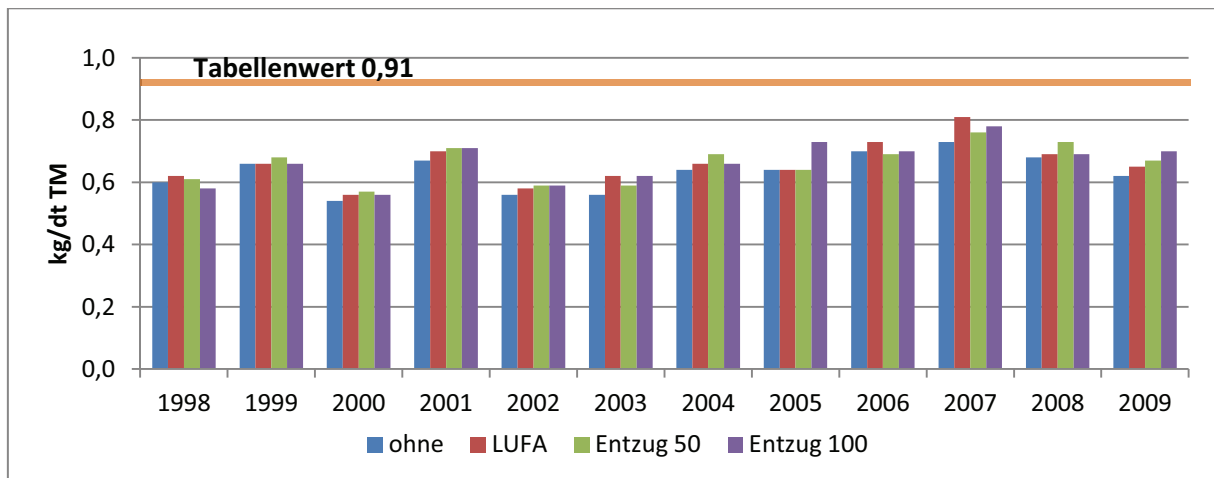


Abbildung 15: Kaliumgehalt im Raps

Die Abbildung 16 zeigt den Phosphorgehalt in der Kartoffel. Nach den Richtwerten zur Umsetzung der Düngeverordnung liegt der Tabellenrichtwert bei 0,27 kg/dt TM und wird auch hier in keinem Jahr erreicht. Der höchste gemessene Wert ist aus den Jahren 1998 und 2007 aus der Variante „Entzug 50“ mit 0,26 kg/dt TM und der niedrigste Wert wurde 2000, 2004, 2008 und 2009 mit 0,13 kg/dt TM in der Variante „Entzug 50“ gemessen und 2003 und

2008 in der Variante „ohne“ Düngung. Das Jahr 1999 konnte aufgrund eines Düngefehlers nicht ausgewertet werden.

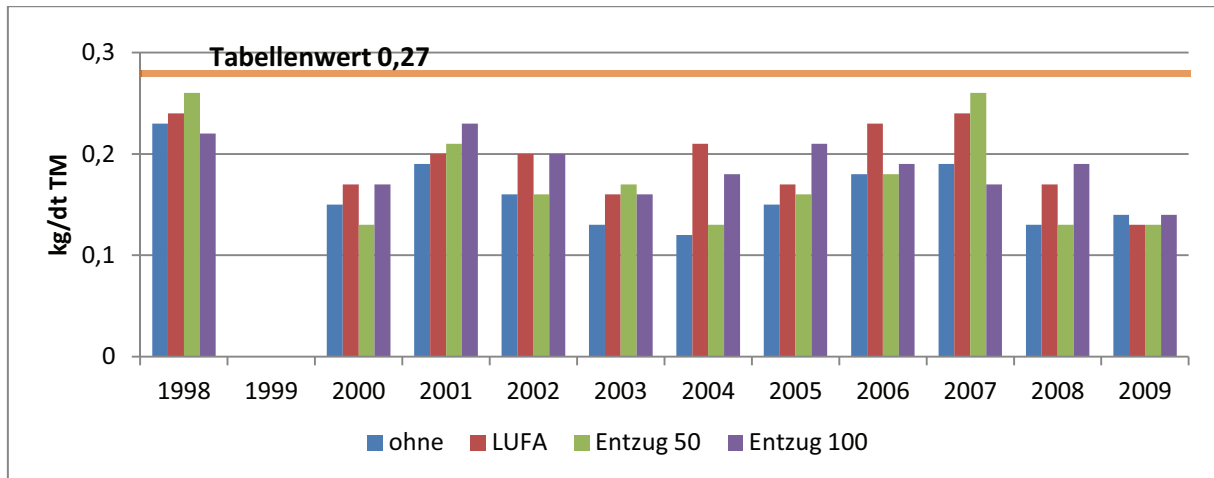


Abbildung 16: Phosphorgehalt in der Kartoffel

In der folgenden Abbildung 17 ist der Kaliumgehalt der Kartoffel und der nach den Richtwerten zur Umsetzung der Düngeverordnung geltende Tabellenrichtwert mit 2,7 kg/dt TM dargestellt. Der Richtwert wird auch hier wiederum nicht erreicht. Der höchste Wert wurde im Jahr 2006 in der Variante „LUFA“ mit 2,15 kg/dt TM gemessen und der niedrigste mit 1,13 kg/dt TM im Jahr 2009 in der Variante „ohne“ Düngung. Das Jahr 1999 konnte aufgrund eines Düngefehlers nicht ausgewertet werden.

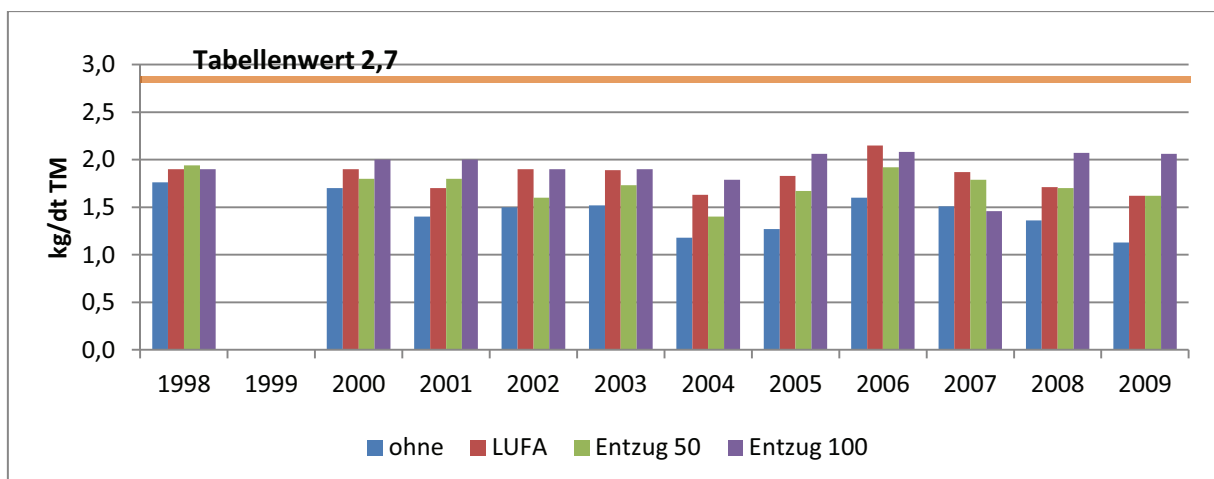


Abbildung 17: Kaliumgehalt in der Kartoffel

Die in den vorherigen Abbildungen dargestellten Daten weisen keine erhöhten Messwerte auf. Erstaunlich ist, dass trotz Düngung nach Empfehlung der LUFA und Düngung nach 100% des

Entzuges keine überhöhten Werte gemessen wurden. Die einzige Ausnahme bildet die Gerste mit den ersten 2 Versuchsjahren. In der Tabelle 7 sind die Schwankungsbreiten der Phosphor- und Kalium – Gehalte im Erntegut nochmals dargestellt und zusätzlich die Abweichung vom Tabellenwert der Richtwerte der Länder, berechnet am Mittelwert der „LUFA“ Variante. Vorwiegend die Kaliumgehalte liegen bis zu 30% unter den Richtwerten, bei der Kartoffel ebenso die Gehalte für Phosphor. Die Gerste liegt wie schon in Abbildung 10 nur knapp unter dem Tabellenwert.

**Tabelle 7: Schwankungsbreite der Nährstoffgehalte im Erntegut, 1998 - 2009**

	Gehalte in kg/dt TM		Vergleich zum Tabellenwert DVO %
	ohne P/K	LUFA	
<b>Phosphor</b>			
Wi.-Gerste	0,23...0,54	0,27...0,59	90
Wi.-Weizen	0,25...0,36	0,27...0,37	81
Wi.-Raps	0,6...0,78	0,6...0,83	83
Kartoffeln	0,12...0,23	0,13...0,24	71
<b>Kalium</b>			
Wi.-Gerste	0,27...0,5	0,26...0,51	70
Wi.-Weizen	0,26...0,5	0,28...0,48	71
Wi.-Raps	0,54...0,73	0,56...0,81	73
Kartoffeln	1,13...1,76	1,62...2,15	79

#### **4.3. Wirkung auf den Ertrag**

Betrachtet man nun den in der Abbildung 18 dargestellten Ertrag der 12 Versuchsjahre, so ist besonders beim Weizen und bei der Kartoffel eine Steigerung zu erkennen. Die Erträge der einzelnen Jahre innerhalb einer Rotation werden hier als Mittelwert zusammengefasst dargestellt. Die eingefügten Grenzdifferenzen beziehen sich auf die Werte der 3. Rotation zwischen der Standardvariante und den anderen Versuchsvarianten. Deutliche Signifikanzen sind beim Weizen in der „LUFA“ Variante und in der Variante „Entzug 100%“ zu erkennen. So wird, wie schon erwähnt, in dieser Grafik eine Steigerung des Ertrages im Prüfglied „LUFA“ deutlich. Bei der Gerste sind ebenfalls Signifikanzen in der 3. Rotation festzustellen. Eine leichte Ertragssteigerung ist in den beiden Varianten nach „LUFA“ und „Entzug 100%“ zu erkennen. Allerdings kann man in der Variante „Entzug 100%“ nur von einer Tendenz sprechen, da es nur eine geringe Steigerung von Rotation zu Rotation ist. Auch die Variante

„Entzug 50%“ weist keine geringeren Erträge auf, sondern brachte in der 1. und 3. Rotation sogar einen höheren Ertrag als die vorher genannten Varianten. Im Raps hingegen sind in der 3. Rotation keine signifikanten Ertragssteigerungen zu verzeichnen. Es kam in der ersten Rotation in der Variante „LUFA“ sogar zu einem niedrigeren Ertrag als in der Standardvariante und ebenso in der 2. Rotation in der Variante „Entzug 50%“. Schaut man die 3 Rotationen der Kartoffel an, so ist festzustellen, dass in allen Rotationen und Düngewarianten steigende und wie in der 3. Rotation dargestellt auch signifikante Erträge erreicht wurden. Besonders deutlich wird, dass die Variante „Entzug 100%“ in jeder Rotation einen leicht höheren Ertrag aufweist als die „LUFA“ Variante. Dieser ist allerdings aufgrund der geringen Differenz nicht aussagefähig und kann somit nur eine Tendenz darstellen. In der Variante „Entzug 50%“ fällt bei der Gerste auf, dass hier auch in der 3. Rotation immer noch Erträge erzielt werden, die mit der Düngung „Entzug 100%“ mithalten können. Beim Weizen tendieren diese eher zum absinken. Ähnliches wie bei der Gerste ist auch bei der Kartoffel zusehen. In der 2. Rotation liegen die Erträge sogar über denen der Variante „LUFA“.

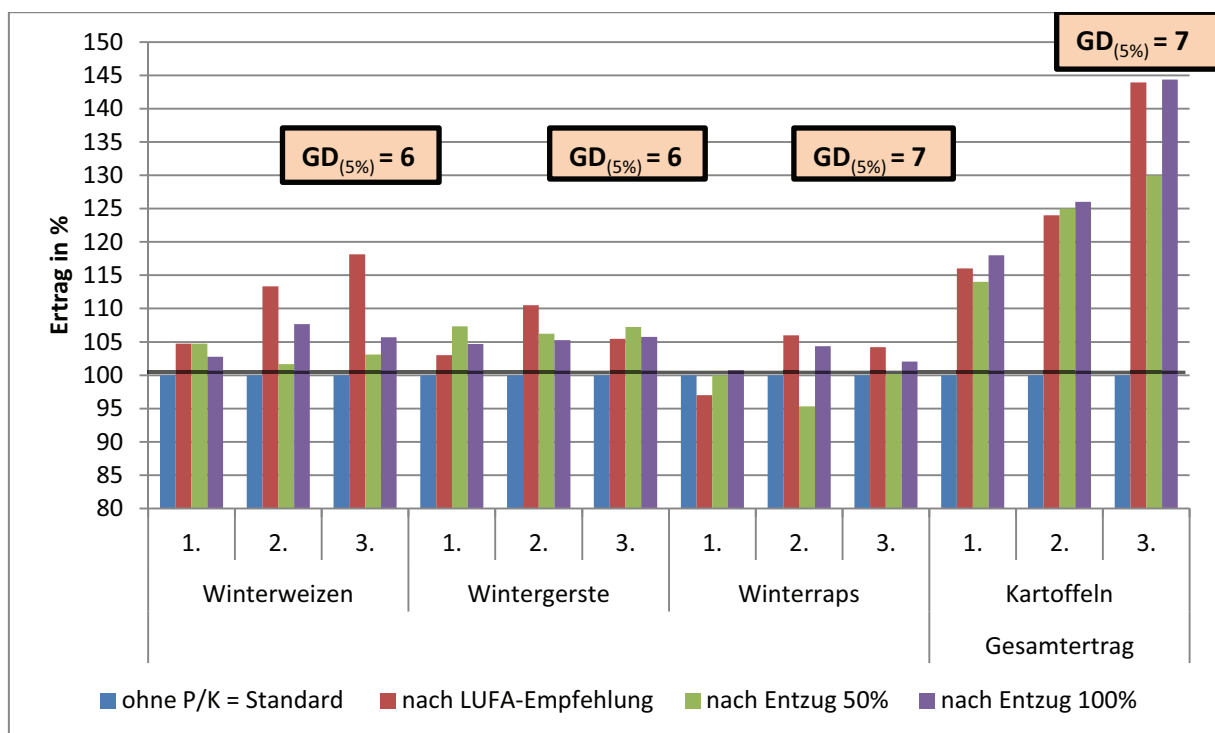


Abbildung 18: Relativerträge je Fruchtart und Rotation

Die Düngermengen wurden, wie es auch praxisüblich ist, an dem gewünschten Ertrag orientiert. Die Tabelle 8 zeigt die Mittelwerte jeder Kultur und die der verschiedenen Versuchsvarianten. Der Raps hat als einzige Kultur in allen Varianten den Planertrag erreicht. Beim Getreide ist der Weizen bei den Varianten nach Entzug nur knapp unter dem Plan –

Ertrag. Die Gerste erreicht diesen in keiner der aufgelisteten Varianten. Auch bei der Kartoffel kann man aufgrund ihrer hohen Masseproduktion sagen, dass sie nur knapp unter dem Plan – Ertrag liegt. Natürlich gab es in den 12 Versuchsjahren auch Jahre, in denen die Kulturen über dem Plan – Ertrag lagen. Allerdings wurden diese, durch Jahre, in denen der Ist – Ertrag weit unter dem Plan – Ertrag lag, wieder ausgeglichen. Jahre mit solchen Schwankungen sind z.B. 2003 und 2007, die sich einerseits durch extreme Trockenheit und andererseits durch lange Niederschlagsperioden auszeichnen.

**Tabelle 8: Plan- und Ist-Erträge der Kulturen in den einzelnen Düngevarianten, in dt/ha (für Gerste ab 3. Rotation 85dt/ha)**

	Plan	Ist			
		Standard	LUFA	Entzug 50%	Entzug 100%
Wi.-Gerste	90	74	80	79	78
Wi.-Weizen	90	84	93	87	89
Wi.-Raps	45	45	46	45	46
Kartoffeln	450	344	422	408	425

#### 4.4. Phosphor und Kalium im Stroh

Beim Stroh wurde der Planertrag mit Hilfe des Korn – Strohverhältnisses festgelegt. So ergeben sich für Gerste und Weizen ca. 70 dt/ha (TM) Stroh und für Raps ca. 60 dt/ha (TM) Stroh. Damit entsteht beim Getreide eine Abweichung von etwa 20 dt/ha und beim Raps um ca. 16 dt/ha (Tabelle 9). Die Blattmasse der Kartoffel wurde hier aufgrund des geringen HNV von 1:0,2 nicht berücksichtigt (Richtwerte der Länder). Die P – Gehalte im Stroh der Gerste und des Weizens weichen bis zu 50% vom Tabellenwert ab. Der Mittelwert der Kaliumgehalte übersteigt sogar den Tabellenwert. Die Nährstoffgehalte im Raps erreichen beim Phosphor nur 75% und beim Kalium nur 79% des Tabellenwertes. Die Nährstoffzufuhr durch das Stroh beträgt also 3 – 5 kg P/ha beim Getreide und fast 7 kg P/ha beim Raps. Die Zufuhr von Kalium durch das verbleibende Stroh liegt demnach bei der Gerste, bei ca. 50 kg/ha und beim Weizen und Raps sogar über 80 kg/ha (Tabelle 9).

**Tabelle 9: Mittlere jährliche Nährstoffzufuhr durch das verbleibende Stroh, Vergleich Tabellenwerte zu den im Stroh gemessenen Gehalten (errechnet anhand der Variante „LUFA“)**

	Ø Strohertrag (dt/ha)	Nährstoffgehalte in der TM		Tabellenwerte ( TM )		Nährstoffgehalte kg/ha ( TM )	
		P	K	P	K	p	K
Wi.-Gerste	49	0,08	1,03	0,15	1,64	3,73	51,02
Wi.-Weizen	49	0,09	1,66	0,15	1,35	4,54	81,41
Wi.-Raps	44	0,15	1,91	0,20	2,42	6,51	83,44

## 5. Auswertung

Die Kartoffel ist die einzige Fruchtart des Dauerversuchs, bei der schon nach Ende der 1. Rotation nennenswerte Ertragssteigerungen stattfanden. Der Hauptgrund dafür können die überschätzten Auswaschungsverluste sein, die auf dem Versuchsstandort nicht so stark sind, dass erhöhte Kaliumdüngermengen gerechtfertigt erscheinen. Die errechneten Nährstoffbilanzen der Varianten „LUFA“ und „Entzug 100%“ schildern eine eindeutige Anreicherung des Kaliums im Boden und das bestätigen auch die Bodengehalte der Versuchsschläge. Nach LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN (2000) wird durch höhere Kaligaben die Enzymaktivität in der Pflanze erhöht und die Erhöhung des osmotischen Druckes in den Zellen fördert die schnelle Ableitung von Assimilaten aus den Blättern in die Zellen. Positiv wirkte auch der Zeitpunkt der Düngung im Frühjahr in den Varianten nach „Entzug 50% und 100%“, da sich die Düngemittel im Boden lösen konnten und die Kartoffel mit ihrem so leistungsfähigen Wurzelsystem diese schneller in der Jugendphase aufnehmen konnte als die im Boden enthaltenen. Dies erklärt dann wohl auch, warum die Düngevariante „Entzug 50%“ in allen 3 Rotationen einen Ertragszuwachs verzeichnet. So wird auch verständlich, warum die „LUFA“ Variante geringfügig unter „Entzug 100%“ liegt, da in ihr die Düngerapplikation schon im Herbst des Vorjahres stattfand.

Die Getreidebestände zeigen zu Beginn des Versuchs nur geringen Einfluss auf den Ertrag. Beim Weizen wird deutlich, dass P/K – Düngung im Herbst, also nach „LUFA“ Empfehlung, im Laufe des Versuchs von Vorteil ist. Grund dafür wird die Bereitstellung der Grundnährstoffe zur Jugendentwicklung im Herbst sein, da sich die Pflanzen schon vor der Winterruhe gut entwickeln können. So kommt es beim Weizen in der 3. Rotation auch zu einem deutlichen Mehrertrag (Abbildung 18). Die Variante „100% Entzug“ zeigt zwar ebenso eine positive Wirkung auf den Düngezeitpunkt im Frühjahr, diese ist allerdings nicht so stark wie bei der „LUFA“ Variante.

Die Gerstenertäge aller Varianten liegen relativ gleich auf. Es ist auffällig, dass die „LUFA“ Variante keinen erheblich höheren Ertrag aufweist, obwohl hier bis zu 150 kg K/ha mehr gestreut worden sind. In den Varianten „LUFA“ und „Entzug 100%“ kann keine ertragswirksame Leistung festgestellt werden, weil zwischen den Düngermengen beider nur eine Differenz von 10 kg P/ha besteht. In der 2. und 3. Rotation des Weizens, in der Variante „Entzug 50%“ ist die halbierte Düngermenge ausschlaggebend. Der gute Ertrag in der ersten Rotation kann mit der positiven Nährstoffversorgung des Schlages vor Versuchsbeginn

begründet werden. Der in den folgenden Jahren nicht weiter ansteigende, sondern eher zum Sinken tendierende Ertrag kann damit zusammen hängen, dass aufgrund der reduzierten Düngermenge vermehrt Phosphor aus dem Bodenvorrat gelöst wurde, was aber nicht ertragssteigernd wirkte.

Der Weizen spricht sehr gut auf den Düngezeitpunkt Herbst an.

Der Raps zeigt in diesem Dauerversuch kaum Reaktion auf die Düngevarianten. Wie Tabelle 8 zeigt, bleiben seine Erträge über den ganzen Zeitraum stabil. Er hat wegen seiner starken und verzweigten Pfahlwurzel mit ihren langen Wurzelhaaren auch die Möglichkeit sich Nährstoffe aus den tieferen Bodenschichten anzueignen. Wie die Trendlinie in Abbildung 8 zeigt, reichert sich Kalium in der Tiefe von 30 – 60 cm an. Somit kann der Raps die ausgeschwemmten Nährstoffe, die zur Vorfrucht gedüngt wurden bzw. die Nährstoffreste aus dem Stroh der Vorfrucht nutzen. Daher ist der Effekt der Düngewirkung auf den Raps nicht so stark. Die Grunddüngung im Herbst brachte dennoch in den Rotationen 2 und 3 einen höheren Ertrag als die Düngung nach „Entzug 100%“ (Abbildung 18). Somit sollte die Düngung im Herbst bevorzugt werden, um eine gute und widerstandsfähige Jugendentwicklung vor dem Winter zu erreichen und den Ertrag zu sichern.

Die in der „LUFA“ und der „Entzug 100%“ Variante nach Ernte der Frucht gemessenen Bodengehalte weisen vor allem bei Düngung nach „LUFA“ eine Erhöhung im Boden auf und bewirken demnach auch das Erreichen der nächst höheren GK. Außerdem besitzt der Versuchsstandort mittlere Böden der Bodengruppe 2 mit 6 – 12% Ton und diese haben nach LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN (2006) nur geringe Auswaschungsverluste von 10 kg  $K_2O/ha$ . Die Bodengehalte wurden in diesem Versuch auch durch das auf dem Feld verbleibende Stroh beeinflusst. Hier kommen jährlich ca. 80 kg K/ha und bis ca. 7 kg P/ha zur Düngermenge hinzu. Diese zusätzlichen Mengen an Nährstoffen müssen bei der Düngung der Folgekultur berücksichtigt und von der eigentlich zu düngenden Menge abgezogen werden. So sollte nur so viel gedüngt werden wie mit dem Erntegut dann auch entsprechend abgefahren wird. Es dient zwar der Auffüllung des Bodenvorrats, aber hier können aus wirtschaftlicher Sicht Einsparungen vorgenommen und die Kosten für Dünger gesenkt werden.

Hinzu kommt, dass die Tabellen der Richtwerte der Länder nicht mit den im Stroh und im Erntegut festgestellten P/K – Mengen übereinstimmen. Diese Abweichung (Tabelle 7; Tabelle 9) führen auch dazu, dass mehr Dünger auf den Flächen eingesetzt wird, was sich wiederum

in den Nährstoffbilanzen darstellt. Demnach müssten, wenn man die Nährstoffbilanzen mit tatsächlichen Werten und Tabellenwerten vergleicht, die Tabellenwerte angepasst werden, um keine überschüssigen Dünger auszubringen und die Gehaltsklasse C zu erhalten.

Auch der Niederschlag beeinflusst die Aufnahme der Nährstoffe in die Pflanze. Dies ist am besten beim Phosphor (Abbildung 7) zu sehen. So ist z.B. im Jahr 2003 der Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor im Boden sehr gering. Das Konzentrationsgefälle in Richtung Wurzel, bedingt durch die P – Aufnahme der Pflanze, ist Grund für die Diffusion des Phosphors vom umliegenden Boden hin zur verarmten Wurzelzone. Diese Diffusionsleistung wird nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (2002) auch durch steigenden Wassergehalt im Boden beeinflusst. Somit kann bedingt durch geringen Niederschlag oder ungünstige Niederschlagsverteilung weder der gedüngte noch der im Boden gebundene Phosphor in ausreichender Menge von den Pflanzen aufgenommen werden.

Abschließend ist zu sagen, dass sich die Erträge durch hohen Düngeraufwand nur minimal steigern lassen. Die Landwirtschaftsbetriebe müssen für sich selbst einen optimalen Ertrag festlegen und nicht unnötig mehr Dünger ausbringen um eine Dezitonne mehr zu ernten, denn dies kommt nur der Kostenseite zugute. Wichtiger ist es, die Bodennährstoffgehalte in engeren Abständen als den durch die DüV festgelegten 6 Jahren festzustellen. Es sollte nun nicht gerade jedes Jahr gemessen werden, aber zum Ende der heute typischen „Fruchtfolge“ Raps, Weizen, Gerste könnte eine Messung stattfinden, um somit alle 3 Jahre den Verlauf der Bodengehalte nicht außerachtzulassen und dem entsprechend Anpassungen der Düngermenge vornehmen zu können. Es sollten auch nur die Mengen an Dünger gestreut werden, die die Pflanzen dem Boden entziehen bzw. die dem Erhalt der GK C dienen. Eine erhöhte Düngung müsste nur vorgenommen werden, wenn eine Steigerung des Nährstoffvorrates nötig oder gewünscht ist. Um die Düngermenge nach den Richtwerten der Länder zu berechnen, sollten diese Werte, wie in dieser Arbeit festgestellt, überarbeitet und ggf. geändert werden. Nur so lassen sich ungewollte Nährstoffüberschüsse vermeiden.

Die nach den Richtwerten der Länder geltenden Werte in der BG 2 liegen für reinen Phosphor bei 5,6 - 8,0 mg/100g Boden und für reines Kalium bei 8 – 11 mg/100g Boden. Diese sind nicht nur aus pflanzenphysiologischen, sondern auch aus wirtschaftlichen Gründen zu betrachten. Aufgrund steigender Energiepreise und somit auch steigender Preise für synthetische Düngemittel wird es für den Landwirt immer wichtiger die Kosten für seine



Grunddüngung nicht unnötig in die Höhe steigen zu lassen. Für Betriebe, denen es nicht möglich ist Nährstoffe aus organischen Düngemitteln, wie Rindermist oder Schweinegülle, mit einzubringen und somit den Bedarf der Kulturen zu decken, ist es wichtig, die Nährstoffversorgung und demnach auch die Gehaltsklassen ihrer Böden zu kennen, um in Jahren mit besonders hohen Düngerpreisen die auszubringende Menge anpassen zu können, ohne den Bodenvorrat zu stark zu beanspruchen.

Die hier dargestellten Ergebnisse zeigen anhand der sich verändernden Bodengehalte, dass, sofern man die Gehaltsklasse C hat, eine Düngung nach 100% des Entzuges ausreichend ist und nur mehr gedüngt werden sollte, wenn eine Erhöhung des Bodenvorrates nötig ist. Die in Abbildung 5 berechnete Nährstoffbilanz weist, wie zuvor schon erwähnt, eine Anreicherung an Phosphor und Kalium auf und dies ist auch an den Bodengehalten festgestellt worden. Es muss allerdings auch erwähnt werden, dass vor allem Kalium auswaschungsgefährdet ist und sich daher über die Jahre in tiefere Bodenschichten verlagert. Dies gilt vor allem für leichtere Böden und besagt somit, dass die in diesem Versuch gemessenen Werte auch nur auf Standorte mit ähnlichen geologischen Bedingungen zu übertragen sind. Eine weitere wichtige Rolle übernimmt auch der Niederschlag. So kommt es in nassen bzw. sehr nassen Jahren, wie 2007, auch zu einer höheren Auswaschung von Kalium als in anderen trockeneren Jahren, wie 2003. Beim Phosphor hingegen ist es von Vorteil, wenn die Jahre nicht zu trocken sind, da sich mehr gebundenes Phosphor löst, in die Bodenlösung übergeht und somit auch pflanzenverfügbar wird.

## 6. Literaturverzeichnis

Richtwerte für die Untersuchung und Beratung zur Umsetzung der Düngeverordnung in Mecklenburg-Vorpommern (2008). Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern

Lütke Entrup, N., & Oehmichen, J. (2006). Lehrbuch des Pflanzenbaus- Band 1: Grundlagen. Verlag Th. Mann

Lütke Entrup, N., & Oehmichen, J. (2000). Lehrbuch des Pflanzenbaus- Band 2: Kulturpflanzen. Verlag Th. Mann

Schubert, S. (2006). Pflanzenernährung. Ulmer Verlag

Scheffer, F. & Schachtschabel, P. (2002). Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum Akademischer Verlag

Knittel, H. & Albert, E. (2003). Praxishandbuch Dünger und Düngung. AgriMedia Verlag

Bergmann, W. (1993). Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag

Diepenbrock, W., Ellmer, F. & Léon, J. (2005). Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. Ulmer Verlag

Alsing, I. (2002). Lexikon der Landwirtschaft. Ulmer Verlag

Düngungsbroschüre (2004). Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern

Düngemittelgesetz (2009). Bundesministeriums der Justiz. ([http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/d\\_ngg/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/d_ngg/gesamt.pdf))

Düngeverordnung Mecklenburg-Vorpommern (2007). Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern

Bodennutzung Mecklenburg-Vorpommern (2009). Statistisches Amt Mecklenburg-Vorpommern

Leitenberger, B. (28.5.2010). <http://www.bernd-leitenberger.de/mineralstoffe.shtml>

## 7. Anhang

Düngevarianten	nach LUFA-Empfehlung (1998-2001)		nach Abfuhr 100%		nach Abfuhr 50%	
Fruchtart	P205	K20	P205	K20	P205	K20
W Gerste	95	243	68	52	34	26
W Raps	94	171	82	46	41	23
W Weizen	90	151	72	54	36	27
Kartoffel	54	269	64	270	32	135
Fruchtart	P	K	P	K	P	K
W Gerste	41	202	30	43	15	22
W Raps	41	142	36	38	18	19
W Weizen	39	125	31	45	16	22
Kartoffel	24	223	28	224	14	112
Düngevarianten	nach LUFA-Empfehlung (ab 2002)		nach Abfuhr 100%		nach Abfuhr 50%	
Fruchtart	P205	K20	P205	K20	P205	K20
W Gerste	91	211	72	54	36	27
W Raps	94	185	82	46	41	23
W Weizen	83	100	72	54	36	27
Kartoffel	54	269	64	270	32	135
Fruchtart	P	K	P	K	P	K
W Gerste	40	175	31	45	16	22
W Raps	41	154	36	38	18	19
W Weizen	36	83	31	45	16	22
Kartoffel	24	223	28	224	14	112

Anhang/Abbildung 1: jährliche Düngermengen (kg/ha) aller Schläge

	1998	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
P205	49	67	67	42	45	72	57	37	51	48	54
K20	228	356	357	296	250	345	237	190	200	234	269
P	21	29	29	18	20	31	25	16	22	21	23
K	189	295	296	246	208	286	197	158	166	194	224

Anhang/Abbildung 2: jährliche Düngermengen der Kartoffel, nach LUFA-Empfehlung

Fruchtart	Zufuhr P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr P (kg/ha)	K (kg/ha)	Jahr	
W Gerste -			30,46	24,23	1998	1. Rotation
Stroh Gerste -			4,54	81,41		
Saldo =	-35,00	-105,64				
W Raps -			31,60	23,70	1999	
Stroh Raps -			13,50	117,40		
Stroh Gerste +	4,54	81,41				
Saldo =	-75,56	-165,33			2000	
W Weizen -			22,17	28,77		
Stroh Weizen -			7,48	58,34		
Stroh Raps +	13,50	117,40			2001	
Saldo =	-91,71	-135,04				
Kartoffel -			17,31	127,57		
Stroh Weizen +	7,48	58,34			2002	
Saldo =	-101,54	-204,27				
W Gerste -			23,84	30,65		2003
Stroh Gerste -			1,92	49,92		
Saldo =	-127,30	-284,84				
W Raps -			19,98	17,48	2004	
Stroh Raps -			7,73	88,32		
Stroh Gerste +	1,92	49,92				
Saldo =	-153,09	-340,72			2005	
W Weizen -			29,35	29,35		
Stroh Weizen -			5,43	80,20		
Stroh Raps +	7,73	88,32			2006	
Saldo =	-180,14	-361,96				
Kartoffel -			10,62	89,94		
Stroh Weizen +	5,43	80,20			2007	
Saldo =	-185,33	-371,70				
W Gerste -			10,46	22,75		2008
Stroh Gerste -			13,10	48,83		
Saldo =	-208,90	-443,27				
W Raps -			23,69	22,17	2009	
Stroh Raps -			6,15	85,28		
Stroh Gerste +	13,10	48,83				
Saldo =	-225,63	-501,89			2009	
W Weizen -			20,93	28,35		
Stroh Weizen -			0,83	21,61		
Stroh Raps +	6,15	85,28			2009	
Saldo =	-241,24	-466,57				
Kartoffel -			12,17	109,53		
Stroh Weizen +	0,83	21,61			2009	
Saldo =	-252,58	-554,49				

Anhang/Abbildung 3: Nährstoffbilanz nach tatsächlichen Werten, Schlag 1, ohne P/K

Fruchtart	Zufuhr P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr P (kg/ha)	K (kg/ha)	
W Gerste -			25,50	36,40	1. Rotation
Stroh Gerste -			6,75	72,81	
Saldo =	-32,25	-109,2114			
W Raps -			30,37	32,12	2. Rotation
Stroh Raps -			7,50	89,23	
Stroh Gerste +	6,75	72,81			
Saldo =	-63,37	-74,27			3. Rotation
W Weizen -			27,00	38,55	
Stroh Weizen -			6,75	59,96	
Stroh Raps +	7,50	89,23			3. Rotation
Saldo =	-89,62	-83,55			
Kartoffel -			23,62	192,73	
Stroh Weizen +	6,75	59,96			3. Rotation
Saldo =	-106,49	-216,32			
Saldo =	-212,98	-432,64			
Saldo =	-319,47	-648,96			3. Rotation

Anhang/Abbildung 4: Nährstoffbilanz nach Tabellenwerten, Schlag1, ohne P/K

Fruchtart	Zufuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	
W Gerste -		31,39	44,82		36,51	27,02	1998
Stroh Gerste -					4,54	81,41	
Saldo =		-9,66	-63,60				
W Raps -		35,75	38,18		32,42	22,17	
Stroh Raps -					13,50	117,40	
Stroh Gerste +		4,54	81,41				1999
Saldo =		-15,29	-83,58				
W Weizen -		31,39	44,82		25,96	31,10	
Stroh Weizen -					7,48	58,34	
Stroh Raps +		13,50	117,40				
Saldo =		-3,84	-10,81				2000
Kartoffel -		27,90	224,1		24,32	211,46	
Stroh Weizen +		7,48	58,34				
Saldo =		7,23	60,17				
W Gerste -		31,39	44,82		28,01	33,03	
Stroh Gerste -					1,92	49,92	
Saldo =		8,70	22,04				
W Raps -		35,75	38,18		24,99	22,46	
Stroh Raps -					7,73	88,32	
Stroh Gerste +		1,92	49,92				2002
Saldo =		13,65	-0,63				
W Weizen -		31,39	44,82		23,51	34,13	
Stroh Weizen -					5,43	80,20	
Stroh Raps +		7,73	88,32				
Saldo =		23,83	18,17				2003
Kartoffel -		27,90	224,10		21,06	206,57	
Stroh Weizen +		5,43	80,20				
Saldo =		36,10	115,90				
W Gerste -		31,39	44,82		21,09	26,62	
Stroh Gerste -					13,10	48,83	
Saldo =		33,30	126,53				
W Raps -		35,75	38,18		30,03	29,28	
Stroh Raps -					6,15	85,28	
Stroh Gerste +		13,10	48,83				2005
Saldo =		45,97	98,98				
W Weizen -		31,39	44,82		28,70	35,87	
Stroh Weizen -					0,83	21,61	
Stroh Raps +		6,15	85,28				
Saldo =		53,98	171,60				2006
Kartoffel -		27,90	224,10		17,50	180,25	
Stroh Weizen +		0,83	21,61				
Saldo =		65,22	237,06				
W Gerste -		31,39	44,82		25,50	36,40	
Stroh Gerste -					6,75	72,81	
Saldo =		-0,85	-64,39				
W Raps		35,75	38,18		30,37	32,12	
Stroh Raps -					7,50	89,23	
Stroh Gerste +		6,75	72,81				2008
Saldo =		3,78	-74,75				
W Weizen		31,39	44,82		27,00	38,55	
Stroh Weizen -					6,75	59,96	
Stroh Raps +		7,50	89,23				
Saldo =		8,92	-39,21				2009
Kartoffel		27,90	224,10		23,62	192,73	
Stroh Weizen +		6,75	59,96				
Saldo =		20	52				
Saldo 2 =		40	104				
Saldo 3 =		60	156				

Anhang/Abbildung 5: Nährstoffbilanz nach tatsächlichen Werten, Schlag 1, Entzug 100%

Fruchtart	Zufuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)
W Gerste		31,39	44,82		25,50	36,40
Stroh Gerste -					6,75	72,81
Saldo =		-0,85	-64,39			
W Raps		35,75	38,18		30,37	32,12
Stroh Raps -					7,50	89,23
Stroh Gerste +		6,75	72,81			
Saldo =		3,78	-74,75			
W Weizen		31,39	44,82		27,00	38,55
Stroh Weizen -					6,75	59,96
Stroh Raps +		7,50	89,23			
Saldo =		8,92	-39,21			
Kartoffel		27,90	224,10		23,62	192,73
Stroh Weizen +		6,75	59,96			
Saldo =		20	52			
Saldo 2 =		40	104			
Saldo 3 =		60	156			

Anhang/Abbildung 6: Nährstoffbilanz nach Tabellenwerten, Schlag1, Entzug 100%

Fruchtart	Zufuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	
W Gerste -		15,70	22,41		30,59	24,77	1998
Stroh Gerste -				4,54	81,41		
Saldo =		-19,44	-83,76				
W Raps -		17,88	19,09		32,83	31,00	
Stroh Raps -				13,50	78,84		
Stroh Gerste +		4,54	81,41				1999
Saldo =		-43,35	-93,11				
W Weizen -		15,70	22,41		24,60	30,89	
Stroh Weizen -				7,48	58,34		
Stroh Raps +		13,50	78,84				
Saldo =		-46,24	-81,09				2000
Kartoffel -		13,95	112,05		21,61	185,21	
Stroh Weizen +		7,48	58,34				
Saldo =		-46,41	-95,91				
W Gerste -		15,70	22,41		25,93	32,94	
Stroh Gerste -				1,92	49,92		
Saldo =		-58,57	-101,35				
W Raps -		17,88	19,09		20,11	18,25	
Stroh Raps -				7,73	88,32		
Stroh Gerste +		1,92	49,92				2003
Saldo =		-66,61	-138,92				
W Weizen -		15,70	22,41		18,45	30,30	
Stroh Weizen -				5,43	80,20		
Stroh Raps +		7,73	88,32				
Saldo =		-67,06	-138,69				2004
Kartoffel -		13,95	112,05		15,88	165,73	
Stroh Weizen +		5,43	80,20				
Saldo =		-63,56	-112,17				
W Gerste -		15,70	22,41		18,08	24,61	
Stroh Gerste -				13,10	48,83		
Saldo =		-79,05	-163,21				
W Raps -		17,88	19,09		28,97	27,02	
Stroh Raps -				6,15	85,28		
Stroh Gerste +		13,10	48,83				2007
Saldo =		-83,18	-207,59				
W Weizen -		15,70	22,41		26,14	33,83	
Stroh Weizen -				0,83	21,61		
Stroh Raps +		6,15	85,28				
Saldo =		-88,31	-155,33				2008
Kartoffel -		13,95	112,05		15,67	154,83	
Stroh Weizen +		0,83	21,61				
Saldo =		-89,20	-176,51				

Anhang/Abbildung 7: Nährstoffbilanz nach tatsächlichen Werten, Schlag 1, Entzug 50%

Fruchtart	Zufuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)
W Gerste		15,70	22,41		25,50	36,40
Stroh Gerste -					6,75	72,81
Saldo =		-16,55	-86,80			
W Raps		17,88	19,09		30,37	32,12
Stroh Raps -					7,50	89,23
Stroh Gerste +		6,75	72,81			
Saldo =		-29,80	-116,25			
W Weizen		15,70	22,41		27,00	38,55
Stroh Weizen -					6,75	59,96
Stroh Raps +		7,50	89,23			
Saldo =		-40,35	-103,12			
Kartoffel		13,95	112,05		23,62	192,73
Stroh Weizen +		6,75	59,96			
Saldo 1 =		-43,27	-123,84			
Saldo 2 =		-86,54	-247,67			
Saldo 3 =		-129,81	-371,51			

Anhang/Abbildung 8: Nährstoffbilanz nach Tabellenwerten, Schlag1, Entzug 50%

Fruchtart	Zufuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)		
Kartoffel -				21,17	162,00		1. Rotation	
Saldo =		-21,17	-162,00					
W Gerste -				21,74	24,98			
Stroh Gerste -				5,68	137,74			
Saldo =		-48,59	-324,72				1999	
W Raps -				35,14	24,32		2. Rotation	
Stroh Raps -				4,90	159,38			
Stroh Gerste +		5,68	137,74					
Saldo =		-82,95	-370,69					
W Weizen -				31,93	24,42		2000	
Stroh Weizen -				5,42	48,16			
Stroh Raps +		4,90	159,38					
Saldo =		-115,40	-283,88					
Kartoffel -				14,22	133,32		2001	
Stroh Weizen +		5,42	48,16					
Saldo =		-124,20	-369,04					
W Gerste -				14,51	14,09			
Stroh Gerste -				4,15	101,72		2002	
Saldo =		-142,86	-484,86					
W Raps -				29,35	29,35			
Stroh Raps -				2,55	78,49			
Stroh Gerste +		4,15	101,72				2003	
Saldo =		-170,61	-490,98					
W Weizen -				20,78	28,57			
Stroh Weizen -				1,88	78,49			
Stroh Raps +		2,55	78,49				2004	
Saldo =		-190,72	-519,55					
Kartoffel -				10,18	90,53			2005
Stroh Weizen +		1,88	78,49					
Saldo =		-199,02	-531,59					
W Gerste -				23,37	22,81			
Stroh Gerste -				2,94	95,26		2006	
Saldo =		-225,33	-649,66					
W Raps -				32,07	31,15			
Stroh Raps -				2,29	58,63			
Stroh Gerste +		2,94	95,26				2007	
Saldo =		-256,75	-644,18					
W Weizen -				22,17	28,77			
Stroh Weizen -				4,54	81,41			
Stroh Raps +		2,29	58,63				2008	
Saldo =		-281,17	-695,73					
Stroh Weizen +		4,54	81,41					
Saldo =		-276,63	-614,33					
							2009/2010	

Anhang/Abbildung 9: Nährstoffbilanz nach tatsächlichen Werten, Schlag 2, ohne P/K

Fruchtart	Zufuhr	P2O5 (kg/ha)	K2O (kg/ha)	Abfuhr	P2O5 (kg/ha)	K2O (kg/ha)
Kartoffel -					63	270
Saldo =			-63	-270		
W Gerste -					68	51
Stroh Gerste -					18	102
Saldo =			-149	-423		
W Raps -					81	45
Stroh Raps -					20	125
Stroh Gerste +		18	102			
Saldo =			-232	-491		
W Weizen -					72	54
Stroh Weizen -					18	84
Stroh Raps +		20	125			
Saldo 1 =			-302	-504		
Saldo 2 =			-604	-1008		
Saldo 3 =			-906	-1512		

Anhang/Abbildung 10: Nährstoffbilanz nach Tabellenwerten, Schlag 2, ohne P/K



Fruchtart	Zufuhr P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr P (kg/ha)	K (kg/ha)		
Kartoffel -	Düngung	21,36	189,24	24,02	190,19	1998
Saldo =		-2,66	-0,95			
W Gerste -	Düngung	41,42	201,69	25,47	27,93	1999
Stroh Gerste -				5,68	137,74	
Saldo =		7,61	35,07			
W Raps -	Düngung	40,98	141,93	36,34	25,12	2000
Stroh Raps -				4,90	159,38	
Stroh Gerste +		5,68	137,74			
Saldo =		13,04	130,24			
W Weizen -	Düngung	39,24	125,33	35,82	27,86	2001
Stroh Weizen -				5,42	48,16	
Stroh Raps +		4,90	159,38			
Saldo =		15,94	338,93			
Kartoffel -	Düngung	18,31	245,68	20,77	197,30	2002
Stroh Weizen +		5,42	48,16			
Saldo =		18,90	435,47			
W Gerste -	Düngung	39,68	175,13	15,41	17,75	2003
Stroh Gerste -				4,15	101,72	
Saldo =		39,02	491,13			
W Raps -	Düngung	40,98	153,55	35,35	31,11	2004
Stroh Raps -				4,68	74,10	
Stroh Gerste +		4,15	101,72			
Saldo =		44,12	641,20			
W Weizen -	Düngung	36,19	83	24,21	35,14	2005
Stroh Weizen -				1,88	78,49	
Stroh Raps +		4,68	74,10			
Saldo =		58,90	684,67			
Kartoffel -	Düngung	16,13	157,70	14,40	134,63	2006
Stroh Weizen +		1,88	78,49			
Saldo =		62,51	786,23			
W Gerste -	Düngung	39,68	175,13	22,77	22,77	2007
Stroh Gerste -				2,94	95,26	
Saldo =		76,47	843,33			
W Raps -	Düngung	40,98	153,55	38,24	34,27	2008
Stroh Raps -				2,29	58,63	
Stroh Gerste +		2,94	95,26			
Saldo =		79,86	999,23			
W Weizen -	Düngung	36,19	83	26,60	33,01	2009
Stroh Weizen -				3,73	51,02	
Stroh Raps +		2,29	58,63			
Saldo =		88,01	1056,84			
Stroh Weizen +		3,73	51,02			2009/2010
Saldo =		91,74	1107,85			

Anhang/Abbildung 11: Nährstoffbilanz nach tatsächlichen Werten, Schlag 2, LUFA

Fruchtart	Zufuhr P2O5 (kg/ha)	K2O (kg/ha)	Abfuhr P2O5 (kg/ha)	K2O (kg/ha)
Kartoffel -		54	269	63
Saldo =		-9	-1	270
W Gerste -		95	243	68
Stroh Gerste -				18
Saldo =		0	89	51
W Raps -		94	171	81
Stroh Raps -				20
Stroh Gerste +		18	102	125
Saldo =		11	192	45
W Weizen -		90	151	72
Stroh Weizen -				18
Stroh Raps +		20	125	54
Saldo 1 =		31	330	84
Saldo 2 =		62	660	
Saldo 3 =		93	990	

Anhang/Abbildung 12: Nährstoffbilanz nach Tabellenwerten, Schlag 2, LUFA

Fruchtart	Zufuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	
Kartoffel -	Düngung	27,90	224,10		24,43	210,96	1998
Saldo =		3,48	13,14				
W Gerste -	Düngung	31,39	44,82		25,80	28,49	
Stroh Gerste -					5,68	137,74	1999
Saldo =		-0,08	-121,41				
W Raps -	Düngung	35,75	38,18		39,37	26,24	
Stroh Raps -					4,90	159,38	2000
Stroh Gerste +		5,68	137,74				
Saldo =		-2,92	-131,12				
W Weizen -	Düngung	31,39	44,82		35,10	24,66	2001
Stroh Weizen -					5,42	48,16	
Stroh Raps +		4,90	159,38				
Saldo =		-7,14	0,26				2002
Kartoffel -	Düngung	27,90	224,10		21,08	200,31	
Stroh Weizen +		5,42	48,16				
Saldo =		5,09	72,21				2003
W Gerste -	Düngung	31,39	44,82		17,61	15,41	
Stroh Gerste -					4,15	101,72	
Saldo =		14,72	-0,10				2004
W Raps -	Düngung	35,75	38,18		30,42	29,97	
Stroh Raps -					4,68	74,10	
Stroh Gerste +		4,15	101,72				2005
Saldo =		19,52	35,73				
W Weizen -	Düngung	31,39	44,82		22,97	29,53	
Stroh Weizen -					1,88	78,49	
Stroh Raps +		4,68	74,10				
Saldo =		30,75	46,63				2006
Kartoffel -	Düngung	27,90	224,10		12,16	133,08	
Stroh Weizen +		1,88	78,49				
Saldo =		48,38	216,14				2007
W Gerste -	Düngung	31,39	44,82		21,38	24,27	
Stroh Gerste -					2,94	95,26	
Saldo =		55,44	141,44				2008
W Raps -	Düngung	35,75	38,18		34,28	31,53	
Stroh Raps -					2,29	58,63	
Stroh Gerste +		2,94	95,26				2009
Saldo =		57,57	184,71				
W Weizen -	Düngung	31,39	44,82		25,96	31,10	
Stroh Weizen -					3,73	51,02	
Stroh Raps +		2,29	58,63				
Saldo =		61,56	206,04				
Stroh Weizen +		3,73	51,02				2009/2010
Saldo =		65,29	257,06				

Anhang/Abbildung 13: Nährstoffbilanz nach tatsächlichen Werten, Schlag 2, Entzug 100%

Fruchtart	Zufuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)		
Kartoffel -	Düngung	13,95	112,05		28,10	209,64	1998	1. Rotation
Saldo =		-14,14	-97,59					
W Gerste -	Düngung	15,70	22,41		25,31	27,53		
Stroh Gerste -					4,54	81,41	1999	
Saldo =		-28,30	-184,12					
W Raps -	Düngung	17,88	19,09		35,60	25,36		
Stroh Raps -					4,90	159,38	2000	
Stroh Gerste +		4,54	81,41					
Saldo =		-46,39	-268,37					
W Weizen -	Düngung	15,70	22,41		33,08	26,46	2001	
Stroh Weizen -					5,42	48,16		
Stroh Raps +		4,90	159,38					
Saldo =		-64,29	-161,20				2002	2. Rotation
Kartoffel -	Düngung	13,95	112,05		18,70	187,02		
Stroh Weizen +		5,42	48,16					
Saldo =		-63,62	-188,01					
W Gerste -	Düngung	15,70	22,41		16,32	17,22		
Stroh Gerste -					4,15	101,72		
Saldo =		-68,39	-284,55					
W Raps -	Düngung	17,88	19,09		29,43	29,01		
Stroh Raps -					4,68	74,10		
Stroh Gerste +		4,15	101,72					
Saldo =		-80,47	-266,84					
W Weizen -	Düngung	15,70	22,41		22,85	31,33	2004	
Stroh Weizen -					1,88	78,49		
Stroh Raps +		4,68	74,10					
Saldo =		-84,82	-280,15				2005	
Kartoffel -	Düngung	13,95	112,05		10,57	112,75		
Stroh Weizen +		1,88	78,49					
Saldo =		-79,56	-202,37					
W Gerste -	Düngung	15,70	22,41		22,74	23,91		
Stroh Gerste -					2,94	95,26		
Saldo =		-89,54	-299,12					
W Raps -	Düngung	17,88	19,09		30,95	31,37		
Stroh Raps -					2,29	58,63		
Stroh Gerste +		2,94	95,26					
Saldo =		-101,96	-274,78					
W Weizen -	Düngung	15,70	22,41		24,60	30,89	2008	
Stroh Weizen -					3,73	51,02		
Stroh Raps +		2,29	58,63					
Saldo =		-112,31	-275,65				2009	
Stroh Weizen +		3,73	51,02					
Saldo =		-108,58	-224,63					
							2009/2010	

Anhang/Abbildung 14: Nährstoffbilanz nach tatsächlichen Werten, Schlag 2, Entzug 50%

Fruchtart	Zufuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)		
W Weizen -	Düngung				30,46	24,23	1998	1. Rotation
Stroh Weizen -					4,66	58,30		
Saldo =		-35,13	-82,53					
Kartoffel -	Düngung				12,17	109,53	1999	
Stroh Weizen +		3,73	51,02					
Saldo =		-43,57	-141,04					
W Gerste -	Düngung				23,75	20,69	2000	
Stroh Gerste -					3,69	123,00		
Saldo =		-71,01	-284,73					
W Raps -	Düngung				27,45	27,86	2001	
Stroh Raps -					5,38	31,92		
Stroh Gerste +		3,69	123,00					
Saldo =		-100,15	-221,52					
W Weizen -	Düngung				22,92	29,37	2002	2. Rotation
Stroh Weizen -					2,18	30,73		
Stroh Raps +		5,38	31,92					
Saldo =		-119,87	-249,70					
Kartoffel -	Düngung				8,35	97,58	2003	
Stroh Weizen +		2,18	30,73					
Saldo =		-126,04	-316,55					
W Gerste -	Düngung				17,28	28,15	2004	
Stroh Gerste -					1,94	63,63		
Saldo =		-145,25	-408,33					
W Raps -	Düngung				26,46	27,31	2005	
Stroh Raps -					2,55	81,90		
Stroh Gerste +		1,94	63,63					
Saldo =		-172,32	-453,91					
W Weizen -	Düngung				15,85	26,83	2006	3. Rotation
Stroh Weizen -					5,38	62,10		
Stroh Raps +		2,55	81,90					
Saldo =		-191,01	-460,94					
Kartoffel -	Düngung				16,95	134,74	2007	
Stroh Weizen +		5,38	62,10					
Saldo =		-202,58	-533,58					
W Gerste -	Düngung				15,06	26,35	2008	
Stroh Gerste -					3,18	34,98		
Saldo =		-220,82	-594,91					
W Raps -	Düngung				27,56	25,67	2009	
Stroh Raps -					6,51	83,44		
Stroh Gerste +		3,18	34,98					
Saldo =		-251,71	-669,04					
Stroh Raps +		6,51	83,44				2009/2010	
Saldo =		-245,20	-585,60					

Anhang/Abbildung 15: Nährstoffbilanz nach tatsächlichen Werten, Schlag 3, ohne P/K

Fruchtart	Zufuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)		
W Weizen -	Düngung	39,24	125,33		29,94	28,28	1998	1. Rotation
Stroh Weizen -					4,66	58,30		
Saldo =		4,64	38,75					
Kartoffel -	Düngung	23,33	223,52		17,91	169,77	1999	
Stroh Weizen +		4,66	58,30					
Saldo =		14,72	150,80					
W Gerste -	Düngung	41,42	201,69		22,99	22,14	2000	
Stroh Gerste -					3,69	123,00		
Saldo =		29,46	207,35					
W Raps -	Düngung	40,98	141,93		29,88	29,05	2001	
Stroh Raps -					5,38	31,92		
Stroh Gerste +		3,69	123,00					
Saldo =		38,88	411,32					
W Weizen -	Düngung	36,19	83,00		25,49	30,59	2002	2. Rotation
Stroh Weizen -					2,18	30,73		
Stroh Raps +		5,38	31,92					
Saldo =		52,78	464,91				2003	
Kartoffel -	Düngung	19,62	207,50		11,92	140,75		
Stroh Weizen +		2,18	30,73					
Saldo =		62,66	562,39				2004	
W Gerste -	Düngung	39,68	175,13		24,55	34,22		
Stroh Gerste -					1,94	63,63		
Saldo =		75,85	639,67				2005	
W Raps -	Düngung	40,98	153,55		26,43	28,19		
Stroh Raps -					2,55	81,90		
Stroh Gerste +		1,94	63,63					
Saldo =		89,80	746,77				2006	3. Rotation
W Weizen -	Düngung	36,19	83,00		19,86	30,11		
Stroh Weizen -					5,38	62,10		
Stroh Raps +		2,55	81,90				2007	
Saldo =		103,29	819,45					
Kartoffel -	Düngung	22,24	166,00		30,45	237,25		
Stroh Weizen +		5,38	62,10				2008	
Saldo =		100,46	810,31					
W Gerste -	Düngung	39,68	175,13		22,21	30,36		
Stroh Gerste -					3,18	34,98	2009	
Saldo =		114,74	920,10					
W Raps -	Düngung	40,98	153,55		30,44	27,91		
Stroh Raps -					6,51	83,44		
Stroh Gerste +		3,18	34,98				2009	
Saldo =		121,95	997,28					
Stroh Raps +		6,51	83,44				2009/2010	
Saldo =		128,46	1080,72					

Anhang/Abbildung 16: Nährstoffbilanz nach tatsächlichen Werten, Schlag 3, LUFA

Fruchtart	Zufuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)		
W Weizen -	Düngung	31,39	44,82		29,75	28,14	1998	1. Rotation
Stroh Weizen -					4,66	58,30		
Saldo =		-3,02	-41,62					
Kartoffel -	Düngung	27,90	224,10		17,50	180,25	1999	
Stroh Weizen +		4,66	58,30					
Saldo =		12,05	60,53					
W Gerste -	Düngung	29,65	43,16		26,97	21,58	2000	
Stroh Gerste -					3,69	123,00		
Saldo =		11,03	-40,89					
W Raps -	Düngung	35,75	38,18		28,51	29,33	2001	
Stroh Raps -					5,38	31,92		
Stroh Gerste +		3,69	123,00					
Saldo =		16,59	59,04					
W Weizen -	Düngung	31,39	44,82		27,46	33,56	2002	2. Rotation
Stroh Weizen -					2,18	57,33		
Stroh Raps +		5,38	31,92					
Saldo =		23,72	44,88				2003	
Kartoffel -	Düngung	27,90	224,10		13,15	156,21		
Stroh Weizen +		2,18	57,33					
Saldo =		40,65	170,11				2004	
W Gerste -	Düngung	31,39	44,82		23,72	31,85		
Stroh Gerste -					1,94	63,63		
Saldo =		46,38	119,45				2005	
W Raps -	Düngung	35,75	38,18		27,86	30,36		
Stroh Raps -					2,55	81,90		
Stroh Gerste +		1,94	63,63					
Saldo =		53,66	109,00				2006	3. Rotation
W Weizen -	Düngung	31,39	44,82		18,09	27,73		
Stroh Weizen -					5,38	62,10		
Stroh Raps +		2,55	81,90				2007	
Saldo =		64,14	145,89					
Kartoffel -	Düngung	27,90	224,10		19,79	169,98		
Stroh Weizen +		5,38	62,10				2008	
Saldo =		77,63	262,11					
W Gerste -	Düngung	31,39	44,82		22,79	35,60		
Stroh Gerste -					3,18	34,98	2009	
Saldo =		83,06	236,34					
W Raps -	Düngung	35,75	38,18		30,03	27,87		
Stroh Raps -					6,51	83,44		
Stroh Gerste +		3,18	34,98				2009/2010	
Saldo =		85,45	198,19					
Stroh Raps +		6,51	83,44					
Saldo =		91,96	281,64					

Anhang/Abbildung 17: Nährstoffbilanz nach tatsächlichen Werten, Schlag 3, Entzug 100%

Fruchtart	Zufuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)		
W Weizen -	Düngung	15,70	22,41		30,39	28,79	1998	1. Rotation
Stroh Weizen -					4,66	58,30		
Saldo =		-19,36	-64,68					
Kartoffel -	Düngung	13,95	112,05		15,67	154,83	1999	
Stroh Weizen +		4,66	58,30					
Saldo =		-16,42	-49,16					
W Gerste -	Düngung	14,82	21,58		28,10	21,26	2000	
Stroh Gerste -					3,69	123,00		
Saldo =		-33,38	-171,85					
W Raps -	Düngung	17,88	19,09		30,10	28,88	2001	
Stroh Raps -					5,38	31,92		
Stroh Gerste +		3,69	123,00					
Saldo =		-47,29	-90,56					
W Weizen -	Düngung	15,70	22,41		27,21	32,35	2002	2. Rotation
Stroh Weizen -					2,18	30,73		
Stroh Raps +		5,38	31,92					
Saldo =		-55,60	-99,31					
Kartoffel -	Düngung	13,95	112,05		12,11	123,28	2003	
Stroh Weizen +		2,18	30,73					
Saldo =		-51,59	-79,81					
W Gerste -	Düngung	15,70	22,41		24,89	32,50	2004	
Stroh Gerste -					1,94	63,63		
Saldo =		-62,72	-153,53					
W Raps -	Düngung	17,88	19,09		25,05	25,86	2005	
Stroh Raps -					2,55	81,90		
Stroh Gerste +		1,94	63,63					
Saldo =		-70,50	-178,56					
W Weizen -	Düngung	15,70	22,41		16,93	26,28	2006	3. Rotation
Stroh Weizen -					5,38	62,10		
Stroh Raps +		2,55	81,90					
Saldo =		-74,58	-162,63					
Kartoffel -	Düngung	13,95	112,05		27,07	186,35	2007	
Stroh Weizen +		5,38	62,10					
Saldo =		-82,31	-174,83					
W Gerste -	Düngung	15,70	22,41		20,87	31,31	2008	
Stroh Gerste -					3,18	34,98		
Saldo =		-90,67	-218,70					
W Raps -	Düngung	17,88	19,09		28,97	27,02	2009	
Stroh Raps -					6,51	83,44		
Stroh Gerste +		3,18	34,98					
Saldo =		-105,08	-275,10					
Stroh Raps +		6,51	83,44					
Saldo =		-98,57	-191,66				2009/2010	

Anhang/Abbildung 18: Nährstoffbilanz nach tatsächlichen Werten, Schlag 3, Entzug 50%

Fruchtart	Zufuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)		
W Raps -	Düngung				28,44	23,70	1998	1. Rotation
Stroh Raps -					5,26	78,84		
Saldo =		-33,69	-102,54					
W Weizen -	Düngung				33,65	37,50	1999	
Stroh Weizen -					3,73	51,02		
Stroh Raps +		5,26	78,84					
Saldo =		-72,60	-218,87					
Kartoffel -	Düngung				10,26	116,31	2000	
Stroh Weizen +		3,73	51,02					
Saldo =		-79,14	-284,17					
W Gerste -	Düngung				26,39	24,74	2001	
Stroh Gerste -					2,10	71,40		
Saldo =		-107,63	-380,31					
W Raps -	Düngung				27,56	25,67	2002	2. Rotation
Stroh Raps -					5,41	57,24		
Stroh Gerste +		2,10	71,40					
Saldo =		-138,50	-391,82					
W Weizen -	Düngung				22,17	28,77	2003	
Stroh Weizen -					5,79	57,33		
Stroh Raps +		5,41	57,24					
Saldo =		-161,05	-420,69					
Kartoffel -	Düngung				10,68	105,03	2004	
Stroh Weizen +		5,79	57,33					
Saldo =		-165,94	-468,39					
W Gerste -	Düngung				20,48	31,07	2005	
Stroh Gerste -					2,47	71,14		
Saldo =		-188,89	-570,59					
W Raps -	Düngung				22,88	26,69	2006	3. Rotation
Stroh Raps -					16,24	102,83		
Stroh Gerste +		2,47	71,14					
Saldo =		-225,53	-628,98					
W Weizen -	Düngung				17,14	23,23	2007	
Stroh Weizen -					0,95	39,90		
Stroh Raps +		16,24	102,83					
Saldo =		-227,39	-589,27					
Kartoffel -	Düngung				5,98	62,59	2008	
Stroh Weizen +		0,95	39,90					
Saldo =		-232,42	-611,97					
W Gerste -	Düngung				21,74	24,98	2009	
Stroh Gerste -					4,54	81,41		
Saldo =		-258,71	-718,35					
Stroh Gerste +		4,54	81,41					
Saldo =		-254,16	-636,94				2009/2010	

Anhang/Abbildung 19: Nährstoffbilanz nach tatsächlichen Werten, Schlag 6, ohne P/K



Fruchtart	Zufuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)		
W Raps -	Düngung	40,98	141,93		28,23	23,98	1998	1. Rotation
Stroh Raps -					5,26	78,84		
Saldo =		7,50	39,11					
W Weizen -	Düngung	39,24	125,33		31,80	34,45	1999	
Stroh Weizen -					3,73	51,02		
Stroh Raps +		5,26	78,84					
Saldo =		16,47	157,82				2000	
Kartoffel -	Düngung	29,21	295,48		13,65	152,57		
Stroh Weizen +		3,73	51,02					
Saldo =		35,76	351,75				2001	
W Gerste -	Düngung	41,42	201,69		25,84	27,46		
Stroh Gerste -					2,10	71,40		
Saldo =		49,24	454,58				2002	
W Raps -	Düngung	40,98	153,55		30,44	27,91		
Stroh Raps -					5,41	57,24		
Stroh Gerste +		2,10	71,40					
Saldo =		56,47	594,39					
W Weizen -	Düngung	36,19	83,00		26,60	33,01		2003
Stroh Weizen -					5,79	57,33		
Stroh Raps +		5,41	57,24					
Saldo =		65,68	644,28					2004
Kartoffel -	Düngung	31,39	286,35		22,04	171,05		
Stroh Weizen +		5,79	57,33					
Saldo =		80,82	816,91				2005	
W Gerste -	Düngung	39,68	175,13		25,71	37,46		
Stroh Gerste -					2,47	71,14		
Saldo =		92,32	883,45				2006	
W Raps -	Düngung	40,98	153,55		24,98	28,50		
Stroh Raps -					16,24	102,83		
Stroh Gerste +		2,47	71,14					
Saldo =		94,55	976,81					
W Weizen -	Düngung	36,19	83,00		26,54	32,28		2007
Stroh Weizen -					0,95	39,90		
Stroh Raps +		16,24	102,83					
Saldo =		119,49	1090,46					2008
Kartoffel -	Düngung	20,93	194,22		10,62	106,81		
Stroh Weizen +		0,95	39,90					
Saldo =		130,75	1217,76				2009	
W Gerste -	Düngung	39,68	175,13		25,47	27,93		
Stroh Gerste -					4,54	81,41		
Saldo =		140,42	1283,56				2009/2010	
Stroh Gerste +		4,54	81,41					
Saldo =		144,96	1364,97					

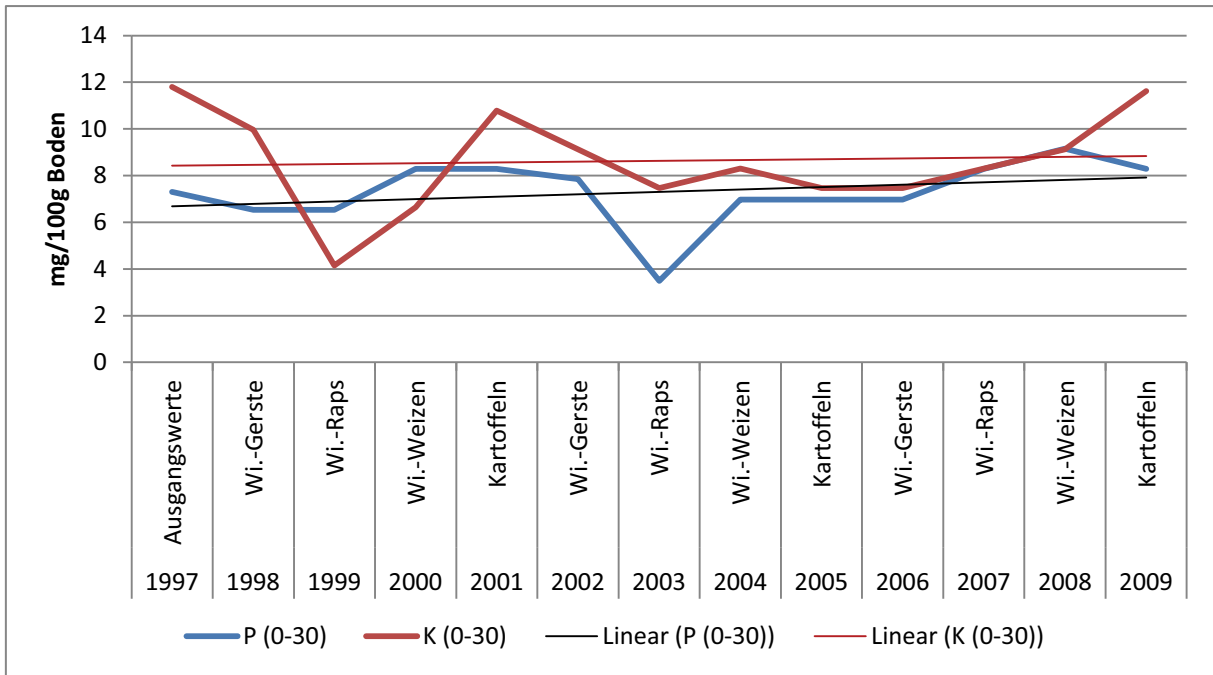
Anhang/Abbildung 20: Nährstoffbilanz nach tatsächlichen Werten, Schlag 6, LUFA

Fruchtart	Zufuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)			
W Raps -	Düngung	35,75	38,18		27,14	22,17	1998	1. Rotation	
Stroh Raps -					5,26	78,84			
Saldo =		3,36	-62,83						
W Weizen -	Düngung	31,39	44,82		31,73	33,59	1999		
Stroh Weizen -					3,73	51,02			
Stroh Raps +		5,26	78,84						
Saldo =		4,55	-23,78				2000		
Kartoffel -	Düngung	27,90	224,10		13,59	159,90			
Stroh Weizen +		3,73	51,02						
Saldo =		22,60	91,44				2001		
W Gerste -	Düngung	29,65	43,16		28,13	28,13			
Stroh Gerste -					2,10	71,40			
Saldo =		22,02	35,08				2002	2. Rotation	
W Raps -	Düngung	35,75	38,18		30,03	27,87			
Stroh Raps -					5,41	57,24			
Stroh Gerste +		2,10	71,40						
Saldo =		24,43	59,56						
W Weizen -	Düngung	31,39	44,82		27,46	33,56			2003
Stroh Weizen -					2,18	30,73			
Stroh Raps +		5,41	57,24						
Saldo =		31,59	97,32						2004
Kartoffel -	Düngung	27,90	224,10		18,30	181,97			
Stroh Weizen +		2,18	30,73						
Saldo =		43,37	170,17						2005
W Gerste -	Düngung	31,39	44,82		26,50	36,81			
Stroh Gerste -					1,94	63,63			
Saldo =		46,33	114,55				2006	3. Rotation	
W Raps -	Düngung	35,75	38,18		25,91	27,90			
Stroh Raps -					16,24	102,83			
Stroh Gerste +		1,94	63,63						
Saldo =		41,87	85,64						
W Weizen -	Düngung	31,39	44,82		20,50	25,62			2007
Stroh Weizen -					0,95	39,90			
Stroh Raps +		16,24	102,83						
Saldo =		68,06	167,77						2008
Kartoffel -	Düngung	27,90	224,10		12,86	140,09			
Stroh Weizen +		0,95	39,90						
Saldo =		84,05	291,68						2009
W Gerste -	Düngung	31,39	44,82		25,80	28,49			
Stroh Gerste -					4,54	81,41			
Saldo =		85,11	226,60				2009/2010		
Stroh Gerste +		4,54	81,41						
Saldo =		89,65	308,01						

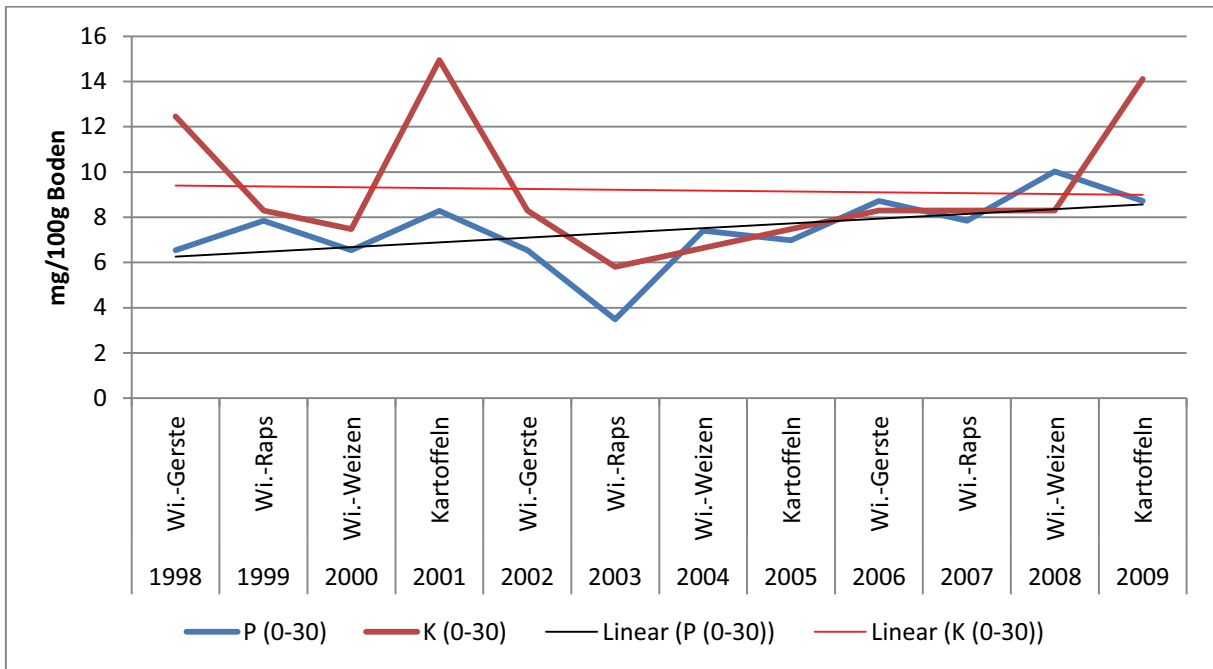
Anhang/Abbildung 21: Nährstoffbilanz nach tatsächlichen Werten, Schlag 6, Entzug 100%

Fruchtart	Zufuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Abfuhr	P (kg/ha)	K (kg/ha)					
W Raps -	Düngung	17,88	19,09		30,10	24,48	1998	1. Rotation			
Stroh Raps -					5,26	78,84					
Saldo =		-17,48	-84,23								
W Weizen -	Düngung	15,70	22,41		35,04	37,04	1999		2. Rotation		
Stroh Weizen -					3,73	51,02					
Stroh Raps +		5,26	78,84								
Saldo =		-35,29	-71,04								
Kartoffel -	Düngung	13,95	112,05		10,02	138,76	2000			3. Rotation	
Stroh Weizen +		3,73	51,02								
Saldo =		-27,63	-46,73								
W Gerste -	Düngung	14,82	21,58		35,89	29,10	2001				3. Rotation
Stroh Gerste -					2,10	71,40					
Saldo =		-50,80	-125,65								
W Raps -	Düngung	17,88	19,09		28,97	27,02	2002	3. Rotation			
Stroh Raps -					5,41	57,24					
Stroh Gerste +		2,10	71,40								
Saldo =		-65,20	-119,42								
W Weizen -	Düngung	15,70	22,41		24,60	30,89	2003		3. Rotation		
Stroh Weizen -					5,79	57,33					
Stroh Raps +		5,41	57,24								
Saldo =		-74,49	-128,00								
Kartoffel -	Düngung	13,95	112,05		13,31	143,34	2004			3. Rotation	
Stroh Weizen +		5,79	57,33								
Saldo =		-68,06	-101,96								
W Gerste -	Düngung	15,70	22,41		24,46	32,62	2005				3. Rotation
Stroh Gerste -					2,47	71,14					
Saldo =		-79,30	-183,30								
W Raps -	Düngung	17,88	19,09		24,87	28,13	2006	3. Rotation			
Stroh Raps -					16,24	102,83					
Stroh Gerste +		2,47	71,14								
Saldo =		-100,05	-224,03								
W Weizen -	Düngung	15,70	22,41		19,33	25,01	2007		3. Rotation		
Stroh Weizen -					0,95	39,90					
Stroh Raps +		16,24	102,83								
Saldo =		-88,40	-163,71								
Kartoffel -	Düngung	13,95	112,05		7,43	97,17	2008			3. Rotation	
Stroh Weizen +		0,95	39,90								
Saldo =		-80,93	-108,93								
W Gerste -	Düngung	15,70	22,41		25,31	27,53	2009				3. Rotation
Stroh Gerste -					4,54	81,41					
Saldo =		-95,09	-195,46								
Stroh Gerste +		4,54	81,41				2009/2010	3. Rotation			
Saldo =		-90,54	-114,05								

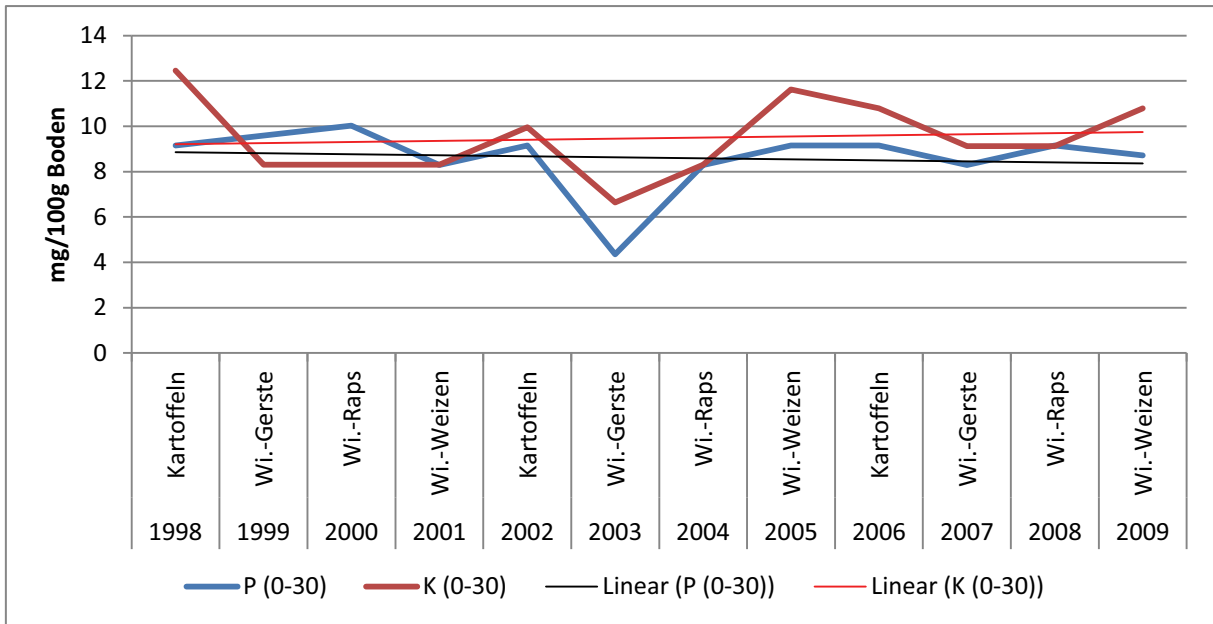
Anhang/Abbildung 22: Nährstoffbilanz nach tatsächlichen Werten, Schlag 6, Entzug 50%



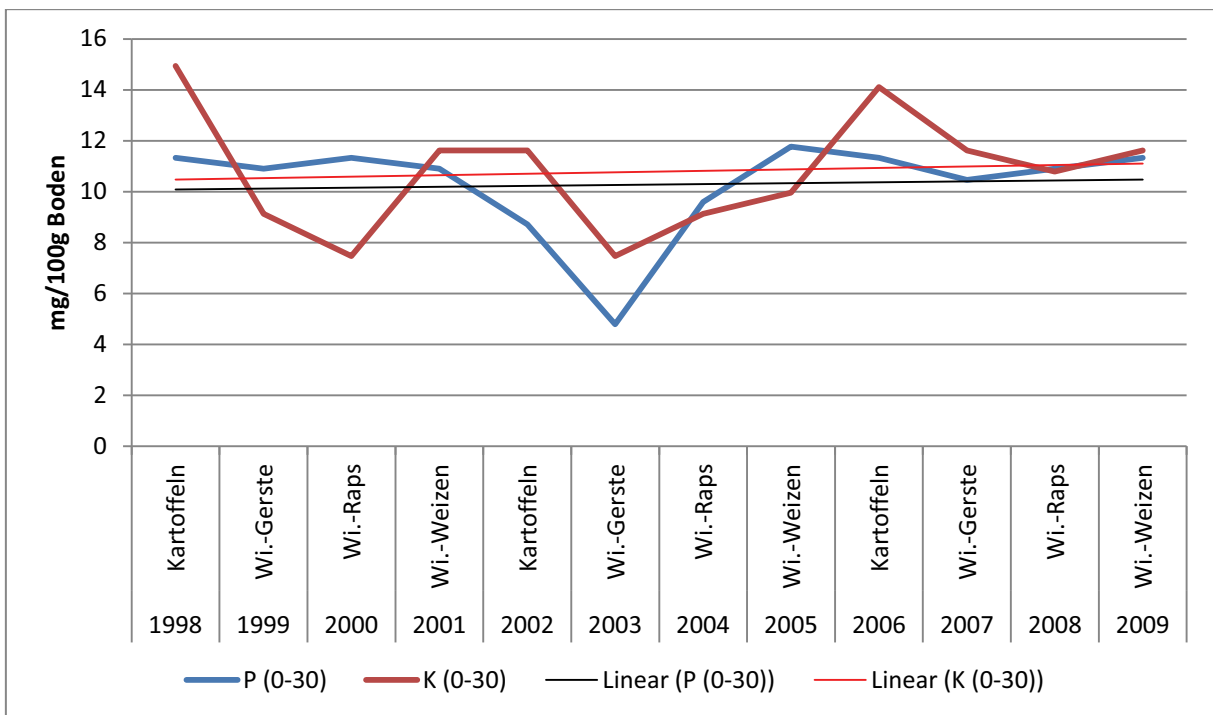
Anhang/Abbildung 23: P/K Bodengehalte LUFA-Variante, Schlag 1



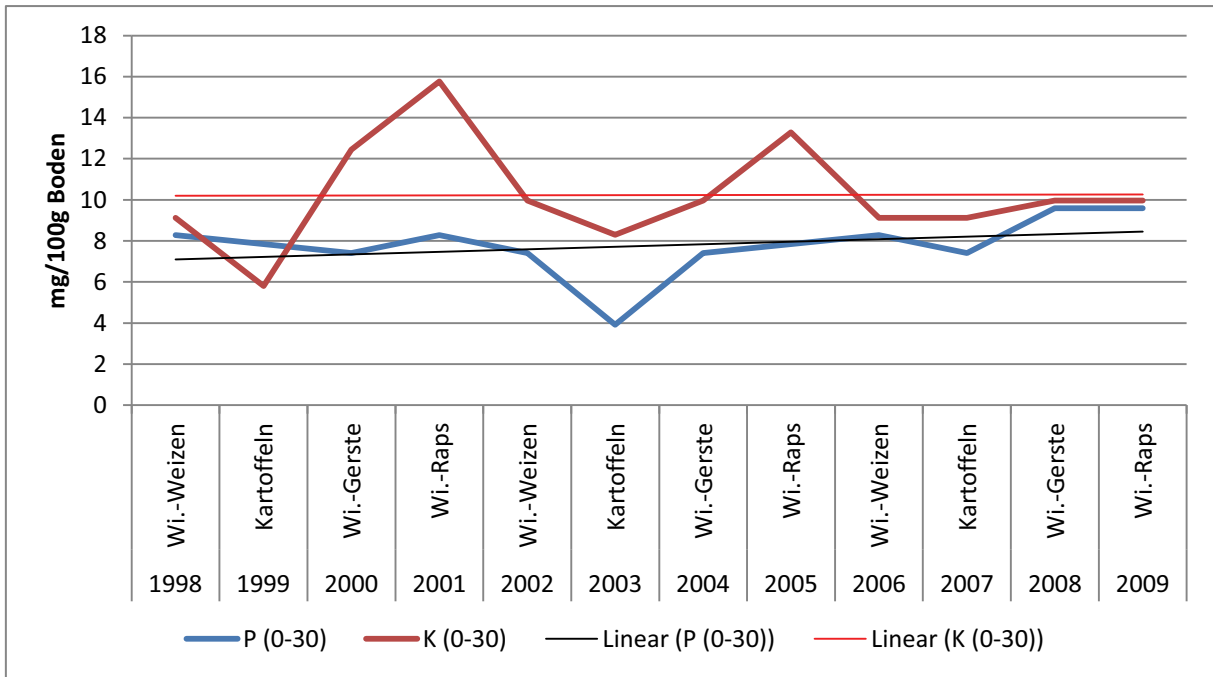
Anhang/Abbildung 24: P/K Bodengehalte Entzug 100%-Variante, Schlag 1



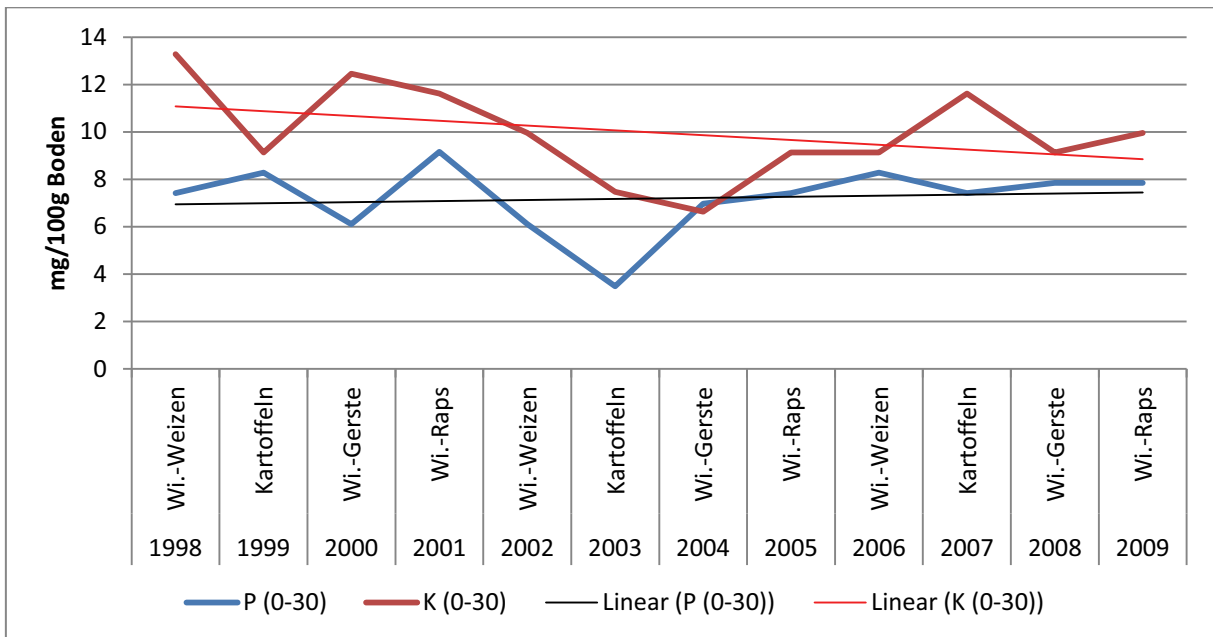
Anhang/Abbildung 25: P/K Bodengehalte LUFA-Variante, Schlag 2



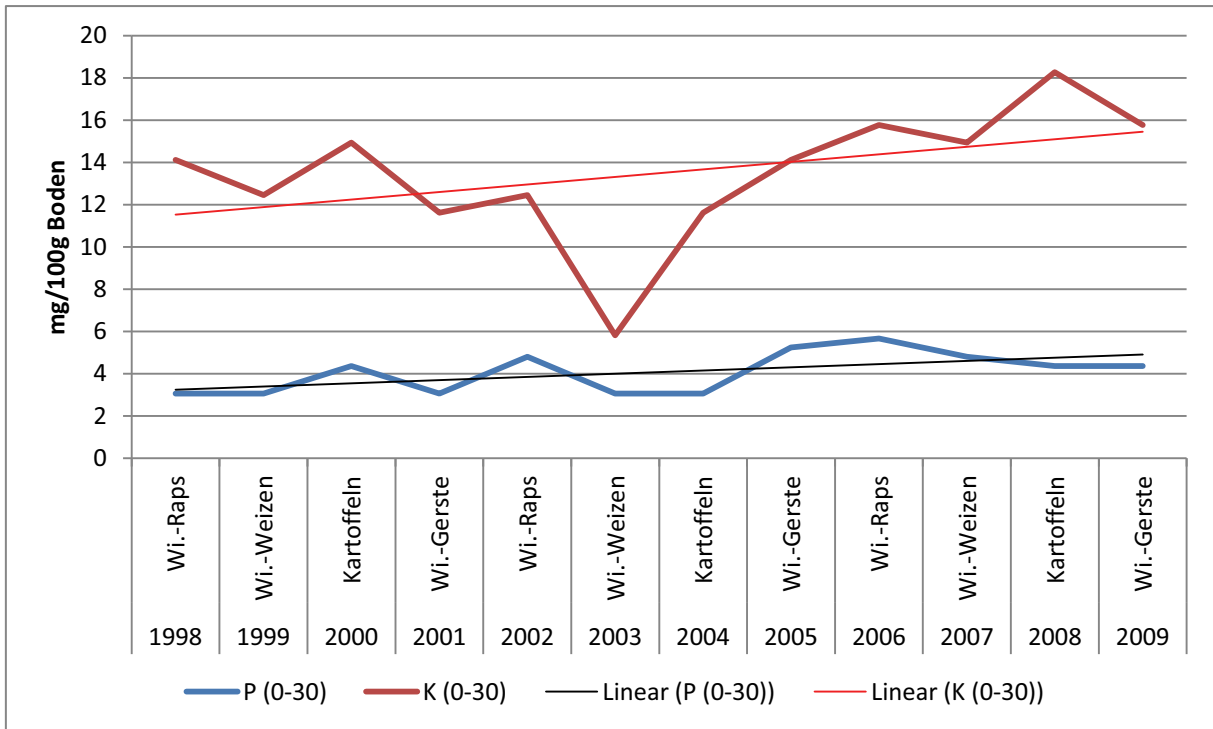
Anhang/Abbildung 26: P/K Bodengehalte Entzug 100%-Variante, Schlag 2



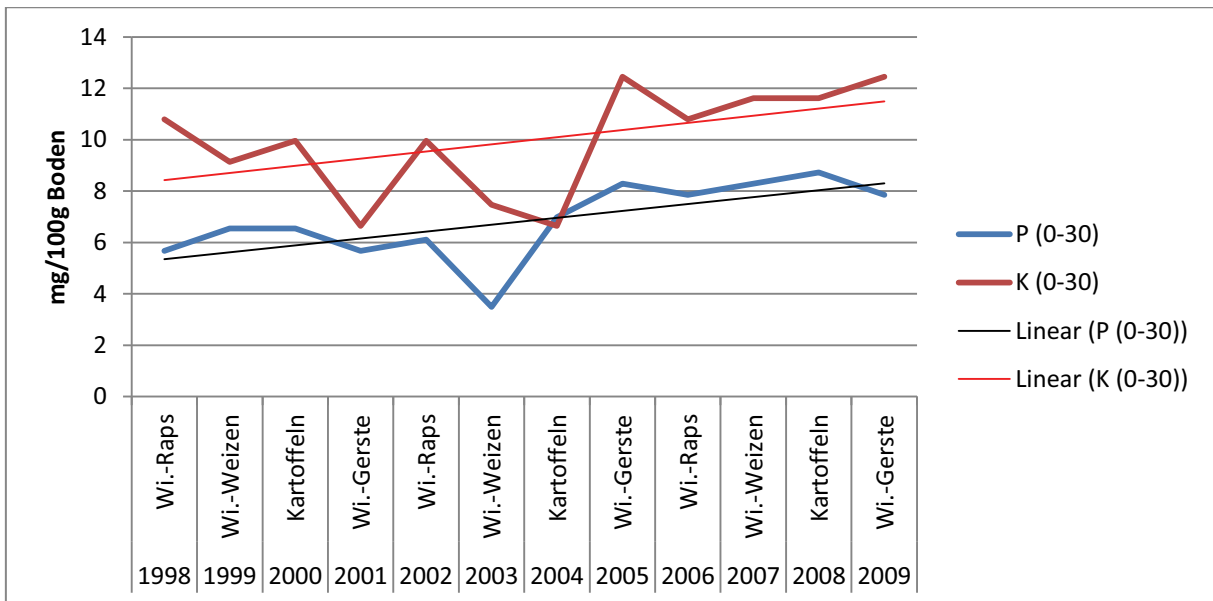
Anhang/Abbildung 27: P/K Bodengehalte LUFA-Variante, Schlag 3



Anhang/Abbildung 28: P/K Bodengehalte Entzug 100%-Variante, Schlag 3



Anhang/Abbildung 29: P/K Bodengehalte LUFA-Variante, Schlag 6



Anhang/Abbildung 30: P/K Bodengehalte Entzug 100%-Variante, Schlag 6