Universität für Bodenkultur Wien

Department für Nachhaltige Agrarsysteme
Institut für Ökologischen Landbau (IFÖL)

Nährstoffbilanzen von Phosphor und Kalium auf biologisch wirtschaftenden Marktfruchtbetrieben in Österreich

-

Eine Erstellung von Hoftorbilanzen zur Identifizierung möglicher Bodenverarmungsrisiken im biologischen Landbau

Masterarbeit

Anne Leonhard

Eingereicht am:

12. Mai 2017

Betreuer:

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Jürgen Kurt Friedel

Danksagung

Im Rahmen dieser Arbeit möchte ich mich zunächst bei meinem Betreuer Prof. Jürgen Kurt Friedel für seine kontinuierliche Unterstützung, seine Professionalität, seine Spontanität und sein Engagement bedanken. Des Weiteren bedanke ich mich bei Prof. Bernhard Freyer, der sich bereiterklärt hat, als zweiter Beurteiler meiner Defensio beizuwohnen.

Weiterhin möchte ich mich bei den Bio-Austria BeraterInnen, sowie dem Engagement meiner Mitstudierenden Thomas Huemer und Daniel Glanzer bedanken, die mir die Kontakte zu den in dieser Arbeit untersuchten Marktfruchtbetrieben vermittelt haben.

Mein großer Dank gilt allen LandwirtInnen, welche sich die Zeit genommen haben, mir ihre Daten zur Verfügung zu stellen und somit diese Arbeit erst ermöglicht haben.

Ich möchte mich auch bei Agnes Schweinzer bedanken, die mir mit ihrer Expertise in Bezug auf Nährstoffbilanzen für die Durchführung dieser Arbeit eine große Hilfe war.

Außerdem möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die mich während meines gesamten Studiums mit unendlich viel Geduld, Motivation, Vertrauen und Verständnis begleitet hat. Ein besonderer Dank gilt meinem Papa, der mich nicht nur moralisch unterstützt, sondern mir auch durch seine finanzielle Unterstützung jede Freiheit eingeräumt hat, um zu diesem Abschluss meines Studiums nicht auf dem kürzesten Weg, dafür aber auf meinem eigenen Weg zu gelangen. Ich bedanke mich bei meiner Mama, deren Tür immer für mich offen stand und die immer für mich da war, bereit mich zu verwöhnen. Danke Tini, für alle schönen, unvergesslichen Momente gemeinsam mit dir! Danke Lukas für deine Geduld, dein Probelesen, deine Unterstützung und, dass du einfach da warst!

Nicht zuletzt geht mein Dank an die vielen Freundschaften, die ich während des gesamten Studiums an unterschiedlichsten Orten aufbauen durfte und durch die meine Studentenzeit eine unvergessliche bleiben wird. Dazu zählt insbesondere auch die Freundschaft zu meiner Semi Manu und meiner Sorellina Seve, die mich erst zur Landwirtschaft gebracht haben. Danke für die unvergesslichen, wunderschönen und wunderbaren Momente mit und bei euch. Ich freue mich auf alle weiteren, die noch kommen werden.

Abstract

Landwirtschaftlich genutzte Böden stehen unter dem Risiko einer Nährstoffverarmung. Im biologischen Landbau (bL) wird dies aufgrund fehlender adäquater Düngemittel insbesondere für die Nährstoffe Phosphor und Kalium vorhergesagt. In dieser Arbeit wurden deshalb Hoftorbilanzen für diese beiden Nährstoffe auf 15 österreichischen Bio-Marktfruchtbetrieben aus den für den Marktfruchtanbau wichtigsten Hauptproduktionsgebieten berechnet. Die Daten wurden mithilfe von qualitativen und quantitativen Interviews mit den LandwirtInnen erfasst. Bei der Gegenüberstellung von Nährstoffeinträgen (zugekaufte Düngemittel, sowie zugekauftes Saatgut) und Nährstoffausträgen (verkaufte Ernteprodukte) wurden für die 15 Bio-Marktfruchtbetriebe ausschließlich negative Salden in Verbindung mit sehr hohen Nährstoffeffizienzen berechnet. Dabei waren die meisten Salden sowohl für P als auch für K als schwach defizitär einzuordnen. Aufgrund der defizitären Bilanzen konnten langfristige Bodenverarmungsrisiken nicht ausgeschlossen werden. Außerdem wiesen vereinzelte chemische Bodenuntersuchungsergebnisse ebenso auf sinkende P- und K-Gehalte hin. Weiterhin wurde festgestellt, dass eine gute Nährstoffeffizienz keinen ausgeglichenen Saldo bedingt und umgekehrt. Des Weiteren waren die Betriebe in Bezug auf die P-Salden eher auf organische Handelsdünger angewiesen, während organische Dünger tierischer Herkunft bei der Ausgeglichenheit der K-Bilanzen eine bedeutendere Rolle spielten. Aufgrund des Stichprobenumfangs konnten keine sicheren Aussagen über regionale Unterschiede getroffen werden. Dennoch verwiesen die Ergebnisse auf die Notwendigkeit, das Nährstoffmanagement von Bio-Marktfruchtbetrieben zu verbessern, um langfristig eine nachhaltige Bewirtschaftung im Sinne des bL gewährleisten zu können. Weiterhin müssen Düngemittel für den bL entwickelt werden, welche eine Rückführung von Phosphor und Kalium zurück in die landwirtschaftlichen Betriebe ermöglichen.

Abstract

Agricultural soils in general and organically cultivated soils in particular are highly vulnerable to the risk of nutrient depletion. Due to the deficiency of suitable fertilizers in organic agriculture this especially applies to the nutrients of phosphorous and potassium. For this reason this thesis conducted 15 so called “farm gate balances” on 15 different Austrian organic stockless farms selected from the five most important national production areas. The data has been gathered by the use of qualitative and quantitative interviews with the farmers. The comparison of nutrient inputs (i.e. additionally purchased fertilizers as well as seeding material) and nutrient outputs (i.e. marketed harvest products) for each farm exclusively resulted in negative balances associated with very high nutrient efficiencies. Most of the balances for both phosphorous and potassium have been classified as “slightly deficient”. Based on these deficient balances long-term risks of soil nutrient depletion could not be preempted. Additionally, scattered chemical analyses also indicated decreasing values for both phosphorous and potassium. The results of this thesis furthermore suggested that good nutrient efficiencies do not require well-balanced nutrient balances, and vice versa. Regarding the balances for phosphorous the farms are rather dependent on (commercial) organic fertilizers, while potassium balances are rather influenced by organic fertilizers of animal origin. Due to the relatively small sample size it has not been possible to draw any conclusions on the influence of regional variation. The results are however emphasizing the necessity of improving the nutrient management on organic farms in order to guarantee a sustainable cultivation in line with the principles of organic agriculture. The development of fertilizers enabling the recirculation of phosphorous and potassium into the cultivated is soils in this regard more than essential.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis VII
Tabellenverzeichnis VIII
Abkürzungsverzeichnis IX
Einleitende Bemerkungen X
1 Einleitung und Problemstellung 1
2 Literaturüberblick 3
2.1 Landwirtschaftliche Hauptproduktionsgebiete in Österreich 4
2.2 Nährstoffversorgung im und durch den Boden 6
2.2.1 Gehaltsklassen 7
2.2.2 Nährstoffeinträge und -austräge 9
2.2.3 Methoden der Messung von Nährstoffgehalten in Böden und Pflanzen 10
2.3 Phosphor als Hauptnährstoff für Pflanzen 13
2.3.1 Bodenvorräte und Lagerstätten 13
2.3.2 Einträge und Austräge durch die Umwelt 15
2.3.3 Pflanzenverfügbarkeit und P-Mobilisierung 15
2.4 Kalium als Hauptnährstoff für Pflanzen 18
2.4.1 Bodenvorräte und Lagerstätten 18
2.4.2 Einträge und Austräge durch die Umwelt 19
2.4.3 Pflanzenverfügbarkeit und K-Mobilisierung 19
2.5 Düngeeinsatz im biologischen Landbau 20
2.6 Nährstoffbilanzen – Ein Überblick 24
2.6.1 Die Hoftorbilanz 25
2.6.2 Datengrundlage und Datenaufnahme 27
2.6.3 Phosphor- und Kalium- Hoftorbilanzen in der Literatur 28
3 Ziele und Hypothesen 30
4 Material und Methoden 31
4.1 Auswahl der Bio-Marktfruchtbetriebe 31
4.2 Hoftorbilanz 32
4.2.1 Datenerhebung und Datengrundlage 32
4.2.2 Datenauswertung 34
5 Ergebnisse 36
5.1 P-Hoftorbilanz 36

5.1.1 HPG Wald- und Mühlviertel 37
5.1.2 HPG Kärntner Becken 37
5.1.3 HPG Alpenvorland 38
5.1.4 HPG SÖ Flach- und Hügelland 39
5.1.5 HPG NÖ Flach- und Hügelland/Marchfeld 40
5.1.6 HPG NÖ Flach- und Hügelland/Weinviertel 41
5.2 K-Hoftorbilanz 44
5.2.1 HPG Wald- und Mühlviertel 44
5.2.2 Kärntner Becken 45
5.2.3 Alpenvorland 45
5.2.4 SÖ Flach- und Hügelland 45
5.2.5 HPG NÖ Flach- und Hügelland/Marchfeld 45
5.2.6 HPG NÖ Flach- und Hügelland/Weinviertel 46
5.3 Bodenuntersuchungen 48
5.4 Befragung der LandwirtInnen 50
5.5 Ergebnisse der Regressionsanalysen 51
6 Diskussion 52
6.1 Wenn Marktfruchtbetriebe biologisch wirtschaften, dann tendieren die Hoftorbilanzen zu negativen Salden. 53
6.2 Je offener die Nährstoffkreisläufe eines Bio-Marktfruchtbetriebs sind, desto höher ist das Bodenverarmungsrisiko. 58
6.3 Je ausgeglichener die Nährstoffbilanz eines Bio-Marktfruchtbetriebs ist, desto größer ist seine Abhängigkeit von viehhaltenden Betrieben. 63
6.4 Je geschlossener die Nährstoffkreisläufe sind, desto besser ist die Nährstoffeffizienz. 66
6.5 Hauptproduktionsgebiete mit unterschiedlichen Betriebsformen fördern weniger negative Hoftorbilanzsalden als einseitig aufgestellte Hauptproduktionsgebiete. 68
7 Schlussfolgerungen 71
8 Ausblick 73
9 Zusammenfassung 75
Literaturverzeichnis 78
Anhang 88

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Landwirtschaftliche Hauptproduktionsgebiete in Österreich. 4

Abbildung 2. Die Flächenaufteilung der Hauptproduktionsgebiete in Österreich 5

Abbildung 3. Nährstoffflüsse eines Marktfruchtbetriebs 10

Abbildung 4. Importierter Phosphor, aufgeteilt nach seiner Herkunft 43

Abbildung 5. Importiertes Kalium, aufgeteilt nach seiner Herkunft.. 47

Abbildung 6. P-Salden der 15 Marktfruchtbetriebe. 54

Abbildung 7. K-Salden der 15 Marktfruchtbetriebe. 56

Abbildung 8. Zusammenhang zwischen P-Bodengehalt und Jahren biologischer Bewirtschaftung mit Darstellung der linearen Regression, sowie des Bestimmtheitsmaßes (R^2).....60

Abbildung 9. Zusammenhang zwischen K-Einfuhr durch Düngemittel tierischer Herkunft und K-Salden der Hoftorbilanzierungen mit Darstellung der lineraren Regression, sowie des Bestimmtheitsmaßes (R^2).....65

Abbildung 10. Landwirtschaftliche Betriebsformen in den Hauptproduktionsgebieten Österreichs.....69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Abbildung der relevanten Kulturen in den Hauptproduktionsgebieten Österreichs. 6

Tabelle 2. Gehaltsklassen für die Gehalte an verfügbaren Hauptnährelementen von Böden und erforderliche Düngungsmaßnahmen nach VDLUFA 7

Tabelle 3. Einstufung der P-Gehalte und K-Gehalte in die Gehaltsklassen von Ackerböden . 8

Tabelle 4. Aufbau einer Hoftorbilanz für reine Marktfruchtbetriebe 26

Tabelle 5. Qualität der Datengrundlage 27

Tabelle 6. Für den Marktfruchtbau bedeutende Hauptproduktionsgebiete in Österreich und dazugehörige Produktionsschwerpunkte. 31

Tabelle 7. Betriebsübersicht der ausgewählten Bio-Marktfruchtbetriebe.....32

Tabelle 8. Interpretation von P- und K-Hoftorbilanzsalden.....34

Tabelle 9. Ergebnisse der Hoftorbilanzierung der Betriebe aus dem HPG Wald- und Mühlviertel.....37

Tabelle 10. Ergebnisse der Hoftorbilanzierung der Betriebe aus dem HPG Kärntner Becken. 38

Tabelle 11. Ergebnisse der Hoftorbilanzierung der Betriebe aus dem HPG Alpenvorland.. ..39

Tabelle 12. Ergebnisse der Hoftorbilanzierung der Betriebe aus dem HPG SÖ Flach- und Hügelland. 40

Tabelle 13. Ergebnisse der Hoftorbilanzierung der Betriebe aus dem HPG NÖ Flach- und Hügelland/Marchfeld.....41

Tabelle 14. Ergebnisse der Hoftorbilanzierung der Betriebe aus dem HPG NÖ Flach- und Hügelland/Weinviertel.....42

Tabelle 15. P-Entzüge der Hauptkulturen auf den untersuchten 15 Bio-Marktfruchtbetrieben während der bilanzierten fünf Jahre.....44

Tabelle 16. K-Entzüge der Hauptkulturen auf den untersuchten 15 Bio-Marktfruchtbetrieben während der bilanzierten fünf Jahre.....48

Tabelle 17. Ergebnisse der chemischen Bodenuntersuchungen. 48

Tabelle 18. Ergebnisse der Regressionsanalysen und Varianzanalysen. 50

Tabelle 19. Ergebnisse der Regressions- und Varianzanalysen. 52

Tabelle 20. Vergleich der Bodenuntersuchungsergebnisse mit den Hoftorbilanzsalden. 60

Tabelle 21. Nährstoffeffizienzen der 15 untersuchten Bio-Marktfruchtbetriebe im Überblick. 67

Tabelle 22. Mittelwerte der Hoftorbilanzsalden pro Hauptproduktionsgebiet (HPG). 70

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
ADP	Adenosindiphosphat
Al	Aluminium
Ap-Horizont	Mineralhorizont im Oberboden (A), gepflügt (p)
ATP	Adenosintriphosphat
C	Kohlenstoff
Ca	Calcium
CAL	Calcium-Acetat-Lactat
C_{org}	organischer Kohlenstoff
DL	Doppel-Lactat
Fe	Eisen
FM	Frischmasse
ha	Hektar
HPG	Hauptproduktionsgebiet
K	Kalium
K_2O	Kaliumoxid
Mg	Magnesium
MgO	Magnesiumoxid
N_2	Stickstoff
Na	Natrium
NH_3	Ammoniak
NH_4^+	Ammonium
P	Phosphor
P_2O_5	Phosphat
S	Schwefel
TKG	Tausendkorngewicht

Einleitende Bemerkungen

Die Begriffe *ökologische Landwirtschaft, biologische Landwirtschaft, biologischer Landbau* und *ökologischer Landbau* werden in der Literatur synonym verwendet. Sie sind alle im Sinne der EU-Verordnung 834/2007 vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 zu verstehen. In dieser Arbeit wird ausschließlich der Begriff *biologischer Landbau* verwendet.

Weiterhin wird in dieser Arbeit das Adjektiv *biologisch*, sowie die Apposition *Bio* (Bio-Betrieb, Bio-Marktfruchtbetrieb) im Sinne der ökologischen/biologischen Produktion nach oben genannter EU-Verordnung verwendet und kann daher als Synonym verstanden werden.

Die Begriffe *Marktfruchtbetrieb* und *Ackerbaubetrieb* werden in der Literatur ebenso synonym verwendet. Sie bezeichnen die gleiche Betriebsform, nämlich den reinen Anbau von Marktfrüchten ohne einen Betriebszweig mit Tierhaltung. In dieser Arbeit wird ausschließlich der Begriff *Marktfruchtbetrieb* verwendet.

1 Einleitung und Problemstellung

Der biologische Landbau (bL) gewinnt eine immer größere Bedeutung als Alternative zur konventionellen Landwirtschaft. So nimmt in Österreich nicht nur die landwirtschaftliche Nutzfläche der Bio-Betriebe, sowie deren Spezialisierung hin zu bestimmten Betriebsformen stetig zu (Kasper et al., 2015; Wagner, 2015; BMLFUW, 2016), sondern auch die Nachfrage nach biologisch produzierten Lebensmitteln (Freyer et al., 2001; Hamm et al., 2002; Bio Austria, 2016a). Folglich besteht die Notwendigkeit der Sicherung einer effektiven Produktivität, mit der gleichzeitigen Zielsetzung eines nachhaltigen und ressourcenschonenden Bewirtschaftungsmanagements.

Der bL versteht sich als ein Low-Input-System, das durch weitgehend geschlossene Nährstoffkreisläufe charakterisiert ist und dabei von der EU-Kommission (2007) als „Gesamtsystem der landwirtschaftlichen Betriebsführung und der Lebensmittelproduktion“ definiert wird. Der bL verfolgt das Prinzip der Selbstregulierung, der Präferenz von natürlichen Substanzen, der Förderung von Artenvielfalt sowie des Schutzes öffentlicher Güter und natürlicher Ressourcen (EU-Kommission, 2007; Schmid, 2007). Das heißt, die im Betrieb vorhandenen Nährstoffe sollen möglichst effizient und verlustfrei genutzt werden, um offene Nährstoffkreisläufe zu vermeiden und innerbetriebliche Nährstoffflüsse zu optimieren (Möller & Friedel, 2016, 468). Folglich ist die Zulassung, der Zukauf und die Ausbringung von Düngemitteln, insbesondere von mineralischen, sehr stark limitiert (Stein-Bachinger et al., 2004, 13; EU-Kommission, 2007, 2008; Bio Austria, 2016b) .

Eine Möglichkeit, die Nährstoffeffizienz, sowie die Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit von Betrieben zu messen, ist die Bilanzierung der Nährstoffkreisläufe (Stein-Bachinger et al., 2004, 13; Haas et al., 2007). Die Nährstoffeffizienz ist ein wichtiger Indikator für die Beurteilung der Nachhaltigkeit eines Betriebs. Sie stellt das prozentuale Verhältnis der Nährstoffausträge zu den Nährstoffeinträgen dar und kann damit im Zuge der Nährstoffbilanzierung, welche die Nährstoffeinträge den Nährstoffausträgen gegenüberstellt, berechnet werden. Die Nährstoffeffizienz liegt global für Stickstoff- und Phosphordünger zwischen 30 und 50 %. Sie muss daher im Sinne der Nachhaltigkeit unbedingt gesteigert werden (Tilman et al., 2002).

Weiterhin ist die Nährstoffbilanzierung eine gute Methode, um mögliche Defizite oder Überschüsse von Nährstoffen, die sich entweder langfristig in der Verarmung von Bodenvorräten oder durch den Verlust von überflüssigen Nährstoffen äußern, zu identifizieren und quantifizieren. Mittels der Ergebnisse der Nährstoffbilanzierung können daher Aussagen über Bodenfruchtbarkeit, sowie mögliche Gefahren der Eutrophierung von Grund- und Oberflächengewäs-

sern oder der Bodenverarmung getroffen werden (Blume et al., 2010, 412). Auch können diverse Abhängigkeiten eines Betriebs von einem anderen Betrieb, die beispielsweise durch den Zukauf von organischen Düngemitteln entstehen, evaluiert werden (Foissy et al., 2013).

Nährstoffbilanzen stellen also ein gut anwendbares Planungsinstrument für das Betriebsmanagement dar, welches für die betriebliche Entwicklung und die Aufdeckung von Schwachstellen angewendet werden kann (Stein-Bachinger et al., 2004, 13).

Gerade bei den beiden Pflanzenhauptnährstoffen Phosphor und Kalium gilt die ausreichende Versorgung des Bodens und der Pflanzen auf reinen Bio-Marktfruchtbetrieben als kritisch, da P- und K-Düngemittel mit sofort für die Pflanzen verfügbaren Nährstoffen im bL verboten bzw. deren Applikation durch Ausnahmeregelungen stark limitiert ist (EU-Kommission, 2007, 2008; Goulding et al., 2008). Außerdem ist die Nutzung von endlichen Ressourcen, wie es Phosphor und Kalium sind, generell aus nachhaltiger Sicht fraglich. Weiterhin exportieren Bio-Marktfruchtbetriebe eine große Menge an Phosphor und Kalium, während sie im Gegensatz zu viehhaltenden oder Veredlungsbetrieben, keine Nährstoffe über Futtermittel importieren. Daher sind gerade bei dieser Betriebsform negative Bilanzsalden und im Vergleich zu anderen Betriebsformen die negativsten Werte zu erwarten. Um diese zu vermeiden, sind Bio-Marktfruchtbetriebe auf den Zukauf von organischen oder mineralischen Düngemitteln angewiesen, die dann die Hauptquelle von Phosphor- und Kaliumeinträgen in den Boden darstellen (Foissy et al., 2013; Lindenthal & Surböck, 2011). Die Frage ist, ob die Zukäufe tatsächlich in der Praxis stattfinden oder ob die Böden wegen des fehlenden Zukaufs dem Verarmungsrisiko ausgesetzt sind.

Die Aktualität dieser Problematik wird durch verschiedene Publikationen, sowie Konferenzen, welche sich mit diesem Thema auseinandersetzen, bestätigt (Mayer, 2013; Fischinger et al., 2014; Friedel et al., 2014; Kasper et al., 2015; Bünemann-Koenig et al., 2016). Auch die Landwirtschaftskammer Österreich proklamiert Phosphor als ein Zukunftsthema, das aufgrund der sinkenden P- Ressourcen und der zu erwartenden sinkenden P-Gehalte in den Böden sehr ernst zu nehmen ist (Krumphuber, 2016).

Aktuelle Erkenntnisse bezüglich der Nährstoffbilanzen dieser beiden Hauptnährstoffe im bL liegen bisher nur sehr wenige vor. So gibt es zwar Untersuchungen auf verschiedenen Betriebsformen in unterschiedlichen europäischen Ländern, auch in Österreich (Watson et al., 2002; Haas et al., 2007; Roberts et al., 2008; Kolbe, 2010; Nesme et al., 2012), wohingegen aktuelle Nährstoffbilanzen auf reinen Bio-Marktfruchtbetrieben speziell in Österreich kaum berechnet wurden. Lindenthal (2000) beschäftigte sich neben Bodenanalysen und der Auswertung eines Dauerversuches auch mit der Erstellung von Nährstoffbilanzen auf unterschiedlichen Betriebsformen in Österreich. Diese Forschungsarbeit fokussiert allerdings nur den Nährstoff Phosphor und liegt Jahre zurück. Friedel et al. (2014) erstellten in ihrer Forschungsarbeit

Nährstoffbilanzen für Modellbetriebe unterschiedlicher Betriebsformen in den Hauptproduktionsgebieten Österreichs und berufen sich dabei auf unterschiedliche Datenbanken, sowie auf Expertenwissen.

Es stellt sich also die Frage, inwiefern die Phosphor- und Kalium-Versorgung der Pflanzen auf biologisch wirtschaftenden Marktfruchtbetrieben in Österreich langfristig sichergestellt werden kann, beziehungsweise inwieweit der bL Gefahr läuft, eine Verarmung der Böden an Phosphor und Kalium zu fördern. Oder bewirkt der bL gar das Gegenteil, in dem er den Verbrauch des limitierten Phosphorvorkommens reduziert und damit eine Lösungsstrategie zum Schutz der endlichen Phosphorvorräte bietet, indem durch ein adäquates Bewirtschaftungsmanagement die Nährstoffversorgung der Pflanzen sichergestellt ist?

In dieser Arbeit soll, in Abgrenzung zu den genannten Forschungsarbeiten, untersucht werden, ob die angewendeten Bewirtschaftungsstrategien auf biologisch wirtschaftenden Marktfruchtbetrieben eine langfristig ausreichende und nachhaltige Phosphor- und Kalium-Versorgung für Böden und Pflanzen gewährleisten können oder ob mit einer langfristigen Bodenverarmung zu rechnen ist.

Dafür wurden Hoftorbilanzen der Nährstoffe Phosphor und Kalium für die vergangenen fünf Jahre für 15 biologisch wirtschaftende Marktfruchtbetriebe in unterschiedlichen Regionen Österreichs, in denen Marktfruchtbetriebe von Bedeutung sind, erstellt. Diese Betriebe sollen die für die jeweilige Region vorherrschenden typischen Marktfrüchte repräsentieren. Bei den Regionen handelt es sich um die Einteilung von Österreich in Hauptproduktionsgebiete, welche auf Grund ihrer klimatischen Verhältnisse ähnliche Anbaubedingungen haben und somit ähnlichen Produktionsschwerpunkten zugeordnet werden können. Anhand der Bilanzsalden sollen dann Aussagen über die Nährstoffversorgung der Böden und Pflanzen, sowie die Nachhaltigkeit der untersuchten Betriebe getroffen werden können. Auch ist die Analyse der Nährstoffkreisläufe im Hinblick auf ihre Geschlossenheit und Effizienz von Interesse. Weiterhin wurde untersucht, ob die Nährstoffsalden auf regionale Unterschiede in Abhängigkeit der angebauten Kulturen hinweisen. Die empirische Untersuchung stützt sich dabei auf Arbeitshypothesen, welche auf der Grundlage des Literaturüberblicks entwickelt wurden und außerdem die Diskussion dieser Arbeit gliedern. Ein Ausblick über Herausforderungen und Perspektiven des Nährstoffmanagements und Düngeeinsatzes im bL, sowie die Entwicklung der Bodenversorgungszustände, speziell auf Marktfruchtbetrieben, schließt die Arbeit ab.

2 Literaturüberblick

Der Literaturüberblick gibt zunächst die Definition der landwirtschaftlichen Hauptproduktionsgebiete und Produktionsschwerpunkte in Österreich nach Kasper et al. (2015) wieder. Es folgt eine Einführung in die Nährstoffversorgung der Böden, sowie eine Abhandlung über die beiden

Pflanzenhauptnährstoffe Phosphor und Kalium und deren Bedeutung speziell für den bL. Als Grundlage wird hier vor allem das Lehrbuch *Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde* (Blume, H.-P. et al., 2010) verwendet. Danach wird der mögliche Düngeeinsatz im bL zur Nährstoffversorgung von Böden und Pflanzen erläutert, bevor das Kapitel mit den Grundlagen der Nährstoffbilanzierung abgeschlossen wird. Literarisches Fundament bezüglich des Düngemitteleinsatzes bilden die Richtlinien von Bio Austria (Bio Austria, n.d., 2016a) sowie relevante Verordnungen der Europäischen Union (EU-Kommission, 2003, 2007, 2008). Der Abschnitt der Nährstoffbilanzen orientiert sich an Stein-Bachinger et al. (2004), VDLUFA (2007), Kolbe & Köhler (2008) und KTBL (2015).

2.1 Landwirtschaftliche Hauptproduktionsgebiete in Österreich

Die Aufteilung der landwirtschaftlichen Hauptproduktionsgebiete in Österreich erfolgt nach dessen unterschiedlichen klimatischen Bedingungen. Die Grundlage dieser Klassifizierung wurde von Wagner (1990) erstellt und kann heute auf der Homepage der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft abgerufen werden (www.agraroekonomik.at). So wird Österreich in acht verschiedene geografische Bereiche eingeteilt (Abbildung 1), innerhalb derer drei verschiedene Flächenaufteilungen unterschieden werden können (BMLFUW, 2016a).

Abbildung 1. Landwirtschaftliche Hauptproduktionsgebiete in Österreich, Quelle: http://www.agraroekonomik.at/fileadmin/raumgliederungen/Hpg_2016.jpg, abgerufen am 18.11.2016.

Die Flächenaufteilung, welche in diesem Fall nicht zwischen bL und konventioneller Landwirtschaft unterscheidet, erfolgt in Ackerland, Dauergrünland und sonstige Flächen, welche Weingärten und Obstanlagen inkludieren. Aus der Aufteilung geht hervor, dass das Nordöstliche Flach- und Hügelland zu 100 % ackerbaulich genutzt wird, während in den HPG Alpenostrand, Hochalpen und Voralpen das Dauergrünland prozentual überwiegt (Abbildung 2).

Die Flächenaufteilung spiegelt verschiedene Flächennutzungen wider, die ebenso in der Gemeindedatenbank des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW (2016)) erfasst wurden. Die Flächennutzungen zeigen, welche Kulturen für das jeweilige HPG repräsentativ sind und stellen somit die Grundlage der Betriebsauswahl, welche für die Hoftorbilanzierung dieser Arbeit durchgeführt wird, dar.

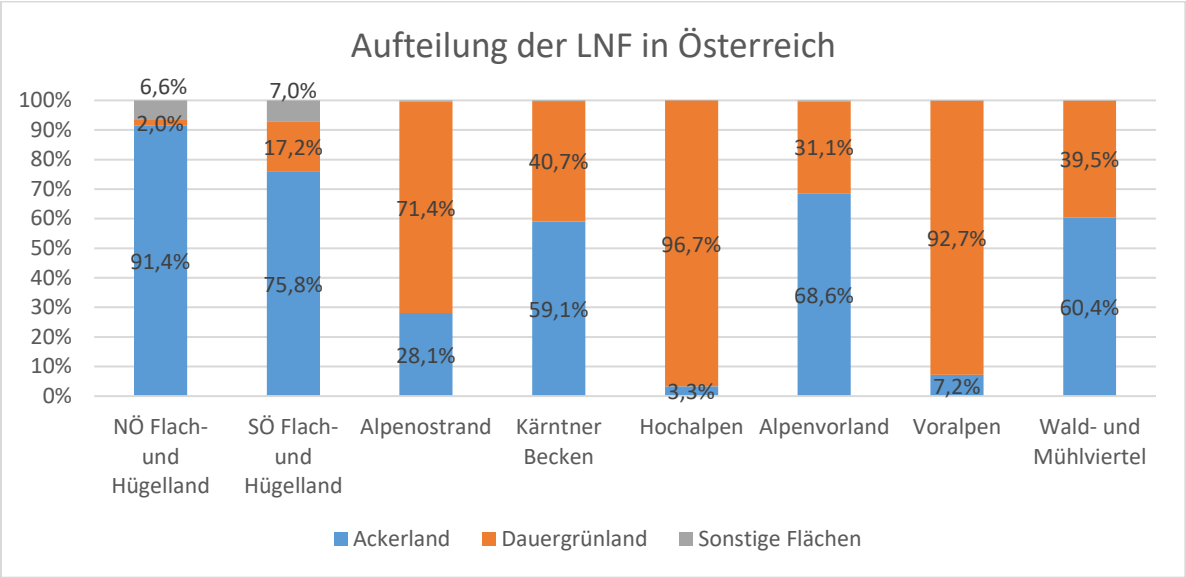

Abbildung 2. Die Flächenaufteilung der Hauptproduktionsgebiete in Österreich.
NÖ = Nordöstlich, SÖ = Südöstlich, LNF = Landwirtschaftlich genutzte Fläche

Da für diese Arbeit das Dauergrünland nicht von Bedeutung ist, werden in Tabelle 1 nur die relevantesten Kulturen der Hauptproduktionsgebiete NÖ Flach- und Hügelland, SÖ Flach- und Hügelland, Kärntner Becken, Alpenvorland und Wald- und Mühlviertel abgebildet. Weiterhin wird das NÖ Flach- und Hügelland in Marchfeld und Weinviertel unterteilt. Dies ist auf den Feldgemüsebau, welcher nur im Marchfeld von Bedeutung ist, zurückzuführen. Alle Daten berufen sich auf die Gemeindedatenbank des BMLFUW (2016).

Tabelle 1. Abbildung der relevanten Kulturen in den Hauptproduktionsgebieten Österreichs.

	Wald- und Mühlviertel	Kärntner Becken	Alpenvor-land	SÖ Flach- und Hügel-land	Marchfeld	Weinviertel
LNF (ha)	201.413	42001	327398	143585	55871	471622
Getreide (%)	52,1	25,7	42,5	25	45,8	51,5
Körner-mais (%)	1,2	32,3	20,8	28,2	7,3	10,4
Silomais (%)	8,8	11,1	9,9	4,7	0,6	1,4
Kartoffeln (%)	3,7	0,6	0,4	0,3	4,2	1,8
Zuckerrü-ben (%)	0,1	0	2,6	0,3	8,0	6,3
Sojabohnen (%)	0,3	7,3	4,7	9,1	3,5	3,1
Raps (%)	3,4	0,2	2,6	1,1	2,2	4,4
Ölkürbis (%)	0,6	1,1	0,9	12,5	1,6	3,1
Feldge-müse (%)	0,1	0,5	0,6	0,9	14,1	0,7
Hülsen-früchte (%)	3,8	1,3	3,3	1,1	1,8	2,5
Klee (%)	0,9	0,6	1,0	0,4	0,2	0,6
Luzerne (%)	9,8	0,4	0,4	0,2	1,3	1,4
Kleegras (%)	2,2	5,2	3,5	1,9	0,1	0,4

SÖ = Südöstlich, LNF = Landwirtschaftlich genutzte Fläche

Aus Tabelle 1 wird also ersichtlich, welche Kulturen für das jeweilige HPG repräsentativ sind. Somit stellt diese Tabelle die Grundlage für die Auswahl der Marktfruchtbetriebe dar. Im Abschnitt Material und Methoden wird noch einmal vertieft auf die repräsentativen Kulturen eingegangen.

2.2 Nährstoffversorgung im und durch den Boden

Der wichtigste ertragslimitierende Faktor im bL ist die Nährstoffversorgung des Bodens und der Pflanzen. Dies zeigen Forschungsergebnisse der letzten 20 Jahre. Die Abnahme von P- und K-Gehalten in den Böden wirkt sich, im Gegensatz zu Stickstoff, dabei nur langfristig auf die Verfügbarkeit im Boden aus (Möller & Friedel, 2016, 471). Das heißt, die Entwicklung des Bodenversorgungszustands mit Phosphor und Kalium sollte in jedem Bio-Betrieb beobachtet werden.

Es kann davon ausgegangen werden, dass Bio-Betriebe von der konventionellen Vor-Bewirtschaftung heute noch profitieren und daher anfangs auf ausreichend versorgten Böden wirtschaften können (Möller & Friedel, 2016, 471). Allerdings muss damit gerechnet werden, dass bei gut versorgten Böden die Nährstoffvorräte in einem Boden, falls im Vergleich zu den Nährstoffausträgen keine ausreichenden Nährstoffeinträge stattfinden, kurz-, mittel- oder langfristig zur Neige gehen werden. Bei Stickstoff handelt es sich dabei um circa zwei Jahre, bei Kalium um drei bis zehn Jahre und bei Phosphor kann es schlussendlich Jahrzehnte dauern, bis der Boden an Phosphor verarmt (Blume et al., 2010, 401).

Im folgenden Abschnitt werden die Nährstoffversorgung des Bodens und die daraus resultierende Nährstoffversorgung für Pflanzen näher beleuchtet. Dabei wird zunächst auf die unterschiedlichen Gehaltsklassen von Böden eingegangen. Es folgt eine Abhandlung über die Nährstoffeinträge und -austräge, die in Böden stattfinden, bevor dieser Abschnitt mit der Erläuterung unterschiedlicher Messmethoden schließt.

2.2.1 Gehaltsklassen

Die Nährstoffversorgung eines Bodens wird mit Hilfe von Bodenproben ermittelt (siehe Abschnitt 2.2.3). Die Ergebnisse können daraufhin bestimmten Gehaltsklassen zugeordnet werden, die nach Ackerland und Grünland differenziert werden. Da in dieser Arbeit nur das Ackerland von Relevanz ist, sind im Folgenden alle Angaben auf ebendieses bezogen. Eine genauere Klassifikation ist mit einfachen Bodenanalysen nicht möglich, da wichtige standortspezifische Einflussfaktoren von Böden und Klima auf die Nährstoffversorgung nicht berücksichtigt werden (Blume et al., 2010, 400). Aus diesem Grund ist die Einteilung des Bodens in Gehaltsklassen im Rahmen von Bodenuntersuchungen üblich und wird in der Praxis daher genauso angewendet (Bohner, n.d.; Mäder et al., 2008).

Es gibt eine Klassifizierung von fünf Boden-Gehaltsklassen (Tabelle 2), welche vom VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten) entwickelt wurde. Jede Gehaltsklasse ist einer jeweiligen empfohlenen Düngemaßnahme, sowie konkreten Nährstoffgehalten des Bodens zugeordnet (Tabelle 3).

Tabelle 2. Gehaltsklassen für die Gehalte an verfügbaren Hauptnährelementen von Böden und erforderliche Düngungsmaßnahmen nach VDLUFA, nach Blume et al. (2010)

Gehaltsklasse	**Erforderliche Düngungsmaßnahmen**
A - sehr niedriger Gehalt	stark erhöhte Düngung
B - niedriger Gehalt	erhöhte Düngung
C - anzustrebender Gehalt	Erhaltungsdüngung
D - hoher Gehalt	verminderte Düngung
E - sehr hoher Gehalt	keine Düngung

In der Literatur gibt es keine einheitlich festgelegten Werte. So definiert beispielsweise in Deutschland jede Landwirtschaftliche Forschungs- und Untersuchungsanstalt in ihrer Region eigene Bodengehaltswerte pro Gehaltsklasse. Der VDLUFA bemüht sich bisher vergeblich um eine einheitliche bundesweit gültige Klassifizierung. Daher legt der Verband Vorschläge mit Richtwerten für Gehaltsklassen vor, die im Laufe der Zeit immer wieder aktualisiert wurden. Aktuell korrigierte VDLUFA die Werte für Phosphorgehalte aufgrund steigender P-Düngerpreise und des Ziels einer nachhaltigen und ressourcenschonenden Landwirtschaft nach unten (Kerschberger et al., 1997; Seibert, 2016; Zorn, 2016).

Das österreichische Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) beruft sich in der Zuordnung der Werte auf die ÖNORM[1] L 1087[2] des Austrian Standards Institutes (Austrian Standards Institute, 2012) und legt die Werte, welche in Tabelle 3 dargestellt sind, für die entsprechenden Gehaltsklassen fest (Baumgarten, 2006). Die Werte werden in mg Reinnährstoff pro 1000 g Feinboden angegeben. Insgesamt sind diese Werte um einiges höher, als diejenigen des VDLUFAs (Tabelle 3). Das heißt, es besteht eine große Diskrepanz und Uneinigkeit bezüglich der Gehaltsklassen von Böden, welche für die Kultivierung von Pflanzen als angemessen angesehen werden können.

Aufgrund der im bL, verglichen mit konventionellem Landbau, geringeren Ertragserwartungen und niedrigeren Nährstoffgehalte der Ernteprodukte, ist die Versorgungsklasse B für den bL ausreichend und daher durch das Betriebsmanagement anzustreben (Kolbe, 2010). Das heißt, es gibt keine speziell für den bL angepassten Versorgungsbereiche, weshalb auch Bio Austria auf die vom BMLFUW angegebenen Werte verweist (Bohner, 2016).

Tabelle 3. Einstufung der P-Gehalte und K-Gehalte in die Gehaltsklassen von Ackerböden, nach BMLFUW (2006) und Zorn (2016)

	mg P 1000 g^{-1}		**mg K 1000 g^{-1} (nach BMLFUW, 2006)**		
Gehalts-klasse	**nach BMLFUW, 2006**	**nach VDLUFA, 2016**	**Bodenschwere**		
			leicht	mittel	schwer
A	< 26	< 15	< 50	< 66	< 83
B	26 bis 46	15 bis 30	50 bis 87	66 bis 112	83 bis 137
C	47 bis 111	31 bis 60	88 bis 178	113 bis 212	138 bis 245
D	112 bis 174	61 bis 120	179 bis 291	213 bis 332	246 bis 374
E	> 174	> 120	> 291	> 332	> 374

[1] Eine ÖNORM ist eine vom Austrian Standards Institute (Österreichisches Normungsinstitut) entwickelte nationale Norm, welche nicht bindend ist. Es handelt sich um freiwillige Standards, die entweder von Normungsgremien entwickelt oder im Rahmen der europäischen und internationalen Normung übernommen wurden (Austrian Standards Institute, n.d.).

[2] Chemische Bodenuntersuchungen – Bestimmung von pflanzenverfügbarem Phosphor und Kalium nach der Calcium-Acetat-Lactat (CAL) Methode

Speziell für Kalium gilt, dass die verfügbare K-Menge im Boden stark von der Bodenart abhängig ist. So können Böden mit hohem Tongehalt wesentlich mehr Kalium mobilisieren als tonarme Böden. Auf Sandböden überwiegt die K-Auswaschung, während auf schwereren Lehm- oder Tonböden die K-Nachlieferung dominiert (Kolbe, 2010). Dementsprechend müssen die Gehaltsklassen an die unterschiedlichen Bodenarten und ihre verschiedenen Nachlieferungspotentiale angepasst werden.

Auf die P-Verfügbarkeit dagegen haben standortspezifische Bedingungen laut Kolbe (2010) nur einen geringen Einfluss, bzw. ihr Einfluss ist schwierig zu evaluieren. Somit wird eine Unterteilung in unterschiedliche Kategorien kaum möglich. Auch VDLUFA bestätigt die Problematik der eindeutigen Identifizierung von relevanten Faktoren, welche die P-Verfügbarkeit und Nachlieferung im Boden beeinflussen (Kerschberger et al., 1997). Somit werden die Ergebnisse der Bodenuntersuchung bezüglich dieses Nährstoffs nicht in Unterkategorien eingeteilt.

2.2.2 Nährstoffeinträge und -austräge

Nährstoffeinträge und -austräge sind vielschichtig und komplex. Es muss generell zwischen Nährstoffflüssen, die ausschließlich den Boden oder den Stall betreffen, und denjenigen, welche von außen in das gesamte landwirtschaftliche System gelangen oder aus ihm heraus geführt werden, unterschieden werden. In diesem Abschnitt werden alle Nährstoffeinträge- und Austräge erläutert, um einen Überblick über die Komplexität der Nährstoffflüsse zu geben. Die Differenzierung wird im Zusammenhang mit der Bilanzierung in Abschnitt 2.6 stattfinden.

Nährstoffeinträge in Böden resultieren auf landwirtschaftlicher Nutzfläche zum größten Teil aus der Ausbringung von Düngemitteln. Bei Betrieben mit Viehbestand sind neben Gülle und Stallmist auch die Nährstoffe, welche durch Zukauf von Futtermitteln in die innerbetrieblichen Nährstoffkreisläufe gelangen, zu berücksichtigen. Weiterhin spielt gerade im bL der Anbau von Leguminosen eine große Rolle, da diese N_2 symbiotisch aus der Luft fixieren. Außerdem sind Nährstoffe, welche durch Deposition aus der Luft in den Boden gelangen, nicht zu vernachlässigen (Blume et al., 2010, 393). Weitere Nährstoffeinträge sind der Zukauf und Einsatz von Saat- und Pflanzgut, sowie von organischen Düngemitteln.

Nährstoffausträge finden durch die Abfuhr von Ernteprodukten, Oberflächenabfluss, Auswaschung, Entweichung gasförmiger Verbindungen aus dem Boden oder durch tierische Ausscheidungen in die Luft, sowie durch Erosion des Oberbodenmaterials statt. Weiterhin sind der Verkauf von Ernteprodukten, tierischen Produkten und organischen Düngemitteln wichtige Nährstoffausträge aus dem Betrieb (Blume et al., 2010, 393).

Insgesamt sind die Nährstoffeinträge und -austräge vom Bewirtschaftungssystem, der Nährstoffversorgung des Bodens, sowie den standortspezifischen Bedingungen abhängig (Blume et al., 2010, 393).

Für diese Arbeit sind nur die Nährstoffflüsse relevant, welche den Marktfruchtbau betreffen. Aus diesem Grund wird in Abbildung 3 ein vereinfachter Überblick über die Nährstoffeinträge und -austräge eines Marktfruchtbetriebes dargestellt.

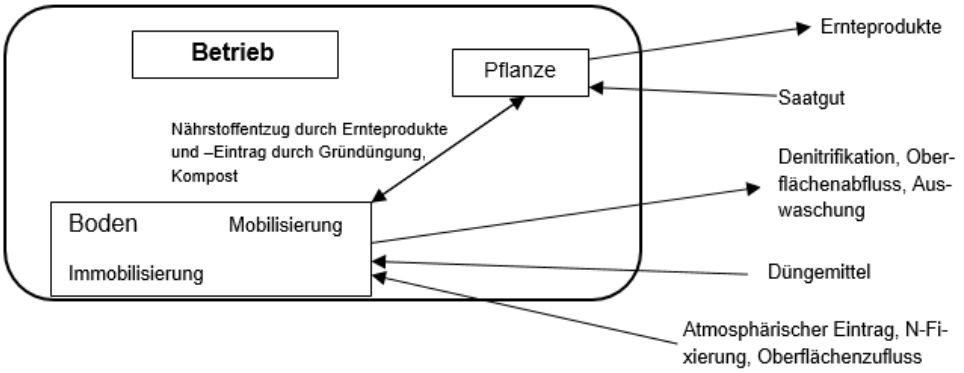

Abbildung 3. Nährstoffflüsse eines Marktfruchtbetriebs, in Anlehnung an Freyer & Pericin (1996)

Die Abschätzung von Nährstoffeinträgen und -austrägen ist schwierig, da die Werte sehr stark differieren können. So unterscheiden sich beispielsweise die Nährstoffgehalte der Ernteprodukte voneinander, welche abhängig von der Betriebsform, dem Betriebsmanagement und den spezifischen Standortbedingungen sind. Die unterschiedlichen Nährstoffgehalte schlagen sich wiederum in der Komposition der Nährstoffe im organischen Düngematerial nieder. Auch die Art der zugekauften Futtermittel ist für die individuelle Zusammensetzung der Nährstoffeinträge eines Betriebs von hoher Relevanz. Dennoch ist es in der Praxis nicht üblich, die tatsächlichen Nährstoffeinträge und -austräge mittels chemischer Untersuchungen zu messen. Stattdessen wird auf standardisierte Tabellenwerte zurückgegriffen, die Mittelwerte aus zahlreichen, langjährigen wissenschaftlichen Versuchen darstellen (siehe Abschnitt 2.6.2, Stein-Bachinger et al., 2004, 34; Blume et al., 2010, 392).

2.2.3 Methoden der Messung von Nährstoffgehalten in Böden und Pflanzen

Die Nährstoffversorgung des Bodens und der Pflanzen kann durch unterschiedliche Tests und Analyseverfahren ermittelt werden. Diese sind ergänzend zu der Datengrundlage aus standardisierten Tabellen und den daraus folgenden Ergebnissen der Nährstoffbilanzierung hilfreich, um die Bilanzen mit den tatsächlich gemessenen Werten abzugleichen und gegebenenfalls zu korrigieren.

Feldversuche spielen eine wichtige Rolle, um Bodenuntersuchungsmethoden zu eichen und standardisierte Tabellen mit Mittelwerten von Nährstoffgehalten zu erstellen. Hierbei werden Ernteerträge, sowie Gehalte der Ernteprodukte und Nährstoffentzüge auf landwirtschaftlichen Nutzflächen gemessen und analysiert. Vor allem Langzeitversuche auf unterschiedlichen Standorten können Aufschluss über Nährstoffversorgung, Nährstoffveränderungen und damit in Zusammenhang stehenden sich ändernden Erträgen bringen (Blume et al., 2010, 398).

Gefäßversuche finden im Labor unter künstlichen Wachstumsbedingungen statt. Damit können gezielt bestimmte Einflussfaktoren gesteuert und verändert und daraufhin Aussagen über verschiedene Wirkungen der untersuchten Nährstoffe getroffen werden. Diese Ergebnisse müssen immer mit Feldversuchen abgeglichen werden, um deren Anwendbarkeit in der Praxis abschätzen zu können. Außerdem eignen sich diese Versuche, um die Genauigkeit chemischer Extraktionsmethoden zu überprüfen (Blume et al., 2010, 398-399).

Die chemische Analyse von Pflanzen kann Aufschluss über die Nährstoffversorgung des Bodens in Zusammenhang mit Pflanzenwachstum und Ernteerträgen geben. Allerdings sind die Ergebnisse erst spät in der Vegetationsperiode verfügbar und damit für die Praxis lediglich in Dauerkulturen anwendbar (Blume et al., 2010, 398-399).

Anhand der chemischen Bodenuntersuchung werden eine Charakterisierung des Bodens, sowie eine Einordnung in eine bestimmte Gehaltsklasse möglich (Bohner, 2016). Düngeempfehlungen können von den Ergebnissen abgeleitet werden, wenn die Bodenuntersuchung vor Beginn der Vegetationsperiode durchgeführt wird. Die Nährstoffgehalte, vor allem von Phosphor und Kalium, können mit Hilfe von Extraktionsmitteln, wie beispielsweise Wasser, Salzlösungen, Säuren oder komplexierenden / chelatisierenden Lösungsmitteln, aus getrockneten und aufbereiteten Bodenproben des Oberbodens bestimmt werden (Blume et al., 2010, 399-400).

In Österreich wird im Rahmen der chemischen Bodenuntersuchung durch die ÖNORM L 1087 die Bestimmung von Phosphor- und Kalium-Gehalten im Boden mittels der CAL-Methode vorgeschlagen (Austrian Standards Institute, 2012).

Die Probenahme wird in drei Teilbereiche unterteilt. Es handelt sich dabei um die Probenahme im Gelände, die Probentrocknung und Aufbereitung, sowie die chemische Extraktion und Analyse der Nährelemente. Die Routineprobenahme erfolgt aus der Ackerkrume, das heißt, aus einer Tiefe von bis zu 40 cm. Für genauere Probenahmen können zusätzliche Proben aus einer Tiefe von bis zu 90 cm gezogen werden. Um repräsentative Aussagen treffen zu können, werden 20 Proben genommen, die gleichmäßig auf der zu untersuchenden Fläche verteilt sein sollen. Danach erfolgt die Trocknung und Aufbereitung der Proben im Labor. Um die Nährstoffgehalte der Proben bestimmen zu können, wird eine definierte Bodenmenge mit einer Extraktionslösung behandelt. Daraufhin kann die chemische Analyse durchgeführt werden. Bei der CAL-Methode wird das Extraktionsmittel Calcium-Acetat-Lactat verwendet, bei der DL-Methode das Extraktionsmittel Doppel-Lactat. Der Gehalt des jeweiligen Nährstoffs wird dann in mg 1000 g^{-1} dargestellt (Blume et al., 2010, 399).

Bei Böden, die einen pH-Wert unter sechs vorzeigen, wird zur Bestimmung des P-Gehalts das DL-Extrakt empfohlen. Mit diesem Extraktionsmittel werden auch die Phosphate analysiert, welche in Apatiten gebunden sind. Mittels der CAL kann dieses Phosphat allerdings ebenso

berücksichtigt werden, indem ein Korrekturfaktor angewendet wird (Austrian Standards Institute, 2012). Der organische Phosphor wird mit beiden Extraktionsmitteln nicht erfasst. Das heißt, über den gesamten P-Gehalt des Bodens kann keine Aussage getroffen werden, wohl aber über den qualitativen Versorgungszustand im Rahmen der Gehaltsklassen (Bohner, 2016).

Eine weitere Bodenuntersuchungsmethode ist das so genannte EUF-Verfahren. Es handelt sich hierbei um eine Elektro-Ultrafiltration. Durch die Erzeugung elektrischer Spannung werden einer Suspension von Boden in Wasser Nährstoffe entzogen. Durch die Variation von Temperatur und Zeit werden Nährstofffraktionen mit verschiedenen Bindungsstärken extrahiert. Somit können Nährstofffraktionen unterschiedlicher Pflanzenverfügbarkeiten gewonnen werden. Die Ergebnisse der EUF-Methode werden in zwei Fraktionen dargestellt. Dabei gibt die erste Fraktion die leichter verfügbaren Nährstoffe an, während die zweite Fraktion das Nachlieferungspotential des Bodens beschreibt (Baumgarten, 2006).

Auch P- und K-Gehalte können mittels der EUF-Methode bestimmt werden. Bei der Analyse des P-Gehalts ist der Ca-Gehalt des Bodens von immenser Bedeutung. So schwankt der mittlere Wert des P-Gehalts der ersten und zweiten Fraktion zwischen 3,7 mg P 100 g^{-1} Boden bei niedrigem Ca-Gehalt der zweiten Fraktion (25 bis 45 mg EUF-Ca 100 g^{-1} Boden) und 2,2 mg P 100 g^{-1} Boden bei einem hohen Ca-Gehalt der zweiten Fraktion (55-75 mg EUF-Ca 100 g^{-1} Boden). Das heißt, je höher der Ca-Gehalt des Bodens ist, desto höher ist das P-Nachlieferungsvermögen (Baumgarten, 2006).

Bei der Bestimmung des K-Gehalts wird neben der Berücksichtigung des Ca-Gehalts auch die Bodenschwere einbezogen. Der mittlere Wert aus der ersten und zweiten Fraktion beträgt bei niedrigem Ca-Gehalt 15,7 mg K 100 g^{-1} Boden, während der bei einem hohen Ca-Gehalt auf 18,5 mg 100 g^{-1} Boden ansteigt (Baumgarten, 2006).

Als alleiniges Mittel, um den Düngebedarf eines Bodens zu bestimmen, reicht die chemische Bodenuntersuchung nicht aus. Es werden lediglich die verfügbaren Nährstoffe des Oberbodens erfasst, obwohl auch der Unterboden für die Pflanzenernährung eine große Rolle spielt. Weiterhin wird die Aktivität der Bodenmikroorganismen nicht berücksichtig, welche für die Mobilisierung von Pflanzennährstoffen gerade im bL sehr wichtig sind. Außerdem kann mittels der chemischen Bodenuntersuchung keine Aussage über das Verhältnis der im Boden enthaltenen Nährstoffe getroffen werden, welches für die Pflanzenaufnahme bestimmter Nährstoffe von Bedeutung ist.

Auch werden weder zeitliche noch räumliche Variabilität und Heterogenität der Nährstoffe beachtet. Bodenphysikalische Parameter, wie Luft- und Wasserhaushalt oder Durchwurzelbar-

keit, sind weitere Einflussfaktoren auf den Gehalt und das Nachlieferungspotential von Nährstoffen, welche nicht in der chemischen Bodenuntersuchung beachtet werden (Hörtenhuber et al., 2013; Bohner, 2016). Daher sollten bei den heute überregional festgelegten Düngeempfehlungen standortspezifische Eigenschaften, wie Witterung, Klima, Mykorrhizierung, Kulturpflanzenart, Durchwurzelbarkeit, sowie Bodentyp und Bodenart unbedingt inkludiert werden (Lindenthal, 2000; Merbach et al., 2011). Daher wäre eine Individualisierung der Düngeempfehlung sinnvoll (Lindenthal, 2000).

Merbach et al. (2011) stellen fest, dass bei chemischen Bodenuntersuchungen auch der aktuelle Versorgungszustand der Pflanzen widergespiegelt werden müsste. So werden durch Veränderungen der Wurzelexsudate unterschiedliche Mikroben angeregt, die dann die Aufschließung von Phosphaten erhöhen. Folglich wäre auch dieser Parameter in chemische Bodenuntersuchungen zu inkludieren, beziehungsweise könnten Erkenntnisse über die Wurzelexsudate helfen Extraktionsmethoden weiterzuentwickeln.

2.3 Phosphor als Hauptnährstoff für Pflanzen

Generell kommt Phosphor im Boden in drei verschiedenen Formen vor, die durch unterschiedliche Eigenschaften charakterisiert sind. Es wird unterschieden zwischen gelöstem anorganischem, labil gebundenem und fest gebundenem Phosphat (Holsten et al., 2016).

Phosphor (P) spielt als Baustein von ATP und ADP eine große Rolle für den Energietransfer innerhalb der Pflanze, sowie bei der Synthese organischer Substanzen und als Zellbaustein. Dabei ist er als Phosphat-Ester in Phospholipiden, Nucleinsäuren und Phytin gebunden. Sind die Pflanzen nicht ausreichend mit P versorgt, wird zum einen das Wachstum von Spross, Blättern und Wurzeln gehemmt, und zum anderen können Chlorosen und Nekrosen entstehen. Auf der einen Seite beststeht durch die Abfuhr von Ernteprodukten die Gefahr der Bodenverarmung an P, was nur durch ein fachgerechtes Betriebsmanagement vermieden werden kann. Auf der anderen Seite riskiert eine Überdüngung eine Gewässereutrophierung, welche durch Austräge von P aus dem Boden versursacht werden kann (Blume et al., 2010, 412).

2.3.1 Bodenvorräte und Lagerstätten

Gesteine sind insgesamt der größte globale P-Speicher und stellen damit einen endlichen globalen P-Vorrat bereit. In den vergangenen Jahren wurde dieser massiv abgebaut und dabei zu 90 % für die Herstellung von Düngemitteln verwendet. Dabei stell der Apatit, ein Tricalciumphosphat, die primäre P-Quelle dar (Lindenthal, 2000; Blume et al., 2010, 412-413). Die vorhandenen globalen P-Vorräte befinden sich hauptsächlich in Marokko/West-Sahara, China und den USA. Die deutsche Bundesregierung schätzt, dass die globalen Vorräte noch etwa 385 Jahre ausreichen werden (ZfK, 2012). Dynamische Modellrechnungen, welche beispielsweise von Van Vuuren et al. (2010) berechnet wurden, ergeben niedrigere Ergebnisse. Laut

ihnen sind genaue Aussagen schwierig zu treffen, da stark differierende Schätzwerte über die noch vorhandenen globalen P-Vorräte vorliegen. So berechnen Van Vuuren et al. (2010), dass im schlechtesten Fall die Vorräte in 200 Jahren zur Neige gehen werden.

Eine Analyse von Baumgarten et al. (2011) bestätigte die auf den meisten Standorten ausreichende P-Versorgung der landwirtschaftlichen Nutzflächen in Österreich, von der aufgrund der langjährigen Überdüngung in der konventionellen Landwirtschaft ausgegangen wurde. So sind im nordöstlichen Flach- und Hügelland noch 60 % der untersuchten Ackerflächen in die Gehaltsklasse C einzuordnen. Gleichzeitig sind die Böden mit P-Gehalten der Klassen D und E von 25 % in der Untersuchungsperiode zwischen 1991 bis 1995 auf 20 % in den Untersuchungsjahren 2006 bis 2009 zurückgegangen, während die der Klassen A und B von 14 auf 20 % angestiegen sind. Auch die Regionen Alpenvorland und Waldviertel weisen eine Verschiebung der P-Gehaltsklassen in Richtung niedrigerer Gehaltsklassen auf. Derzeit sind im Alpenvorland 45 % der Ackerflächen optimal versorgt, während im Waldviertel die gleiche prozentuale Fläche niedrig versorgt und 50 % der beprobten Ackerböden gut versorgt sind. 6 % der Flächen sind in Klassen mit sehr hoher Versorgung einzuordnen (Baumgarten et al., 2011).

Insgesamt wurden in den vergangen zwei Jahrzehnten die Böden mit sehr hohen und hohen Gehaltsklassen durch nachhaltiges Betriebsmanagement in Richtung optimaler Gehaltsklassen gelenkt. Dabei ist zu beachten, dass auf 20 bis 45 % der untersuchten Böden die P-Vorräte zur Neige gehen und daher einer Bodenverarmung durch ein angemessenes Betriebsmanagement vorzubeugen ist (Baumgarten et al., 2011).

Der P-Gehalt wird in ungedüngten Böden durch deren Ausgangsgesteine bestimmt. In Sandböden liegt ein P-Gehalt von weniger als 100 mg kg^{-1} vor, während in lehmigen, schluffigen oder tonigen Böden der gemäßigten Breiten die Gehalte eine Spannweite von 200 bis 800 mg kg^{-1} abdecken. Somit steigt der Gehalt von Sandböden zu Tonböden und mit dem Humusgehalt an. Mit Hilfe von mineralischen oder organischen Düngemitteln kann der P-Gehalt erheblich angehoben und dabei bis auf 2000 mg kg^{-1} gesteigert werden (Blume et al., 2010, 412-413).

Das sorbierte und okkludierte Phosphat steht im Gleichgewicht zur Konzentration der Bodenlösung. Das heißt, wenn die Phosphatkonzentration in der Bodenlösung zunimmt, dann werden mehr Phosphate sorbiert. Die wichtigsten Sorbenten sind dabei Fe- und Al-Oxide, sowie Tonminerale. Sinkt die Konzentration in der Bodenlösung, dann werden gebundene Phosphate wieder freigegeben (Blume et al., 2010, 414-415). Der auf diese Weise labil gebundene Phosphor beträgt im Oberboden zwischen 200 und 500 kg P ha^{-1} (Holsten et al., 2016).

Phosphatminerale sind schwerlösliche Verbindungen zwischen Anionen der Phosphorsäure und Ca^{2+}-, Al^{2+}-, Fe^{-2+}, und Fe^{3+}-Ionen. Die Löslichkeit von Al- und Fe-Phosphaten nimmt mit

steigendem pH-Wert zu, während sich die Löslichkeit von Ca-Phosphaten genau gegenteilig verhält. Insgesamt liegt die optimale Löslichkeit aller Phosphate bei einem pH-Wert zwischen 6,0 und 6,5 (Blume et al., 2010, 416-417).

Der Anteil an organischem Phosphor ist in gedüngten A-Horizonten von Mineralböden variabel und beträgt zwischen 25 und 65 % (Holsten et al., 2016). Insgesamt steigt dieser mit wachsendem C_{org}-Gehalt an. Dabei ist das C/P-Verhältnis (100-1000) viel weiter als das C/N-Verhältnis (meist < 15). Außerdem nimmt der organische P-Gehalt entsprechend des Humusgehalts innerhalb der Bodenhorizonte von oben nach unten ab. Die wichtigste Form nehmen die Salze der Phytinsäure, die Phytate, ein. Weiterhin spielen Phospholipide und Nukleotid-Phosphate eine wichtige Rolle. Außerdem tragen die im Boden vorkommenden Mikroorganismen nicht unerheblich zum Gehalt an organischem Phosphor bei. In einem Ap-Horizont beläuft sich die enthaltene P-Menge auf 60 bis 120 kg ha^{-1} (Blume et al., 2010, 417-418). Durch Verwitterung und Abbau der organischen Substanz können je nach Bodenaktivität pro Jahr 10 bis 50 kg P ha^{-1} freigesetzt werden (Holsten et al., 2016).

2.3.2 Einträge und Austräge durch die Umwelt

Bei einer Überdüngung mit Phosphor besteht vor allem die Gefahr der Auswaschung, welche in entsprechenden Einträgen in Grundwasser und Oberflächengewässer resultiert (Blume et al., 2010, 420-421). Diese Problematik entsteht vor allem bei der Düngung mit mineralischen, schnell löslichen Düngemitteln, welche im bL nicht zugelassen sind (Bio Austria, 2016b; Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft, 2016). Um diese Eutrophierung zu verhindern und gleichzeitig ein nachhaltiges und effizientes Nährstoffmanagement sicherzustellen, sind die Einträge und Austräge von Phosphor im Rahmen von Nährstoffbilanzierungen zu quantifizieren (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2015).

Insgesamt ist die Auswaschung in tonreichen Böden durch die hohe P-Bindungskapazität gering, während sie mit sinkendem Ton- und steigendem Sandanteil steigt (Blume et al., 2010, 394-395). Die Deposition von Phosphor in den Boden spielt eine untergeordnete Rolle. So beläuft sie sich laut Blume et al. (2010, 395) im Mittel auf 0,35 kg ha^{-1} a^{-1}.

2.3.3 Pflanzenverfügbarkeit und P-Mobilisierung

Die für Pflanzen verfügbaren P-Formen sind $H_2PO^-_4$ und HPO_4^{2-} -Ionen.

Der größte Teil des im Boden enthaltenen Phosphors liegt in gebundener Form vor. Die Bodenlösung enthält dabei weniger als 0,1 % des Gesamtphosphorgehalts. Eine Konzentration von 0,3- 0,8 mg P l^{-1} ist ideal, um eine adäquate Pflanzenernährung zu gewährleisten. Allerdings wird diese in konventionell gedüngten Ackerböden oft um ein vielfaches überschritten. So kann die Konzentration in diesen A-Horizonten auf bis zu 5 mg P l^{-1} ansteigen (Blume et al., 2010, 413).

Im bL spielt aufgrund des Verbots der mineralischen Düngemittel die P-Mobilisierung eine große Rolle, da aufgrund der Restriktionen nur mit schwer löslichen Rohphosphaten gedüngt werden kann (EU-Kommission, 2007, 2008). Daher ist die P-Nachlieferung und somit die P-Mobilisierung aus dem Boden für eine ausreichende Pflanzenversorgung sehr wichtig. Es wurde nachgewiesen, dass gerade im bL eine erhebliche Menge des schwerlöslichen anorganischen oder organischen Phosphats in die Bodenlösung nachgeliefert wird. Somit spielt im bL die sogenannte „aktive Mobilisierung von Nährstoffen“, in diesem Fall von Phosphor, eine wichtige Rolle (Lindenthal, 2000; Friedel, 2008; Lindenthal & Surböck, 2011; Hörtenhuber et al., 2013;). Dabei sollen der sogenannte Immobilisierungs-Mineralisierungs-Umsatz, sowie die Sorptions-Desorptionsprozesse gefördert werden, indem ein Vorrat labiler organischer Bodensubstanz, der über eine hohe Umsatzrate verfügt, aufgebaut wird. Damit soll der Nährstoffbedarf durch Nährstoffmobilisierung in der Rhizosphäre gedeckt werden (Friedel, 2008).

Eine P-Mobilisierung kann dabei durch verschiedene Bewirtschaftungsmaßnahmen initiiert und gefördert werden. So steigern beispielsweise ein optimaler pH-Wert zwischen 6 und 7 im Boden, die Förderung des Humusgehalts und der Mehrung organischer Substanz im Boden durch die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern und Komposten die P-Nachlieferung. Dabei sind Hühnermist oder Schweinegülle dem Rindermist vorzuziehen, wobei generell Kompost als größter P-Lieferant gilt (Mäder et al., 2008; Hörtenhuber et al., 2013). Die organische Substanz kann zum einen die P-Sorption verringern, in dem organische Anionen um Bindungsplätze konkurrieren und weiterhin organische Substanzen die Mikroporenöffnungen blockieren. Zum anderen löst die organische Substanz eine Chelatisierung von Eisen und Aluminium, an denen der Phosphor gebunden ist, an der Oberfläche der Oxide aus. Damit wird ebenso die P-Sorption verringert und somit die P-Verfügbarkeit im Boden erhöht (Blume et al., 2010, 416).

Außerdem ist die Förderung des Bodenlebens für eine steigende Mobilisierung und somit bessere Pflanzenverfügbarkeit des im Boden enthaltenen Phosphors wichtig. Pilze und Bakterien scheiden dabei Enzyme, wie beispielsweise Phytase, Phosphatase, Ribunuclease, aus, die schrittweise den organisch gebundenen Phosphor abspalten (Evans & Condon, 2009). Die Mikroorganismen halten sich dabei vornehmlich in der Rhizosphäre auf, werden durch Wurzelausscheidungen der Pflanzen ernährt und fördern die P-Verfügbarkeit für die Pflanzen durch Diffusion entlang eines Konzentrationsgefälles innerhalb der Rhizosphäre (Lindenthal & Surböck, 2011). Weiterhin bildet die schnelle Umsetzung der Bodenmikroorganismen eine mobile und pflanzenverfügbare P-Quelle. Auch Mykorrhiza können hier eine wichtige Rolle spielen (Conyers & Moody, 2009; Blume et al., 2010, 419). Gefördert werden kann das Bodenleben durch den Anbau von Zwischenfrüchten oder Untersaaten, wie zum Beispiel mit Kleearten, Wicken, Buchweizen, Ölrettich oder Phacelia (Mäder et al., 2008). Mithilfe der Begrünung von Ackerflächen, sowie eines kleinen Anteils an Hackfrüchten in der Fruchtfolge, kann außerdem

Bodenerosion vermieden werden. Es wird davon ausgegangen, dass ein Bodenabtrag von 20 t einen P-Verlust von 15 kg bedeutet (Hörtenhuber et al., 2013).

Die Förderung der Durchwurzelbarkeit des Bodens und eine Vermeidung von Bodenverdichtung sind wichtig, um den Pflanzen die Möglichkeit zu gewährleisten den Boden weitläufig zu erschließen. So wird sichergestellt, dass die Pflanzen den P-Vorrat sowohl im Ober- als auch im Unterboden möglichst effizient ausnutzen (Kolbe, 2010; Hörtenhuber et al., 2013). Die Durchwurzelbarkeit spielt gerade im Hinblick auf Phosphor eine bedeutende Rolle, da dieser Nährstoff eine sehr geringe Mobilität im Boden aufweist (Hinsinger, 2001). So steigt das Potential der P-Aufnahme durch die Pflanzen mit zunehmender Durchwurzelbarkeit des Bodens, da ein größerer Raum im Boden erschlossen werden und somit der P-Vorrat im Boden auch in unteren Schichten ausgenutzt werden kann. Weiterhin sind Pflanzen mit einem besonders ausgeprägten Wurzelsystem und langen Wurzelhaaren in der Lage mehr Phosphat aus der Bodenlösung aufzunehmen, als Pflanzen mit einem weniger ausgeprägten Wurzelsystem (Steffens et al., 2003). So ist die Auswahl von Pflanzen speziell aufgrund ihres Wurzelsystems und ihrer Wurzelausscheidungen gerade im bL von großer Bedeutung, um die P-Mobilität zu erhöhen und somit die P-Aufnahmeeffektivität zu optimieren (Conyers & Moody, 2009).

Weiterhin können Bewirtschaftungsmaßnahmen, wie beispielsweise die Planung der Fruchtfolge, die Mobilisierung von Phosphat im Boden fördern. So bestätigt ein Versuch von Steffens et al. (2003), dass P-anreicherungseffiziente Pflanzen als Vorfrüchte P-anreicherungsineffizienten Pflanzen diesen Nährstoff nachhaltig zugänglich machen können. Steffens et al. stellten fest, dass Weißlupine als Vorfrucht signifikant höhere Erträge von Spinat erzielte als beispielsweise nach der Vorfrucht Ackerbohne oder Sommerweizen. Allerdings kann diese Untersuchung den gleichen Versuch mit Raps als Folgefrucht von Weißlupine nicht bestätigen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Raps und Weißlupine ähnliche Phosphorquellen im Boden durch die Absonderung von Malat und Citrat nutzen. Daher hat die Weißlupine als Vorfrucht bereits die verfügbaren P-Vorräte aufgeschlossen, welche dann für den Raps nicht mehr verfügbar sind.

Insgesamt sind Leguminosen diejenigen Pflanzen, welche am besten in der Lage sind P aufzuschließen und sollten daher nicht nur im Hinblick auf ihr N-Bindungsvermögen beurteilt sondern auch als wertvolle P-Mobilisierer betrachtet werden. Weiterhin haben Zuckerrüben, Kartoffeln, Senf und Buchweizen ein hohes P-Aufschließungsvermögen, während Gerste von allen wichtigen Kulturarten das geringste besitzt (Lindenthal & Surböck, 2011).

Somit wird deutlich, dass es bei der Fruchtfolge sowohl positive als auch negative Effekte bezüglich der P-Mobilisierung zwischen den kultivierten Pflanzen geben kann, welche daher unbedingt im Betriebsmanagement beachtet werden müssen.

2.4 Kalium als Hauptnährstoff für Pflanzen

Kalium wird von der Pflanze als Kation aufgenommen und erfüllt Funktionen in der Regulierung des Wasserhaushalts, in der Einstellung des osmotischen Drucks und in der Aktivierung unterschiedlicher Enzyme. Sind Pflanzen ausreichend mit Kalium versorgt, so erhöhen sich sowohl deren Frost- als auch deren Dürreresistenz. Kaliummangel ist durch Chlorosen und Nekrosen zu erkennen (Blume et al., 2010, 423).

2.4.1 Bodenvorräte und Lagerstätten

Die größten K-Speicher sind Gesteine, wobei das meiste K in Tonminerale, wie Illite und Glimmer eingebaut ist. Die Kaliumlagerstätten entstanden vor 200 Mio. Jahren bei der Verdunstung des Zechsteinmeeres (Baab, 2014). Davor hatte sich das Kalium, welches durch Verwitterungsprozesse aus dem Urgestein freigesetzt wurde, in die Meere verlagert und wurde dort in Tonminerale eingebaut. Die Verdunstung des Zechsteinmeeres verursachte eine Ausfällung der Meersalze und führte so zu der Bildung von K-Lagerstätten (Blume et al., 2010, 424). Die größten Kaliumlagerstätten befinden sich heute in Kanada, Russland, Weißrussland, China und Deutschland (K+S Gruppe, n.d.).

Die Gesteine der Erdkruste enthalten im Durchschnitt 1,9 % K. Je nach Verwitterungsgrad sinkt der K-Gehalt auf bis zu 0,1 %. Junge illitreiche Böden enthalten bis zu 3,3 % K. Der K-Gehalt hängt folglich hauptsächlich vom Tongehalt und dem Verwitterungsgrad der Böden und Gesteine ab (Blume et al., 2010, 423).

In Mineralböden ist Kalium als Gitterbaustein in Silikaten gebunden. Dabei kommt es als fixiertes, austauschbares und gelöstes Kalium vor. Abhängig von Art und Menge der Düngung enthalten Ackerböden in der Ackerkrume zwischen 100 und 1000 kg ha^{-1} austauschbares Kalium. Insgesamt besteht ein Gleichgewicht zwischen drei Kaliumformen, wobei dieses in unterschiedlichen Geschwindigkeiten gebildet wird. Während das spezifisch gebundene Kalium sehr langsam unter Aufweitung der Mineralzwischenschichten durch Diffusion freigesetzt wird, geht das austauschbare Kalium sehr schnell in die Bodenlösung über. Bilden sich Tonminerale zu Illit um, wird Kalium fixiert. Dieses wird durch K-Entzug wieder freigesetzt. Bei überschüssigem K in der Bodenlösung wird solange K fixiert, bis diese Fixierungskapazität, welche vor allem vom Gehalt an Dreischichtmineralen abhängt und daher mit steigendem Tongehalt größer wird, erschöpft ist. Danach wird der Vorrat an austauschbarem Kalium aufgebaut (Blume et al., 2010, 424-425).

Die Menge an austauschbarem Kalium steigt mit der K-Konzentration in der Bodenlösung und der Menge an Sorbenten und ist außerdem abhängig von der Anwesenheit konkurrierender Kationen, wie beispielsweise Calcium, Magnesium, Ammonium und Natrium.

Organische Verbindungen, wie zum Beispiel Huminstoffe, enthalten nahezu kein Kalium, während in mikrobieller Biomasse zwischen 25 und 50 kg K ha^{-1} gebunden ist (Blume et al., 2010, 425-426).

Baumgarten et al. (2011) stellten fest, dass die K-Gehalte in Ackerböden auf vielen Standorten sowohl im nordöstlichen Flach- und Hügelland als auch im Waldviertel erhöht sind und damit die Gehaltsklassen D und E vorweisen. Im Alpenvorland sind 33 % der untersuchten Ackerflächen niedrigen Gehaltsklassen zuzuordnen, während 18 % hoch versorgt sind. Insgesamt können in diesen drei Hauptproduktionsgebieten, in welchen der Marktfruchtbau von Bedeutung ist, die Hälfte der Ackerflächen ausreichenden K-Gehaltsklassen zugeordnet werden.

2.4.2 Einträge und Austräge durch die Umwelt

Kaliumauswaschungen fallen bei Böden mit mehr als 10 % Tongehalt nicht ins Gewicht. Bei Sandböden allerdings ist eine K-Auswaschung von 50 kg ha^{-1} a^{-1} möglich. Die Menge ist dabei vom Sickerwasser abhängig (Blume et al., 2010, 426). Im Gegensatz zu Phosphor eutrophiert Kalium keine Gewässer und geht keine umweltschädlichen Verbindungen ein. Bei ausgewaschenem Kalium handelt es sich also um verlorene Pflanzennährstoffe, die durch ein gutes Düngemanagement, wie Humusaufbau durch Applikation von Kompost oder Mist, vermieden werden können. Dabei ist das Ziel ressourcenschonend, nachhaltig und mit möglichst wenigen Verlusten zu wirtschaften (Hue & Silva, 2000).

Auch die Deposition spielt bei Kalium, ähnlich wie Phosphor, nur eine untergeordnete Rolle und beläuft sich dabei auf durchschnittlich 5 kg ha^{-1} a^{-1} (Blume et al., 2010, 393).

2.4.3 Pflanzenverfügbarkeit und K-Mobilisierung

Das in der Bodenlösung vorkommende Kalium (K^+) ist für die Pflanzen direkt verfügbar. Bei gedüngten Ackerböden beläuft sich dieses auf 5 bis 15 kg ha^{-1}. Durch die Kultivierung von Pflanzen wird dem Boden weit mehr Kalium entzogen. Daher muss eine große Menge an gebundenem Kalium durch Diffusion in die Bodenlösung freigesetzt werden (Blume et al., 2010, 426). Dabei spielt die Freisetzung von nicht-austauschbarem Kalium aus den Zwischenschichten von Tonmineralen eine große Rolle. Die Aufnahme von Kalium durch die Pflanzen lässt die Rhizosphäre verarmen und die Lösungskonzentration sinken. Dies führt zu einem Konzentrationsgefälle und die Diffusion von Kalium in Richtung Rhizosphäre, sowie die Kaliumfreisetzung aus Zwischenschichten von Tonmineralen wird gefördert (Friedel, 2008).

Außerdem können bei schlecht versorgten Böden Pflanzen aus dem Unterboden eine erhebliche Menge an Kalium (10-60 %) extrahieren, vorausgesetzt der Boden verfügt über eine gute Durchwurzelbarkeit (Blume et al., 2010, 426).

Insgesamt ist eine ausreichende Bodenfeuchte Voraussetzung für eine gute Aufnahme von Kalium durch die Pflanzen. Neben der Bodenart bestimmt der Wasserhaushalt des Bodens also maßgeblich die K-Verfügbarkeit und dessen Nachlieferungspotential.

Außerdem spielt die Konzentration von anwesenden Antagonisten, wie Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+, Na^{2+}, eine bedeutende Rolle bezüglich der Pflanzenaufnahme von K^+. So ist es die Aufgabe des betrieblichen Nährstoffmanagements für ein ausgewogenes Verhältnis der Kationen zu sorgen, um eine ausgeglichene Nährstoffversorgung und eine stabile Bodenstruktur zu fördern. Dabei sollten Konzentrationen von 60 bis 90 % Ca, 5 bis 15 % Mg, 2 bis 5 % K und weniger als 1 % Na angestrebt werden (Baumgarten, 2006; Friedel, 2008).

Eine aktive Mobilisierung von Kalium kann vor allem durch die Aktivierung des Bodenlebens gefördert werden, da Verwitterungs- und Mineralisierungsprozesse für die Kaliumfreisetzung eine große Rolle spielen (Friedel, 2008). Weiterhin sind vor allem Rindergülle und Kompost große K-Lieferanten, wobei mit deren Applikation stets eine P-Überdüngung einhergehen kann. Dies muss bei der Düngepraxis unbedingt beachtet werden (Mäder et al., 2008).

2.5 Düngeeinsatz im biologischen Landbau

Generell ist der Düngeeinsatz im bL stark limitiert. Die EU-Kommission fordert die Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit durch ein Betriebsmanagement, das möglichst ohne den Zukauf von externen Düngemitteln auskommt. Damit soll das Ziel verfolgt werden, den Pflanzen die im Boden vorhandenen Nährstoffe durch ein intaktes Ökosystem verfügbar zu machen. So dürfen die zugelassenen Düngemittel nur angewendet werden, wenn mit geeigneten Bewirtschaftungsmaßnahmen keine ausreichende Pflanzenversorgung sichergestellt werden kann (EU-Kommission, 2007, 2008). Die Nährstoffkreisläufe sind also möglichst zu schließen und negative Auswirkungen auf die Umwelt durch Nährstoffüberversorgung der Böden zu vermeiden (Hörtenhuber et al., 2013).

Insgesamt ist der Düngebedarf vom Nährstoffentzug durch die Ernteprodukte, den Nährstoffvorräten der Böden, sowie der potentiellen Nachlieferung von Nährstoffen aus dem Boden abhängig.

Der standortspezifische Düngebedarf wird wie folgt berechnet:

Zunächst wird der P- und K-Gehalt des Bodens mittels chemischer Bodenanalysen bestimmt (siehe Abschnitt 2.2.3).

Danach erfolgt die Ermittlung des Nährstoffbedarfs der geplanten Kulturpflanzen und der Nährstoffeinträge durch organische Dünger mit Hilfe von standardisierten Tabellen und prognostizierten Erträgen (siehe Abschnitt 2.6.2). Mit Hilfe der Schlagbilanzierung (siehe Abschnitt 2.6)

können daraufhin Defizite und Überschüsse in der Nährstoffversorgung von einzelnen Schlägen identifiziert werden, indem der erwartete Nährstoffentzug durch die Ernteprodukte und der Nährstoffeintrag durch Düngemittel, Stickstofffixierung, Gründüngung und Vorfrüchte gegenübergestellt werden (Kolbe & Schuster, 2011).

Die Ergebnisse der Bodengehalte werden dann den Gehaltsklassen der Böden zugeordnet und unter Berücksichtigung der Schlagbilanzsalden der Düngebedarf abgeleitet bzw. berechnet (LTZ, 2011). Dabei sollten stets die standortspezifischen Eigenschaften, welche einen erheblichen Einfluss auf das Nachlieferungspotential der Böden und somit der Nährstoffversorgung der Pflanzen haben und weder in den standardisierten Tabellen noch in der chemischen Bodenuntersuchung erfasst werden, beachtet werden. Standortspezifische Bedingungen wie Durchwurzelung oder der generelle Bodenzustand können mithilfe von regelmäßigen Spatendiagnosen beurteilt werden (Lindenthal & Surböck, 2011).

Generell sind im bL die K-Dünger Kalirohsalz und Kaliumsulfat zulässig (EU-Kommission, 2008; Bio Austria, 2016b). Nach der Verordnung der EU-Kommission über Düngemittel von 2003 muss das Kalirohsalz mindestens 10 % K_2O und 5 % MgO enthalten. Das Kaliumsulfat wird aus Kalisalzen extrahiert. Der Mindestgehalt von Kaliumoxid muss sich im Endprodukt auf 47 % belaufen. Weiterhin darf der Chlorgehalt 3 % nicht überschreiten. Außerdem ist die Applikation von Kaliumsulfat mit Beimischung von Magnesiumsalzen erlaubt. Hierbei müssen die Nährstoffgehalte mindestens 22 % K_2O und 8 % MgO enthalten.

Laut Bio Austria Richtlinien muss vor der Ausbringung von Kalirohsalz eine Genehmigung von einer Kontrollstelle eingeholt werden. Eine Applikation wird erlaubt, wenn aufgrund einer aktuellen Bodenuntersuchung der K-Gehalt in der Gehaltsklasse A oder B einzuordnen ist. Ab der Versorgungsstufe C kann eine Ausbringung von Kalirohsalz nur mit einer Ausnahmegenehmigung durchgeführt werden. So kann bei Gemüse- und Kartoffelanbau eine Kali-Entzugsdüngung erlaubt werden (Bio Austria, 2016b). Handelsübliche K-Düngemittel für den bL sind Kaliumsulfat mit S 50 (50 % K_2O, 18 % S), Patentkali (30 % K_2O, 10 % MgO, 10 % S), sowie Magnesia-Kainit (11 % K_2O, 5 % MgO, 20 % Na, 4 % S, Rasch, 2013).

Als einzig zugelassenes P-Düngemittel im bL gilt Rohphosphat. In der konventionellen Landwirtschaft dagegen können neben Rohphosphat auch leichtlösliche Phosphatdüngemittel wie zum Beispiel Super- und Triplephosphat ausgebracht werden (Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft, 2016). Diese enthalten P-Verbindungen, welche sofort pflanzenverfügbar sind und somit direkt von den Pflanzen aufgenommen werden können. Allerdings besteht hier die Gefahr der P-Auswaschung.

Das weicherdige Rohphosphat enthält als Hauptbestandteile Tricalciumphosphat und Calciumcarbonat. Der Phosphorgehalt muss laut EU-Verordnung mindestens 25 % P_2O_5 betragen.

Dabei müssen mindestens 55 % des P_2O_5 in zwei prozentiger Ameisensäure löslich sein. Speziell für den bL gilt ein Cadmiumhöchstgehalt von 90 mg kg^{-1} P_2O_5 (EU-Kommission, 2003, 2008).

Da Rohphosphat unter praxisüblichen Bedingungen schwer löslich ist, kann dessen Applikation kaum zu einer Ertragssteigerung führen. Mit ebendieser ist nur zu rechnen, wenn sich der pH-Wert von Böden auf kleiner als sechs beläuft (Hue & Silva, 2000; Reeb, 2004). Weiterhin ist sein Einsatz unter ökologischen und nachhaltigen Gesichtspunkten zweifelhaft, da es sich bei Rohphosphat um eine endliche Ressource handelt und es außerdem oft hohe Schadstoffbelastungen, wie ein zu hoher Cadmium-Gehalt, aufweist (Hörtenhuber et al., 2013; Möller & Friedel, 2016, 477-478). Daher sollten für den bL systemkonformere Alternativen erwogen werden, wie zum Beispiel die Förderung der Mobilisierung der Nährstoffe, die Applikation von Kompost, die Integration von P-mobilisierenden Kulturpflanzen in die Fruchtfolge, sowie die Verringerung der P-Verluste durch Erosion und Abschwemmung. Auch der Einsatz von P-haltigen Recyclingdüngern sollte verstärkt in Betracht gezogen werden (Lindenthal, 2000; Evans & Condon, 2009; Fischinger et al., 2014).

Beispielsweise ist der Einsatz von Klärschlamm im bL heute grundsätzlich verboten, da vor allem die hohe Belastung an Schadstoffen sehr problematisch ist. Derzeit wird allerdings an einigen Rückgewinnungsverfahren geforscht, um die Verwendung von kommunalen Abwässern praxistauglich zu machen und somit die P-Verluste zu minimieren und die Nährstoffkreisläufe zu schließen. Zurzeit sind drei Verwertungswege des Klärschlamms denkbar. Zum einen wird die direkte Verwertung des Klärschlamms nach Stabilisierung, Hygienisierung und gegebenenfalls Trocknung untersucht. Zum anderen gibt es die Möglichkeit der Nutzung von Fällungs- und Kristallisationsprodukten, welche aus gelösten P-Verbindungen entstehen, sowie die Verwendung von Aschen und Schlacken, welche aus getrocknetem Klärschlammfeststoff gewonnen werden (Fischinger et al., 2014).

Eine aktuelle Umfrage befragte PraktikerInnen des bL auf ihre Akzeptanz bezüglich der Nutzung von kommunalen Abfällen und Abwässern als Düngemittel. Darin fanden alle vorgeschlagenen alternativen P-Düngemittel Zustimmung. Das heißt, dass der tatsächlichen Anwendung von Humanurin, seinem Fällungsprodukt Struvit, Fleischknochenmehl oder Grünabfällen aus moralischer Sicht nichts entgegen steht (Bünemann-Koenig et al., 2016).

Folglich ist es an der Zeit in der Forschung intensive Anstrengungen zu unternehmen, um praxistaugliche Rückgewinnungsverfahren von Phosphor und Kalium zu entwickeln. Das internationale Forschungsprojekt IMPROVE-P (IMproved Phosphorus Resource efficiency in Organic agriculture Via recycling and Enhanced biological mobilization) wurde im Rahmen des EU-Netzwerks „CORE-Organic II“ durchgeführt. Es bestand aus Partnerinstituten sechs verschiedener Länder (Dänemark, Deutschland, Großbritannien, Norwegen, Österreich und der

Schweiz) und befasste sich in den Jahren 2013 bis 2016 mit der Entwicklung alternativer P-Managementstrategien.

Dabei bewertete es verschiedene alternative P-Düngemittel im Hinblick auf deren Ökobilanz. Weiterhin wurden alternative P-Düngemittel auf ihre Inhaltsstoffe, Wirksamkeit und mögliche Risiken untersucht. So wurde bei der Analyse von Fleisch- und Knochenmehl festgestellt, dass diese sich vor allem als wirksame Stickstoffdünger eignen. Dies ist sowohl auf die Pflanzenverfügbarkeit des Stickstoffs als auch auf den N-Gehalt von 15 % zurückzuführen. Auch der P-Gehalt des Fleisch- und Knochenmehls liegt mit 19 % in einem als Düngemittel geeigneten Bereich, wobei nur in der Fraktion des Fleischmehls der Phosphor pflanzenverfügbar vorlag. Der K-Gehalt war recht gering (0,05- 6,5 %), sodass das Fleisch- und Knochenmehl als Düngemittel für den Garten- und Zierpflanzenbau nicht geeignet ist.

Insgesamt kann laut der Untersuchung das Fleisch- und Knochenmehl eine Reihe biologischer Prinzipien erfüllen. So bewirkt es die Schließung der Nährstoffkreisläufe durch das Recycling tierischer Produkte, agiert relativ gut als Düngemittel für Kulturen mit hohem Stickstoffbedarf sehr gut und fördert außerdem die P-Verfügbarkeit im Boden. Außerdem wirkt es sich nicht negativ auf die Umwelt aus, sobald sichergestellt ist, dass das Fleisch- und Knochenmittel frei von Krankheitserregern und Schadstoffen sei (Friedel & Möller, 2015; Möller, 2015).

Außerdem wurde im Rahmen des IMPROVE-P Projekts Klärschlamm auf seine Eignung als Düngemittel im bL untersucht. Bei dieser Forschungsarbeit ging es hauptsächlich um die Bewertung einzelner Verfahren zur Aufschließung relevanter Pflanzennährstoffe, wie Stickstoff, Phosphor und Kalium. Das Ergebnis dieser Untersuchung betont, dass die Aufschließungsverfahren, auch im Hinblick auf deren Vereinbarung mit den Prinzipien des bL, weiterhin verbessert werden müssen. Generell bietet Klärschlamm eine gute P-Quelle und damit die Möglichkeit diesen wichtigen Nährstoff zu recyceln und somit Nährstoffkreisläufe zu schließen (Wollmann & Möller, 2015).

Als heute im bL zugelassene Möglichkeit Phosphor in den Boden einzutragen, steht den BioLandwirtInnen Kompost zur Verfügung. Dieses organische Düngemittel pflanzlicher Herkunft hat für den P-Gehalt im Boden die positivsten Eigenschaften. So gelten 35 % des im Kompost enthaltenen Phosphors als löslich und somit sofort pflanzenverfügbar. Weitere 20 % des Phosphors sind organisch gebunden. Außerdem werden mit Kompost der Humusaufbau im Boden, sowie die Mykorrhizierung stark gefördert (Lindenthal & Surböck, 2011).

Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen, welche mit den Zielen des bL vereinbar ist, ist die Applikation oder die Inokulation der Samen von Mikroorganismen, sogenannten Biofertilizern, welche in Verbindung mit den Pflanzen die Nährstoffverfügbarkeit erhöhen und somit die Nährstoffaufnahme verbessern. Dazu gehören

beispielsweise die Bakterien Azospirillium oder Streptomyces. Beide Bakterien können im Zusammenspiel mit organischem Dünger, wie beispielsweise Kompost oder Mist, die Nährstoffaufnahme von Phosphor und Kalium signifikant erhöhen (Ardakani et al., 2011). Allerdings besteht hier nach Evans & Jasen (2009), die solche Produkte in Australien testeten, bezüglich tatsächlichen zuverlässigen Ertragssteigerungen noch Forschungsbedarf.

2.6 Nährstoffbilanzen – Ein Überblick

Im Folgenden werden verschiedene Nährstoffbilanzen definiert und ihr Aufbau erklärt. Da die Hoftorbilanz für diese Arbeit besonders relevant ist, wird sie in einem eigenen Unterpunkt detailliert beschrieben. Ein weiterer Unterpunkt dieses Abschnitts bildet die Erläuterung der für die Nährstoffbilanzierung wichtigen Datengrundlagen und –aufnahmen.

Eine Nährstoffbilanz ist eine Gegenüberstellung der Nährstoffeinträge und –austräge innerhalb eines genau definierten Systems. Dabei ist das Ergebnis abhängig von der Bezugsebene und dem Bilanzierungszeitraum. Nährstoffbilanzen haben das Potential qualitative und quantitative Nährstoffflüsse in ein System hinein, aus einem System heraus und innerhalb des Systems darzustellen (Watson et al., 2002; Stein-Bachinger et al., 2004, 15-16).

Das Ziel eines biologischen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungssystems ist es, die innerbetrieblichen Nährstoffflüsse so zu managen, dass die Bilanz möglichst ausgeglichen ist.

Die Ergebnisse werden innerbetrieblich zur Bewertung des Betriebsmanagements, vor allem der Düngepraxis verwendet. Von außen wird der Betrieb mittels der Bilanzsalden auf seine Umweltverträglichkeit und seine Positionierung in der Agrar-Umwelt-Diskussion bewertet, während aus agrarpolitischer Sicht die Ergebnisse zur Bewertung der Umweltberichterstattung, sowie von förderpolitischen Maßnahmen und der administrativen Einflussnahme herangezogen werden (VDLUFA, 2007).

Nährstoffbilanzen werden in verschiedene Teilbilanzen gegliedert. Sie unterscheiden sich dabei hauptsächlich in der Bezugsebene (Stein-Bachinger et al., 2004, 18; VDLUFA, 2007). Das heißt, das Ziel, welches mit der Erstellung einer Nährstoffbilanz verfolgt wird, definiert, wo die Grenze des Systems gezogen wird. Mit der Definition der Bezugsebene entscheidet sich dann, welche Nährstoffeinträge und -austräge betrachtet werden (Watson et al., 2002).

Es wird unterschieden zwischen:

- Schlagbilanz
- Stallbilanz
- Hoftorbilanz

Die Schlagbilanz stellt die kleinste Bezugsebene dar und gibt die Nährstoffveränderungen pro Schlag eines Betriebes wieder. Es wird dabei zwischen der einfachen und der erweiterten

Schlagbilanz unterschieden. Die erweiterte Schlagbilanz inkludiert im Gegensatz zu der einfachen Schlagbilanz auch die Stickstoffströme, welche nicht messbar, schwer abschätzbar oder nicht veränderbar sind. Dabei handelt es sich um Immission, N_2-Fixierung, Mineralisation, Immobilisation, NH_3-Verluste, Denitrifikation, Auswaschung und Erosion (Stein-Bachinger et al., 2004, 22-26). Die leichter zu erfassenden Nährstoffeinträge, welche in beiden Schlagbilanzen aufgenommen werden, sind Düngemittel und der Zukauf von Saat- und Pflanzgut. Bei den Nährstoffausträgen handelt es sich um die Abfuhr der Ernteprodukte.

Da die Datengrundlagen, beispielsweise die zu erwartenden Erträge, Schätzung der N_2-Fixierung, sowie die Menge der ausgebrachten organischen Dünger, oft nur geschätzt werden können, sind die Ergebnisse schwierig mit den Ergebnisses anderer Betriebe zu vergleichen (Kolbe & Köhler, 2008). Dennoch ist diese Bilanz für die genaue Aufschlüsselung der Nährstoffflüsse pro Schlag bedeutend und kann daher wichtige Erkenntnisse über das Dünge- und Fruchtfolgemanagement liefern (Stein-Bachinger et al., 2004, 22).

Bei der Interpretation der Schlagsalden muss bezüglich des Kaliums beachtet werden, dass die Bodenart für die Verfügbarkeit des Nährstoffs von hoher Bedeutung ist. Daher sind die Ergebnisse der Nährstoffbilanzen unterschiedlich zu evaluieren. Beispielsweise sind K-Salden von Schlagbilanzen auf Sandböden zwischen 0 und 30 kg K ha^{-1} a^{-1} akzeptabel. Auf mittleren und schweren Böden sind dagegen Ergebnisse bis zu -40 kg K ha^{-1} a^{-1} ausreichend, um eine adäquate Pflanzenernährung durch den Boden sicherzustellen (Kolbe et al., 2006)

Die Stallbilanz identifiziert die Effizienz der Nährstoffverwertung im Tierhaltungsbereich, sowie die anfallende Menge an Wirtschaftsdünger. Da sie für diese Arbeit nicht relevant ist, wird sie an dieser Stelle erwähnt, aber nicht weiter vertieft.

2.6.1 Die Hoftorbilanz

Die Hoftorbilanz stellt eine Gegenüberstellung der über das Hoftor zugeführten Nährstoffmengen der zugekauften Produkte und der abgeführten Nährstoffmengen der Verkaufsprodukte dar. Dazu werden die Betriebszukäufe mit den betrieblichen Verkäufen verglichen (Stein-Bachinger et al., 2004, 19).

Insgesamt betrachtet die Hoftorbilanz den größten Bezugsrahmen, nämlich den gesamtheitlichen landwirtschaftlichen Betrieb. Sie bietet dabei eine hohe Datenqualität, da die aufgenommenen Nährstoffflüsse (Zu- und Verkäufe) durch Belege nachweisbar sind. Daher eignet sich diese Bilanz für den Vergleich mit anderen Betrieben, sowie für die Beurteilung des Betriebes von außen (Kolbe & Köhler, 2008). Die Hoftorbilanz wird nur aussagekräftig, wenn die Nährstoffflüsse über einen Zeitraum von mehreren Jahren betrachtet werden, um Ungenauigkeiten einzelner Jahre auszugleichen. Mittels der Hoftorbilanz sind weder Nährstoffungleichgewichte,

die sich auf einzelne Flächen beziehen, zu erkennen, noch sind innerbetriebliche Verlustquellen identifizierbar (Stein-Bachinger et al., 2004, 19). Sie bietet dafür einen gesamtbetrieblichen Überblick über die Ausgeglichenheit von Nährstoffhaushalten mit möglichen Nährstoffdefiziten oder –überschüssen, welche durch das Bewirtschaftungsmanagement entstehen können. Mit der Interpretation der Ergebnisse kann also ermittelt werden, ob der Betrieb in der Lage ist gesamtheitlich gesehen eine ausgewogene Nährstoffversorgung der Böden und Pflanzen zu sichern (Freyer & Pericin, 1996a; Lindenthal, 2000).

Die vereinfachte Hoftorbilanz lässt den Stickstoffeintrag in das Betriebssystem, welcher durch die N_2-Fixierung der Leguminosen in die innerbetrieblichen Nährstoffflüsse gelangt, außen vor. Diese Flüsse werden nur in der erweiterten Hoftorbilanz berücksichtigt. Da der Stickstoffkreislauf für die Hoftorbilanzen innerhalb dieser Arbeit nicht relevant ist, wird im Folgenden nicht mehr zwischen der vereinfachten und der erweiterten Hoftorbilanz unterschieden.

Die Hoftorbilanz ist wie in Tabelle 4 dargestellt aufgebaut. Dabei bezieht sich diese auf reine Marktfruchtbetriebe und lässt daher die Zukäufe von Vieh und die Verkäufe von tierischen Produkten und Wirtschaftsdüngern außer Acht. Somit wird dargestellt wie die Hoftorbilanzierung in dieser Arbeit durchgeführt wird.

Tabelle 4. Aufbau einer Hoftorbilanz für reine Marktfruchtbetriebe, nach KTBL (2015)

<table>
<tr><th>Nährstoffzufuhr</th><th rowspan="4">-</th><th>Nährstoffabfuhr</th><th rowspan="4">=</th><th rowspan="4">Nährstoffsaldo (Überschuss oder Defizit)</th></tr>
<tr><td>Zukauf von organischen Düngemitteln</td><td>Verkauf pflanzlicher Produkte</td></tr>
<tr><td>Zukauf von mineralischen Düngemitteln</td><td>Verkauf sonstiger Produkte</td></tr>
<tr><td>Zukauf von Saat- und Pflanzgut</td><td>Abgleich Bestand (Dünger, Marktprodukte)</td></tr>
</table>

Eine ausgeglichene Hoftorbilanz liegt dann vor, wenn die Nährstoffverluste in die Umwelt und die Nährstofffestsetzungen im Boden ungefähr gleich den Nährstoffeinträgen aus der Umwelt und den Nährstofffreisetzungen aus dem Boden sind. Ein negativer Saldo gibt Hinweise darauf, dass der Betrieb der Umwelt und dem Boden mehr Nährstoffe entzogen als freigesetzt hat, während eine positive Bilanz eine Nährstofffestsetzung im Boden oder eine Nährstofffreisetzung in die Umwelt indiziert. Ein positiver Saldo bedeutet also nicht automatisch eine Umweltbelastung, sondern muss im Rahmen der standortspezifischen Bedingungen interpretiert werden. Genauso ist auch eine ausgeglichene Bilanz kein Beweis für eine optimale Nährstoffeffizienz von 100 %. Vielmehr zeigt eine ausgeglichene Nährstoffbilanz, dass die Voraussetzungen für eine optimale Ausnutzung der Nährstoffe auf einem Betrieb gegeben sind. Weitere genauere und schlagbezogene Analysen sind daraufhin nötig, um die Ergebnisse der Hoftorbilanz zu untermauern und bestätigen zu können, dass auch auf dem Feld eine optimale Nährstoffausnutzung gegeben ist (Freyer & Pericin, 1996a).

In Bezug auf die beiden Nährstoffe Phosphor und Kalium gilt, dass Hoftorbilanzen hinsichtlich der P-Kreisläufe zuverlässige Hinweise auf die Erhaltung der Nährstoffvorräte im Boden liefern können. Kaliumbilanzen sind dagegen schwieriger zu interpretieren. Dies hängt mit den standardisierten Tabellenwerten zusammen, die die K-Gehalte von Düngern und Pflanzen angeben. Aufgrund der stark schwankenden K-Gehalte von Pflanzen und Düngemitteln sind die Werte der Tabellen unter Umständen recht ungenau (Freyer & Pericin, 1996a; Mäder et al., 2008). Dennoch sind die Ergebnisse der Hoftorbilanzen für Phosphor als sehr gut und für Kalium als gut einzustufen (Freyer & Pericin, 1996b).

2.6.2 Datengrundlage und Datenaufnahme

Für eine aussagekräftige und vergleichbare Nährstoffbilanzierung ist die Ermittlung von möglichst exakten Daten von hoher Bedeutung. Sowohl bei der Aufnahme als auch bei der Auswertung der Nährstoffbilanzsalden ist daher zu beachten, woher die angewendeten Daten stammen und wie zuverlässig, bzw. exakt diese einzuschätzen sind. Hierbei können die Daten in unterschiedliche Kategorien bzw. Qualitätsstufen eingeteilt werden (Tabelle 5) (Kolbe & Köhler, 2008).

Tabelle 5. Qualität der Datengrundlage, nach Kolbe & Köhler (2008)

Kategorie	**Beschreibung**
Belegt	Kauf- und Verkaufsbelege
Berechnet	Nachvollziehbare Berechnungsverfahren
Aufgezeichnet	Datenerfassung des Landwirts
Geschätzt	Abschätzung aufgrund von Erfahrungswerten
Pauschal	Pauschalbeträge

Das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) in Deutschland stellt standardisierte Tabellen, die Nährstoffgehalte von relevanten landwirtschaftlichen Kulturen enthalten, welche speziell für den bL gültig sind, bereit. Die Werte beruhen auf einer umfangreichen Literaturauswertung von Forschungsergebnissen im bL in Deutschland, die durch wissenschaftliche Feldversuche ermittelt wurden. Weiterhin flossen verschiedene Betriebserhebungen sowie Expertenwissen in die Erstellung der Richtwerte ein (Stein-Bachinger et al., 2004, 13-14; KTBL, 2015, 115-135).

Für alle anderen Kulturen, welche noch nicht in die Tabellen von KTBL aufgenommen wurden, müssen die aus der konventionellen Landwirtschaft gültigen Werte für die Hoftorbilanzierung verwendet werden. Insgesamt ist die Nährstoffmenge, welche einen Betrieb in Form von Ernteprodukten verlässt, mittels der Erntemengen und Nährstoffgehalte zu berechnen (Stein-Bachinger et al., 2004, 14).

2.6.3 Phosphor- und Kalium- Hoftorbilanzen in der Literatur

In den vergangenen Jahren wurden eine Vielzahl unterschiedlicher Studien und Untersuchungen zum Thema Hoftorbilanzen auf Bio-Betrieben durchgeführt. Um eine Grundlage für den Vergleich mit Ergebnissen aus der Literatur, der im Rahmen der Diskussion anhand der Arbeitshypothesen durchgeführt werden soll, zu schaffen, werden in diesem Abschnitt einige Ergebnisse unterschiedlicher Autoren vorgestellt.

Im Durchschnitt bewegten sich die Ergebnisse von P-Hoftorbilanzen auf Bio-Betrieben in Westeuropa zwischen -15 und +10 kg P ha^{-1} pro Jahr (Möller & Friedel, 2016, 471).

Bei der Erstellung von P-Hoftorbilanzen auf Bio-Modellbetrieben unterschiedlicher Betriebsformen in Österreich stellten Friedel et al. (2014) fest, dass auf Marktfruchtbetrieben die negativsten Bilanzergebnisse auftraten. Diese variierten je nach Hauptproduktionsgebiet zwischen -3,7 und -11,4 kg P ha^{-1} a^{-1}. Laut den Autoren sind daher Bio-Marktfruchtbetriebe besonders vor einer Verarmung der P-Vorräte in den Böden gefährdet.

Lindenthal (2000) berechnete in seiner Arbeit P-Hoftorbilanzen von sieben Bio-Marktfruchtbetrieben in Österreich und erhielt dabei Salden von -6,5 bis +2,4 kg P ha^{-1} a^{-1}. Aufgrund der hohen P-Bodenvorräte muss nach seiner Aussage nur sehr langfristig mit einer Bodenverarmung gerechnet werden. In einer anderen Arbeit bewegt sich die Spannbreite der P-Salden zwischen -3 bis -10 kg P h^{-1} a^{-1}. Auf Marktfruchtbetrieben mit einem hohen Feldgemüseanteil fallen die Salden auf bis zu -15 kg P h^{-1} a^{-1} ab (Lindenthal & Surböck, 2011).

Kolbe (2015) stellte in einer neueren Untersuchung fest, dass in Deutschland die P-Bilanz auf Bio-Ackerflächen im Mittel -5 kg P ha^{-1} a^{-1} betrug. Die Spannweite bewegte sich dabei zwischen -16 kg und +26 kg P ha^{-1} a^{-1}. In derselben Arbeit wurden K-Bilanzen mit Spannweiten von -84 kg bis +134 kg K ha^{-1} a^{-1} festgestellt, die einen Mittelwert von -14 kg K ha^{-1} a^{-1} aufzeigten. Weiterhin wurden Schlagbilanzen von Bio-Betrieben in Sachsen erstellt. Bei der Differenzierung in unterschiedliche Produktionsschwerpunkte waren im Bereich des Marktfruchtanbaus sowohl die K- als auch die P-Bilanzen im Durchschnitt die negativsten. Die Werte betrugen -9 kg P ha^{-1} a^{-1} und -39 kg K ha^{-1} a^{-1} und damit weniger als im Feldgemüsebau (-7 kg P ha^{-1} a^{-1}; -25 kg K ha^{-1} a^{-1}) und Futterbau (-6 kg P ha^{-1} a^{-1}; -35 kg K ha^{-1} a^{-1}).

Gruber & Thamm (2005) stellten bei der Auswertung eines Langzeitversuchs auf einer Ackerfläche mi sechsgliedriger Fruchtfolge in Mecklenburg-Vorpommern sinkende P- und K-Gehalte im Boden in Korrelation mit negativen Bilanzsalden fest. Auch auf einem Versuchsstandort in Nordrhein-Westfalen wurden bei Phosphor leicht negative Salden (-5 kg ha^{-1} a^{-1}) und bei Kalium bedenklich negative Salden (-166 kg ha^{-1} a^{-1}) festgestellt. Ebenso auf diesem Standort besteht also die Gefahr der Bodenverarmung (Reeb, 2004).

Dagegen wurden bei der Erstellung von P-Hoftorbilanzen auf Dauergrünlandflächen im Steirischen Ennstal und Steirischen Salzkammergut ausgeglichene und positive Salden festgestellt, während die P-Gehalte im Boden und in den Ernteprodukten eher gering waren. Somit verdeutlichen die Ergebnisse dieser Untersuchung die Problematik der Mobilisierung von Phosphor, welche daher in jedem Betriebsmanagement gefördert werden sollte (Weißensteiner et al., 2014).

Bei einer Untersuchung auf einem kleinen Milchviehbetrieb in Norwegen wurden P-Rückgänge im Boden festgestellt. Eine Korrelation mit sinkenden Erträgen gab es nicht. Weiterhin wurde der P-Gehalt der mehrjährigen Futterpflanzen untersucht. Nach einer steigenden P-Düngergabe stieg der P-Gehalt der Pflanzen an, wohingegen der P-Gehalt im Boden nicht angehoben werden konnte. Auch am Ende dieser Untersuchung wird an eine Schließung der P-Lücke mit lokal zu erhaltenden organischen P-Düngemitteln (wie Pferdemist oder Kompost) appelliert (Loes & Ebbesvik, 2017).

Roberts et al. (2008) stellten bei ihren Untersuchungen auf Bio-Milchviehbetrieben in Kanada fest, dass vor allem die Betriebe, welche kaum Futtermittel importierten, defizitäre P-Bilanzen und nur leicht positive K-Bilanzen aufwiesen, während auf anderen Betriebe mit größeren Futtermittelimporten positive Bilanzen berechnet wurden. Diese Ergebnisse indizieren ein weiteres Mal die Problematik der Bio-Marktfruchtbetriebe, welche keine Futtermittel zukaufen und daher diese ihnen fehlenden Nährstoffeinträge durch innerbetriebliches effizientes Nährstoffmanagement ausgleichen müssen. Die Nährstoffeffizienz aller untersuchten Betriebe, welche bei dieser Untersuchung das Verhältnis aller exportierten Nährstoffe zu allen importierten Nährstoffen für jeweils Phosphor und Kalium ausdrückt, belief sich nach Roberts et al. (2008) bei Phosphor auf 84 % und bei Kalium auf 38 %.

Berry et al. (2003) ermittelten ähnliche Ergebnisse. Sie untersuchten unterschiedliche Betriebsformen in Großbritannien und ermittelten auf Betrieben, die keine Futtermittel zukauften, P-Defizite. Auch die K-Bilanzsalden waren nur dann positiv, wenn Wirtschaftsdünger oder eine ausreichende Menge an Futtermitteln zugekauft wurden. Ähnliche Ergebnisse lieferten Untersuchungen in Frankreich von Foissy et al. (2013). Betriebe ohne Tierhaltung waren demnach in höchstem Maße von tierhaltenden Betrieben abhängig. Weiterhin waren die Hoftorsalden von der jeweiligen Region abhängig. Das heißt, wenn die Region neben Marktfruchtbetrieben ebenso über tierhaltende Betriebe, die hochwertigen Wirtschaftsdünger verkauften, verfügten, dann waren die Bilanzen der viehlosen Bio-Betriebe ausgeglichener als in Regionen ohne solche Betriebe. Auch Nesme et al. (2012) stellten fest, dass die Ergebnisse von Hoftorbilanzen nicht nur von der Betriebsform, sondern vielmehr sowohl von der Region, in der die Bio-Betriebe liegen, als auch von der Managementstrategie abhängig waren.

Untersuchungen in Deutschland lieferten Ergebnisse der Nährstoffeffizienz von 164 % bei Phosphor und von 91 % bei Kalium auf Bio-Milchviehbetrieben. Die P-Nährstoffeffizienz zeigte auf, dass die Menge des exportierten Phosphors bedeutend größer war als die des importierten Phosphors. Auch zeigten die Untersuchungen, dass die Phosphoreinträge hauptsächlich vom Futterzukauf und die Kaliumeinträge in größtem Maße vom Strohzukauf abhängig waren (Haas et al., 2007).

Watson et al. (2002) verglichen unterschiedliche Untersuchungen verschiedener Autoren in Europa, Kanada und Neuseeland hinsichtlich der Nährstoffeffizienz und Hoftorbilanzen. Hierbei wiesen die P- und K-Bilanzen sowohl positive als auch negative Ergebnisse auf. Die größte Nährstoffeffizienz, welche in dieser Untersuchung mittels der Division der Nährstoffe der verkauften Produkte durch die zugekauften Nährstoffe dargestellt wurde, wurde in Betrieben mit sehr geringen Nährstoffimporten festgestellt. Watson et al. (2002) rieten zu einer besseren Nährstoffeffizienz in Bio-Betrieben, welche vor allem durch ein optimiertes Nährstoffmanagement erreicht werden könne, um so die Nachhaltigkeit der Bewirtschaftungsform zu steigern.

Nach der Übersicht über den Stand der Literatur folgen Ziele und Hypothesen dieser Arbeit, die auf dem Literaturüberblick aufbauen.

3 Ziele und Hypothesen

Ziele dieser Arbeit sind, für biologisch bewirtschaftete Marktfruchtbetriebe anhand der Hoftorbilanzierung Nährstoffdefizite und –überschüsse der beiden Pflanzenhauptnährstoffe Phosphor und Kalium zu identifizieren. Die Ergebnisse sollen den Vergleich unterschiedlicher österreichischer Bio-Marktfruchtbetriebe und deren spezifischer Betriebsmanagementstrategien ermöglichen. Damit soll das Betriebsmanagement im Hinblick auf die Nährstoffversorgung der Böden und Pflanzen, sowie auf die Nachhaltigkeit des gesamten Systems beurteilt werden können. Weiterhin sollen anhand der Hoftorbilanzsalden Aussagen über die langfristige Entwicklung des Bodenversorgungszustands biologisch wirtschaftender Marktfruchtbetriebe getroffen werden. Die Identifizierung der einzelnen Nährstoffflüsse kann außerdem mögliche Abhängigkeiten der Betriebe von anderen beispielsweise viehhaltenden Betrieben verdeutlichen und damit eine Beurteilung der Geschlossenheit der Nährstoffkreisläufe ermöglichen.

Um das Betriebsmanagement und dessen Bewirtschaftungsstrategien beurteilen, sowie Aussagen über die Nachhaltigkeit des Betriebes treffen zu können, wurden Arbeitshypothesen entwickelt. Diese stellen die Grundlage der empirischen Untersuchung dar und sollen schlussendlich anhand der Interpretation der Ergebnisse innerhalb der Diskussion bestätigt oder falsifiziert werden können.

(1) Wenn Marktfruchtbetriebe biologisch wirtschaften, dann tendieren die Hoftorbilanzen zu negativen Salden.
(2) Je geringer der Düngemittelimport eines Bio-Marktfruchtbetriebs ist, desto höher ist das Bodenverarmungsrisiko.
(3) Je ausgeglichener die Nährstoffbilanz eines Bio-Marktfruchtbetriebs ist, desto größer ist seine Abhängigkeit von viehhaltenden Betrieben.
(4) Je geschlossener die Nährstoffkreisläufe eines Bio-Marktfruchtbetriebs sind, desto besser ist die Nährstoffeffizienz.
(5) Hauptproduktionsgebiete mit unterschiedlichen Betriebsformen fördern weniger negative Hoftorbilanzsalden als einseitig aufgestellte Hauptproduktionsgebiete.

4 Material und Methoden

4.1 Auswahl der Bio-Marktfruchtbetriebe

Die Auswahl der Bio-Marktfruchtbetriebe erfolgte auf Grundlage der Bedeutung des Marktfruchtbaus in den einzelnen Hauptproduktionsgebieten Österreichs. Es wurden Betriebe aus denjenigen Hauptproduktionsgebieten, in denen der Marktfruchtbau eine vorherrschende Betriebsform darstellt, ausgewählt. Dabei wurden den einzelnen HPG Kürzel zugeordnet, die in der weiteren Untersuchung, verwendet werden. Die für diese Arbeit relevanten Produktionsschwerpunkte sind Tabelle 6 zu entnehmen und auf die Daten von Tabelle 1 zurückzuführen.

Tabelle 6. Für den Marktfruchtbau bedeutende Hauptproduktionsgebiete in Österreich und dazugehörige Produktionsschwerpunkte.

HPG- Kürzel	HPG	Vorherrschende Kulturen
1	Wald- und Mühlviertel	Getreide, Luzerne, Hülsenfrüchte, Kartoffel
2	Kärntner Becken	Körnermais, Getreide, Sojabohne, Kleegras
3	Alpenvorland	Getreide, Körnermais, Sojabohne
4	SÖ Flach- und Hügelland	Körnermais, Getreide, Ölkürbis, Sojabohne
5a	NÖ Flach- und Hügelland, Marchfeld	Getreide, Feldgemüse, Zuckerrübe, Körnermais
5b	NÖ Flach- und Hügelland, Weinviertel	Getreide, Körnermais, Zuckerrübe

HPG= Hauptproduktionsgebiet, SÖ = Südöstlich, NÖ = Nordöstlich

Die ausgewählten 15 Bio-Marktfruchtbetriebe (Tabelle 7) repräsentieren die in der Region vorherrschenden Kulturen und sind seit mindestens fünf Jahren biologisch zertifiziert. Betrieb 5 bildet eine Ausnahme, da dieser im Jahr 2013 um fünf Hektar konventioneller Flächen erweitert wurde. Diese Flächen wurden daher erst ab 2014 biologisch bewirtschaftet. Pro Region wurden zwei bis vier Betriebe ausgewählt und mit Hilfe der auf der Homepage vom BMLFUW

zur Verfügung gestellten Tabellen ihren jeweiligen Hauptproduktionsgebieten zugeordnet (BMLFUW, 2016c).

Tabelle 7. Betriebsübersicht der ausgewählten Bio-Marktfruchtbetriebe.

Betrieb	HPG	Bio-zertifi-ziert seit	LNF (ha)	Acker-fläche (ha)	Einjährige Hauptkulturen entsprechend den Produktionsschwerpunkten
1	1	1996	31	13,5	Getreide, Ackerbohne, Luzernekleegras (überjährig)
2	1	1991	27	27	Getreide, Kartoffeln, Ackerbohnen, Kleegras (überjährig)
3	2	2003	300	300	Körnermais, Getreide, Soja
4	2	1994	60	60	Körnermais, Getreide, Soja
5	3	2003	21	21	Getreide, Ackerbohne, Körnermais, Sonnenblume
6	3	2001	50	50	Getreide, Soja, Körnermais
7	4	2009	80	80	Getreide, Ölkürbis, Acker- und Sojabohne, Körnermais
8	4	2007	8	8	Getreide, Ölkürbis, Ackerbohne
9	5	2001	48	48	Getreide, Zuckerrübe, Grünerbsen, Speisekürbis
10	5a	2003	37	37	Karotten, Spinat, Körnermais, Winterweizen, Erbsen, Zwiebeln
11	5a	2008	121	121	Getreide, Zuckerrübe, Körnermais
12	5a	2006	43	43	Getreide, Zuckerrübe, Körnermais, Erbsen
13	5b	2009	74	74	Getreide, Körnermais
14	5b	1991	118	118	Getreide, Körnermais, Nischenkulturen
15	5b	2008	65	61	Getreide, Körnermais, Zuckerrübe

Leg. = Leguminosen, HPG= Hauptproduktionsgebiet, LNF= Landwirtschaftliche Nutzfläche

4.2 Hoftorbilanz

4.2.1 Datenerhebung und Datengrundlage

Die Datenerfassung erfolgte anhand von Interviews mit den LandwirtInnen, welche die ausgewählten Bio-Marktfruchtbetriebe bewirtschaften. Für diesen Zweck wurde ein Fragebogen erarbeitet, der betriebscharakterisierende Angaben, wie klimatische, standortspezifische, und kulturbezogene Daten, sowie für die Hoftorbilanzierung relevante Daten abfragt. Diese wurden von Januar bis März 2017 durchgeführt. Dabei war das Ziel, möglichst genaue, belegte, quantitative Werte von den LandwirtInnen zu erhalten. Weiterhin wurden im Rahmen des Fragebogens qualitative Fragen zu den spezifischen Düngemanagementstrategien gestellt. Diese sollten in der Diskussion Rückschlüsse auf die Ergebnisse ermöglichen, sowie spezielle Hintergründe für die Interpretation der Ergebnisse liefern.

Die Hoftorbilanz, welche sich auf die landwirtschaftliche Nutzfläche bezieht, erfasst in dieser Arbeit Daten der letzten fünf Jahre, das heißt den Zeitraum 2011-2015 oder 2012-2016. Dabei

wurden die Saatgutmengen, welche für das erste analysierte Jahr schon im vorherigen Jahr zugekauft wurden, ebenso in die Berechnung einbezogen. Die Hoftorbilanzierung über fünf Jahre ermöglichte es, mögliche Ungenauigkeiten, welche in einzelnen Jahr auftreten konnten, auszugleichen und somit genauere Ergebnisse zu liefern. Kamen während der fünf Jahre Flächen hinzu oder verringerte sich die landwirtschaftliche Fläche, so wurde dies in der Berechnung der Werte, welche sich auf einen Hektar beziehen, berücksichtigt und dementsprechend berechnet.

Als Datengrundlage für die P- und K-Gehalte von allen Nährstoffeinträgen und -austrägen wurden die standardisierten Tabellenwerte von KTBL (2015, 127-132, siehe Anhang) verwendet und in der Bilanz als Nährstoffzufuhr und Nährstoffabfuhr gegenübergestellt. Für Kulturen, welche nicht in den KTBL-Tabellen angegeben waren (Hanf, Kümmel, Anis, Holunder, Bockshornklee, Einkorn, Hirse, Fenchelsamen, Ölkürbis, Topinambur, Walnüsse, Kresse), lagen andere Quellen als Datengrundlage vor (Kerschberger et al., 2001; Biertümpfel et al., 2006; Mielke & Schöber-Butin, 2007; Etz & Stangl, 2008; Flisch et al., 2009; Mayer, 2012a; Mayer, 2012b LFL Bayern, 2013; Lembacher & Brandstetter, 2015).

Für Nischenkulturen, wie Mariendistel und Flohsamen, lagen beim Abschluss dieser Arbeit keine genauen Angaben zu Nährstoffentzügen vor. Daher wurden Mittelwerte aus Untersuchungen berechnet, aus denen sich die Nährstoffentzüge schließen ließen (Gann, 2006; Qavami et al., 2013; Raissi et al., 2013). Beim Zukauf von Saatgut wurden immer die Werte der Reinkulturen verwendet. Beim Verkauf von Gemengen wurde jeweils der Mittelwert der im Gemenge enthaltenen Kulturen errechnet, soweit diese als Hauptkulturen angebaut wurden. Die Zusammensetzung der Saatgutmischungen wurde von den Angaben der Saatgutunternehmen übernommen. Bei Kulturen, die mit der Einheit Packung zugekauft werden, wurden die Kilogrammangaben mit Hilfe des TKG von den Landwirten geschätzt oder aus den Angaben von KTBL (2015) oder der Internetquelle Proplanta (Proplanta, 2016) hergeleitet. Das Gewicht der Speedy-Knollenselleriesetzlinge (im Mittelwert 13,5 g) wurde von einem Pflanzenanzuchtunternehmen bestimmt.

Die Nährstoffgehalte der verschiedenen Handelsdüngemittel wurden von den Herstellerangaben abgeleitet, während die Angaben der Nährstoffgehalte der Biogasgülle auf eine Infobroschüre für BeraterInnen zurückgehen (Möller et al., 2009). Die Erträge der Leguminosen-Gras-Gemenge, welche in Form von Silageballen oder Heu den Hof verließen, beziehen sich entweder auf die Schätzung der LandwirtInnen oder, falls diese dazu keine Angaben machen konnten, auf Angaben von KTBL (2015, S. 232, 248). Die Nährstoffe wurden in ihren Reinformen in kg pro t FM angegeben. Die Differenz von Nährstoffzufuhr zu Nährstoffabfuhr stellt das Ergebnis der Hoftorbilanz, den Saldo, dar.

Für diese Arbeit wurden keine eigenen Bodenproben genommen und analysiert. Vielmehr wurden die Bodenuntersuchungsergebnisse zur Interpretation der Hoftorsalden herangezogen, welche einige Betriebe in den vergangenen fünf Jahren selbst durchgeführt hatten. Wenn Ergebnisse von vielen Schlägen vorlagen, wurden die Ergebnisse der drei größten Schläge für diese Arbeit herangezogen. Auf denselben sollen dann in einer nachfolgenden Arbeit eigene Bodenproben genommen und analysiert werden, um die Hoftorbilanzsalden mit den Ergebnissen der Bodenproben vergleichen zu können.

4.2.2 Datenauswertung

Die Hoftorbilanzen wurden mit Excel erstellt und berechnet.

Um die Vergleichbarkeit der Betriebe zu ermöglichen, wurden die Mittelwerte der Nährstoffzufuhr, Nährstoffabfuhr sowie der Salden von den erfassten fünf Jahren berechnet und daraufhin einander gegenübergestellt. Dabei wurde die Nährstoffzufuhr in mineralische Dünger, organische Dünger tierischer Herkunft, organische Dünger pflanzlicher Herkunft, organische Handelsdünger und Saatgut unterteilt. Diese Unterteilung machte sowohl die Aufschlüsselung der importierten Nährstoffe, als auch das Treffen von Aussagen über die mögliche Abhängigkeit zu viehhaltenden Betrieben möglich. Außerdem wurde in der Datenauswertung der Vergleich der unterschiedlichen HPG in Bezug auf die differenzierte Nährstoffzufuhr möglich, um regionale Unterschiede erkennen zu können. Weiterhin flossen hier die Ergebnisse vorhandener Bodenuntersuchungen in die Beurteilung ein.

Die Interpretation der Hoftorbilanzsalden, welche in der Diskussion durchgeführt wurde, orientierte sich an Freyer & Pericin (1996b), die die Hoftorbilanzsalden in fünf unterschiedliche Kategorien einteilten und diesen konkrete Werte zuordneten (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8. Interpretation von P- und K-Hoftorbilanzsalden, nach Freyer & Pericin (1996b)

Einstufung der P-Salden	**kg P ha^{-1} a^{-1}**	**Einstufung der K-Salden**	**kg K ha^{-1} a^{-1}**
Stark defizitär	< -13	Stark defizitär	< -42
Schwach defizitär	-13 bis -4,5	Schwach defizitär	-17 bis -42
Ausgeglichen	+/- 4,5	Ausgeglichen	+/- 17
Schwach überschüssig	+4,5 bis +13	Schwach überschüssig	+17 bis +42
Stark überschüssig	> +13	Stark überschüssig	> 42

Soweit diese verfügbar waren, erfolgte die Datenauswertung der Bilanzsalden außerdem in Verbindung mit Ergebnissen von Bodenuntersuchungen der analysierten Betriebe. Der Vergleich zwischen Bilanzsalden und Bodenuntersuchungsergebnissen sollte Hinweise auf einen

Zusammenhang zwischen Bodengehalten und Bilanzsalden geben und weiterhin die Einschätzung des Bodenverarmungsrisikos bewertbar machen.

Die Geschlossenheit der Nährstoffkreisläufe wurde anhand der importierten Nährstoffe durch Saatgut und zugekaufte Düngemittel im Vergleich zu den exportierten Nährstoffen bewertet. So galten Nährstoffkreisläufe, welche vor allem Nährstoffe durch zugekaufte Düngemittel importierten, als offen. Weiterhin wurden Nährstoffkreisläufe als offen bewertet, wenn die Hoftorbilanzsalden defizitär oder weit positiv waren und daher auf dem Betrieb von Nährstoffverlusten ausgegangen werden konnte.

Im Zusammenhang mit den Ergebnissen der vorliegenden Bodenuntersuchungen wurden Abhängigkeiten zwischen mittleren Bodengehalten der CAL-Methoden und Nährstoffabfuhren, sowie zwischen mittleren Bodengehalten der CAL-Methoden und Jahren biologischer Bewirtschaftung im Rahmen einer Regressionsanalyse mit Excel bestimmt. Weiterhin wurden die Hoftorbilanzsalden auf ihren Zusammenhang mit der Zufuhr von Düngemitteln tierischer Herkunft, sowie mit der Nährstoffeffizienz getestet. Das Bestimmtheitsmaß wurde herangezogen, um die Abhängigkeit dieser Variablen voneinander bestimmen und somit mögliche Zusammenhänge zwischen den Variablen statistisch belegen zu können. Dabei wurde die Nullhypothese „Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den geprüften Variablen, das heißt, der Regressionskoeffizient ist gleich 0“ abgelehnt, wenn der Prüfwert F (F_{err}) größer als der kritische F-Wert bei einem Signifikanzniveau von 5 % war. Bei der Überprüfung des signifikanten Zusammenhangs zu der überprüften Variable wurde die Nullhypothese „Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der abhängigen und der unabhängigen Variablen“ mittels des P-Werts validiert. Sie wurde abgelehnt, wenn der P-Wert kleiner als das Signifikanzniveau von 5 % war.

Die Nährstoffeffizienz gibt das Verhältnis der Nährstoffausträge zu den Nährstoffeinträgen an. Sie wurde in dieser Arbeit in Anlehnung an Roberts et al. (2008) wie folgt berechnet:

100 x (Nährstoffexport Total/Nährstoffimport Total) = Nährstoffeffizienz [%]

Eine Nährstoffeffizienz von 100 % bedeutet eine optimale Ausnutzung der Nährstoffe innerhalb eines Betriebs und somit das beste Ergebnis. Eine Nährstoffeffizienz, welche größer als 100 % ist, bedeutet, dass die Nährstoffexporte höher als die Nährstoffimporte sind und somit diese offenen Nährstoffkreisläufe einen Nährstoffverlust bedeuten. Bei einer Nährstoffeffizienz von weniger als 100 % sind die Nährstoffimporte höher als die Nährstoffexporte. Auch hier liegen offene Nährstoffkreisläufe vor, die eine nicht optimale Ausnutzung der Nährstoffe indizieren.

Die Abhängigkeit zu anderen Betrieben wurde bewertet, indem der prozentuale Anteil der zugekauften Nährstoffe aus ebendiesen Betrieben berechnet und dann ins Verhältnis zu allen importierten Nährstoffen gesetzt wurde.

Die mögliche Abhängigkeit der Bilanzergebnisse von den vorherrschenden Kulturen, sowie der Diversität der Betriebsformen eines HPG, wurde durch den Vergleich der mittleren Salden zwischen den HPG analysiert. Die Diversität der Betriebsformen innerhalb eines HPG beruhte auf den Daten der Gemeindedatenbank (BMLFUW, 2016a).

Alle untersuchten Parameter, nämlich Bilanzsalden, Geschlossenheit der Nährstoffkreisläufe, Abhängigkeit, sowie Nährstoffeffizienz gaben Hinweise auf die Nachhaltigkeit des Betriebsmanagements und die möglichen Umweltauswirkungen des jeweiligen Betriebs. Weiterhin waren diese Parameter Bestandteile der Arbeitshypothesen und somit für die Bewertung ebendieser im Rahmen der Diskussion notwendig.

5 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Hoftorbilanzierung ausgeführt, zunächst die P-Bilanzen und anschließend die K-Bilanzen. Die Salden und Zusammenfassungen der Nährstoffeinträge und Nährstoffausträge sind für die einzelnen Hauptproduktionsgebiete jeweils in denselben Tabellen zusammengefasst, um die Ergebnisse pro Betrieb auf einen Blick vergleichen zu können. Die übrigen Grafiken stellen die Ergebnisse der Phosphor- und Kaliumbilanzen getrennt dar, um die Übersichtlichkeit zu wahren. Alle Hoftorbilanzen sind detailliert im Anhang dargestellt.

Außerdem werden spezielle Nährstoffentzüge einzelner Kulturen, die besonders die Ergebnisse der Hoftorbilanzen beeinflusst haben, tabellarisch dargestellt und erläutert. Weiterhin werden die Ergebnisse der Regressionsanalyse, die die Bewertung der Arbeitshypothesen statistisch untermauern soll, kurz präsentiert. Eine Interpretation und Auswertung der Ergebnisse erfolgt dann anhand der Arbeitshypothesen in der Diskussion. Das Kapitel wird mit der Präsentation von Bodenuntersuchungsergebnissen, welche auf einigen Betrieben in den vergangenen fünf Jahren durchgeführt werden, fortgesetzt und mit den Ergebnissen der qualitativen Fragen an die LandwirtInnen nach ihrem spezifischen Nährstoff- und Düngemanagement abgeschlossen. Somit wird in der Diskussion eine Bezugnahme auf sowohl die Bodenuntersuchungsergebnisse als auch auf die Aussagen der LandwirtInnen möglich.

5.1 P-Hoftorbilanz

Die Spannweite der in dieser Arbeit berechneten P-Hoftorbilanzsalden beläuft sich auf -2,6 bis -29,9 P kg ha^{-1} a^{-1}. Dies entspricht einem durchschnittlichen Saldo von -9,9 kg ha^{-1} a^{-1}.

5.1.1 HPG Wald- und Mühlviertel

Im HPG Wald- und Mühlviertel belaufen sich die berechneten P-Hoftorbilanzsalden auf -4,8 P kg ha^{-1} a^{-1} (Betrieb 1) und -2,6 P kg ha^{-1} a^{-1} (Betrieb 2).

Für Betrieb 1 ergab sich eine Nährstoffeffizienz von 2744 % (Tabelle 9). Der Betrieb verzichtete in den analysierten fünf Jahren auf zugekaufte P-Düngemittel und importierte somit 100 % des Phosphors durch das Saatgut (Abbildung 4). Dabei baute der Betrieb neben Getreide, Sonnenblume, Luzernekleegras, welches in Form von Silageballen den Hof verlässt, auch Ackerbohne an.

Tabelle 9. Ergebnisse der Hoftorbilanzierung der Betriebe aus dem HPG Wald- und Mühlviertel. Alle Angaben in kg ha^{-1} a^{-1}.

Hoftorbilanz							
	Nährstoffzufuhr				Nährstoffabfuhr	Saldo	Nährstoffeffizienz
Betrieb	Nähr-stoff	OD TH	Saat-gut	Total	Ernteprodukte = Total		
1	P	0,0	0,2	0,2	5,0	-4,8	2744 %
	K	0,0	0,3	0,3	15,9	-15,6	5109 %
2	P	4,8	0,3	5,1	7,5	-2,6	151 %
	K	22,1	0,7	22,9	30,6	-7,7	134 %

OD = Organischer Dünger, TH = Tierischer Herkunft, HPG= Hauptproduktionsgebiet, P = Phosphor, K = Kalium

Betrieb 2 wurde auf -2,6 kg P ha^{-1} a^{-1} bilanziert. Somit wirtschaftete dieser Betrieb mit einer Nährstoffeffizienz von 151 % (Tabelle 9). Dieser Betrieb baute neben Getreide auch Kartoffeln, Ackerbohnen und überjähriges Kleegras an. Er importierte im Zuge seines Düngemanagements 94 % des in den Betrieb eingetragenen Phosphors in Form von Pferde- und Hühnermist. Der Pferdemist wurde jährlich appliziert, während Hühnermist lediglich in den Jahren 2012 bis 2014 in den Betrieb importiert wurde.

5.1.2 HPG Kärntner Becken

Im HPG Kärntner Becken wurden P-Salden von -6,0 (Betrieb 3) und -10,0 P kg ha^{-1} a^{-1} (Betrieb 4) berechnet (Tabelle 10).

Tabelle 10. Ergebnisse der Hoftorbilanzierung der Betriebe aus dem HPG Kärntner Becken. Alle Angaben in kg ha^{-1} a^{-1}.

Hoftorbilanz									
		Nährstoffzufuhr					Nährstoffabfuhr	Saldo	Nährstoff-effizienz
Betrieb	**Nähr-stoff**	**OD TH**	**OH**	**MD**	**Saat-gut**	**Total**	**Ernteprodukte = Total**		
3	P	5,3	1,1	0,0	0,8	7,2	13,2	-6,0	184 %
	K	7,1	0,8	0,8	4,1	12,7	22,2	-9,5	174 %
4	P	0,0	1,3	0,0	0,7	2,0	11,5	-10,0	739 %
	K	0,0	0,8	0,0	1,6	2,4	20,3	-19,0	1520 %

OD = Organischer Dünger, TH = Tierischer Herkunft, OH = Organischer Handelsdünger, MD = Mineralischer Dünger, HPG= Hauptproduktionsgebiet, P = Phosphor, K = Kalium

Betrieb 3 wirtschaftete mit einer P-Effizienz von 184 % bei einem Saldo von -6,0 kg P ha^{-1} a^{-1}, während er 74 % der gesamten P-Zufuhr in Form von Rinder- und Biogasgülle und 15 % über den organischen Handelsdünger importierte. Rindergülle wurde im Jahr 2015 und Biogasgülle in den Jahren 2012 und 2014 in den Betrieb eingetragen. Die organische Handelsdüngerapplikation fand in allen analysierten Jahren in Form von Biofert statt. Weiterhin wurde im Jahr 2016 der organische Handelsdünger Bio-Adusol angewendet. Das mineralische Patentkali wurde im Jahr 2012 zugekauft. Betrieb 3 kultivierte hauptsächlich Körnermais, Soja- und Ackerbohne, sowie Erbse und Getreide an.

Betrieb 4 wirtschaftete mit einem Saldo von -10 kg P ha^{-1} a^{-1} mit einer P-Effizienz von 739 %. Dabei importierte er 83 % des Phosphors über den organischen Handelsdünger Biofert, in dem er diesen Dünger in den Jahren 2012 bis 2014 applizierte. Der Rest des Phosphors wurde über das Saatgut in den Betrieb eingetragen. Betrieb 4 baute hauptsächlich Körnermais, Dinkel und Soja an.

5.1.3 HPG Alpenvorland

Im HPG Alpenvorland wurden für die Betriebe 5 und 6 die P-Salden von -29,9 und -7,1 kg P ha^{-1} a^{-1} berechnet (Tabelle 11).

Tabelle 11. Ergebnisse der Hoftorbilanzierung der Betriebe aus dem HPG Alpenvorland. Alle Angaben in kg ha^{-1} a^{-1}.

Hoftorbilanz									
		Nährstoffzufuhr					Nährstoffabfuhr	Saldo	Nährstoff-effizienz
Betrieb	Nährstoff	OD TH	OH	MD	Saatgut	Total	Ernteprodukte = Total		
5	P	0,0	0,3	2,1	1,3	3,7	33,5	-29,9	917 %
	K	0,0	1,4	0,0	3,0	4,4	59,4	-55,1	1365 %
6	P	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	7,2	-7,1	7687 %
	K	0,6	0,0	0,0	0,1	0,7	12,8	-12,1	1923 %

OD = Organischer Dünger, TH = Tierischer Herkunft, OH = Organischer Handelsdünger, MD = Mineralischer Dünger, HPG = Hauptproduktionsgebiet, P = Phosphor, K = Kalium

Betrieb 5, der auf einen Saldo von -29,9 kg P ha^{-1} a^{-1} bilanziert wurde, kaufte im Jahr 2014 den organischen Handelsdünger Biosol und im Jahr 2015 den im bL zugelassenen mineralischen Phosphordünger Phosmax zu. Damit importierte dieser Betrieb 56 % des Phosphors in Form von mineralischem Dünger, 35 % mittels des Saatguts und 9 % über den organischen Handelsdünger (Abbildung 4). Mit diesem Nährstoffmanagement wirtschaftete der Betrieb über die fünf analysierten Jahre mit einer Nährstoffeffizienz von 917 %. Der Betrieb, der verhältnismäßig viele Zwischenfrüchte und Untersaaten anbaute, kultivierte als Hauptkulturen vor allem Getreide, Körnermais, Sonnenblume und Ackerbohne.

Betrieb 6, der einen mittleren Saldo von -7,1 kg P ha^{-1} a^{-1} aufwies, applizierte jedes Jahr Schweinejauche und wirtschaftete damit über die untersuchten fünf Jahre mit einer Nährstoffeffizienz von 7687 %. Da Schweinejauche laut KTBL (2015, S. 120) kein Phosphor enthält, wurden 100 % des importierten Phosphors durch das Saatgut in den Betrieb eingetragen. Der Betrieb baute hauptsächlich Getreide, Acker- und Sojabohne, sowie Körnermais an.

5.1.4 HPG SÖ Flach- und Hügelland

Im HPG SÖ Flach- und Hügelland wurden P-Salden zwischen -8,4 und -10,0 kg P ha^{-1} a^{-1} berechnet (Tabelle 12).

Betrieb 7 wirtschaftete mit einer Nährstoffeffizienz von 710 % bei einem Saldo von -8,4 kg P ha^{-1} a^{-1}. Dabei importierte der Betrieb 21 % des Phosphors über die Pferdemistgabe in den Jahren 2012 und 2014 bis 2016 und 55 % in Form vom organischen Handelsdünger Biofert in denselben Jahren. Der Betrieb baute hauptsächlich Acker- und Sojabohnen, sowie Getreide, Körnermais und Ölkürbis an.

Betrieb 8 mit dem Saldo -10,0 kg P ha^{-1} a^{-1} wirtschaftete mit einer Nährstoffeffizienz von 315 %. Über die jährliche Düngerapplikation von Biofert wurden 93,5 % des insgesamt eingetragenen Phosphors importiert (Abbildung 4). Der Betrieb baute neben Ölkürbis auch Getreide, sowie Ackerbohne an.

Tabelle 12. Ergebnisse der Hoftorbilanzierung der Betriebe aus dem HPG SÖ Flach- und Hügelland. Alle Angaben in kg ha^{-1} a^{-1}.

Hoftorbilanz									
		Nährstoffzufuhr					Nährstoffabfuhr	Saldo	Nährstoff-effizienz
Betrieb	Nähr-stoff	OD TH	OH	MD	Saat-gut	Total	Ernteprodukte = Total		
7	P	0,3	0,8		0,3	1,4	9,8	-8,4	710 %
	K	2,2	0,5	1,1	0,7	4,4	16,2	-11,7	361 %
8	P	0,0	4,3	0,0	0,30	4,6	14,6	-10,0	315 %
	K	0,0	2,8	0,0	0,0	3,2	26,1	-22,9	805 %

OD = Organischer Dünger, TH = Tierischer Herkunft, OH = Organischer Handelsdünger, MD = Mineralischer Dünger, HPG= Hauptproduktionsgebiet, P = Phosphor, K = Kalium

5.1.5 HPG NÖ Flach- und Hügelland/Marchfeld

Im Marchfeld bewegten sich die P-Hoftorbilanzsalden in einer Spannweite von -6,6 bis -22,9 kg P ha^{-1} a^{-1} (Tabelle 13).

Betrieb 10 mit dem höchsten Saldo (-6,6 kg P ha^{-1} a^{-1}), baute intensiv Feldgemüse, sowie Winterweizen und Kartoffeln an. Der Betrieb importierte über die bilanzierten fünf Jahre 57 % des zugeführten Phosphors in Form von organischen Handelsdüngern und 27 % in Form von Pferdemist (Abbildung 4). Mit dieser Wirtschaftsweise erreichte der Betrieb eine Nährstoffeffizienz von 262 %. Pferdemist wurde in den Jahren 2011 und 2012 appliziert, während der organische Handelsdünger Bio-Agenasol jährlich zugekauft wurde.

Betrieb 9, der einen Saldo von -9,2 kg ha^{-1} a^{-1} aufwies, kultivierte neben Körnermais, Getreide, Zwiebeln, Kartoffeln, Zuckerrüben, Erbsen, Soja- und Ackerbohnen auch Sonderkulturen wie Kümmel, Ringelblume und Anis. Bei diesem Marktfruchtbetrieb wurden 29 % des Phosphors über Pferdemist importiert (Abbildung 4). Dies fand anhand einer einmaligen Gabe im Jahr 2012 statt. Die Nährstoffeffizienz belief sich auf 1415 %.

Tabelle 13. Ergebnisse der Hoftorbilanzierung der Betriebe aus dem HPG NÖ Flach- und Hügelland/Marchfeld. Alle Angaben in kg ha^{-1} a^{-1}.

Hoftorbilanz										
		Nährstoffzufuhr						Nährstoffabfuhr	Saldo	Nährstoffeffizienz
Betrieb	**Nähr-stoff**	**OD TH**	**OH**	**OD PH**	**MD**	**Saatgut**	**Total**	**Ernteprodukte = Total**		
9	P	0,2	0,0	0,0	0,0	0,5	0,7	9,9	-9,2	1415 %
	K	1,5	0,0	0,0	0,0	1,4	2,9	29,6	-26,7	1012 %
10	P	1,1	0,0	2,4	0,0	0,6	4,1	10,7	-6,6	262 %
	K	8,4	2,8	0,0	5,7	1,5	18,3	48,8	-30,5	267 %
11	P	5,4	0,0	3,4	0,0	1,4	10,1	33,0	-22,9	327 %
	K	40,5	0,0	12,9	0,0	2,5	55,9	74,6	-18,7	133 %

OD = Organischer Dünger, TH = Tierischer Herkunft, OH = Organischer Handelsdünger, PH = Pflanzlicher Herkunft, MD = Mineralischer Dünger, HPG= Hauptproduktionsgebiet, P = Phosphor, K = Kalium

Betrieb 11, für den das in diesem HPG geringste Ergebnis (-22,9 kg P ha^{-1} a^{-1}) berechnet wurde, baute intensiv Zuckerrüben, Sojabohne, Getreide und Körnermais an. Aufgrund jährlicher Pferdemistapplikationen importierte dieser Marktfruchtbetrieb 53 % des Phosphors über Düngemittel tierischer Herkunft und 34 % über Kompost, welcher in den Jahren 2012 bis 2015 zugekauft wurde. Dabei wurde eine Nährstoffeffizienz von 327 % erreicht.

5.1.6 HPG NÖ Flach- und Hügelland/Weinviertel

Im Weinviertel bewegten sich die P-Hoftorbilanzsalden in einem Bereich von -3,5 und -10,4 kg P ha^{-1} a^{-1} (Tabelle 14).

Die Betriebe 13 und 15 kultivierten hauptsächlich Getreide, Erbsen und Körnermais. Betrieb 14 baute zusätzlich noch Kartoffeln, Knollensellerie und Knoblauch, sowie eine Reihe Sonder- sowie Nischenkulturen wie zum Beispiel Flohsamen, Mariendistel und Bockshornklee an.

Für Betrieb 12 wurde ein P-Saldo von -6,2 kg P ha^{-1} a^{-1} berechnet. Er wirtschaftete damit mit einer P-Effizienz von 339 %. Durch die jährliche Pferdemistapplikation importierte der Betrieb 43 % des Phosphors, während er in den Jahren 2012-2015 mittels des organischen Handelsdüngers Bio-Agenasol 46 % des gesamten Phosphors in den Betrieb eintrug.

Auf den Betrieben 13 und 15 wurden Salden von -10,4 kg P ha^{-1} a^{-1} und -10,2 kg P ha^{-1} a^{-1} berechnet. Betrieb 13 wirtschaftete damit über die analysierten fünf Jahre mit einer Nährstoffeffizienz von 4676 %, während Betrieb 15 bei 849 % lag.

Mit der jährlichen Pferdemistgabe importierte Betrieb 15 rund 65 % der gesamten P-Zufuhr, während Betrieb 13 gänzlich auf den Zukauf von Düngemitteln verzichtete (Abbildung 4).

Tabelle 14. Ergebnisse der Hoftorbilanzierung der Betriebe aus dem HPG NÖ Flach- und Hügelland/Weinviertel. Alle Angaben in kg ha^{-1} a^{-1}.

Hoftorbilanz									
		Nährstoffzufuhr					Nährstoffab-fuhr	Saldo	Nährstoff-effizienz
Be-trieb	Nährstoff	OD TH	OH	OD PH	Saatgut	Total	Erntepro-dukte = Total		
12	P	1,1	1,2	0,0	0,3	2,6	8,7	-6,2	339 %
	K	8,5	1,3	0,0	0,4	10,2	20,8	-10,6	204 %
13	P	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	10,6	-10,4	4676 %
	K	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	14,9	-14,5	3970 %
14	P	0,0	2,1	0,9	0,3	3,3	6,7	-3,5	204%
	K	0,0	3,2	3,3	1,3	7,8	19,5	-11,7	249 %
15	P	0,8	0,0	0,0	0,5	1,3	11,6	-10,3	849 %
	K	6,9	0,0	0,0	0,9	7,7	19,6	-11,8	253 %

OD = Organischer Dünger, TH = Tierischer Herkunft, OH = Organischer Handelsdünger, PH = Pflanzlicher Herkunft, MD = Mineralischer Dünger, HPG= Hauptproduktionsgebiet, P = Phosphor, K = Kalium

Betrieb 14, für den der Saldo von -3,5 kg P ha^{-1} a^{-1} berechnet wurde, erreichte in den analysierten fünf Jahren eine Nährstoffeffizienz von 203 %. Er importierte damit 66 % des Phosphors über Kompost, 26 % in Form von verschiedenen organischen Handelsdüngern, nämlich Bio-Agenasol, Agrobiosol und Bio-Adusol, und 9 % mit dem Saatgut (Abbildung 4).

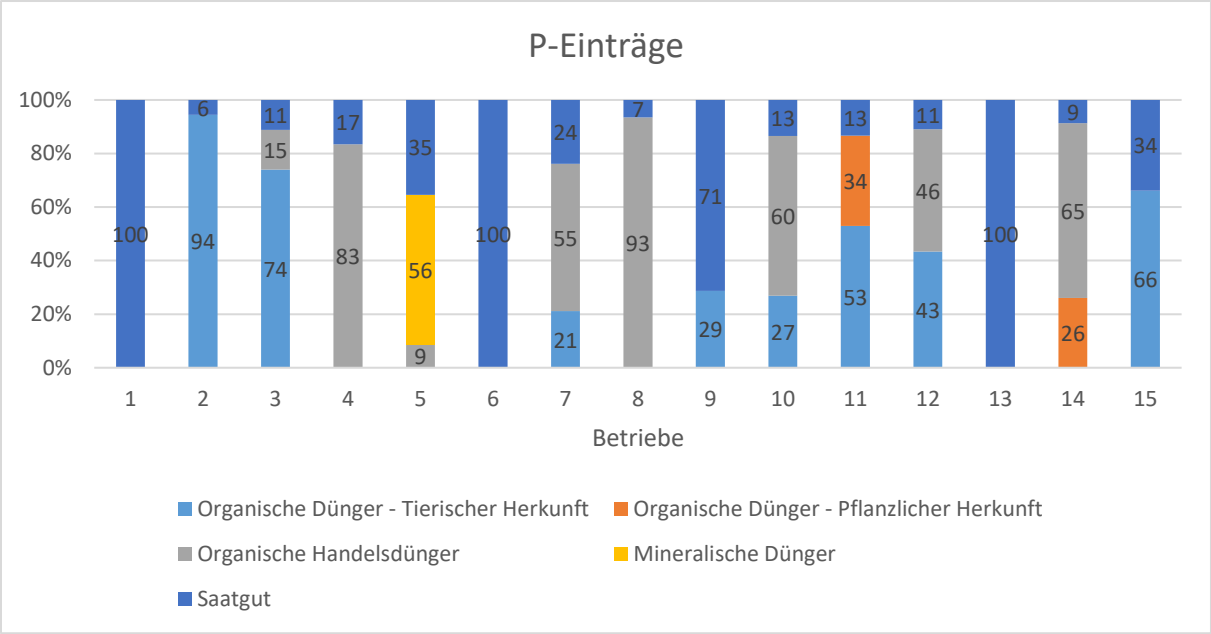

Abbildung 4. Importierter Phosphor, aufgeteilt nach seiner Herkunft. Angaben beziehen sich auf den durchschnittlichen P-Eintrag pro Hektar und Jahr.

In Bezug auf die spezifischen Entzüge der in dieser Arbeit wichtigsten Kulturen waren folgende Ergebnisse darzustellen.

Getreide und Körnermais, welche mit P-Entzügen von 3,3 und 3,5 kg P t^{-1} FM angegeben werden, sind die Kulturen, welche auf den untersuchten 15 Bio-Marktfruchtbetrieben mit Abstand die größten P-Verluste pro Hektar durch den Verkauf ihrer Ernteprodukte verursachten (Tabelle 15).

Weiterhin war die Sojabohne (5,7 kg P t^{-1} FM) ein wichtiger Verursacher von P-Verlusten auf den Betrieben.

Zuckerrüben (0,40 kg P t^{-1} FM) und Feldgemüse, wie Karotten (0,36 kg P t^{-1} FM), Zwiebeln (0,35 kg P t^{-1} FM) und Spinat (0,5 kg P t^{-1} FM), entziehen im Vergleich zu den übrigen Kulturen die geringsten Mengen Phosphor pro Tonne FM. Trotzdem konnten diese, aufgrund ihrer hohen Erträge pro Hektar, zu genauso hohen und höheren P-Verlusten wie Körnermais, Sojabohnen und Erbsen führen, was auf den Betrieben 9 bis 11 deutlich wurde (Tabelle 15).

Tabelle 15. P-Entzüge der Hauptkulturen auf den untersuchten 15 Bio-Marktfruchtbetrieben während der bilanzierten fünf Jahre. Angaben in kg ha^{-1}.

Betrieb	Acker-bohne	Soja-bohne	Erb-sen	Ge-treide	Körner-mais	Kar-toffel	Zucker-rübe	Klee- und Ackergras	Feldge-müse
1	3,2	0,0	0,0	13,5	0,0	0,0	0,0	5,9	0,0
2	0,0	0,0	0,0	19,3	0,0	0,0	0,0	9,0	0,0
3	6,7	10,2	7,9	9,1	32,2	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	17,3	2,4	12,9	24,9	0,0	0,0	0,0	0,0
5	5,2	0,0	0,0	16,9	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0
6	3,4	7,1	0,0	16,3	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0
7	4,8	5,1	3,0	26,7	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0
8	2,7	0,0	0,0	21,0	4,9	0,0	0,0	5,7	0,0
9	0,2	0,0	7,1	0,0	17,2	2,6	1,9	5,2	9,3
10	0,3	0,0	4,4	1,0	20,2	6,7	3,1	0,0	14,3
11	0,0	32,9	0,0	24,0	12,9	0,0	11,3	0,0	0,0
12	0,0	0,0	1,1	23,0	10,0	0,0	6,4	2,8	0,0
13	0,0	1,6	2,1	23,6	24,2	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,2	21,9	2,5	5,2	0,0	0,0	0,0
15	0,0	19,3	0,0	20,1	15,9	0,0	0,6	0,0	0,0
Mittel-wert	**1,8**	**6,2**	**1,9**	**16,6**	**11,8**	**1,0**	**1,6**	**1,9**	**1,6**

5.2 K-Hoftorbilanz

Die Spannweite der in dieser Arbeit berechneten K-Hoftorbilanzsalden belief sich auf -9,5 bis -56,5 kg K ha^{-1} a^{-1}. Dies entspricht einem durchschnittlichen Saldo von -18,5 kg K ha^{-1} a^{-1}.

5.2.1 HPG Wald- und Mühlviertel

Im HPG Wald- und Mühlviertel wurden die K-Salden -35,7 und -7,7 kg K ha^{-1} a^{-1} berechnet.

Betrieb 1, für den der Saldo -15,6 kg K ha^{-1} a^{-1} galt, wirtschaftete mit einer Nährstoffeffizienz von 5109 % (Tabelle 9).

Betrieb 2 wirtschaftete mit einer Nährstoffeffizienz von 134 % bei einem Saldo von -7,7 kg K ha^{-1} a^{-1}. Im Zuge seines Nährstoffmanagements importierte der Betrieb 97 % des Kaliums über die organischen Dünger Pferde- und Hühnermist (Abbildung 5). Das Klee-Gras war für die höchsten K-Entzüge, welche in den Jahren 2012 bis 2015 zwischen 468 und 676 kg K t^{-1} FM auf einer Anbaufläche von 3 bis 5 ha betrugen, verantwortlich (Tabelle 16).

5.2.2 Kärntner Becken

Im HPG Kärntner Becken wurden die Salden -9,5 (Betrieb 3) und -19,0 kg K ha^{-1} a^{-1} (Betrieb 4) berechnet (Tabelle 10).

Betrieb 3 wirtschaftete mit einer Nährstoffeffizienz von 174 % und importierte dabei 56 % des Kaliums über Rindergülle und Biogasgülle. Außerdem trug der Betrieb 6 % des Kaliums sowohl über das im Jahr 2012 angewendete Patentkali als auch über die organischen Handelsdünger Biofert und Bio-Adusol ein. 32 % des Kaliums wurden über das Saatgut in den Betrieb eingetragen.

Betrieb 4 wirtschaftete mit einer K-Effizienz von 1520 % bei einem Saldo von -19 kg K ha^{-1} a^{-1}. Dabei wurden 62 % des gesamten Kaliums über den organischen Handelsdünger Biofert importiert. Die restlichen 38 % trug der Betrieb über das zugekaufte Saatgut in den Nährstoffkreislauf ein.

5.2.3 Alpenvorland

Im HPG Alpenvorland wurden die Salden der K-Hoftorbilanzen auf -55,1 (Betrieb 5) und -12,1 kg K ha^{-1} a^{-1} (Betrieb 6) berechnet (Tabelle 11). Damit wirtschafteten die Betriebe mit den Nährstoffeffizienzen von 1364 % (Betrieb 5) und 1923 % (Betrieb 6).

Betrieb 6 trug mittels der jährlichen Schweinejaucheapplikation 87 % des Kaliums in die innerbetrieblichen Nährstoffkreisläufe ein, während Betrieb 5 rund 32 % des Kaliums über die einmalige Applikation des Handelsdüngers Biosol im Jahr 2014 importierte (Abbildung 5).

5.2.4 SÖ Flach- und Hügelland

Im HPG SÖ Flach- und Hügelland wirtschafteten die beiden analysierten Betriebe mit Salden von -11,7 (Betrieb 7) und -22,9 kg K ha^{-1} a^{-1} (Betrieb 8, Tabelle 12).

Betrieb 7 wirtschaftete dabei mit einer K-Effizienz von 361 %, während er 49 % des Kaliums in Form von Pferdemist, 11 % über den organischen Handelsdünger Biofert und 25 % mittels der einmaligen Patentkali-Anwendung im Jahr 2016 in den Betrieb eintrug (Abbildung 5).

Betrieb 8 wirtschaftete mit einer Nährstoffeffizienz von 805 %. Dabei trug er 85 % des Kaliums über die jährliche Anwendung des organischen Handelsdüngers Biofert und 15 % über das Saatgut ein.

5.2.5 HPG NÖ Flach- und Hügelland/Marchfeld

Im HPG NÖ Flach- und Hügelland/Marchfeld bewegten sich die K-Hoftorbilanzen zwischen -18,7 und -30,5 kg K ha^{-1} a^{-1} (Tabelle 13).

Betrieb 11 wies dabei den für dieses HPG höchsten Saldo (-18,7 kg K ha^{-1} a^{-1}) mit einer Nährstoffeffizienz von 133 % auf. Der Betrieb importierte 73 % des Kaliums mittels des jährlichen Zukaufs von Pferdemist und 23 % in Form von Kompost (Abbildung 5).

Betrieb 9, für den ein Saldo von -26,7 kg K ha^{-1} a^{-1} berechnet wurde, erreichte mit seinem Nährstoffmanagement eine Nährstoffeffizienz von 1012 %. Dabei importierte er in Form des im Jahr 2012 erfolgten Zukaufs von Pferdemist 52 % des insgesamt in den Betrieb eingetragenen Kaliums und den Rest über das Saatgut (Abbildung 5).

Betrieb 10 wies für dieses HPG den negativsten Saldo von -30,5 kg K $ha^{-1}a^{-1}$ auf und wirtschaftete damit in den Jahren 2012-2016 mit einer Nährstoffeffizienz von 267 %. Insgesamt wurden 46 % des Kaliums über Pferdemist und 15 % über organische Dünger importiert. Weiterhin importierte dieser Betrieb 31 % des Kaliums in Form von Patentkali (Abbildung 5). Dieser mineralische Dünger wurde einmalig im Jahr 2015 auf die Kulturen Grünerbsen, Karotten und Zwiebeln appliziert.

5.2.6 HPG NÖ Flach- und Hügelland/Weinviertel

Im HPG NÖ Flach- und Hügelland, Weinviertel bewegten sich die Ergebnisse der K-Hoftorbilanzen zwischen -10,6 und -14,5 kg K ha^{-1} a^{-1}.

Betrieb 13 wurde auf -14,5 kg K ha^{-1} a^{-1} saldiert und wirtschaftete mit dem ausschließlich über das Saatgut importierten Kalium mit einer Nährstoffeffizienz von 3970 %.

Der Saldo von Betrieb 15 belief sich auf -11,8 kg K ha^{-1} a^{-1}, was eine Nährstoffeffizienz von 253 % bedeutete. Dabei wurden im Zeitraum der analysierten fünf Jahre 89 % Kalium über den jährlich applizierten Pferdemist importiert.

Betrieb 14, für den ein Saldo von -11,7 kg K ha^{-1} a^{-1} berechnet wurde, importierte 17 % über das Saatgut und 41 % über den Kompost, welcher in den Jahren 2014 und 2015 zugekauft wurde. 42 % wurden über die in den Jahren 2013 bis 2015 organischen Handelsdünger Bio-Agenasol, Agrobiosol und Bio-Adusol in den Betrieb eingetragen.

Betrieb 12, für den ein Saldo von -10,6 kg K ha^{-1} a^{-1} berechnet wurde, wirtschaftete in den Jahren 2011-2015 mit einer Nährstoffeffizienz von 204 %. Dabei importierte er 83 % des gesamten Kaliums in Form von Pferdemist, während 13 % über den organischen Handelsdünger Agenasol und 4 % über das Saatgut in den Betrieb eingetragen wurden.

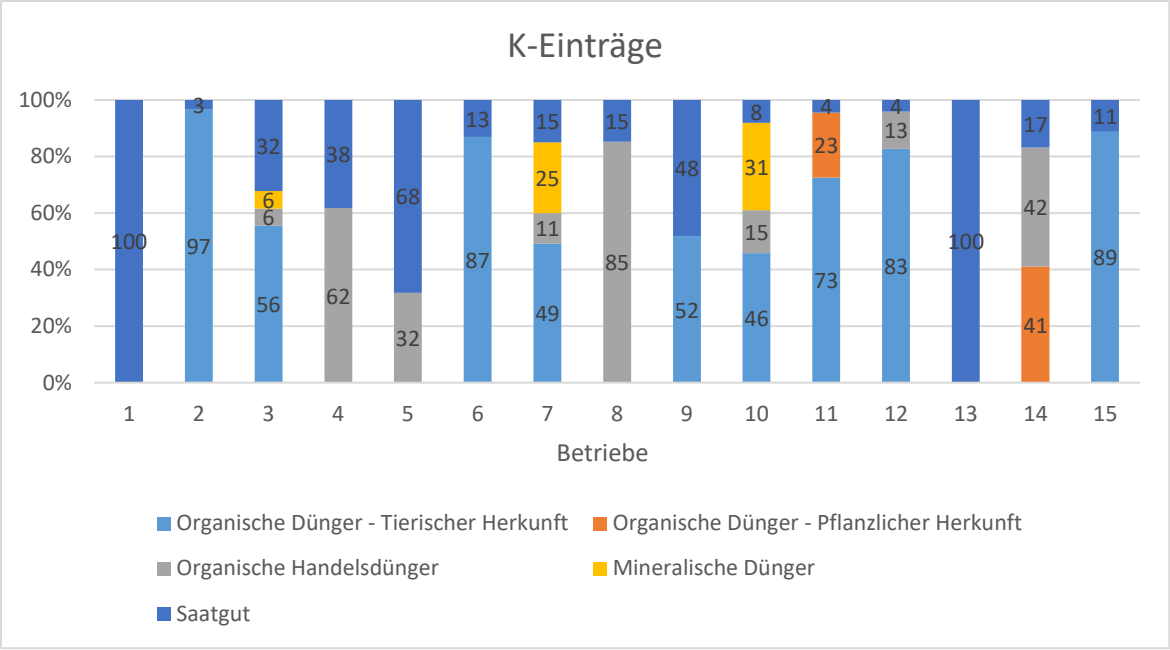

Abbildung 5. Importiertes Kalium, aufgeteilt nach seiner Herkunft. Angaben beziehen sich auf den durchschnittlichen K-Eintrag pro Hektar und Jahr.

In Bezug auf die spezifischen K-Entzüge der wichtigsten Kulturen war folgendes festzustellen:

Obwohl Karotten, Zwiebeln und Spinat in Bezug auf die K-Entzüge pro Tonne FM (4,40; 2,00; 5,50) wesentlich weniger Kalium entziehen als beispielsweise Erbsen und Sojabohnen (10,6 und 12,9 kg t^{-1} FM), fielen sie in den Bilanzen aufgrund ihrer hohen Erntemengen auf den Betrieben 9 und 10 stark ins Gewicht (Tabelle 16). Außerdem waren der Verkauf von Klee- und Ackergras, sowie die Ernte von Getreide für die K-Entzüge von hoher Bedeutung, was die hohen Mittelwerte aller Betriebe verdeutlichten.

Je nach Anbauintensität waren auch Zuckerrüben (Betrieb 11), sowie Kartoffeln (Betrieb 14) für große K-Verluste innerhalb der Betriebe verantwortlich. Dies galt für die in dieser Arbeit untersuchten Betriebe 11 und 14.

Tabelle 16. K-Entzüge der Hauptkulturen auf den untersuchten 15 Bio-Marktfruchtbetrieben während der bilanzierten fünf Jahre. Angaben in kg ha^{-1}.

Betrieb	Ackerbohne	Sojabohne	Erbsen	Getreide	Körnermais	Kartoffel	Zuckerrübe	Klee- und Ackergras	Feldgemüse
1	7,6	0,0	0,0	57,1	0,0	0,0	0,0	47,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	7,2	0,0	0,0	0,0	77,8	0,0
3	16,2	1,7	5,8	14,8	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	13,2	5,5	6,7	26,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	12,5	0,0	0,6	19,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
6	8,3	0,9	1,6	1,4	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0
7	11,6	11,6	7,5	41,7	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0
8	6,6	0,0	0,0	32,2	5,9	0,0	0,0	49,7	0,0
9	0,2	0,0	16,1	0,0	20,2	3,2	15,9	27,4	45,8
10	0,3	0,0	10,0	2,5	25,5	8,1	26,1	0,0	156,6
11	0,0	74,5	0,0	25,4	15,6	0,0	59,1	0,0	0,0
12	0,0	0,0	2,6	19,1	12,1	0,0	33,6	22,0	0,0
13	6,7	4,4	4,5	5,6	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,6	27,4	3,1	43,6	0,0	0,0	0,0
15	0,0	43,8	0,0	37,4	19,2	0,0	3,2	0,0	0,0
Mittelwert	**4,7**	**10,0**	**3,7**	**19,9**	**10,3**	**3,7**	**9,2**	**14,9**	**13,5**

5.3 Bodenuntersuchungen

Für diese Arbeit lagen 22 Bodenuntersuchungsergebnisse auf insgesamt sieben der 15 untersuchten Bio-Marktfruchtbetriebe vor (Tabelle 17).

Ergebnisse des P-Gehalts lagen von Gehaltsklassen A bis C vor, womit genau die Hälfte der untersuchten Flächen P-Gehalte der Gehaltsklasse B vorwiesen. Neun Schläge waren der P-Gehaltsklasse C und zwei Flächen der P-Gehaltsklasse A zuzuordnen.

Die Ergebnisse der K-Gehalte waren den Gehaltsklassen A bis E zuzuordnen. 14 Ergebnisse waren der K-Gehaltsklasse C zuzuordnen. Drei der Flächen wurden auf K-Gehalte der Gehaltsklasse B getestet, während jeweils zwei der untersuchten Schläge den Gehaltsklassen A und D, sowie ein Schlag der Gehaltsklasse E zugeordnet werden konnte.

Tabelle 17. Ergebnisse der chemischen Bodenuntersuchungen.

HPG	Betrieb	Umstellungsjahr	Jahr der Bodenprobe	Methode	Schlag	P-Gehalt; GK	Methode	K-Gehalt; GK
1	1	1993	2015	CAL	1	41; B	CAL	303; E

1	1	1993	2015	CAL	2	35; B	CAL	207; D
1	1	1993	2015	CAL	3	35; B	CAL	207; D
2	4	1992	2012	CAL	1	26; B	CAL	50; A
2	4	1992	2012	CAL	2	39; B	CAL	208; C
2	4	1992	2012	CAL	3	4; A	CAL	24; A
3	5	2013	2016	CAL	1	17; A	CAL	92; B
3	5	2003	2016	CAL	2	43; B	CAL	125; C
3	5	2003	2016	CAL	3	57; C	CAL	125; C
5a	9	2007	2013	EUF	1	1,4/1,3; C	EUF	7/6; C
5a	10	2001	2014	CAL	1	87; C	CAL	177; C
5a	10	2001	2014	CAL	2	71; C	CAL	96; B
5a	10	2001	2014	CAL	3	70; C	CAL	106; B
5a	11	2006	2016	CAL	1	81; C	CAL	196; C
5a	11	2006	2016	CAL	2	77; C	CAL	198; C
5a	11	2006	2016	CAL	3	61; C	CAL	162; C
5b	13	1999	2013	CAL	1 UH	54 ; C	CAL	154; C
5b	13	1999	2013	CAL	1 OH	46 ; B	CAL	135; C
5b	13	1999	2013	CAL	2 Ebene	27 ; B	CAL	121; C
5b	13	1999	2013	CAL	2 Berg	35 ; B	CAL	114; C
5b	13	1999	2013	CAL	3 Hinten	34 ; B	CAL	163; C
5b	13	1999	2013	CAL	3 Straße	41 ; B	CAL	164; C

GK= Gehaltsklasse wie auf dem Untersuchungsbefund angegeben, MW = Mittelwert, UH = Untere Hälfte, OH = Obere Hälfte, P- und K-Gehalt wird angegeben in mg^{-1} 1000 g Boden

Im Rahmen der einfachen linearen Regressionsanalyse konnten keine signifikanten Abhängigkeiten festgestellt werden (Tabelle 18). Signifikante Zusammenhänge im Rahmen der Regressionsanalyse wurden zwischen dem mittleren P-Gehalt und den Jahren biologischer Bewirtschaftung im F-Test angezeigt ($F_{err} = 0{,}51 \geq F_{0,95}$ (5) = 0,37; $F_{err} = 1{,}5 > F_{0,95}$ (6) = 0,27), wohingegen die t-Tests diese Abhängigkeit widerlegten (P-Wert = 0,37 > 0,05; P-Wert = 0,27 > 0,05). Das Bestimmtheitsmaß zeigte einen Wert von 0,29 auf. Somit wurde ein Zusammenhang von 29 % zwischen den geprüften Variablen statistisch berechnet. Da in Bezug auf die variablen P-Gehalt und P-Abfuhren sowohl der F- als auch der t-Test die Alternativhypothese nicht annahmen, konnte keine Signifikanz festgestellt werden (Tabelle 18).

Tabelle 18. Ergebnisse der Regressionsanalysen und Varianzanalysen.

Abhängige Variable	Unabhängige Variable	Bestimmtheitsmaß (R^2)	Prüfwert F (F_{err})	Kritischer F-Wert ($F_{0,95}$)	P-Wert (Signifikanz der Variablen)	P-Wert (Signifikanz des Schnittpunkts mit y-Achse)
P-Bodengehalt (mg/1000 g Boden)	P-Abfuhren (kg/ha/a)	0,11	0,51	0,51	0,51	0,07
P-Bodengehalt (mg/1000 g Boden)	Jahre biologischer Bewirtschaftung	0,29	1,7	0,26	0,26	0,03
K-Bodengehalt (mg/1000 g Boden)	K-Abfuhren (kg/ha/a)	0,03	0,00	0,95	0,95	0,03
K-Bodengehalt (mg/1000 g Boden)	Jahre biologischer Bewirtschaftung	0,00	0,00	0,97	0,97	0,10

5.4 Befragung der LandwirtInnen

Die Befragung der LandwirtInnen hinsichtlich qualitativer Aspekte des Betriebsmanagements ergab unterschiedliche Ergebnisse. Die Mehrzahl legte kein Augenmerk auf die Phosphor- und Kaliumversorgung der Pflanzen, da bisher noch keine Mangelerscheinungen und Ertragseinbußen, die auf Unterversorgung durch die beiden Nährstoffe hinweisen könnten, beobachtet wurden. Der Fokus des Düngemanagements lag hauptsächlich auf der Versorgung der Pflanzen mit Stickstoff durch Leguminosen. Weiterhin war sich die Mehrheit der LandwirtInnen der Problematik der Phosphor- und Kaliumversorgung im biologischen Marktfruchtanbau nicht bewusst, was durch eine explizite Nachfrage hervorging.

Zu den Betrieben, auf denen sich viele Gedanken um die Nährstoffversorgung, auch im Hinblick auf Phosphor und Kalium gemacht wurden, gehörten die Betriebe 1, 3, 6, 7 und 11, welche somit eine Minderheit darstellten.

Der Landwirt von Betrieb 1 war der einzige, welcher frischen Grünschnitt seines eigenen Dauergrünlands auf seine Äcker applizierte. Weiterhin beobachtete er schon seit Jahren die Entwicklung der Nährstoffgehalte seiner Ackerflächen und stellte tendenziell steigende Werte fest.

Die Betriebsleiterin von Betrieb 3 kaufte eine große Spannweite an Düngemitteln zu. Dazu gehörten neben organischen und mineralischen Düngemitteln für die Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumversorgung der Pflanzen auch Schwefel- und Molybdändüngemittel. Der Zukauf von Kompost war nicht möglich, da, laut ihrer Aussage, kein geeignetes Kompostwerk in der Nähe ihres Betriebs lokalisiert ist. Daher konnte sie keinen Kompost zukaufen, was sie veranlasste mit eigenem Kompost zu experimentieren. Dieser wurde allerdings nicht auf die Felder aufgebracht, da sie der Qualität ihres eigenen Komposts nicht traute und sie weiterhin keine Zeit für die Kontrolle ihres Komposts aufbringen konnte. Außerdem beklagte sie sich über die

viel zu niedrigen P-Gehalte ihrer Böden, welche sie sich nicht erklären konnte. Bedauerlicherweise lagen für diese Arbeit keine Bodenuntersuchungsergebnisse des Betriebs 3 vor.

Der Landwirt von Betrieb 6 setzte auf die Fähigkeit des Bodens, selbständig und aus eigenen Kräften genug Nährstoffe sowohl für den Boden als auch für die landwirtschaftliche Produktion generieren zu können. Er war sich sicher, dass die Bodenaktivität durch Mikroorganismen langfristig ausreicht, um die Pflanzen angemessen mit Nährstoffen zu versorgen. Das heißt, die von ihm durchgeführte Bodenbearbeitung sowie die Förderung der Bodenlebewesen und des Humusaufbaus, waren seine Strategie des Nährstoffmanagements.

Der Betriebsleiter von Betrieb 7 war der einzige Betrieb, welcher Ernteprodukte, nämlich Futtergräser, kompostierte. Außerdem wirtschaftete er ausschließlich mit immergrünen Äckern, womit er sich ebenso von den anderen Betrieben abgrenzt.

Die BetriebsleiterInnen von Betrieb 5 und 15 gaben während des Interviews zu, das betriebsspezifische Nährstoffmanagement in den vergangenen Jahren vernachlässigt zu haben. Gleichzeitig waren sie sich dabei der Problematik um eine angemessene Nährstoffversorgung im Bio-Marktfruchtanbau bewusst.

Der Landwirt von Betrieb 10 machte sich ebenso viele Gedanken über sein betriebsspezifisches Nährstoffmanagement. Er war sich der Problematik der P- und K-Versorgung bewusst und sagte im Rahmen des Interviews, dass erste Mangelerscheinungen schon nach zehn Jahren biologischer Bewirtschaftung aufgetreten waren. Weiterhin verfolgte er den Rat der landwirtschaftlichen BeraterInnen, welche den Humusaufbau als wichtigstes Kriterium in der P- und K-Versorgung des Bodens und der Pflanzen im biologischen Marktfrucht- und Feldgemüseanbau sehen.

Einige BetriebsleiterInnen, welche Pferdemist in den Betrieb importierten, gaben an, sofort auf die Zugabe des Mists zu verzichten, sobald dieser etwas kosten würde. Weiterhin stellten sie fest, dass Pferdemist immer schwieriger zu bekommen ist, da sich im Laufe der letzten Jahre die Anzahl der biologisch wirtschaftenden Marktfruchtbetriebe erhöht hatte.

5.5 Ergebnisse der Regressionsanalysen

Neben der Regressionsanalysen, welche die Variablen der Bodenuntersuchungsergebnisse überprüften, wurden zwei weitere Regressionsanalysen durchgeführt, die im Rahmen der Arbeitshypothesen 4 und 5 innerhalb der Diskussion interpretiert werden sollen.

In Bezug auf die Regressionsanalyse zwischen der unabhängigen Variablen P-, bzw. K-Einfuhr durch Düngemittel tierischer Herkunft und der abhängigen Variablen Ergebnisse der P-, bzw. K-Hoftorbilanzen wurden folgende Ergebnisse festgestellt:

Es konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen P-Zufuhr durch Düngemittel tierischer Herkunft und P-Salden festgestellt werden, da sowohl beim F-Test als auch beim t-Test die Nullhypothese angenommen wurde (F_{err} = 0,22 < $F_{0,95}$ (7) = 0,66). In Bezug auf den y-Achsenabschnitt wurde jedoch die Nullhypothese abgelehnt (P-Wert = 0,01 < 0,05; Tabelle 19).

Tabelle 19. Ergebnisse der Regressions- und Varianzanalysen.

Abhängige Variable	Unabhängige Variable	Bestimmtheitsmaß (R^2)	Prüfwert F (F_{err})	Kritischer F-Wert ($F_{0,95}$)	P-Wert (Signifikanz der Variablen)	P-Wert (Signifikanz des Schnittpunkts mit y-Achse)
P-Saldo (kg/ha/a)	P-Zufuhr durch Düngemittel tierischer Herkunft (kg/ha/a)	0,04	0,22	0,66	0,66	0,01
K-Saldo (kg/ha/a)	K-Zufuhr durch Düngemittel tierischer Herkunft (kg/ha/a)	0,39	4,45	0,07	0,07	0,00
P-Saldo (kg/ha/a)	P-Nährstoffeffizienz (%)	0,00	0,07	0,79	0,79	0,11
K-Saldo (kg/ha/a)	K-Nährstoffeffizienz (%)	0,00	0,02	0,87	0,87	0,18

In Bezug auf den signifikanten Zusammenhang zwischen K-Zufuhr durch Düngemittel tierischer Herkunft und K-Saldo der Hoftorbilanzen konnte mittels des F-Tests eine Signifikanz festgestellt werden. Diese wurde in Bezug auf die unabhängige Variable durch den t-Test nicht bestätigt (F_{err} = 4,45 > $F_{0,95}$ (8) = 0,22; P-Wert = 0,07 > 0,05), während der Schnittpunkt mit der y-Achse als signifikant angenommen wurde (P-Wert = 0,00 < 0,05; Tabelle 19).

Zwischen den abhängigen Variablen P-Saldo, bzw. K-Saldo und den jeweiligen Nährstoffeffizienzen konnten keine signifikanten Zusammenhänge festgestellt werden (Tabelle 19).

6 Diskussion

In der folgenden Diskussion werden die Ergebnisse der Hoftorbilanzen interpretiert und ausgewertet. Dabei steht die schrittweise Auswertung der Arbeitshypothesen, welche in Kapitel 3 entwickelt wurden, im Vordergrund. Weiterhin werden die Ergebnisse mit den in der Literatur zu findenden Ergebnissen verglichen und in Zusammenhang gebracht. Die Diskussion soll mit der Interpretation der Hoftorbilanzsalden die Grundlage für den Ausblick geben, der diese Arbeit nach den Schlussfolgerungen und vor der Zusammenfassung abschließen wird.

6.1 Wenn Marktfruchtbetriebe biologisch wirtschaften, dann tendieren die Hoftorbilanzen zu negativen Salden.

In Bezug auf die in dieser Arbeit durchgeführten Hoftorbilanzierungen konnte Arbeitshypothese 1 nicht falsifiziert werden. Die Ergebnisse der P- und K-Hoftorbilanzsalden waren alle negativ, was für diese Untersuchung Arbeitshypothese 1 bestätigte.

Die P-Salden, welche zwischen -2,6 und -29,9 kg P ha^{-1} a^{-1} schwankten (Abbildung 6), wiesen eine große Spannweite auf und waren daher in die Bereiche ausgeglichen bis stark defizitär einzuordnen. Allgemein gilt, dass alle Salden, welche zwischen -13 und -4,5 kg P ha^{-1} a^{-1} liegen, als schwach defizitär gelten. Alle Salden, welche niedriger als der genannte Bereich sind, werden als stark defizitär interpretiert, während alle Salden, die oberhalb diesen Bereichs liegen, als ausgeglichen bezeichnet werden können (siehe Kapitel 4.2.2).

Bis auf Betriebe 1,2 und 14, welche als ausgeglichen bewertet werden konnten, bewegte sich die Mehrheit der analysierten Betriebe im schwach defizitären Bereich. Die Betriebe 5 und 11 waren als stark defizitär einzustufen (Abbildung 6).

Die große Spannweite war auf die unterschiedlichen Bewirtschaftungssysteme zurückzuführen. Außerdem waren die verschiedenen repräsentativen Kulturen Einflussfaktoren auf die Ergebnisse der Hoftorbilanzen. Diese Einflussfaktoren sollen im Folgenden erörtert werden:

Betrieb 1 wirtschaftete aufgrund der großen Betriebsfläche, bei der mehr als die Hälfte der landwirtschaftlich genutzten Fläche aus Dauergrünland besteht, mit einem nahezu ausgeglichenen P-Saldo und erreichte diesen ohne die Zufuhr von betriebsexternen Düngemitteln.

Betrieb 2, für den ein ausgeglichener P-Saldo berechnet wurde, fuhr als einziger Betrieb der untersuchten 15 Bio-Marktfruchtbetriebe das Getreidestroh für den Verkauf vom Acker ab. Außerdem baute er Kartoffeln, sowie Ackerbohnen und Getreide an, welche alle den nährstoffzehrenden Kulturen zugeordnet werden können. Weiterhin trug das Klee-Gras zu verhältnismäßig hohen P- und K-Entzügen bei. Dennoch wirtschaftete der Betrieb mit einer ausgeglichenen Nährstoffbilanz, was für das Nährstoffmanagement und das Bewirtschaftungssystem spricht. Der Saldo, welcher ohne die Zufuhr des Pferde- und Hühnermists im schwach defizitären Bereich einzuordnen gewesen wäre, sowie die nahezu ausschließliche P-Zufuhr über besagte Düngemittel wiesen auf die Notwendigkeit des Düngemittelimports auf Bio-Marktfruchtbetrieben hin (Abbildung 4 und Abbildung 6). Der geringe P-Eintrag durch das Saatgut konnte außerdem auf den hohen Anteil des eigenen Nachbaus zurückgeführt werden, da der Betrieb nahezu kein Getreidesaatgut zukaufte.

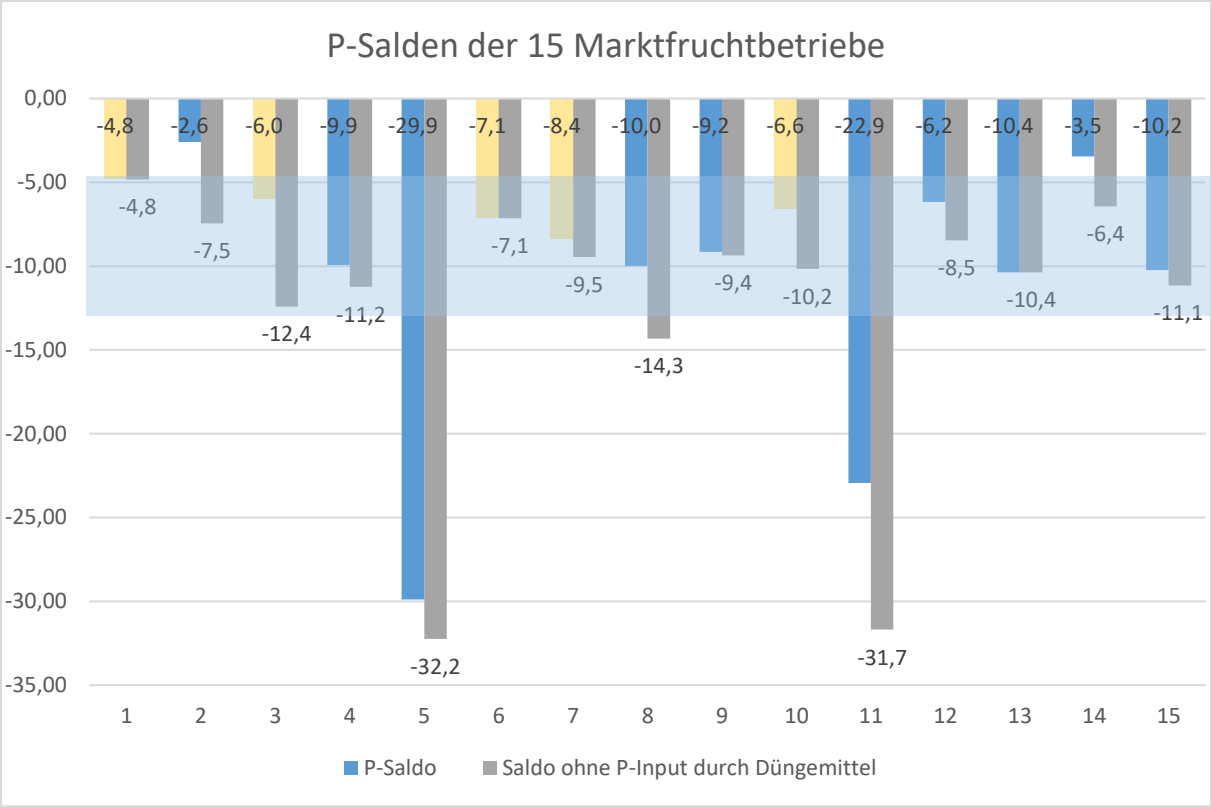

Abbildung 6. P-Salden der 15 Marktfruchtbetriebe. Alle Angaben in kg ha^{-1} a^{-1}, der blau markierte Bereich gibt die als schwach defizitär zu interpretierenden Salden an, die gelb gefärbten Balken kennzeichnen die Betriebe, welche mit einem nährstoffbewussten Management geführt werden.

Auch Betrieb 14, der ebenso mit einem ausgeglichenen P-Saldo wirtschaftete, baute einen großen Teil des Getreides aus eigenem Nachbau an. Außerdem importierte er 91 % des Phosphors in Form von Düngemitteln, um den hohen P-Verlust, welcher hauptsächlich auf den Anbau von Getreide zurückzuführen war, auszugleichen.

Betrieb 5, der den negativsten P-Saldo aufzeigte, führte nahezu keine Nährstoffe über Düngemittel in den Betrieb ein, baute aber einen sehr hohen Anteil an Getreide in der Fruchtfolge an. Somit ist das Getreide in Verbindung mit dem fehlenden Nährstoffmanagement auf dem Betrieb als Hauptursache für den negativen Saldo zu benennen.

Der negative P-Saldo von Betrieb 11 ließ sich aufgrund des hohen Anteils nährstoffzehrender Kulturen in der Fruchtfolge erklären. Bei demselben Betrieb war neben dem Anbau von Sojabohne, Getreide und Körnermais auch die Kultivierung der Zuckerrüben für die hohen Nährstoffentzüge verantwortlich. Es wurde offensichtlich, dass die jährlichen Düngemittelzufuhren in Form von Pferdemist und Kompost nicht ausreichend waren, um den P-Kreislauf zu schließen und die Nährstoffverluste zu minimieren.

Beim Vergleich der erhaltenen Ergebnisse mit den Ergebnissen anderer P-Hoftorbilanzierungen aus der Literatur ist eine Konformität zu erkennen. In der Untersuchung von Lindenthal und Surböck (2011) schwankten die Ergebnisse auf Bio-Marktfruchtbetrieben in Nieder- und

Oberösterreich zwischen -3 und -10 kg P ha^{-1} a^{-1}. Bei Marktfruchtbetrieben, welche eine Fruchtfolge mit einem hohen Anteil an Feldgemüse haben, fielen die Ergebnisse noch negativer aus. Die Salden erreichten bei diesen Betrieben pro Jahr bis zu -15 kg P ha^{-1} (Lindenthal & Surböck, 2011).

Die mittleren Salden der untersuchten Betriebe in dieser Arbeit bewegten sich somit in dem Bereich, welcher auch in der Literatur zu finden ist und sich in Westeuropa auf biologisch wirtschaftenden Betrieben auf zwischen -16 und +26 kg P ha^{-1} beläuft (Möller & Friedel, 2016, 471). Eine Ausnahme stellten lediglich die beiden stark defizitären Salden der Betriebe 5 und 11 dar.

Die in dieser Arbeit untersuchten Betriebe im Marchfeld, welche Feldgemüse anbauten, wirtschafteten alle mit negativen P-Salden. Allerdings war hier kein negativerer Trend als bei den anderen Betrieben festzustellen, was den Ergebnissen von Lindenthal und Surböck (2011) widerspricht, aber konform zu den Resultaten von Kolbe (2015), der Schlagbilanzen auf unterschiedlichen Betriebsformen erstellte, ist. Er bestätigte, dass Marktfruchtanbaubetriebe oft negativere Bilanzen aufzeigten als Betriebe mit Feldgemüsebau.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der K-Bilanzen wurde eine ebenso große Spannweite sichtbar. Allgemein gilt, dass die Salden, welche sich zwischen -17 und -42 kg K ha^{-1} a^{-1} befinden, als schwach defizitär betrachtet werden. Dies bedeutet, dass alle Salden unterhalb dieses Bereichs als stark defizitär bezeichnet werden können, während alle Salden oberhalb als ausgeglichen bewertet werden (siehe Kapitel 4.2.2).

So bewegten sich die berechneten K-Salden in dieser Arbeit zwischen -9,5 und -56,5 kg ha^{-1} a^{-1} (Abbildung 7), womit diese sich innerhalb der Spannweite von K-Bilanzen in unterschiedlichen Regionen Deutschlands bewegten. Hier beläuft sich die Spannweite auf -84 bis +134 kg K ha^{-1} a^{-1} (Möller & Friedel, 2016, 472).

Die Betriebe 1,2, 3, 6, 7 und 12 bis 15 waren als ausgeglichen einzustufen, während Betrieb 5 als stark defizitär einzuordnen war. Alle anderen Betriebe waren als schwach defizitär zu beschreiben. Somit wurde deutlich, dass die K-Bilanzen tendenziell ausgeglichener waren als die P-Bilanzen. Dies widersprach den Ergebnissen von Reeb (2004), der bei der Auswertung eines Dauerfeldversuchs bei den K-Salden bedenklich negative Ergebnisse feststellte, während die durchschnittliche P-Bilanz als nahezu ausgeglichen interpretiert werden konnte.

Wieder war Betrieb 5 der Marktfruchtbetrieb mit dem negativsten Saldo, womit die Erklärung der Fruchtfolge in Zusammenhang mit dem fehlenden Nährstoffmanagement auch hier als Ursache für die stark defizitäre Bilanz herangezogen werden kann.

Betrieb 2 konnte die hohen K-Entzüge des Klee-Grases sowie des Dinkels und der Kartoffeln durch den Import des organischen Pferde- und Hühnermists ausgleichen, während Betrieb 3 den K-Saldo, trotz des intensiven Körnermais-, Getreide- und Sojaanbaus, ebenso durch den Düngemittelimport in den ausgeglichenen Bereich anheben konnte. Auch Betrieb 6 fing die K-Entzüge von hauptsächlich Acker- und Sojabohne durch den Import der Schweinejauche auf. Betrieb 12 kaufte Pferdemist in jedem der fünf analysierten Jahre und Bio-Agenasol ab dem zweiten Jahr (2012) zu. Betrieb 15 importierte jährlich Pferdemist und glich somit die hohen K-Verluste durch die Ernte von Sojabohne, Getreide und Körnermais aus, während Betrieb 14 durch die zweimalige Anwendung von Kompost (2014 und 2015) und dreimalige Applikation von organischen Handelsdüngern (2013-2015) eine ausgeglichene K-Bilanz erreichte.

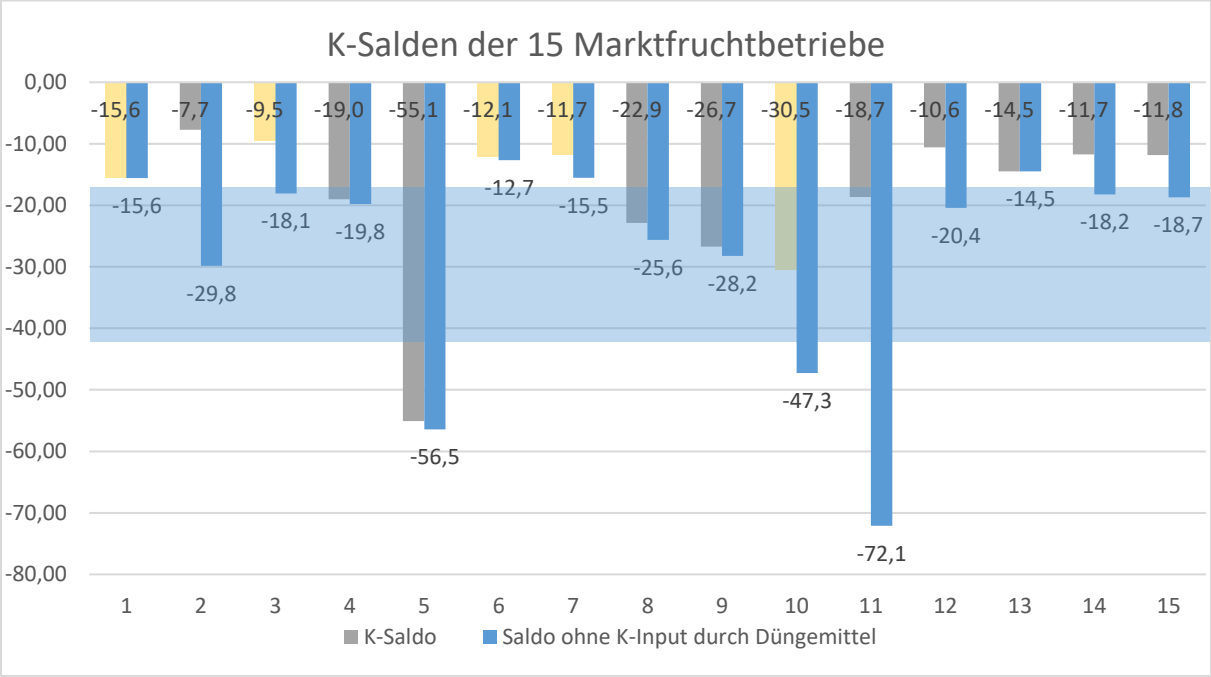

Abbildung 7. K-Salden der 15 Marktfruchtbetriebe. Alle Angaben in kg ha^{-1} a^{-1}, der blau markierte Bereich gibt die als schwach defizitär zu interpretierenden Salden an, die gelb gefärbten Balken kennzeichnen die Betriebe, welche mit einem nährstoffbewussten Management geführt werden.

Die K-Bilanz von Betrieb 7 wäre auch ohne den Import von Düngemitteln ausgeglichen gewesen. Genauso verhielt es sich bei den Betrieben 1 und 13, die keine Düngemittel importierten und dennoch mit einem ausgeglichenen K-Saldo wirtschafteten (Abbildung 7). Gerade auf den Betrieben 1 und 13 wären nun Schlagbilanzen interessant, um feststellen zu können, ob die ausgeglichenen Bilanzen auch auf den Schlägen vorliegen. Berry et al. (2003) stellten nämlich in diesem Zusammenhang fest, dass bei Schlagbilanzierungen in Großbritannien nur dann ausgeglichene K-Bilanzen berechnet wurden, wenn Düngemittel zugekauft wurden.

Bei der Betrachtung der prozentualen Aufteilung der Nährstoffeinträge nach ihren Quellen wurde offensichtlich, dass sobald regelmäßig Düngemittel zugekauft wurde, die Nährstoffeinträge durch Saatgut nur einen sehr geringen Teil ausmachten. Diese Ergebnisse

sind zu den Ergebnissen von Watson et al. (2002) und Foissy et al. (2013) konform. Foissy et al. (2013) sagten aus, dass die Düngemittelzufuhren 10 bis 100 % der totalen Nährstoffeinträge ausmachten, während Watson et al. (2002) bestätigten, dass die Saatgutzufuhr nur für einen kleinen Anteil des gesamten Nährstoffimports verantwortlich waren. Die einzige Ausnahme stellte laut Watson et al. (2002) der Zukauf von Saatkartoffeln dar, welche große Mengen an Kalium in den Betrieb importierten. Dies bestätigte sich in dieser Untersuchung auf Betrieb 14, der durchschnittlich auf 8 ha pro Jahr Saatkartoffeln anbaute und dabei rund 24 t Saatkartoffeln pro Jahr zukaufte. Bei den Betrieben 11 und 12, die Kartoffeln auf kleineren Flächen anbauten (1-3 ha), fiel der Saatkartoffelzukauf nicht so sehr ins Gewicht. Auf diesen Betrieben waren bezüglich des K-Imports auch Erbsen und Sojabohnen von Bedeutung.

Beim Vergleich von sowohl P- als auch K-Salden in den einzelnen Betrieben fiel auf, dass für Betrieb 11 ein nahezu ausgeglichener K-Saldo berechnet wurde, während der P-Saldo stark defizitär war. Dies ist auf die Nährstoffzusammensetzung der eingesetzten organischen Düngemittel zurückzuführen. Pferdemist enthält rund neun Mal mehr Kalium als Phosphor und Kompost das Vierfache an Kalium im Vergleich zu Phosphor (KTBL, 2015, 117). Bei allen anderen Bilanzen waren ähnliche Tendenzen zwischen P- und K-Salden feststellbar.

In Bezug auf die Aussagen der LandwirtInnen konnten, wie bereits in den Ergebnissen festgestellt wurde, die Betriebe in verschiedene Gruppen eingeteilt werden. Die Betriebe, auf denen sich die BetriebsleiterInnen besonders bewusst mit dem betriebsspezifischen Nährstoffmanagement auseinandersetzten, werden im Folgenden in Bezug auf die Hoftorbilanzergebnisse näher analysiert.

Betrieb 1, der auf den Zukauf von Düngemittel verzichtete, wurde mit einem sehr bewussten Nährstoffmanagement geleitet. Für diesen Betrieb wären in einer weiteren Untersuchung Schlagbilanzen interessant, um Nährstoffumverteilungen, die von Grünland zu Ackerland aufgrund des Grünschnittkomposts stattfanden und in ähnlicher Weise von Möller (2009) auf Milchviehbetrieben berechnet wurden, quantifizieren zu können. Mit Hilfe der Schlagbilanzen könnte dann festgestellt werden, wie die Nährstoffversorgung speziell auf den Ackerflächen zu bewerten ist.

Betrieb 3 hob den P-Saldo, welcher deutlich in Richtung stark defizitär zeigte, durch den Düngemittelimport in den nahezu ausgeglichenen Bereich an. Auch der K-Saldo wurde durch die Ausbringung der Biogasgülle, Rindergülle, sowie die organischen Handelsdünger und das Patentkali stark angehoben. Die Betriebsleiterin, welche sich viele Gedanken um das Nährstoffmanagement machte und daher auch viel in den Zukauf der Düngemittel investierte, erreichte durch ihr Management verhältnismäßig gute Hoftorbilanzsalden.

Weiterhin wurde Betrieb 6 mit einem sehr bewussten Nährstoffmanagement geleitet. Da hier, auch langfristig, die gesamte Nährstoffversorgung ausschließlich durch mikrobielle Bodenaktivität gesichert werden soll, wurde auf den Zukauf von Düngemittel verzichtet. Nach Aussagen des Landwirts wurde die Schweinejauche nur ausgebracht, da sie von einem benachbarten Veredelungsbetrieb kostenlos zur Verfügung gestellt wurde. Dieser Betrieb wirtschaftete mit einem im Vergleich zu den anderen Betrieben im Durchschnitt weniger negativen P- und K-Saldo und konnte somit in Bezug auf die Ergebnisse der Hoftorbilanzen als relativ nachhaltig eingestuft werden.

Betrieb 7, der mit unterschiedlichen Düngemittelzukäufen wirtschaftete und außerdem eine eigene Kompostierung auf seinem Betrieb anwendete, wirtschaftete trotz eines großen Anteils nährstoffzehrender Kulturen mit einem ausgeglichenen K-Saldo. Dies zeigt, dass das Nährstoffmanagement von enormer Bedeutung für die Minimierung von Nährstoffverlusten aus dem Betriebskreislauf ist.

Betrieb 10, der sowohl Düngemittel tierischer Herkunft, als auch organische Handelsdünger sowie mineralische Düngemittel zukaufte, wirtschaftete mit P- und K-Salden, die sich im schwach defizitären Bereich befanden. Das heißt, auf diesem Betrieb, der einen hohen Feldgemüseanteil in seiner Fruchtfolge hatte, wurde es dem Betriebsleiter trotz des bewussten Nährstoffmanagements nicht möglich ausgeglichene Nährstoffsalden zu erwirtschaften. Dementsprechend müssten hier also noch mehr Düngemittel zugekauft oder der Anteil des Feldgemüses in der Fruchtfolge reduziert werden. Die notwendige Anpassung der Fruchtfolge an das im bL mögliche Nährstoffmanagement deckt sich mit den Ergebnissen von Fischinger et al. (2014), die feststellten, dass allein im bL in Deutschland jedes Jahr rund 4000 t Phosphor durch Ernteprodukte aus den Betrieben abgeführt wurden, während diese Verluste nicht durch eine adäquate Nährstoffzufuhr ausgeglichen werden konnten.

Auf den übrigen Betrieben wurden keine besonderen Aussagen über das Nährstoffmanagement gemacht. Dennoch befand sich hier die Mehrzahl der Betriebe in den Bereichen ausgeglichen bis schwach defizitär, wie aus den Abbildungen 6 und 7 ersichtlich wurde. Das heißt, vor allem das Nährstoffmanagement von Kalium funktionierte auf den meisten der in dieser Arbeit untersuchten Betrieben im Sinne einer ausgeglichenen Nährstoffversorgung ohne besondere Düngestrategien.

6.2 Je offener die Nährstoffkreisläufe eines Bio-Marktfruchtbetriebs sind, desto höher ist das Bodenverarmungsrisiko.

Die Offenheit bzw. Geschlossenheit der untersuchten Nährstoffkreisläufe bezog sich sowohl auf die Nährstoffverluste, die in einem Marktfruchtbetrieb durch den Verkauf der Ernteprodukte entstanden, als auch auf die eventuelle Zufuhr von außerbetrieblichen Düngemitteln. Das

heißt, die Hypothese beschreibt zwei verschiedene Annahmen. Zum einen sagt sie aus, dass steigende Nährstoffverluste in einem Betrieb durch den Verkauf der Ernteprodukte ein erhöhtes Risiko für die Bodenverarmung darstellten. Zum anderen wurde angenommen, dass erhöhte Düngemittelzukäufe mit einem steigenden Bodenverarmungsrisiko einhergingen. Beide Aussagen werden im Folgenden erörtert.

Die erste Annahme konnte durch die in dieser Arbeit erhaltenen negativen Ergebnisse in Form der negativen Bilanzsalden nicht falsifiziert werden.

Vielmehr weisen die negativen Bilanzergebnisse, welche in dieser Arbeit berechnet wurden, darauf hin, dass langfristig mit einer Bodenverarmung auf Bio-Marktfruchtbetrieben zu rechnen ist. Dies deckt sich tendenziell mit den Ergebnissen aus den Bodenuntersuchungen, welche für diese Arbeit vorlagen, wobei diese nicht durch die Regressionsanalyse zwischen P-Bodengehalten und P-Abfuhren bestätigt wurden. Die erste Annahme der Hypothese konnte also statistisch nicht gestützt werden. Das heißt, die negativen Ergebnisse der Bilanzsalden und die darauf gründende Vermutung eines Bodenverarmungsrisikos können lediglichmit korrelierenden Ergebnissen aus der Literatur bekräftigt werden (Lindenthal, 2000; Reeb, 2004; Gruber & Thamm, 2005; Blume et al., 2010, 401).

Die Bodenuntersuchungsergebnisse dieser Arbeit, welche schon in Tabelle 17 dargestellt wurden, wiesen darauf hin, dass Bio-Marktfruchtbetriebe, welche vor dem Jahr 2000 auf biologische Bewirtschaftung umgestellt hatten, tendenziell niedrigere Bodengehalte vorzeigten als Betriebe, die nach dem Jahr 2000 umgestellt wurden. Diese Tendenzen konnten im Vergleich zu Kalium vor allem für Phosphor festgestellt werden. Die Regressionsanalyse, welche den Zusammenhang zwischen den mittleren Bodengehalten und den Jahren biologischer Bewirtschaftung testete, zeigte zwar in Bezug auf Phosphor in Bezug auf den t-Test keinen signifikanten Zusammenhang auf, wohl aber eine Tendenz, wie aus Abbildung 8 ersichtlich wird. Dies lässt ein, im Vergleich zu Kalium, größeres Risiko an Bodenverarmung für Phosphor vermuten. Es wäre sinnvoll in weiteren Arbeiten einen größeren Stichprobenumfang zu überprüfen, um die statistischen Berechnungen mit mehr Daten durchführen und damit zu genaueren Ergebnissen gelangen zu können.

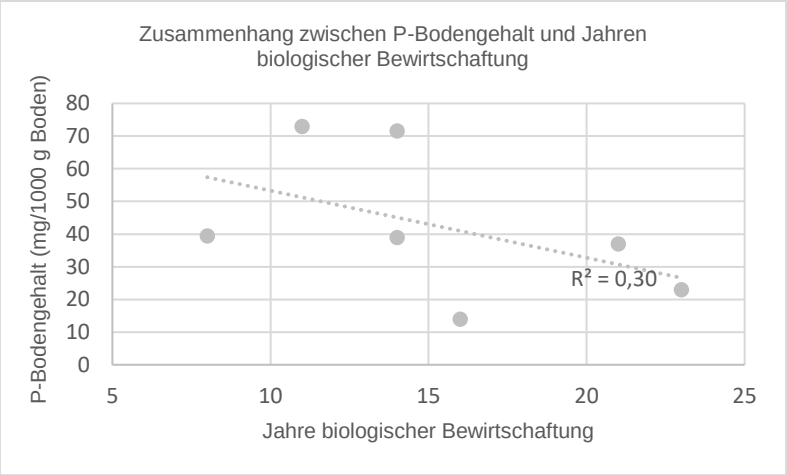

Abbildung 8. Zusammenhang zwischen P-Bodengehalt und Jahren biologischer Bewirtschaftung mit Darstellung der linearen Regression, sowie des Bestimmtheitsmaßes (R^2).

Die Bodenverarmung wird eintreten, wenn das Nachlieferungspotential des Bodens von Phosphor und Kalium erschöpft ist. Da dieses nur schwierig erfasst werden kann, haben Morel et al. (2014) ein Computer Model entwickelt, welches die P-Dynamik in einem Boden in Zusammenhang mit dem Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor im Boden und der betriebsspezifischen Managementstrategie erfassen und berechnen kann. Dieses kann helfen, die P-Dynamik im Boden zu verstehen und genauere betriebsspezifische Prognosen für das Nachlieferungspotential des Bodens liefern zu können.

Der Vergleich mit den Salden und der auf den analysierten Betrieben vorhandenen Bodenuntersuchungsergebnisse zeigte unterschiedliche Tendenzen und Resultate auf (Tabelle 20), während die Regressionsanalyse, einen Zusammenhang zwischen stei

Tabelle 20. Vergleich der Bodenuntersuchungsergebnisse mit den Hoftorbilanzsalden.

Betrieb	HPG	P-Gehalts-klasse	Saldo (kg ha^{-1} a^{-1})	K-Gehalts-klasse	Saldo (kg ha^{-1} a^{-1})
1	1	B	-4,8	D;E	-15,6
4	2	A-C	-10,0	A-C	-19,0
5	3	A-C	-29,9	B;C	-55,1
10	5a	C	-9,2	C	-26,7
11	5a	C	-6,6	B;C	-30,5
12	5a	C	-23,0	C	-18,7
13	5b	B; C	-10,4	C	-14,5

Betrieb 5, für den die negativsten Salden berechnet wurden, wies niedrige P- und K-Gehalte auf demjenigen Schlag auf, welcher bis ins Jahr 2013 unter konventioneller Bewirtschaftung stand, während die seit über zehn Jahren biologisch bewirtschafteten Flächen gut mit den Nährstoffen Phosphor und Kalium versorgt waren.

Betrieb 1 verfügte über Ackerflächen mit K-Gehalten der Gehaltsklassen D und E und mit P-Gehalten der Gehaltsklasse B ohne die Zufuhr von externen Betriebsmitteln. Es muss daher vermutet werden, dass der Grünschnittkompost für die hohen K-Gehalte in den Böden verantwortlich war. Über die langjährige Beobachtung der Bodengehalte hinweg, konnte der Landwirt nach eigenen Aussagen steigende Tendenzen feststellen. Auch Lindenthal (2000) stellte ähnliche Tendenzen beziehungsweise unveränderte Bodengehaltswerte bei der Auswertung eines Dauerversuchs fest.

Betrieb 4 verfügte über Schläge, die den Gehaltsklassen A bis C zuzuordnen waren. Dieser Betrieb wurde schon sehr lange biologisch bewirtschaftet, was als Ursache für die teilweise niedrigen Bodengehalte herangezogen werden kann.

Es gilt, dass die meisten Ackerflächen, für die im Rahmen dieser Arbeit Bodenuntersuchungsergebnisse vorlagen, für Kalium in die Gehaltklasse C und für Phosphor in die Gehaltsklasse B einzuordnen waren. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Mehrheit der Böden zurzeit noch ausreichend für den bL mit Phosphor und Kalium versorgt sind. Dieses Ergebnis deckt sich sowohl mit den Aussagen der LandwirtInnen, die noch keine Ertragsrückgänge beobachtet haben, welche sie auf P- oder K-Mangel zurückführen könnten, als auch mit Resultaten aus der Literatur (Lindenthal, 2000; Baumgarten et al. 2011; Möller & Friedel, 2016, 471; Loes & Ebbesvik, 2017). Die Aussagen der LandwirtInnen, welche keine Düngemittel importierten und dennoch keine Ertragsrückgänge bemerkten, weisen darauf hin, dass die LandwirtInnen keinen Anlass sehen sich Gedanken über die P- und K-Versorgung der Pflanzen zu machen. Dies deckt sich mit Ergebnissen von Haas et al. (2007).

Trotz der heutigen weitreichend ausreichenden Nährstoffversorgung der biologisch bewirtschafteten Ackerflächen, muss das Bodenverarmungsrisiko, welches langfristig auf allen Ackerflächen zum Problem werden kann, schon heute in den Managementstrategien von Bio-Marktfruchtbetrieben bedacht werden. Baumgarten et al. (2011) bestätigten in einer Untersuchung auf österreichischen biologisch bewirtschafteten Ackerflächen die Tendenz von höheren zu niedrigen Gehaltsklassen. Fischinger et al. (2014) und Kolbe (2015) behaupteten, dass auf Marktfruchtbetrieben, welche ohne den Zukauf von organischen Düngemitteln wirtschaften, mit durchschnittlich sinkenden pflanzenverfügbaren P-Bodengehalten von 1 mg 100 g^{-1} Boden alle fünf bis zehn Jahre gerechnet werden muss. Um diesen Verlust auszugleichen, wurden laut Kolbe (2015) erfahrungsgemäß 100 kg P ha^{-1} benötigt, um den P-Gehalt im Boden um 1 mg 100 g^{-1} Boden anzuheben.

Die zweite Aussage der Hypothese konnte falsifiziert werden. Betriebe, welche Düngemittel zukauften, konnten das Bodenverarmungsrisiko durch den zusätzlichen Nährstoffeintrag senken, indem die Hoftorbilanzsalden weniger negativ wurden, und somit die Nachhaltigkeit des Systems steigern (Kapitel 6.1).

Die regelmäßige dem Nährstoffbedarf angepasste Applikation von organischen Düngemitteln sollte daher auf jedem Bio-Marktfruchtbetrieb angestrebt werden, um dem langfristigen Risiko der Bodenverarmung entgegenzutreten. Dies wird aus den Abbildungen 6 und 7 ersichtlich. Bei der Betrachtung der P-Salden wurde deutlich, dass Betrieb 8 mit Hilfe der Düngemittelapplikation den berechneten Saldo aus dem stark defizitären Bereich in den schwach defizitären Bereich anhob. Betriebe 2 und 14 hoben den Saldo aus dem schwach defizitären Bereich in den ausgeglichenen Bereich an.

In Bezug auf die K-Salden hoben die Betriebe 10 und 11 die Ergebnisse der Bilanzen aus dem stark defizitären in den schwach defizitären Bereich und die Betriebe 2, 3, 12, 14 und 15 vom schwach defizitären in den ausgeglichenen Bereich an. Gerade beim Anbau von stark zehrenden Kulturen, wie Getreide, Acker- und Sojabohnen, Körnermais oder Feldgemüse scheint also die Applikation von Düngemitteln in Bezug auf die K-Versorgung von besonderer Bedeutung. Die unterschiedlichen Ergebnisse zeigen erneut, dass weniger die Betriebsform Bio-Marktfruchtbetrieb, sondern eher das betriebsspezifische Management Einfluss auf die Hoftorbilanzsalden hat. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Lindenthal (2000) und Nesme et al. (2012).

Der durchschnittliche P-Saldo der in dieser Arbeit untersuchten Bio-Marktfruchtbetriebe betrug -9,9 kg ha^{-1} a^{-1}, während sich der K-Saldo auf -18,5 kg ha^{-1} a^{-1} belief. Um die P-Verluste auszugleichen, werden also im Durchschnitt 9 t Pferdemist ha^{-1} a^{-1} oder 7 t Pferdemist ha^{-1} a^{-1} benötigt. Konkret müsste Betrieb 5 lediglich 21 t Kompost ha^{-1} a^{-1} in den Betrieb importieren, um den P-Saldo auszugleichen und somit das Bodenverarmungsrisiko zu minimieren. Damit würde der Betrieb in Form von Zukaufdüngern rund 30 kg P ha^{-1} a^{-1} importieren, und somit das Sechsfache dessen, was Kolbe (2015) vorschlägt. In seiner Untersuchung gibt er einen durchschnittlichen P-Import von 5 kg ha^{-1} a^{-1} für Marktfruchtbetriebe an, um eine ausreichende Nährstoffversorgung auf dem Betrieb sicherzustellen.

Für Betrieb 11 gilt nach der gleichen Berechnung ein Mehrzukauf von 16 t Kompost ha^{-1} a^{-1}, um Bodennährstoffverarmung vorzubeugen. Da sich auf Betrieb 11, im Gegensatz zu Betrieb 5, die Gehaltsklassen von Phosphor und Kalium durchweg auf Gehaltsklasse C beliefen, ist das Bodenverarmungsrisiko speziell auf diesem Betrieb im Gegensatz zu Betrieb 5 als nur sehr langfristig anzusehen. Weiterhin fördern die Pferdemist- und Kompostgabe, welche jährlich auf diesem Betrieb auf die Ackerflächen angewendet wurden, den Aufbau von Humus und organischer Bodensubstanz und somit eine aktive P-Mobilisierung.

Zusammenfassend gilt also, dass eine Aussage über das Bodenverarmungsrisiko in Zusammenhang mit den Bilanzsalden schwierig ist, da das Nachlieferungspotential des Bodens eine große Rolle spielt. Die tendenzielle Verschiebung der Gehaltsklassen von österreichischen

Bio-Ackerflächen in Richtung niedrigerer Gehaltsklassen, welche auch durch die in dieser Arbeit vorliegenden Bodenuntersuchungsergebnisse bestätigt wurde, weist dennoch auf ein erhöhtes Bodenverarmungsrisiko hin (Baumgarten et al., 2011). Der Einfluss von organischen Düngemitteln auf die Hoftorbilanzsalden, welcher sowohl in dieser Arbeit als auch in der Literatur festgestellt wurde, betont die Notwendigkeit für Bio-Marktfruchtbetriebe, Düngemittel zu importieren. Somit können offene Nährstoffkreisläufe in Bezug auf Nährstoffverluste durch den Verkauf von Ernteprodukten Ursache für eine langfristige Bodenverarmung auf Bio-Ackerflächen sein, während offene Nährstoffkreisläufe in Bezug auf den Zukauf von außerbetrieblichen Düngemitteln notwendig sind, um das Bodenverarmungsrisiko zu senken.

6.3 Je ausgeglichener die Nährstoffbilanz eines Bio-Marktfruchtbetriebs ist, desto größer ist seine Abhängigkeit von viehhaltenden Betrieben.

Um diese Hypothese bewerten zu können, musste zwischen P- und K-Bilanz unterschieden werden. In dieser Arbeit wurde davon ausgegangen, dass Betriebe von Düngemitteln tierischer Herkunft abhängig sind, wenn sie mehr als 50 % des gesamten Nährstoffeintrags in Form dieses Düngers importieren.

Insgesamt importierten sieben Betriebe Pferdemist, ein Betrieb Schweinejauche, ein Betrieb Hühnermist und ein Betrieb Biogasgülle und Rindergülle. Aufgrund der schon genannten Ergebnisse konnten in Bezug auf die P-Bilanz die Betriebe 2, 3, 11 und 15 als von viehhaltenden Betrieben abhängig beschrieben werden. Betrieb 2 importierte 94 % der P-Zufuhren in Form von Hühnermist und Betrieb 3 rund 74 % der P-Zufuhren über Biogasgülle und Rindergülle. Betrieb 11 trug 53 % und Betrieb 15 rund 66 % des Phosphors in Form von Pferdemist auf die Ackerflächen auf. Dabei war weder die Hoftorbilanz von Betrieb 3 oder Betrieb 11 noch die von Betrieb 15 ausgeglichen. Das heißt, im Hinblick auf die P-Bilanz konnte diese Arbeitshypothese falsifiziert werden, da sie auf 13 der 15 analysierten Betriebe nicht den Ergebnissen entsprach und lediglich durch Betriebe 2 bestätigt wurde. Dies wurde auch durch die Regressionsanalyse bestätigt. So wurde mittels des F-Tests kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Variablen festgestellt.

Tendenziell war das Nährstoffmanagement der analysierten Bio-Marktfruchtbetriebe in Bezug auf Phosphor eher vom Zukauf von organischen Handelsdüngern abhängig. Betrieb 4 importierte 83 %, Betrieb 7 rund 55 %, Betrieb 8 rund 93 %, Betrieb 10 rund 60 % und Betrieb 14 rund 65 % des gesamten P-Eintrags in Form von organischen Handelsdüngern. Sie erreichten dabei ausgeglichene bis schwach defizitäre P-Salden. Die Applikation von organischen Handelsdüngern zeigte somit in dieser Arbeit eine tendenziell größere Bedeutung für die P-Bilanz als organische Dünger tierischer Herkunft auf. Dies widersprach Ergebnissen von Foissy et al. (2013), die bei Untersuchungen in Frankreich große Abhängigkeiten zwischen Bio-Marktfruchtbetrieben und tierhaltenden Betrieben feststellten.

In Bezug auf die P-Salden müssten alle Betriebe, außer Betrieb 1, Düngemittel zukaufen, um ausgeglichene Bilanzen erreichen zu können. Da für die Düngung von Phosphor Kompost eine größere Effektivität besitzt als Düngemittel tierischer Herkunft, wäre eine Abhängigkeit von möglichen Kompostlieferanten wünschenswerter (Lindenthal & Surböck, 2011). Die Auswertung dieser Hypothese unterstreicht somit die Notwendigkeit der Entwicklung von spezifischen Bio-P-Düngern, um die P-Kreisläufe in der Bio-Landwirtschaft schließen zu können, sowie die Schaffung von Zugängen zu P-Düngern, was die Betriebsleiterin von Betrieb 3 während des Interviews aufgrund fehlender Kompostwerke in ihrer Nähe betonte (Evans & Condon, 2009; Wollmann & Möller, 2015; Krumphuber, 2016; Möller, 2016).

Bei der Betrachtung der K-Salden fiel auf, dass der Zukauf von Düngemitteln tierischer Herkunft eine bedeutendere Rolle spielte als bei den P-Salden. So waren die Betriebe 2, 11, 12 und 15 von der Applikation von Pferdemist abhängig, um ausgeglichene Nährstoffsalden zu erreichen. Sie importierten zwischen 52 und 97 % des gesamten Kalium-Eintrags in Form von Pferdemist. Die Bedeutung von Pferdemist im Vergleich zu organischem Dünger pflanzlicher Herkunft kann durch seinen fast doppelt so großen K-Eintrag pro Tonne FM mit 9,1 kg im Gegensatz zu Grüngutkompost (5,3 kg t^{-1} FM) erklärt werden.

Betriebe 12 und 15 waren in Bezug auf die K-Bilanz nur durch die applizierten Düngemittel tierischer Herkunft im ausgeglichenen Bereich einzuordnen. Dabei machte der Pferdemist auf Betrieb 12 rund 83 % und auf Betrieb 15 rund 89 % des gesamten K-Eintrags aus. Das heißt, ohne die Zugabe des Düngers tierischer Herkunft befänden sich die K-Bilanzen im defizitären, Bereich, womit diese Betriebe als abhängig von den viehhaltenden Betrieben beschrieben werden können. Betrieb 11 hebt durch den Import von 73 % des Phosphors in Form von tierischem Düngemittel den K-Saldo vom stark defizitären in den schwach defizitären Bereich an. Für Betrieb 2 waren Pferde- und Hühnermist für 96 % des gesamten K-Imports verantwortlich, wobei der Pferdemist davon 82 % und der Hühnermist 18 % ausmachten. Mit dem Import des organischen Düngers hob der Betrieb seine K-Bilanz aus dem schwach defizitären Bereich in den ausgeglichenen Bereich an und konnte folglich ebenso als von den viehhaltenden Betrieben abhängig beschrieben werden. Genauso verhielt es sich bei Betrieb 3, der 56 % des Kaliums über Düngemittel tierischer Herkunft importierte und dabei 75 % über Biogasgülle und 25 % über Rindergülle in den Betrieb eintrug, sowie bei Betrieb 15, der 89 % des zugeführten Kaliums in Form von tierischen Düngemitteln importierte.

Bei der Betrachtung der K-Bilanzen bestand also eine größere Abhängigkeit zu viehhaltenden Betrieben, was auch durch die statistischen Berechnungen bestätigt wurde (Abbildung 9). So konnte anhand der Regressionsanalyse im F-Test ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Importen tierischer Düngemittel und den K-Salden festgestellt werden

(F_{err} = 4,45 > $F_{0,95}$ (8) = 0,07), wobei dieses Ergebnis im Rahmen des t-Tests widerlegt wurde (P-Wert = 0,07).

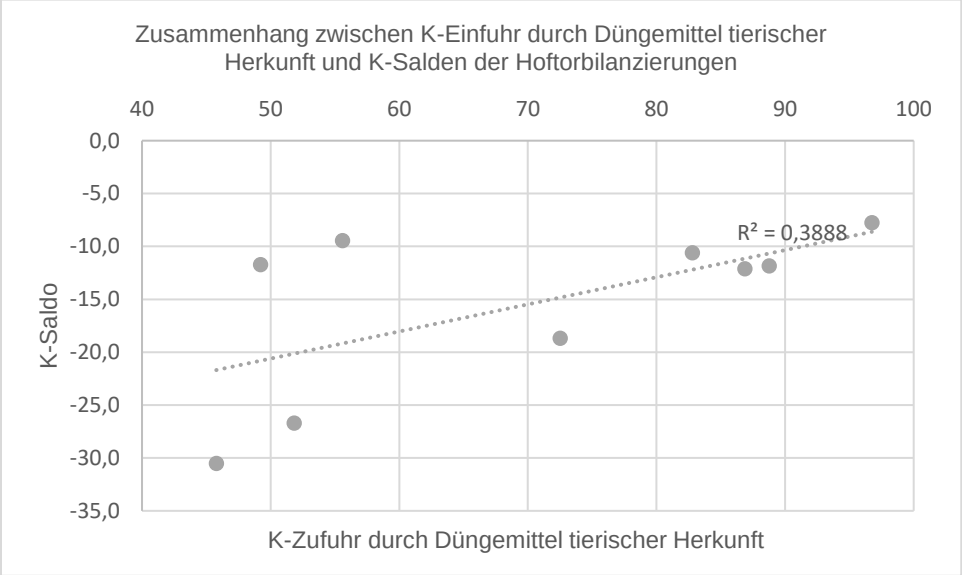

Abbildung 9. Zusammenhang zwischen K-Einfuhr durch Düngemittel tierischer Herkunft und K-Salden der Hoftorbilanzierungen mit Darstellung der lineraren Regression, sowie des Bestimmtheitsmaßes (R^2).

Die tendenziell größere Abhängigkeit ist darauf zurückzuführen, dass organische Düngemittel tierischer Herkunft einen größeren Effekt auf den K-Eintrag als auf den P-Eintrag haben, und somit die Bedeutung von organischem Dünger tierischer Herkunft für die K-Bilanz größer ist als für die P-Bilanz. Allerdings gab es im Rahmen der Untersuchung auch Betriebe, welche ohne Zukaufdünger mit ausgeglichenen Bilanzen wirtschafteten.

An diesem Punkt ist anzumerken, dass die Abhängigkeit der untersuchten Bio-Marktfruchtbetriebe zu Pferdemist, welche in dieser Arbeit festgestellt wurde, aus Sicht des bL als sehr kritisch anzusehen ist. Pferdemist ist im bL erlaubt, unabhängig von der Pferdehaltung und –fütterung, sowie der Medikation der Tiere, während die Dünger aus Veredlungsbetrieben von biologisch wirtschaftenden Betrieben kommen müssen. Es stellt sich also die Frage inwiefern Pferdemist die Prinzipien des bL im Hinblick auf die Betriebsmittel des Pferdestalls erfüllen kann.

Schlussendlich wurde deutlich, dass die wenigsten der in dieser Arbeit analysierten Bio-Marktfruchtbetriebe von viehhaltenden Betrieben, bei gleichzeitig ausgeglichenen Nährstoffbilanzen, abhängig waren, was somit die Hypothese falsifiziert. Allerdings waren vor allem bei der K-Bilanz Abhängigkeiten zu erkennen, die in großen Nährstoffverlusten durch die Abfuhr der Ernteprodukte enden könnten, falls der Import von organischen Düngemitteln tierischer Herkunft eingestellt würde.

6.4 Je geschlossener die Nährstoffkreisläufe sind, desto besser ist die Nährstoffeffizienz.

Auch bei dieser Hypothese waren die Nährstoffkreisläufe in innere und äußere zu unterteilen. Sobald die Hoftorbilanzsalden ausgeglichen waren und folglich keine Nährstoffverluste entstanden, wurden die äußeren Nährstoffkreisläufe als geschlossen bewertet. Die inneren Nährstoffkreisläufe waren geschlossen, wenn keine Düngemittelimporte stattfanden und somit keine Nährstoffe von außen in den Betrieb eingetragen wurden, während gleichzeitig keine Verluste von Nährstoffen durch den Verkauf der Ernteprodukte entstanden.

Die in dieser Arbeit berechneten Nährstoffeffizienzen bewegten sich in einer großen Spannweite (Tabelle 21). Dies galt sowohl für die K- als auch für die P-Bilanzen. Mit einer berechneten Nährstoffeffizienz von 134 % wirtschaftete Betrieb 2 in Bezug auf Phosphor am besten. Das heißt, die Nährstoffeffizienz war den optimalen 100 % am nächsten, während Betrieb 12 mit einer Nährstoffeffizienz von 133 % das Kalium am effektivsten ausnutzte und im Vergleich zu den übrigen Betrieben dem Optimum am nächsten kam.

Die ungünstigste P-Effizienz wurde für Betrieb 6 mit 7687 % und die ungünstigste K-Effizienz für Betrieb 1 mit 5109 % berechnet, welches beide Betriebe ohne Düngemittelzukäufe, sprich ohne zusätzliche Nährstoffzufuhr, waren. Das heißt, die Betriebe verbrauchten mehr als 76 bzw. mehr als 51 Mal mehr Nährstoffe als sie in den Betrieb durch entsprechendes Nährstoffmanagement einbrachten.

Bei der Auswertung der Nährstoffeffizienzen fiel auf, dass die P-Effizienz im Durchschnitt ungünstiger war als die von Kalium. So belief diese sich durchschnittlich auf 1435 %, während die mittlere K-Effizienz 1165 % betrug. Somit lagen die Ergebnisse weit über dem globalen Durchschnitt der P-Effizienz, was ein besseres Nährstoffmanagement auf allen Betrieben notwendig macht (Tilman et al., 2002; Watson et al., 2002). Die Beobachtung der besseren K-Effizienzen ist analog zu den Ergebnissen der Hoftorbilanzsalden, die ebenso bei Kalium ausgeglichener als bei Phosphor waren. Haas et al. (2007) stellten ebenso bei ihren Untersuchungen fest, dass die P-Einträge wesentlich geringer als die P-Austräge waren.

Tabelle 21. Nährstoffeffizienzen der 15 untersuchten Bio-Marktfruchtbetriebe im Überblick.

Betrieb	P-Effizienz (%)	K-Effizienz (%)
1	2744	5109
2	150	134
3	184	174
4	570	853
5	917	1365
6	7687	1924
7	710	361
8	315	805
9	339	204
10	1415	1012
11	262	267
12	327	133
13	4676	3970
14	204	249
15	849	253

Gelb unterlegt sind die Betriebe, welche ohne Düngemittelzukäufe wirtschaften.

In Bezug auf die Hypothese konnte daher folgendes festgestellt werden: Bei der Betrachtung der äußeren Nährstoffkreisläufe und der damit zusammenhängenden Nährstoffverluste, musste die Hypothese falsifiziert werden. So waren die Nährstoffeffizienzen nicht zwangsläufig gut, wenn die Hoftorbilanzsalden ausgeglichen und somit die Nährstoffverluste minimiert waren. Dies bestätigte die Varianzanalyse, welche keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den Variablen Hoftorbilanzsalden und Nährstoffeffizienzen, sowohl für Phosphor als auch für Kalium, berechnete (siehe Kapitel 5.5).

Genauso verhält es sich bei der Bewertung der Hypothese in Bezug auf die betriebsinternen Kreisläufe. Geschlossene innere Nährstoffkreisläufe förderten keine gute Nährstoffeffizienz. Die Nährstoffeffizienz wurde vielmehr mit steigendem Nährstoffeintrag besser. Daraus folgt, dass mit steigender Nährstoffzufuhr in Form von Zukaufdüngern die Nährstoffeffizienz optimiert wurde und sich somit den optimalen 100 % annäherte.

Es kam bei der Nährstoffeffizienz also weniger auf das Ergebnis der Hoftorbilanzierung, sondern vielmehr auf die Menge der in den Betrieb eingetragenen Nährstoffe an, was auch durch Watson et al. (2002) bestätigt wurde. Vielmehr ist also das ausgewogene Verhältnis zwischen Nährstoffeintrag und -austrag von Bedeutung. Dieses Verhältnis konnte im Zuge der Auswertung der Nährstoffeffizienzen in dieser Arbeit sowohl mit offenen als auch geschlossenen

Kreisläufen sehr unterschiedlich sein und war folglich sehr von der individuellen Managementstrategie abhängig. Generell gilt nach Auswertung der Ergebnisse, dass die Nährstoffe besser ausgenutzt werden, wenn entweder mehr Nährstoffe in den Betrieb eingetragen oder weniger Nährstoffe aus dem Betrieb ausgetragen werden.

Die Auswertung dieser Hypothese macht daher die Bedeutung von Futterzukäufen auf Milchviehbetrieben deutlich, welche auf Marktfruchtbetrieben fehlen. So werden auf Bio-Milchviehbetrieben die meisten P-Einträge in Form von Futtermitteln importiert (Berry et al., 2003; Haas et al., 2007; Foissy et al., 2013). Dieses Resultat hebt erneut die Problematik der spezialisierten Betriebsform des Marktfruchtanbaus im bL hervor und macht die damit einhergehende Schwierigkeit der geschlossenen Nährstoffkreisläufe deutlich.

In Bezug auf Nachhaltigkeit können alle analysierten Betriebe als nicht nachhaltig beschrieben werden. Einzige Ausnahme stellten die Betriebe 2 und 3 in Bezug auf sowohl die K- als auch die P-Effizienz und Betrieb 12 in Bezug auf die K-Effizienz dar. Die übrigen Betriebe exportierten wesentlich mehr Nährstoffe als sie importierten und förderten somit eine Bodenverarmung an Phosphor und Kalium. Gleichzeitig waren die Betriebe mit besseren Nährstoffeffizienzen von Zukaufdüngern abhängig, was jedoch nicht dem im bL propagierten Prinzip der geschlossenen inneren Nährstoffkreisläufe entspricht. Vielmehr sollte in diesem Zusammenhang die Nährstoffmobilisierung im Boden durch spezifische Bewirtschaftungsmaßnahmen gefördert werden. Diese können helfen, die Nährstoffversorgung der Pflanzen durch den Boden sicherzustellen und fördern dabei gleichzeitig die Schließung der inneren Nährstoffkreisläufe. Dabei stellt sich die Frage, wie lange der Boden ohne eine adäquate Nachlieferung von Nährstoffen ebendiese aus eigener Kraft mobilisieren kann ohne schlussendlich daran zu verarmen.

6.5 Hauptproduktionsgebiete mit unterschiedlichen Betriebsformen fördern weniger negative Hoftorbilanzsalden als einseitig aufgestellte Hauptproduktionsgebiete.

Anhand dieser Hypothese wurde zum einen überprüft, inwiefern sich die verschiedenen HPG hinsichtlich der landwirtschaftlichen Betriebsformen voneinander unterschieden und ob sich daraufhin eine Diversität von Betriebsformen innerhalb eines HPG positiv auf die Ergebnisse der Hoftorbilanzen auswirkte.

Die Aufteilung der für diese Arbeit relevanten HPG in ihre Betriebsformen wurde in Abbildung 10 dargestellt und beruhte auf der Datengrundlage der Gemeindedatenbank (BMLFUW, 2016a). Veredlungsbetriebe sind demnach sowohl im HPG Alpenvorland als auch im HPG SÖ Flach- und Hügelland von Relevanz. Außerdem sind diese beiden Gebiete gemeinsam mit dem Wald- und Mühlviertel, sowie dem Kärntner Becken am vielseitigsten aufgestellt. In allen Gebieten bilden Futterbau- und Marktfruchtbetriebe die Mehrzahl aller Betriebsformen. Im

Kärntner Becken sind neben der Futterbaubetriebe auch landwirtschaftliche Gemischtbetriebe von Relevanz.

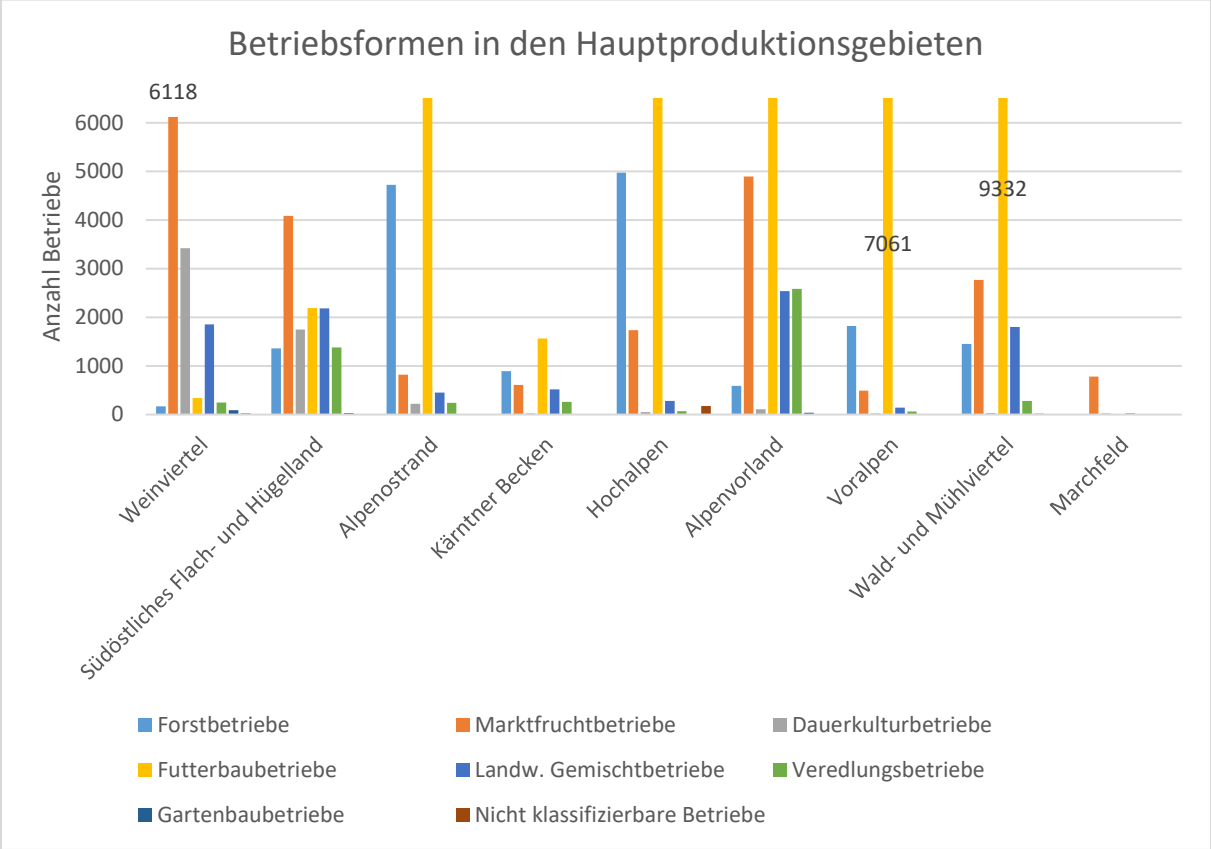

Abbildung 10. Landwirtschaftliche Betriebsformen in den Hauptproduktionsgebieten Österreichs, in Anlehnung an die Gemeindedatenbank (BMLFUW, 2016). Zur verbesserten Leserlichkeit übersteigen die Datenreihen für Futterbaubetriebe im Alpenvorland sowie im Wald- und Mühlviertel den Rahmen der Grafik und werden deshalb verkürzt dargestellt und mit den entsprechenden Werten versehen.

Die Anzahl der Veredlungsbetriebe im Alpenvorland erklärte den Düngemittelimport von Betrieb 6, der als einziger Betrieb kostenlos Schweinejauche von einem benachbarten Bio-Veredlungsbetrieb in seinen Betriebskreislauf eintrug. Betrieb 2, der im HPG SÖ Flach- und Hügelland liegt, erhielt von einem Veredlungsbetrieb Hühnermist, während Betrieb 3 im Kärntner Becken Rindergülle und Biogasgülle zukaufte.

Aus Mangel an Veredlungsbetrieben im HPG NÖ Flach- und Hügelland/Marchfeld und Weinviertel bat sich für die LandwirtInnen nicht die Möglichkeit Düngemittel tierischer Herkunft von Veredlungsbetrieben zu importieren. Diese Bio-Marktfruchtbetriebe waren also auf Reitställe angewiesen, um Düngemittel tierischer Herkunft importieren zu können. Allerdings wurden diese nicht in der Gemeindedatenbank kategorisiert. In Bezug auf die Reitställe waren die LandwirtInnen laut eigenen Aussagen sowohl auf die Quelle des Pferdemists an sich, als auch auf die kostenlose Bezugsmöglichkeit angewiesen. Sobald sie etwas für den Pferdemist bezahlen müssten, würden die Betriebe, nach Aussage der LandwirtInnen, ohne die importierten

Düngemittel wirtschaften. Laut den Berechnungen der Hoftorbilanzsalden wären dadurch hohe Nährstoffverluste zu erwarten.

Bei der Betrachtung der durchschnittlichen Salden der Hoftorbilanzen pro HPG spiegelte sich die oben genannte Feststellung nur bedingt wider (Tabelle 22).

Tabelle 22. Mittelwerte der Hoftorbilanzsalden pro Hauptproduktionsgebiet (HPG).

HPG	P-Saldo (kg ha^{-1} a^{-1})	K-Saldo (kg ha^{-1} a^{-1})
Wald- und Mühlviertel	-3,7	-11,7
Kärnter Becken	-8,0	-14,2
Alpenvorland	-18,5	-33,6
SÖ Flach- und Hügelland	-9,2	-17,3
NÖ Flach- und Hügelland, Marchfeld	-12,9	-25,3
NÖ Flach- und Hügelland, Weinviertel	-7,6	-12,1

So war das HPG Wald- und Mühlviertel das Gebiet, für das sowohl der am wenigsten negative mittlere P-Saldo als auch der am wenigsten negative K-Saldo ermittelt wurden. Diese Ergebnisse können auf die Diversität der Betriebsformen in den jeweiligen HPG zurückgeführt werden.

Für das Alpenvorland wurden hingegen die niedrigsten Salden berechnet. Dies widerlegt den vermuteten Zusammenhang zwischen ausgeglichenem Bilanzergebnis und der großen Anzahl unterschiedlicher Betriebsformen in einem HPG.

Für das Marchfeld, wo hauptsächlich Feldgemüse angebaut wurde, wurden die zweit niedrigsten mittleren P- und K- Salden berechnet (Tabelle 22). Hier bestätigte sich die Annahme der Problematik von einseitigen Betriebsformen in einem Gebiet mit ähnlichen Produktionsschwerpunkten, da die adäquate Nährstoffversorgung der Pflanzen eine besondere Herausforderung an die LandwirtInnen stellt. Für das HPG Weinviertel, welches ebenso in Bezug auf die unterschiedlichen Betriebsformen recht einseitig aufgestellt war, bestätigte sich diese Annahme jedoch nicht, da für dieses Gebiet die zweit höchsten Hoftorbilanzsalden berechnet wurden.

Vor allem das nährstoffzehrende Feldgemüse war in Bezug auf das Marchfeld hervorzuheben. Außerdem konnte im Zuge dieser Arbeit festgestellt werden, dass auch die Fruchtfolgen mit einem hohen Anteil an Getreide wie im HPG Alpenvorland als problematisch einzustufen waren. Weiterhin waren Betriebe mit großen Abfuhren von Klee- oder Luzernekleegras, durch den Verkauf von ebendiesem, mit hohen K-Verlusten gekennzeichnet. Dies spiegelt sich in Tabelle 16 (Kapitel 5.2.6) wider und wurde durch die niedrigen mittleren K-Salden im HPG Wald- und Mühlviertel bestätigt.

Folglich bestätigte sich in dieser Arbeit nicht die Annahme, dass eine hohe Vielzahl unterschiedlicher Betriebsformen einen positiven Effekt auf die Ergebnisse der Nährstoffbilanzen hat, womit die Arbeitshypothese falsifiziert werden muss. Allerdings festigten die in dieser Arbeit erhaltenen Ergebnisse die Vermutung, dass Betriebe nur dann Düngemittel von Veredlungsbetriebe importieren, wenn sie in vielseitig aufgestellten Gebieten lokalisiert sind.

Nach Auswertung dieser Hypothese verstärkt sich die Annahme, dass vor allem die Betriebsstruktur, sowie das betriebsspezifische Nährstoffmanagement einen bedeutenden Einfluss auf die Ergebnisse der Hoftorbilanzsalden haben.

Die berechneten Nährstoffeffizienzen haben sich im Rahmen dieser Arbeit als positiver herausgestellt, wenn Düngemittel zugekauft wurden. In diesem Zusammenhang wurde deutlich, dass Bio-Marktfruchtbetriebe auf Düngemittelimport angewiesen sind, um nachhaltig zu wirtschaften, Nährstoffe effizient zu nutzen und somit die äußeren Nährstoffkreisläufe durch Minimierung der Nährstoffverluste zu schließen- und zwar unabhängig vom entsprechenden HPG.

Dies stellt im Hinblick auf die Prinzipien des bL die spezialisierte Betriebsform Marktfruchtbau ein weiteres Mal in Frage, da die Schließung der inneren Nährstoffkreisläufe ohne Nährstoffverluste im Bio-Marktfruchtanbau nach Auswertung der Ergebnisse kaum möglich scheint. Dadurch rückt die Notwendigkeit des Zugangs zu organischen Düngemitteln, welche mit den Prinzipien des bL konform sind, in den Vordergrund, um langfristig Nährstoffkreisläufe zu schließen, das Bodenverarmungsrisiko zu senken und nachhaltig wirtschaften zu können. Weiterhin wird die Bedeutung einer vielseitigen Landwirtschaft sowie eines divers aufgestellten ländlichen Raums im Sinne der Nachhaltigkeit und Biodiversität deutlich.

Abschließend konnten die in dieser Arbeit errechneten Ergebnisse folglich nicht als eindeutig durch geografische Begebenheiten beeinflusst beschrieben werden, wie das Nesme et al. (2012) und Foissy et al. (2013) behaupteten. Daher müsste eine größere Anzahl Betriebe analysiert werden, um verlässlichere Aussagen machen zu können. Vielmehr wurden die Resultate von Watson et al. (2002) bestätigt, die die Betriebsstruktur und Managementstrategie als ausschlaggebend für die Ergebnisse von Hoftorbilanzen festlegten.

7 Schlussfolgerungen

Schlussendlich kann festgestellt werden, dass alle in dieser Arbeit untersuchten 15 Bio-Marktfruchtbetriebe sowohl negative P- als auch negative K-Hoftorbilanzen aufwiesen. Aufgrund der überwiegend sehr hohen Nährstoffeffizienzen wurde deutlich, dass auf den Betrieben wesentlich mehr Nährstoffe durch die Abfuhr der Ernteprodukte exportiert als durch Saatgut und Düngemittel in den Betrieb eingetragen wurden. Somit entstehen große Nährstoffdefizite, welche

langfristig das Bodenverarmungsrisiko fördern und die Nachhaltigkeit der Bio-Marktfruchtbetriebe in Frage stellen.

Obwohl die meisten Flächen, für welche in dieser Arbeit chemische Bodenuntersuchungsergebnisse vorlagen, als für den bL ausreichend versorgt eingeordnet werden konnten (Gehaltsklassen B und C), waren gerade bei Betrieben, die mehr als 15 Jahre biologisch wirtschafteten tendenziell niedrigere P-Gehalte festzustellen als bei Betrieben, welche erst während der vergangenen 15 Jahre umgestellt haben. Dies unterstreicht die Tendenz der abnehmenden Nährstoffgehalte, welche in dieser Arbeit vor allem für Phosphor festgestellt wurden.

Im Rahmen dieser Arbeit konnte keine bedeutende Abhängigkeit der untersuchten Bio-Marktfruchtbetriebe von viehhaltenden Betrieben in Bezug auf eine ausgeglichene Nährstoffversorgung mit Phosphor festgestellt werden. Es waren mehr Betriebe zu viehhaltenden Betrieben in Bezug auf eine ausgeglichene Nährstoffversorgung mit Kalium abhängig. Dabei besteht die Abhängigkeit vor allem von Reitställen und weniger von Veredlungsbetrieben.

Weiterhin konnte kein zuverlässiger Zusammenhang zwischen dem Ergebnis der Hoftorbilanzierung und der Nährstoffeffizienz festgestellt werden. Vielmehr war das Verhältnis zwischen Nährstoffeinträgen und –austräge von Bedeutung, da eine schlechte Nährstoffeffizienz keinen unausgeglichenen Nährstoffsaldo bedingte und umgekehrt.

Es konnten außerdem keine eindeutigen Unterschiede in Abhängigkeit der HPG festgestellt werden. Vielmehr wurde die Vermutung verfestigt, dass vor allem im NÖ Flach- und Hügelland der Zugang zu organischen Düngemitteln tierischer Herkunft aufgrund der fehlenden Diversität an Betriebsformen problematisch ist. Diese Problematik wird durch die steigende Zahl an biologisch wirtschaftenden Marktfruchtbetrieben, welche eine vermehrte Nachfrage nach organischen Düngemitteln mit sich bringt, weiter verschärft. Dies zeigt, dass die Forschung bezüglich der Rückführbarkeit von Phosphor unbedingt vorangetrieben werden muss. Es müssen neue Wege der P-Rückführung erschlossen werden und neue Standards und Regelungen gefunden werden, die den Einsatz alternativer P-Düngemittel im bL ermöglichen.

In Bezug auf die Methodik der Hoftorbilanzierung konnte folgendes festgestellt werden: Die Genauigkeit der Saatgutzukäufe, welche laut Literatur eindeutig belegbar sind und daher sehr genau angegeben werden können, ist in der Praxis nur bedingt gegeben. So waren die Gewichtsangaben der Saatgutimporte der Kulturen, welche in Einheiten zugekauft werden, lediglich schätzbar und je nach TKG von Packung zu Packung variabel. Die Genauigkeit dieser Daten, welche Acker- und Sojabohnen, Körnermais, Zuckerrübe und Erbsen betreffen, ist demnach fraglich.

Außerdem sind die Nährstoffentzüge, welche mit Durchschnittswerten angegeben werden und als Datengrundlage dieser Arbeit dienten, wahrscheinlich von den tatsächlichen Werten abweichend. Daher ist auch in diesem Punkt die Exaktheit der Ergebnisse fraglich. Eine weitere Arbeit, welche die tatsächlichen Gehalte der Ernteprodukte sowie des Saatguts analysiert wäre folglich sinnvoll, um die Ergebnisse dieser Arbeit zu festigen. Des Weiteren ist fraglich, inwiefern die Nährstoffeinträge durch das Saatgut den Werten, welche später durch die Abfuhr der Ernteprodukte als Nährstoffausträge erfasst werden und in der Arbeit als identisch angesehen werden, tatsächlich entsprechen. Dies gilt vor allem bei den Kulturen, welche nicht als Samen geerntet werden. Auch in diesem Punkt wäre eine Nachfolgearbeit mit tatsächlich gemessenen Daten sinnvoll.

Weiterhin werden in der Hoftorbilanz keine Managementstrategien erfasst, welche sich positiv auf die Bodenfruchtbarkeit und somit das Nachlieferungspotential des Bodens von Nährstoffen auswirken können. So können Winterbegrünungen, Zwischenfrüchte und Untersaaten die Erosion von Phosphor verringern und außerdem in Folge eines verstärkten Humusaufbaus die Nährstoffmobilisierung fördern und somit deren Verfügbarkeit steigern.

Trotz dieser Kritikpunkte konnten in dieser Arbeit wichtige Tendenzen festgestellt werden und die Vermutung der langfristigen Problematik einer Bodenverarmung an Phosphor und Kalium im biologischen Marktfruchtanbau bestätigen.

8 Ausblick

In Anbetracht der enormen Nährstoffverluste in der Landwirtschaft steht der bL vor großem Handlungsbedarf, um seinen Grundprinzipien wie Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung und geschlossenen Nährstoffkreisläufen langfristig treu bleiben zu können.

Die negativen Ergebnisse der in dieser Arbeit berechneten Hoftorbilanzsalden für Phosphor und Kalium sowie die Nährstoffeffizienz, welche auf 12 der 15 untersuchten Betriebe weit über 100 % beträgt, unterstreichen diese Herausforderung, vor der der bL steht.

Um die in dieser Arbeit erhaltenen Ergebnisse weiter untermauern zu können, sind weitere Forschungsarbeiten geplant. So wird eine auf die vorliegende Untersuchung aufbauende Arbeit durchgeführt werden, in welcher Bodenproben von den 15 Bio-Marktfruchtbetrieben gezogen, sowie die N- und Humus-Bilanzen berechnet werden sollen, um weitere Parameter bezüglich des Bodenverarmungsrisikos und der Nährstoffversorgung im biologischen Marktfruchtbau zu überprüfen. Weiterhin wäre eine Arbeit sinnvoll, die die tatsächlichen Nährstoffgehalte der Ernteprodukte überprüft, um die durchschnittlichen Daten von KTBL (2015) durch tatsächlich gemessene Werte genauer einschätzen und ersetzen zu können. Schließlich wären auch - wie in der Diskussion erwähnt – weiterführende Arbeiten interessant, die sich mit

Schlagbilanzen auf den analysierten Bio-Marktfruchtbetrieben auseinandersetzen, um genauere Aussagen über die Versorgung der einzelnen Schläge treffen zu können.

Im Hinblick auf Nachhaltigkeit muss nicht nur die Nährstoffeffizienz gesteigert, sondern auch die Schließung der Nährstoffkreisläufe gefördert werden. Hierbei sind vor allem endliche Ressourcen, einschließlich der Nährstoffe Phosphor und Kalium, zu schonen und möglichst in die Kreisläufe zurückzuführen.

Die Schließung betriebsinterner Nährstoffkreisläufe kann in Zukunft verstärkt durch ein bewusstes Betriebsmanagement erreicht werden. Hierbei ist es Aufgabe der LandwirtInnen durch abwechslungsreichere Fruchtfolgen, den Anbau von tiefwurzelnden Pflanzenarten und Zwischenfrüchten, den Ausbau von Gründüngung und einer stetigen Bodendeckung, sowie die Erhöhung der Biodiversität auf Acker und Umgebung die Schließung der inneren Nährstoffkreisläufe zu fördern und voranzutreiben.

Bei der Schließung der äußeren großen Nährstoffkreisläufe, vor allem des P-Kreislaufs, könnten in Zukunft Nährstoffe durch alternative Recyclingverfahren in die Landwirtschaft zurückgeführt werden. Das Recycling von beispielsweise Siedlungsabfällen oder Klärschlämmen muss noch weiter in den Fokus der Forschung rücken, um vertieft an der Entwicklung von Verfahren und Konzepten für das Recycling ebendieser Stoffe zu arbeiten (siehe Kapitel 2.5). In einem weiteren Schritt müssen dann Qualitätsmerkmale und die Anforderungen an die Endprodukte der recycelten Stoffe, wie Löslichkeit, Nährstoff- sowie Schadstoffgehalt, festgelegt werden. Hierbei darf nie die Vereinbarkeit mit den Grundprinzipien des bL außer Acht gelassen werden (Möller & Friedel, 2016, 479). Ein Pilotprojekt hierfür war das IMPROVE-P Forschungsprojekt. Denn mit der Forschung in ein nachhaltiges P-Management kann die Wissenschaft nicht nur einen Meilenstein für die Praxis des bL legen, sondern auch allgemein eine enorme Bedeutung für die Entwicklung einer zukunftsfähigen Landwirtschaft gewinnen (Hörtenhuber et al., 2016). Deshalb muss es solche Forschungsunternehmungen auch in Zukunft geben.

Speziell für den bL wären außerdem eine Anpassung der Bodengehaltsklassen an die Anforderungen des bL, sowie eine nationale und internationale Vereinheitlichung der jeweiligen Gehaltsklassen sinnvoll, um somit Ergebnisse von Bodenuntersuchungen in Bezug auf die Gehaltsklassen besser vergleichbar zu machen. Auch wären die Entwicklung genauerer Bodenuntersuchungen, die auch das Nachlieferungspotential des Bodens berücksichtigen, sowie Konzepte, welche standortspezifische Düngeempfehlungen geben, sinnvoll, um das betriebsspezifische Nährstoffmanagement an das eigene Betriebssystem optimal anpassen zu können und somit das Düngesystem unabhängiger von den heute gängigen Bodenuntersuchungsmethoden zu machen (Lindenthal, 2000).

Außerdem besteht die Notwendigkeit die Problematik der P- und K-Versorgung mehr in das Bewusstsein der LandwirtInnen zu tragen, um dem langfristigen Bodenverarmungsrisiko vorbeugen zu können. Gerade im Bio-Marktfruchtanbau sollte das Nährstoff- und Düngemanagement prioritär von den LandwirtInnen behandelt und somit unbedingt in das Betriebsmanagement eingeschlossen werden. Der Fokus darf in Zukunft nicht mehr nur auf der Stickstoffversorgung der Pflanzen liegen.

Schlussendlich ist die Forschung, welche in Zukunft Wege finden muss, um die für die Bio-Marktfruchtbetriebe durch die Abfuhr der Ernteprodukte verlorenen Nährstoffe, recyceln zu können, für einen langfristig nachhaltigen biologischen Landbau von großer Bedeutung. Dabei darf die Einhaltung der Prinzipien des bL niemals vernachlässigt werden. Außerdem ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft, Politik und Praxis erforderlich, um generiertes Wissen verbreiten, sowie Innovationen und Richtlinien nach aktuellstem Forschungsstand umsetzen und verwirklichen zu können.

9 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden P- und K-Hoftorbilanzen für 15 Bio-Marktfruchtbetriebe in Österreich aufgestellt. Dabei wurde das Ziel verfolgt, das Bodenverarmungsrisiko, welches in Bezug auf Phosphor und Kalium langfristig für Bio-Marktfruchtbetriebe vorhergesagt wird, einschätzen und beurteilen zu können.

Die Bio-Marktfruchtbetriebe wurden aus den fünf Hauptproduktionsgebieten Österreichs ausgewählt, in welchen der Marktfruchtbau von Bedeutung ist. Basierend auf der Gemeindedatenbank des BMLFUW wurden dementsprechend jeweils zwei bis vier Bio-Marktfruchtbetriebe aus den HPG Wald- und Mühlviertel, Kärntner Becken, Alpenvorland, Südöstliches Flach- und Hügelland, sowie Nordöstliches Flach- und Hügelland untersucht. Dabei wurde das NÖ Flach- und Hügelland in die Gebiete Marchfeld und Weinviertel entsprechend der unterschiedlichen Produktionsschwerpunkte unterteilt.

Die Kriterien für die Auswahl der Betriebe waren der Anbau von repräsentativen Kulturen, welche die Produktionsschwerpunkte der HPG widerspiegeln, sowie einer biologischen Bewirtschaftung über mindestens fünf Jahre, um für die Hoftorbilanzierung einen signifikanten Zeitraum erfassen zu können.

Die Datenaufnahme erfolgte anhand von sowohl qualitativen als auch quantitativen Interviews mit den BetriebsleiterInnen. Dafür wurde ein Fragebogen entwickelt, der sowohl allgemeine Betriebsinformationen abfragen, als auch die für die Hoftorbilanzierung relevanten Daten erfassen sollte. Außerdem wurden qualitative Fragen zum betriebsspezifischen Nährstoff- und

Düngemanagement in den Fragebogen aufgenommen. Weiterhin wurden auf den Betrieben – soweit vorhanden – bestehende Ergebnisse von chemischen Bodenuntersuchungen erfasst.

Die Hoftorbilanzierung wurde nach der Methodik von Stein-Bachinger et al. (2004) durchgeführt. Dabei wurden die P-und K-Einträge der Betriebe, welche durch die Erfassung der Düngemittel und Saatgutzukäufe dargestellt wurden, den P- und K-Austrägen aus den Betrieben, welche in Form des Verkaufs der Ernteprodukte messbar waren, gegenübergestellt. Die Differenz der Nährstoffeinträge und Nährstoffausträge stellte den Hoftorbilanzsaldo dar.

Die in dieser Arbeit berechneten Hoftorbilanzsalden waren ausschließlich negativ.

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte anhand der Arbeitshypothesen, welche im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurden:

(1) Wenn Marktfruchtbetriebe biologisch wirtschaften, dann tendieren die Hoftorbilanzen zu negativen Salden.
(2) Je geringer der Düngemittelimport eines Bio-Marktfruchtbetriebs ist, desto höher ist das Bodenverarmungsrisiko.
(3) Je ausgeglichener die Nährstoffbilanz eines Bio-Marktfruchtbetriebs ist, desto größer ist seine Abhängigkeit von viehhaltenden Betrieben.
(4) Je geschlossener die Nährstoffkreisläufe eines Bio-Marktfruchtbetriebs sind, desto besser ist die Nährstoffeffizienz.
(5) Hauptproduktionsgebiete mit unterschiedlichen Betriebsformen fördern weniger negative Hoftorbilanzsalden als einseitig aufgestellte Hauptproduktionsgebiete.

Weiterhin wurden in der Diskussion die Ergebnisse der vorhandenen Bodenuntersuchungen und die Aussagen der LandwirtInnen in die Bewertung und Erörterung der Ergebnisse inkludiert.

Arbeitshypothese 1 wurde durch die berechneten negativen P- und K-Salden nicht falsifiziert und somit für die ausgewählten 15 Bio-Marktfruchtbetriebe bestätigt. Auch Arbeitshypothese 2 konnte nicht falsifiziert werden, da die Düngemittelimporte die negativen Salden der Hoftorbilanzsalden deutlich anhoben und somit für die Minimierung des Bodenverarmungsrisikos bedeutend waren.

Arbeitshypothese 3 konnte nicht bestätigt werden. Die Ausgeglichenheit der Nährstoffbilanzen war in Bezug auf Phosphor eher vom Import organischer Handelsdünger abhängig. In Bezug auf Kalium spielten organische Dünger von viehhaltenden Betrieben eine größere Rolle. Vor allem der Eintrag von Pferdemist war für die Ausgeglichenheit der K-Bilanzen bedeutend, während der Wirtschaftsdünger von Veredlungsbetrieben nur eine geringe Rolle spielte.

Arbeitshypothese 4 wurde ebenfalls falsifiziert. So war die Nährstoffeffizienz vor allem vom Düngemittelimport abhängig und weniger von den Salden der Hoftorbilanzen. Auch Arbeitshypothese 5 konnte nicht bestätigt werden. Es wurden keine eindeutig klassifizierbaren Unterschiede zwischen den jeweiligen durchschnittlichen Salden der Hauptproduktionsgebiete deutlich und somit keine Aussagen über regionale Unterschiede möglich.

Insgesamt waren die negativen Ergebnisse der Hoftorbilanzierungen als Hinweis auf ein Bodenverarmungsrisiko im biologischen Marktfruchtbau zu interpretieren. Die vorliegenden Ergebnisse von chemischen Bodenuntersuchungen bestätigten die sinkende Tendenz der Nährstoffgehalte in biologisch bewirtschafteten Ackerböden. Für einen nachhaltigen biologischen Landbau sollten daher die Hoftorbilanzsalden in Zukunft durch verschiedene Maßnahmen in den ausgeglichenen Bereich angehoben werden. Dies kann durch ein adäquates Nährstoffmanagement, sowie eine verbesserte Verfügbarkeit und einen besseren Zugang zu mit den Prinzipien des bL vereinbarenden P- und K-Düngemitteln erreicht werden.

Literaturverzeichnis

Ardakani, M. R., Mazaheri, D., Mafakheri, S., & Moghaddam, A. (2011). Absorption efficiency on N, P, K through triple inoculation of wheat (Triticum aestivum L.) by Azospirillum brasilense, Streptomyces sp., Glomus intraradices and manure application. Physiological and Molecular Biology of Plants, 17(2), 181–192.

Austrian Standards Institute. (n.d.). ÖNORM - AUSTRIAN STANDARDS, https://www.austrian-standards.at/infopedia-themencenter/infopedia-artikel/oenorm/. Abgerufen am: 27.11.16.

Austrian Standards Institute. (2012). Chemische Bodenuntersuchung - Bestimmung von "pflanzenverfügbarem" Phosphor ud Kalium nach der Calcium-Acetat-Lactat (CAL)-Methode. Austrian Standards Institute/ Österreichisches Normungsinstitut (ON), https://shop.austrian-standards.at/Preview.action;jsessionid=F8981DF111156B9CF806D7FE05E4A2E7?preview=&dokkey=455434&selectedLocale=de. Abgerufen am: 27.11.16.

Baab, G. (2014). Das Nährelement Kalium. Öko-Obstbau, 3, 4–7.

Baumgarten, A. (2006). Richtlinien für die sachgerechte Düngung - Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Ernährung und Landwirtschaft, 6. Auflage, Wien, 66 S.

Baumgarten, A., Dersch, G., Hösch, J., Spiegel, H., Freudenschuß, A., & Strauss, P. (2011). Bodenschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft, Wien, 31 S.

Berry, P. M., Stockdale, E. A., Sylvester-Bradley, R., Philipps, L., Smith, K. A., Lord, E. I., … Fortune, S. (2003). N, P and K budgets for crop rotations on nine organic farms in the UK. Soil Use and Management, 19(2), 112–118. https://doi.org/10.1079/SUM2003176

Biertümpfel, A., Warsitzka, C., & Vetter, A. (2006). Datensammlung Nährstoffgehalte und –entzüge von Körnerfrüchten Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt, Jena, 6 S.

Bio Austria. (n.d.). Düngemittel - Wissensdatenbank für biologische Landwirtschaft, http://www.biola.at/duengemittel.html. Abgerufen am: 24.11.16.

Bio Austria. (2016a). Produktionsrichtlinien LACON -DIE BIOKONTROLLSTELLE. Österreich, 120 S.

Bio Austria. (2016b). Statistik – BIO AUSTRIA, http://www.bio-austria.at/bio-bauern/statistik/. Abgerufen am: 27.10.16.

Blume, H.-P., Brümmer, G.W., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar,R., Stahr, K., Wilke, B.-M. (2010). Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde (10. Auflag). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 569 S.

BMLFUW. (2016a). Gemeindedatenbank.

BMLFUW. (2016b). Grüner Bericht 2016. Wien, 268 S.

BMLFUW. (2016c). Raumgliederungen Österreichs, http://www.agraroekonomik.at/index.php?id=produktionsgeb&K=0. Abgerufen am: 01.01.17.

Bohner, A. (2016). Chemische Bodenuntersuchung - Wissensdatenbank für biologische Landwirtschaft, http://www.biola.at/de/boden-biola-wissensdatenbank-fuer-den-biologischen-landbau/articles/bodenuntersuchung.html. Abgerufen am: 22.11.16.

Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft. (2016). Wie wird im Ökologischen Landbau gedüngt?, http://www.boelw.de/themen/bio-argumente/biofrage-09/. Abgerufen am: 30.10.16.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (2015). Verordnungsentwurf des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft - Verordnung zur Neuordnung der guten fachlichen Praxis beim Düngen, http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Service/Rechtsgrundlagen/Entwuerfe/EntwurfDuengeverordnung.pdf;jsessionid=CE07AB0AE0C59F50D11C37E9155EF2E5.2_cid296?__blob=publicationFile. Abgerufen am: 08.11.16, 130 S.

Bünemann-Koenig, E., Symanczik, S., Mäder, P., & Loes, A.-K. (2016). Rezyklierte Phosphordünger - was die Branche davon hält. Bioaktuell, 5, 1, 13.

Conyers, M. K., & Moody, P. W. (2009). A conceptual framework for improving the P efficiency of organic farming without inputs of soluble fertiliser. Crop and Pasture Science, 60(2), 100–104.

Etz, H., & Stangl, M. (2008). Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Obstbau. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, 48 S.

EU-Kommission (2003). Verordnung (EG) Nr. 2003/2003 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 13. Oktober 2003 über Düngemittel, Amtsblatt der Europäischen Union L 304/1 194, http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003R2003&from=DE. Abgerufen am: 27.11.16.

EU-Kommission (2007). Verordnung (EG) Juni Nr. 834/2007 DES RATES vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von

ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91, Amtsblatt der Europäischen Union L 189/1, 23lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:189:0001:0023:DE:PDF. Abgerufen am: 27.11.16.

EU-Kommission (2008). VERORDNUNG (EG) Nr. 889/2008 DER KOMMISSION vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsich, L 250 Amtsblatt der Europäischen Union 84 European Union, http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32008R0889:DE:NOT. Abgerufen am: 27.11.16.

Evans, J., & Condon, J. (2009). New fertiliser options for managing phosphorus for organic and low - input farming systems. Crop & Pasture Science, 60, 152–162. https://doi.org/10.1071/CP07153

Fischinger, S. A., Möller, K., Römer, W., & Steffens, D. (2014). Phosphor im Kreislauf. Bioland, 12, 11–13.

Flisch, R., Sinaj, S., & Richner, W. (2009). 3. Düngungsnormen. Agrarforschung, 16(2), 26 S.

Foissy, D., Vian, J. F., & David, C. (2013). Managing nutrient in organic farming system: Reliance on livestock production for nutrient management of arable farmland. Organic Agriculture, 3(3–4), 183–199. https://doi.org/10.1007/s13165-014-0060-8

Freyer, B., Eder, M., Schneeberger, W., Darnhofer, I., Kirner, L., Lindenthal, T., & Zollitsch, W. (2001). Der biologische Landbau in Österreich – Entwicklungen und Perspektiven. Agrarwirtschaft, 50(7), 400–409.

Freyer, B., & Pericin, C. (1996a). Nährstoffbilanzierung auf Biobetrieben. Bioaktuell, Ausgabe 3, 2–4.

Freyer, B., & Pericin, C. (1996b). Nährstoffhaushalt in biologisch bewirtschaftenden Betrieben. AgrarFORSCHUNG, 3(1), 29–32.

Friedel, J. K. (2008). Aktive Nährstoffmobilisierung und ihre Bedeutung für die Düngungspraxis im Biologischen Landbau. In Umweltökologisches Symposium, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 35–39.

Friedel, J. K., Kasper, M., Schmid, H., Hülsbergen, K. J., & Freyer, B. (2014). Need for phosphorus input in Austrian organic farming ? In: Rahmann, G., & Aksoy, U. (Hrsg.), 4th ISOFAR Scientific Conference “Building Organic Bridges” at the Organic World

Congress 2014, Istanbul, Turkey, 4 S.

Friedel, J. K., & Möller, K. (2015). Wie soll der Biolandbau mit Phosphor versorgt werden? - Gibt es geeignete Recyclingdünger? Bio-Austria-Zeitung, (3), 2 S.

Gann, M. (2006). Ölsaaten in der Lack- und Bindemittelindustrie. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 67 S.

Goulding, K., Jarvis, S., & Whitmore, A. (2008). Optimizing nutrient management for farm systems. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, 363(July 2007), 667–680. https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2177

Gruber, D. H., & Thamm, U. (2005). Entwicklung der Grundnährstoffgehalte in einem schwach lehmigen Sandboden Nordostdeutschlands nach langjähriger ökologischer Bewirtschaftung. In: Heß, J., & Rahmann, G. (Hrsg.), Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. kassel university press GmbH, Kassel, 202 S.

Haas, G., Deittert, C., & Köpke, U. (2007). Farm-gate nutrient balance assessment of organic dairy farms at different intensity levels in Germany. Renewable Agriculture and Food Systems, 22(3), 223–232. https://doi.org/10.1017/S1742170507001780

Hamm, U., Gronefeld, F., & Halpin, D. (2002). Analysis of the European Market for Organic Food. Aberystwyth; UK: School of Management and Business, University of Wales, 6 S.

Hinsinger, P. (2001). Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. Plant and Soil, 237, 173–195.

Holsten, B., Pfannerstill, M., & Trepel, M. (2016). Phosphor in der Landschaft - Management eines begrenzt verfügbaren Nährstoffes. Institut für Ökosystemforschung, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 52 S.

Hörtenhuber, S. J., Theurl, M. C., & Möller, K. (2016). Ökobilanz von alternativen Phosphordüngemitteln. In V. A. Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel- (Ed.), Eiweißpflanzen - Strategien und Chancen für Landwirtschaft und Industrie. 71. ALVA-Tagung. 30.-31.05.2016, Klagenfurt, Österreich: Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen, 158-160.

Hörtenhuber, S., Weißhaidinger, R., Friedel, J., Lindenthal, T., & Zollitsch, W. (2013). Phosphorversorgung und P-Kreisläufe auf österreichischen Bio-Grünlandbetrieben. In 18. Alpenländisches Expertenforum). Raumberg-Gumpenstein: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft, 51–60.

Hue, N. V., & Silva, J. A. (2000). Organic Soil Amendments for Sustainable Agriculture:

Organic Sources of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium. In Silva, J.A., & Uchida, R. (Hrsg.), Plant Nutrition in Hawaiss's Soil for Tropical and Subtropical Agriculture, Manoa: College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, 133-144.

K+S Gruppe. (n.d.). Die weltweiten Kalivorkommen, http://www.k-plus-s.com/de/wissen/rohstoffe/. Abgerufen am: 02.12.16.

Kasper, M., Freyer, B., Hülsbergen, K. J., Schmid, H., & Friedel, J. K. (2015). Humus balances of different farm production systems in main production areas in Austria. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 178(1), 25–34. https://doi.org/10.1002/jpln.201400111

Kerschberger, M., Franke, G., Heß, H., & Schuricht, W. (2001). Anleitung und Richtwerte für Nährstoffvergleiche nach Düngeverordnung (3. Auflage). Jena, 37 S.

Kerschberger, M., Hege, U., & Jungk, A. (1997). Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. VDLUFA Standpunkt, 8, 8 S. http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/0-4-phosphor.pdf. Abgerufen am: 28.11.16.

Kolbe, H. (2010). Phosphor und Kalium im ökologischen Landbau – aktuelle Probleme, Herausforderungen, Düngungsstrategien. In: Bundesarbeitskreis Düngung (Hrsg.), Phosphor- und Kaliumdüngung - brauchen wir neue Düngerkonzepte? Tagung des Verbandes der Landwirtschaftskammern (VLK) und des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD), April 2010 in Würzburg. Frankfurt (Main), 9 S.

Kolbe, H. (2015). Wie ist es um die Bodenfruchtbarkeit im Ökolandbau bestellt: Nährstoffversorgung und Humusstatus? In Bodenfruchtbarkeit - Grundlage erfolgreicher Landwirtschaft (BAD Tagungsband 2015). Bundesarbeitskreis Düngung (BAD). Frankfurt (Main), 89- 123.

Kolbe, H., Hänsel, M., Laber, H., Richter, S., & Wuttke, S. (2006). Handlungsgrundlage zur Bedarfserkennung von Düngemaßnahmen gemäß Anhang I und II der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 über den ökologischen Landbau (6). Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freistaat Sachsen, 19 S. http://orgprints.org/8976/1/Infodienst_06_06Duengemassn_VO2092_91.pdf. Abgerufen am: 14.11.16.

Kolbe, H., & Köhler, B. (2008). Formen der Nährstoffbilanzierung in Praxis und Beratung des Ökologischen Landbaus. Leipzig, 11 S., http://orgprints.org/14925/. Abgerufen am: 2.11.16.

Kolbe, H., & Schuster, M. (2011). Bodenfruchtbarkeit im Öko-Betrieb. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Dresden, 36 S.

Krumphuber, C. (2016). Phosphor- Ein Zukunftsthema. https://www.lko.at/?id=2500,2449934. Abgerufen am 11.8.16.

KTBL. (2015). Faustzahlen für den Ökologischen Landbau. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.). Darmstadt, 760 S.

Lembacher, F., & Brandstetter, A. (2015). Ölkürbis. NÖ Landes-Landwirtschaftskammer. St. Pölten, 4 S., https://www.lko.at/media.php?filename=download%3D%2F2015.12.04%2F1449215389332455.pdf&rn=Kulturanleitung_%D6lk%FCrbis.pdf. Abgerufen am: 10.2.17.

LFL Bayern. (2013). Nährstoffgehalte von Haupt- und Zwischenfrüchten. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 4 S., https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/basisdaten_2013_1.pdf. Abgerufen am: 10.2.17.

Lindenthal, T. (2000). Phosphorvorräte in Böden, betriebliche Phosphorbilanzen, und Phosphorversorgung im Biologischen Landbau, 272 S.

Lindenthal, T., & Surböck, A. (2011). Phosphorversorgung und Phosphordüngung im Bio-Marktfruchtbetrieb. In: Bio-Austria Bauerntage, Zusammenfassung der Tagungsbeiträge. Bildungshaus Schloss Puchberg Wels, 17- 22.

Loes, A.-K., & Ebbesvik, M. (2017). Phosphorus deficits by long-term organic dairy farming?, Scientific Conference "Innovative Research for Organic 3.0" at the 19th Organic World Congress, New Delhi, India, November 9-11 2017, Organized by ISOFAR/OFAI/TIPT, 4 S.

LTZ. (2011). Beratungsgrundlagen für die Düngung im Ackerbau und auf Grünland in Baden-Württemberg. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) (Hrsg.), 1. Auflage). Karlsruhe: Eigenverlag, 14- 27.

Mäder, P., Koller, M., Kranzler, A., & Lindenthal, T. (2008). Bodenuntersuchungen im Biobetrieb. Merkblatt Ausgabe Österreich. Forschungsinstitut Biologischer Landbau (FiBL), Bio Austria. Linz, Wien, 8 S., https://shop.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1311-bodenuntersuchungen.pdf. Abgerufen am: 22.11.16.

Mayer, J. (2013). Workshop: Nährstoffversorgung im Ökologischen Landbau - Wann wird's eng? In 12. Wissenschaftsstagung Ökologischer Landbau. Rheinische Friedrich-

Wilhelms-Universität Bonn, Deutschland, 4 S.

Mayer, K. (2012). Alternativen zu Mais. In: Fruchtfolgeveranstaltung gemäß Maiswurzelbohrerverordnung und Novelle Aktionsprogramm Nitrat, Landwirtschaftskammer Steiermark, 19 S., https://stmk.lko.at/media.php?id=2500,,,,ZmlsZW5hbWU9ZG93bmxvYWQlM0QlMkYyMDEyLjA3LjA2JTJGMTM0MTU2MzMyODQxNDc1My5wZGYmcm49VmVyJUY2ZmZlbnRsaWNodW5nK0ZGK1ZlcmFuc3RhbHR1bmcrRm9saWVuLnBkZg. Abgerufen am: 02.02.17.

Mayer, K. (2012). Körner- und Biomassehirse - Wertvolle Alternativen zu Mais. In: Hirsesymposium, Hatzendorf: Der fortschrittliche Landwirt - Fachzeitschrift für die bäuerliche Familie. Hatzendorf, 16 S.

Merbach, W., Deubel, A., & Ruppel, S. (2011). Mögliche Beziehungen zwischen der P-Erschließung in der Rhizosphäre und der Pflanzenverfügbarkeit des Phosphats im Boden. In: 1. Tagung der Österreichischen Gesellschaft für Wurzelforschung. Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raubmerg-Gumpenstein, 9- 18.

Mielke, H., & Schöber-Butin, B. (2007). Heil- und Gewürzpflanzen - Anbau und Verwendung. Mitteilungen Aus Der Biologischen Bundesanstalt Für Land- Und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, 411, 288 S.

Möller, K. (2009). Inner farm nutrient flows between arable land and permanent grassland via the stable in organic cropping systems. European Journal of Agronomy, 31(4), 204–212. https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.07.007

Möller, K. (2015). Assessment of Alternative Phosphorus Fertilizers for Organic Farming: Meat and Bone Meal. Universität Hohenhein, ETH Zürich, FiBL, Bioforsk, BOKU Wien, Newcastle University, & University of Copenhagen (Hrsg.), 8 S.

Möller, K. (2016). IMPROVE-P - Assessing the suitability of recycling phosphorus fertilizers for organic farming. In: IMPROVE-P. Universität Hohenheim, 4 S, http://orgprints.org/30921/1/moeller-2016-Improve-P%20leaflet.pdf, abgerufen am: 08.12.17.

Möller, K., & Friedel, J. K. (2016). Pflanzenernährung und Düngung. In: Freyer, B. (Hrsg.), Ökologischer Landbau (1. Auflage). Bern: Haupt Verlag, 467- 485.

Möller, K., Schulz, R., & Müller, T. (2009). Mit Gärresten richtig Düngen Aktuelle Informationen für Berater. Institut für Pflanzenernährung (Hrsg.). Institut Hohenheim, https://plantnutrition.uni-hohenheim.de/fileadmin/einrichtungen/plantnutrition/Duengung_mit_Bodenchemie/Leitf

aden-Berater09092009.pdf. Abgerufen am: 14.3.2017.

Morel, C., Ziadi, N., Messiga, A., Bé Langer, G., Denoroy, P., Jeangros, B., … Sinaj, S. (2014). Modeling of phosphorus dynamics in contrasting agroecosystems using long-term field experiments. Canadian Journal of Soil Science, 94, 377–387. https://doi.org/10.4141/CJSS2013-024

Nesme, T., Toublant, M., Mollier, A., Morel, C., & Pellerin, S. (2012). Assessing phosphorus management among organic farming systems: A farm input, output and budget analysis in southwestern France. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 92(2), 225–236. https://doi.org/10.1007/s10705-012-9486-0

Proplanta. (2016). Infothek: Tausendkorngewicht TKG, http://www.proplanta.de/Agrar-Lexikon/Tausendkorngewicht+(TKG)_ll1231060814.html. Abgerufen am: 13.02.17.

Qavami, N., Naghdi Badi, H., Labbafi, M., & Mehrafarin, A. (2013). A Review on Pharmacological , Cultivation and Biotechnology Aspects of Milk Thistle (Silybum marianum (L.) Gaertn.). Journal of Medicinal Plants, 12(47), 19–37.

Raissi, A., Galavi, M., Zafaraneieh, M., Soluki, M., & Roholla, S. (2013). Biochemical Change of Seeds and Yield of Isbgol (Plantago ovata) under Bio-fertilizer, Organic Manure and Chemical Fertilizer. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences, 2(6), 112–117.

Rasch, H. (2013). Merkblatt - Ergänzungsdünger im ökoloischen Landbau, 3 S., http://www.bioland.de/fileadmin/dateien/HP_Dokumente/Flyer_und_Broschueren/Merkblatt_Ergaenzungsduenger_im_OEkolandbau_Mai_13.pdf. Abgerufen am: 08.11.16.

Reeb, D. (2004). Analyse und Bewertung des Humus-und Nährstoffhaushaltes ackerbaulich genutzter Böden des Lehr-und Versuchsbetriebes Gladbacherhof Gliederung. Justus-Liebig-Universität Gießen, http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2004/1811/pdf/ReebDominik-2004-09-24.pdf. Abgerufen am: 14.11.16.

Roberts, C. J., Lynch, D. H., Voroney, R. P., Martin, R. C., & Juurlink, S. D. (2008). Nutrient budgets of Ontario organic dairy farms. Canadian Journal of Soil Science, 88(1), 107–113. https://doi.org/10.4141/S06-056

Schmid, O. (2007). Werte und Richtlinien im Wandel. Ökologie & Landbau, 144(4), 14–16, www.soel.de. Abgerufen am 27.10.16.

Seibert, K. (2016). P-Gehaltsklassen werden nach unten korrigiert, https://www.lw-heute.de/p-gehaltsklassen-nach-unten-korrigiert. Abgerufen am: 15.11.16.

Steffens, D., Stamm, R., Leithold, G., & Schubert, S. (2003). Phosphate mobilization by cultivating main and catch crop after application of mineral phosphorus ferzilizer in organic farming. Bundesprogramm Ökologischer Landbau, Justus-Liebig-Universität Gießen, 108 S.

Stein-Bachinger, K., Bachinger, J., & Schmitt, L. (2004). Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), (Hrsg.). Darmstadt, 136 S.

Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature, 418(6898), 671–677. https://doi.org/10.1038/nature01014

Van Vuuren, D. P., Bouwman, A. F., & Beusen, A. H. W. (2010). Phosphorus demand for the 1970-2100 period: A scenario analysis of resource depletion. Global Environmental Change, 20, 428–439. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.04.004

VDLUFA. (2007). Nährstoffbilanzierung im landwirtschaftlichen Betrieb. Speyer, 9 S.

Wagner, K. (1990). Neuabgrenzungen landwirtschaftlicher Produktionsgebiete in Österreich, http://www.agraroekonomik.at/index.php?id=apzusfass&SELECTPRO_PUBID=377. Abgerugen am: 01.01.17.

Wagner, K. (2015). Regionale Strukturveränderungen in Österreichs Landwirtschaft seit dem EU-Beitritt 1995. Wien: Bundesanstalt für Agrarwirtschaft, http://www.awi.bmlfuw.gv.at/fileadmin/download/4_Beitrag Wagner-Regionale Strukturveränderung_Korr.pdf. Abgerufen am: 17.11.16.

Watson, C. A., Bengtsson, H., Ebbesvik, M., Lùes, A.-K., Myrbeck, A., Salomon, E., … Stockdale, E. A. (2002). A review of farm-scale nutrient budgets for organic farms as a tool for management of soil fertility. Soil Use and Management, 18, 264–273. https://doi.org/10.1079/SUM2002127

Weißensteiner, C., Friedel, J. K., & Bohner, A. (2014). Phosphorbilanzen und Phosphorvorräte im Dauergrünland - Eine Untersuchung im Steirischen Ennstal und Steirischen Salzkammergut. Fachtagung Für Biologische Landwirtschaft 2, 37–44, http://orgprints.org/27804/1/Tagungsband_neu.pdf. Abgerufen am: 17.11.16.

Wollmann, I., & Möller, K. (2015). Assessment of Alternative Phosphorus Fertilizers for Organic Farming: Sewage Precipitation Products. Universität Hohenheim, ETH Zürich, FiBL, Bioforsk, BOKU Wien, Newcastle University, & U. of Copenhagen, (Hrsg.), 8 S.

ZfK. (2012). Phosphatvorräte reichen für rd. 385 Jahre,

https://www.zfk.de/artikel/bundesregierung-phosphatvorraete-reichen-fuer-rd-385-jahre.html. Abgerufen am: 02.12.16.

Zorn, W. (2016). Gesichtspunkte zur Neubewertung der Gehaltsklassen für Boden-P-Gehalte. In: BAD/VLK- Tagung Würzburg. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena, Referat Acker- und Pflanzenbau, 44 S., http://www.iva.de/sites/default/files/pdfs/wuerzburg_tagung_2016_zorn.pdf. Abgerufen am: 15.11.16.

Anhang

Tabelle A1. Hoftorbilanz von Betrieb 1, HPG Mühl- und Waldviertel, LNF 31 ha, WG= Wintergetreide, WT= Wintertriticale.

Betriebsnummer 1, HPG 1		Nährstoffeinträge (kg/t FM)			Nährstoffeinträge Total (kg)		Nährstoffentzüge (kg/t FM)				Nährstoffentzüge total (kg)	
Jahr	**Betriebsmittel-zukäufe**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**	**Ernteprodukt**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**
2012	WG	630	3,50	5,00	2,21	3,15	Silageballen (1 St. 800 kg)	54400	0,65	5,20	35,36	282,88
2012	WT	450	3,50	5,00	1,58	2,25	WG	9680	3,50	5,00	33,88	48,40
2012	Ackerbohne	294	4,70	11,30	1,38	3,32	WT	8870	3,50	5,00	31,05	44,35
2012	Hanf	50	10,60	7,40	0,53	0,37	Ackerbohne	5060	4,70	11,30	23,78	57,18
2012	Luzernekleegras	30	0,65	5,20	0,02	0,16	Hanf	856	10,60	7,40	9,07	6,33
2013	WG	630	3,50	5,00	2,21	3,15	Silageballen (1 St. 800 kg)	63200	0,65	5,20	41,08	328,64
2013	WT	810	3,50	5,00	2,84	4,05	WG	11790	3,50	5,00	41,27	58,95
2013	Ackerbohne	132	4,70	11,30	0,62	1,49	WT	13065	3,50	5,00	45,73	65,33
2013	Sonnenblume	10	7,10	17,00	0,07	0,17	Ackerbohne	3910	4,70	11,30	18,38	44,18
2013	Luzernekleegras	40	0,65	5,20	0,03	0,21	Sonnenblume	2490	7,10	17,00	17,68	42,33
2014	WG	720	3,50	5,00	2,52	3,60	Silageballen (1 St. 800 kg)	56000	0,65	5,20	36,40	291,20
2014	WT	510	3,50	5,00	1,79	2,55	WG	19940	3,50	5,00	69,79	99,70
2014	Ackerbohne	315	4,70	11,30	1,48	3,56	WT	12395	3,50	5,00	43,38	61,98
2014	Sonnenblume	5	7,10	17,00	0,04	0,09	Ackerbohne	4920	4,70	11,30	23,12	55,60
2014	Luzernekleegras	60	0,65	5,20	0,04	0,31	Sonnenblume	1270	7,10	17,00	9,02	21,59
2015	WG	540	3,50	5,00	1,89	2,70	Silageballen (1 St. 800 kg)	55200	0,65	5,20	35,88	287,04
2015	WT	780	3,50	5,00	2,73	3,90	WG	10930	3,50	5,00	38,26	54,65
2015	Ackerbohne	168	4,70	11,30	0,79	1,90	WT	14445	3,50	5,00	50,56	72,23
2015	Sonnenblume	10	7,10	17,00	0,07	0,17	Ackerbohne	2840	4,70	11,30	13,35	32,09
2015	Luzernekleegras	20	0,65	5,20	0,01	0,10	Sonnenblume	3200	7,10	17,00	22,72	54,40
2015	Buchweizen	275	0,48	3,60	0,13	0,99						
2015	Phacelia	40	0,05	3,80	0,00	0,15						

2016	WG	450	3,50	5,00	1,58	2,25	Silageballen (1 St. 800 kg)	51200	0,65	5,20	33,28	266,24
2016	WT	690	3,50	5,00	2,42	3,45	WG	10180	3,50	5,00	35,63	50,90
2016	Ackerbohne	252	4,70	11,30	1,18	2,85	WT	8577	3,50	5,00	30,02	42,89
2016	Sonnenblume	5	7,10	17,00	0,04	0,09	Ackerbohne	4240	4,70	11,30	19,93	47,91
2016	Luzernekleegras	50	0,65	5,20	0,03	0,26	Sonnenblume	2503	7,10	17,00	17,77	42,55
2016	Buchweizen	200	0,48	3,60	0,10	0,72						
2016	Phacelia	50	0,05	3,80	0,00	0,19						
				Total (kg/5 a)	**28,30**	**48,14**				**Total (kg/5 a)**	**776,37**	**2459,53**
				Total (kg/ha/5 a)	**0,91**	**1,55**				**Total (kg/ha/5 a)**	**25,04**	**79,34**
										Saldo (kg/5 a)	**-748,07**	**-2411,39**

Tabelle A2. Zusammenfassung der Hoftorbilanz von Betrieb 1, HPG Wald- und Mühlviertel, LNF 31 ha.

Phosphor								
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)				**Nährstoffabfuhr (kg/ha)**			
Jahr	**organische Düngemittel**	**Saat-gut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	0	5,71	5,71	0,18	133,14	4,29	-127,43	-4,11
2013	0	5,76	5,76	0,19	164,13	5,29	-158,37	-5,11
2014	0	5,86	5,86	0,19	181,71	5,86	-175,85	-5,67
2015	0	5,63	5,63	0,18	160,76	5,19	-155,13	-5,00
2016	0	5,34	5,34	0,17	136,63	4,41	-131,29	-4,24
Mittelwert (kg/a)			**5,66**		**155,27**		**-149,61**	
Mittelwert (kg/ha/a)			**0,18**		**5,01**		**-4,83**	
Kalium								
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)				**Nährstoffabfuhr (kg/ha)**			
Jahr	**organische Düngemittel**	**Saat-gut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	0	9,25	9,25	0,30	439,14	14,17	-429,89	-13,87

2013	0	9,07	9,07	0,29	539,43	17,40	-530,36	-17,11
2014	0	10,11	10,11	0,33	530,06	17,10	-519,95	-16,77
2015	0	9,91	9,91	0,32	500,41	16,14	-490,49	-15,82
2016	0	9,80	9,80	0,32	450,49	14,53	-440,69	-14,22
Mittelwert (kg/a)			**9,63**		**491,91**		**-482,28**	
Mittelwert (kg/ha/a)			**0,31**		**15,87**		**-15,56**	

Tabelle A3. Hoftorbilanz von Betrieb 2, HPG Mühl- und Waldviertel, LNF 27 ha, WR= Winterroggen, WW= Winterweizen.

Betriebsnummer 2, HPG 2			**Nährstoffeinträge (kg/t FM)**		**Nährstoffeinträge total (kg)**				**Nährstoffentzüge (kg/t FM)**		**Nährstoffentzüge Total (kg)**	
Jahr	**Betriebsmittel-zukäufe**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**	**Ernteprodukt**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**
2012	Pferdemist	50000	1,20	9,10	60,00	455,00	Emmer	1000	3,60	4,40	3,60	4,40
2012	Hühnermist	20000	5,50	8,80	110,00	176,00	Emmer Stroh	1800	0,10	0,70	0,18	1,26
2012	Kartoffeln	500	0,60	5,00	0,30	2,50	Einkorn	3000	3,60	4,40	10,80	13,20
2012	Ackerbohnen	1300	4,70	11,30	6,11	14,69	Einkorn Stroh	5400	0,10	0,70	0,54	3,78
2012	Klee-Gras (40:60)	100	0,60	5,20	0,06	0,52	WW	1200	3,50	5,00	4,20	6,00
2012	Senf	50	5,30	8,00	0,27	0,40	WW Stroh	1320	0,10	0,70	0,13	0,92
2012	Phacelia	20	0,05	3,80	0,00	0,08	Kartoffeln	11900	0,60	5,00	7,14	59,50
2012	Buchweizen	50	0,48	3,60	0,02	0,18	Dinkel	18000	3,50	7,50	63,00	135,00
2012	WR	210	3,50	5,00	0,74	1,05	Dinkel Stroh	19800	0,10	0,70	1,98	13,86
							Ackerbohnen	15200	4,70	11,30	71,44	171,76
							Klee-Gras (40:60)	130000	0,60	5,20	78,00	676,00
							WR	6000	3,50	5,00	21,00	30,00
							WR Stroh	7200	0,10	0,70	0,72	5,04
2013	Pferdemist	60000	1,20	9,10	72,00	546,00	Emmer	1300	3,60	4,40	4,68	5,72
2013	Hühnermist	20000	5,50	8,80	110,00	176,00	Emmer Stroh	2340	0,10	0,70	0,23	1,64
2013	Senf	100	5,30	8,00	0,53	0,80	Klee-Gras (40:60)	90000	0,60	5,20	54,00	468,00
2013	Ackerbohnen	1000	4,70	11,30	4,70	11,30	Kartoffeln	15500	0,60	5,00	9,30	77,50
2013	Klee-Gras (40:60)	60	0,60	5,20	0,04	0,31	Dinkel	25000	3,50	7,50	87,50	187,50

							Dinkel Stroh	27500	0,10	0,70	2,75	19,25
							Ackerbohnen	8800	4,70	11,30	41,36	99,44
							WR	10300	3,50	5,00	36,05	51,50
							WR Stroh	12360	0,10	0,70	1,24	8,65
							Einkorn	2800	3,60	4,40	10,08	12,32
							Einkorn Stroh	5040	0,10	0,70	0,50	3,53
2014	Pferdemist	50000	1,20	9,10	60,00	455,00	Hafer	3800	3,20	4,70	12,16	17,86
2014	Hühnermist	20000	5,50	8,80	110,00	176,00	Hafer Stroh	4180	0,10	0,70	0,42	2,93
2014	Hafer	255	3,20	4,70	0,82	1,20	Kartoffeln	23300	0,60	5,00	13,98	116,50
2014	Rotklee	100	0,60	5,00	0,06	0,50	WW	1300	3,50	5,00	4,55	6,50
2014	Senf	50	5,30	8,00	0,27	0,40	WW Stroh	1430	0,10	0,70	0,14	1,00
2014	Ackerbohnen	800	4,70	11,30	3,76	9,04	Dinkel	23000	3,50	7,50	80,50	172,50
							Dinkel Stroh	37950	0,10	0,70	3,80	26,57
							Ackerbohnen	5800	4,70	11,30	27,26	65,54
							Emmer	1200	3,60	4,40	4,32	5,28
							Klee-Gras (40:60)	90000	0,60	5,20	54,00	468,00
2015	Pferdemist	60000	1,20	9,10	72,00	546,00	Dinkel	23430	3,50	7,50	82,01	175,73
2015	Alexandrinerklee	50	0,60	5,00	0,03	0,25	Dinkel Stroh	31950	0,10	0,70	3,20	22,37
2015	Klee-Gras (40:60)	120	0,60	5,20	0,07	0,62	WR	3500	3,50	5,00	12,25	17,50
2015	Ackerbohnen	1000	4,70	11,30	4,70	11,30	WR Stroh	4200	0,10	0,70	0,42	2,94
							Ackerbohnen	5600	4,70	11,30	26,32	63,28
							Klee-Gras (40:60)	94000	0,60	5,20	56,40	488,80
							Kartoffeln	15700	0,60	5,00	9,42	78,50
2016	Pferdemist	50000	1,20	9,10	60,00	455,00	Dinkel	21650	3,50	7,50	75,78	162,38
2016	Kartoffeln	2500	0,60	5,00	1,50	12,50	Dinkel Stroh	23815	0,10	0,70	2,38	16,67
2016	Ackerbohnen	1200	4,70	11,30	5,64	13,56	WR	9300	3,50	5,00	32,55	46,50
2016	Hafer	315	3,20	4,70	1,01	1,48	WR Stroh	11160	0,10	0,70	1,12	7,81
2016	Dinkel	2230	3,50	7,50	7,81	16,73	Kartoffeln	11300	0,60	5,00	6,78	56,50
2016	Klee-Gras (40:60)	100	0,60	5,20	0,06	0,52	Hafer	2700	3,20	4,70	8,64	12,69

2016	Buchweizen	60	0,48	3,60	0,03	0,22	Hafer Stroh	2970	0,10	0,70	0,30	2,08
2016	Senf	50	5,30	8,00	0,27	0,40	Ackerbohnen	3350	4,70	11,30	15,75	37,86
				Total (kg/5 a)	**692,77**	**3085,54**				**Total (kg/5 a)**	**1044,85**	**4130,04**
				Total (kg/ha/5 a)	**138,55**	**617,11**				**Total (kg/ha/5 a)**	**208,97**	**826,01**
										Saldo (kg/5 a)	**-352,08**	**-1044,49**

Tabelle A4. Zusammenfassung der Hoftorbilanz von Betrieb 2, HPG Wald- und Mühlviertel, LNF 27 ha.

Phosphor								
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)				**Nährstoffabfuhr (kg/ha)**			
Jahr	**Organische Düngemittel tierischer Herkunft**	**Saat-gut**	**Total**	**To-tal/ha**	**Ernteprodukte = To-tal**	**To-tal/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	170,00	7,50	177,50	6,57	262,73	9,73	-85,24	-3,16
2013	182,00	5,27	187,27	6,94	247,69	9,17	-60,43	-2,24
2014	170,00	4,90	174,90	6,48	201,13	7,45	-26,23	-0,97
2015	72,00	4,80	76,80	2,84	190,01	7,04	-113,21	-4,19
2016	60,00	16,31	76,31	2,83	143,28	5,31	-66,98	-2,48
Mittelwert (kg/a)	**130,80**	**7,75**	**138,55**		**208,97**		**-70,42**	
Mittelwert (kg/ha/a)	**4,84**	**0,29**	**5,13**		**7,74**		**-2,61**	
Kalium								
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)				**Nährstoffabfuhr (kg/ha)**			
Jahr	**Organische Düngemittel tierischer Herkunft**	**Saat-gut**	**Total**	**To-tal/ha**	**Ernteprodukte = To-tal**	**To-tal/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	631,00	19,42	650,42	24,09	1120,72	41,51	-470,31	-17,42
2013	722,00	12,41	734,41	27,20	935,05	34,63	-200,64	-7,43
2014	631,00	11,14	642,14	23,78	882,67	32,69	-240,53	-8,91
2015	546,00	12,17	558,17	20,67	849,11	31,45	-290,94	-10,78
2016	455,00	45,40	500,40	18,53	342,48	12,68	157,92	5,85

Mittelwert (kg/a)	**597,00**	**20,11**	**617,11**		**826,01**	**30,59**	**-208,90**	
Mittelwert (kg/ha/a)	**22,11**	**0,74**	**22,86**		**30,59**	**1,13**	**-7,74**	

Tabelle A5. Hoftorbilanz von Betrieb 3, HPG Kärntner Becken, LNF 300 ha, WW= Winterweizen, WG= Wintergerste

Betriebsnummer 3, HPG 2			**Nährstoffeinträge (kg/t FM)**		**Nährstoffeinträge total (kg)**				**Nährstoffentzüge (kg/t FM)**		**Nährstoffentzüge total (kg)**	
Jahr	**Betriebsmittelzukäufe**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**	**Ernteprodukt**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**
2012	Biogasgülle	440000	4,40	4,50	1936	1980	Körnermais	1004950	3,3	4,0	3316,335	4019,8
2012	Biofert	18000	6,60	4,20	118,8	75,6	Sojabohne	163940	5,7	12,9	934,458	2114,826
2012	Patentkali	4800	0,00	249,00	0	1195,2	Ackerbohne	166820	4,7	11,3	784,054	1885,066
2012	Körnermais	2400	3,3	4,0	7,92	9,6	WG	97000	3,5	5,0	339,5	485
2012	Sojabohne	12038	5,7	12,9	68,6166	155,2902						
2012	Ackerbohne	12893	4,7	11,3	60,5971	145,6909						
2012	WG	6666	3,5	5,0	23,331	33,33						
2013	Rindergülle	800000	0,50	5,40	400	4320						
2013	Biofert	22000	6,60	4,20	145,2	92,4	WG	21210	3,5	5,0	74,235	106,05
2013	Erbsen	15710	4,3	10,6	67,553	166,526	Körnermais	179780	3,3	4,0	593,274	719,12
2013	Ackerbohne	14400	4,7	11,3	67,68	162,72	Erbsen	148280	4,3	10,6	637,604	1571,768
2013	Körnermais	5030	3,3	4,0	16,599	20,12	WW	138880	3,5	5,0	486,08	694,4
2013	Buchweizen	1400	0,5	3,6	0,672	5,04	Ackerbohne	137620	4,7	11,3	646,814	1555,106
2013	Sommerwicke	2100	4,0	9,2	8,4	19,32						
2013	Sojabohne	14480	5,7	12,9	82,536	186,792						
2013	WW	1020	3,5	5,0	3,57	5,1						
2013	Blühstreifen (100 % Leg.)	320	0,6	5,0	0,192	1,6						
2014	Biogasgülle	1320000	4,40	4,50	5808	5940	Erbsen	233996	4,3	10,6	1006,1828	2480,3576
2014	Biofert	19000	6,60	4,20	125,4	79,8	Ackerbohne	114340	4,7	11,3	537,398	1292,042
2014	Erbsen	7681	4,3	10,6	33,0283	81,4186	WG	54960	3,5	5,0	192,36	274,8
2014	Ackerbohne	10425	4,7	11,3	48,9975	117,8025	WW	193420	3,5	5,0	676,97	967,1

2014	WW	2110	3,5	5,0	7,385	10,55	Sojabohne	148460	5,7	12,9	846,222	1915,134
2014	WG	4140	3,5	5,0	14,49	20,7	Körnermais	431505	3,3	4,0	1423,9665	1726,02
2014	Körnermais	3300	3,3	4,0	10,89	13,2						
2014	Sojabohne	3810	5,7	12,9	21,717	49,149						
2014	Rotklee	400	0,6	5,0	0,24	2						
2014	Winterwicke	100	4,0	9,2	0,4	0,92						
2014	Sommerwicke	3475	4,0	9,2	13,9	31,97						
2014	Alexandrinerklee	900	0,6	5,0	0,54	4,5						
2014	Buchweizen	450	0,5	3,6	0,216	1,62						
2015	Rindergülle	500000	0,50	5,40	250	2700	Körnermais	601600	3,3	4,0	1985,28	2406,4
2015	Biofert	51440	6,60	4,20	339,504	216,048	Sojabohne	99500	5,7	12,9	567,15	1283,55
2015	Ackerbohne	1680	4,7	11,3	7,896	18,984	Dinkel	10920	3,5	7,5	38,22	81,9
2015	Erbsen	17970	4,3	10,6	77,271	190,482	WW	151540	3,5	5,0	530,39	757,7
2015	WW	2000	3,5	5,0	7	10	Erbsen	74900	4,3	10,6	322,07	793,94
2015	Körnermais	2200	3,3	4,0	7,26	8,8	Ackerbohne	11020	4,7	11,3	51,794	124,526
2015	Sojabohne	5040	5,7	12,9	28,728	65,016						
2015	Begrünung (50:50)	800	0,6	5,0	0,48	4						
2015	Sommerwicke	1800	4,0	9,2	7,2	16,56						
2015	Brachenmischung (ohne Leg.)	25	0,6	5,0	0,015	0,125						
2015	Buchweizen	50	0,5	3,6	0,024	0,18						
2015	Ölrettich	25	0,5	3,8	0,01325	0,095						
2015	Samena Standard (10 % Leg.)	10	0,7	5,0	0,007	0,05						
2016	BioAdusol	15000	14,80	18,20	222	273	Erbsen	95380	4,3	10,6	410,134	1011,028
2016	Biofert	97400	6,60	4,20	642,84	409,08	Dinkel	11170	3,5	7,5	39,095	83,775
2016	Körnermais	2070	3,3	4,0	6,831	8,28	Körnermais	706375	3,3	4,0	2331,0375	2825,5
2016	Sojabohne	11910	5,7	12,9	67,887	153,639	WW	100740	3,5	5	352,59	503,7
2016	Kleegras (60:40)	140	0,6	5,2	0,084	0,728	Sojabohne	124480	5,7	12,9	709,536	1605,792
2016	Lupine	850	4,2	9,0	3,57	7,65						

2016	Erbsen	8220	4,3	10,6	35,346	87,132						
2016	Begrünung (50:50)	400	0,6	5,0	0,24	2						
2016	Ölrettich	125	0,5	3,8	0,06625	0,475						
2016	Grünschnittroggen	300	0,7	5,2	0,21	1,56						
2016	WW	900	3,5	5,0	3,15	4,5						
2016	Öllein	25	5,3	8,0	0,1325	0,2						
				Total (kg/5 a)	10800,63	19106,54				**Total (kg/5 a)**	19832,75	33284,40
				Total (kg/ha/5 a)	2160,13	3821,31				**Total (kg/ha/5 a)**	3966,55	6656,88
										Saldo (kg/5 a)	**-9032,12**	**-14177,86**

Tabelle A6. Zusammenfassung der Hoftorbilanz von Betrieb 3, HPG Kärntner Becken, LNF 300 ha.

Phosphor										
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)						**Nährstoffoutput (kg/ha)**			
Jahr	**Organische Düngemittel tierischer Herkunft**	**Organische Handelsdünger**	**Mineralische Dünger**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Erntepro-dukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo /ha**
2012	1936,00	118,80	0,00	560,46	2615,26	8,72	5374,35	17,91	-2759,08	-9,20
2013	0,00	145,20	0,00	247,20	392,40	1,31	2438,01	8,13	-2045,61	-6,82
2014	5808,00	125,40	0,00	151,80	6085,20	20,28	4683,10	15,61	1402,10	4,67
2015	250,00	339,50	0,00	135,89	725,40	2,42	3494,90	11,65	-2769,51	-9,23
2016	0,00	864,84	0,00	117,52	982,36	3,27	3842,39	12,81	-2860,04	-9,53
Mittelwert (kg/a)	1598,80	318,75		242,58	2160,13		3966,55	13,22	-1806,42	
Mittelwert (kg/ha/a)	5,33	1,06		0,81	7,20		13,22	0,04	-6,02	
Kalium										
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)						**Nährstoffoutput (kg/ha)**			
Jahr	**Organische Düngemittel tierischer Herkunft**	**Organische Handelsdünger**	**Mineralische Dünger**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Erntepro-dukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**

2012	1980,00	75,60	1195,20	4663,91	7914,71	26,38	8504,69	28,35	-589,98	-1,97
2013	0,00	92,40	0,00	567,22	659,62	2,20	4646,44	15,49	-3986,83	-13,29
2014	5940,00	79,80	0,00	333,83	6353,63	21,18	8655,45	28,85	-2301,82	-7,67
2015	2700,00	216,05	0,00	314,29	3230,34	10,77	5448,02	18,16	-2217,68	-7,39
2016	0,00	682,08	0,00	266,16	948,24	3,16	6029,80	20,10	-5081,55	-16,94
Mittelwert (kg/a)	2124,00	229,19	239,04	1229,08	3821,31		6656,88	22,19	-2835,57	
Mittelwert (kg/ha/a)	7,08	0,76	0,80	4,10	12,74		22,19	0,07	-9,45	

Tabelle A7. Hoftorbilanz von Betrieb 4, HPG Kärntner Becken, LNF 60 ha, WW= Winterweizen, WR= Winterroggen.

Betriebsnummer 4, HPG 2			**Nährstoffeinträge (kg/t FM)**		**Nährstoffeinträge total (kg)**				**Nährstoffent-züge (kg/t FM)**		**Nährstoffentzüge total (kg)**	
Jahr	**Betriebsmittelzukäufe**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**	**Ernteprodukt**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**
2012	Biofert	18000	6,60	4,20	118,80	75,60	Körnermais	100000	3,30	4,00	330,00	400,00
2012	Körnermais	340	3,30	4,00	1,12	1,36	Erbsen	33000	4,30	10,60	141,90	349,80
2012	Erbsen	4500	4,30	10,60	19,35	47,70	Dinkel	44000	3,50	7,50	154,00	330,00
2012	Blühstreifen (100 % Le-guminosen)	450	0,70	5,00	0,32	2,25	Sojabohne	40000	5,70	12,90	228,00	516,00
2013	Biofert	22000	6,60	4,20	145,20	92,40	Körnermais	42000	3,30	4,00	138,60	168,00
2013	Blühstreifen (100 % Le-guminosen)	300	0,70	5,00	0,21	1,50	Sojabohne	22000	5,70	12,90	125,40	283,80
2013	Körnermais	595	3,30	4,00	1,96	2,38	Dinkel	32000	3,50	7,50	112,00	240,00
2014	Biofert	19000	6,60	4,20	125,40	79,80	Dinkel	34000	3,50	7,50	119,00	255,00
2014	Sojabohnebohne	2700	5,70	12,90	15,39	34,83	WR	13000	3,50	5,00	45,50	65,00
2014	Buchweizen	200	0,48	3,60	0,10	0,72	Sojabohne	32000	5,70	12,90	182,40	412,80
2014	WR	1000	3,50	5,00	3,50	5,00	Körnermais	100000	3,30	4,00	330,00	400,00
2014	Blühstreifen (100 % Le-guminosen)	300	0,70	5,00	0,21	1,50						
2014	Körnermais	476	3,30	4,00	1,57	1,90						
2015	Sojabohne	1500	5,70	12,90	8,55	19,35	Dinkel	44000	3,50	7,50	154,00	330,00
2015	Blühstreifen (100 % Le-guminosen)	450	0,70	5,00	0,32	2,25	WR	14000	3,50	5,00	49,00	70,00

2015	Körnermais	800	3,30	4,00	2,64	3,20	Sojabohne	52000	5,70	12,90	296,40	670,80
2015							Körnermais	99000	3,30	4,00	326,70	396,00
2016	Körnermais	850	3,30	4,00	2,81	3,40	Dinkel	40000	3,50	7,50	140,00	300,00
2016	Sojabohne	1800	5,70	12,90	10,26	23,22	Sojabohne	36000	5,70	12,90	205,20	464,40
2016	Blühstreifen (100 % Leguminosen)	600	0,70	5,00	0,42	3,00	Körnermais	112000	3,30	4,00	369,60	448,00
				Total (kg/5 a)	**458,12**	**401,36**				**Total (kg/5 a)**	**3447,70**	**6099,60**
				Total (kg/ha/5 a)	**7,64**	**6,69**				**Total (kg/ha/5 a)**	**57,46**	**101,66**
										Saldo (kg/5 a)	**-2989,58**	**-5698,24**

Tabelle A8. Zusammenfassung der Hoftorbilanz von Betrieb 4, HPG Kärntner Becken, LNF 60 ha.

Phosphor								
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)				**Nährstoffabfuhr (kg/ha)**			
Jahr	**Organische Handelsdünger**	**Saat-gut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	118,80	20,79	139,59	2,33	853,90	14,23	-714,31	-11,91
2013	145,20	2,17	147,37	2,46	376,00	6,27	-228,63	-3,81
2014	125,40	29,32	154,72	2,58	676,90	11,28	-522,18	-8,70
2015	0,00	11,51	11,51	0,19	826,10	13,77	-814,60	-13,58
2016	0,00	13,49	13,49	0,22	714,80	11,91	-701,32	-11,69
Mittelwert (kg/a)	77,88	15,45	93,33		689,54		-596,21	
Mittelwert (kg/ha/a)	1,30	0,26	1,56		11,49		-9,94	
Kalium								
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)				**Nährstoffabfuhr (kg/ha)**			
Jahr	**Organische Handelsdünger**	**Saat-gut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	75,60	51,31	126,91	2,12	1595,80	26,60	-1468,89	-24,48
2013	92,40	3,88	96,28	1,60	691,80	11,53	-595,52	-9,93
2014	79,80	43,95	123,75	2,06	1132,80	18,88	-1009,05	-16,82

2015	0,00	24,80	24,80	0,41	1466,80	24,45	-1442,00	-24,03
2016	0,00	29,62	29,62	0,49	1212,40	20,21	-1182,78	-19,71
Mittelwert (kg/a)	49,56	30,71	80,27		1219,92		-1139,65	
Mittelwert (kg/ha/a)	0,83	0,51	1,34		20,33		-18,99	

Tabelle A9. Hoftorbilanz von Betrieb 5, HPG Alpenvorland, LNF bis 2013 11 ha, ab 2014 21 ha, WW= Winterweizen, WR= Winterroggen, WT= Wintertriticale, SW= Sommerweizen.

Betriebs-nummer 5, HPG 3			**Nährstoffeinträge (kg/t FM)**		**Nährstoffein-träge total (kg)**				**Nährstoffentzüge (kg/t FM)**		**Nährstoffent-züge total (kg)**	
Jahr	**Betriebsmittelzukäufe**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**	**Ernteprodukt**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**
2012	Platterbse	150	4,3	10,6	0,65	1,59	Körnermais	2360	3,3	4,0	7,79	9,44
2012	Senf	25	5,3	8,0	0,13	0,20	WW	4300	3,5	5,0	15,05	21,50
2012	WT	360	3,5	5,0	1,26	1,80	WT	8767	3,5	5,0	30,68	43,84
2012	WW	240	3,5	5,0	0,84	1,20	Hafer	3300	3,2	4,7	10,56	15,51
2012	Hafer	210	3,2	4,7	0,67	0,99						
2012	Rotklee	10	0,6	5,0	0,01	0,05						
2012	Körnermais	28	3,3	4,0	0,09	0,11						
2013	ZF-Mischung (Buchweizen, Senf, Phacelia, Ölrettich)	45	0,6	5,0	0,03	0,23	WW	2640	3,5	5,0	9,24	13,20
2013	WT	210	3,5	5,0	0,74	1,05	Sonnenblume	2500	7,1	17,0	17,75	42,50
2013	Hafer	90	3,2	4,7	0,29	0,42	WT	2970	3,5	5,0	10,40	14,85
2013	Sonnenblume	36	7,1	17,0	0,26	0,61	Dinkel	3400	3,5	7,5	11,90	25,50
2013	Klee-Gras-Mischung (30:70)	10	0,6	5,2	0,01	0,05						
2013	Gelbklee	25	0,6	5,0	0,02	0,13						
2014	Biosol	1000	6,60	29,10	6,60	29,10	Körnermais	4740	3,3	4,0	15,64	18,96
2014	Buchweizen	200	0,5	3,6	0,10	0,72	Dinkel	3000	3,5	7,5	10,50	22,50
2014	Senf	50	5,3	8,0	0,27	0,40	WR	1100	3,5	5,0	3,85	5,50
2014	Sommerwicke	400	4,0	9,2	1,60	3,68	WT	11068	3,5	5,0	38,74	55,34

2014	WW	60	3,5	5,0	0,21	0,30	WW	4970	3,5	5,0	17,40	24,85
2014	Dinkel	375	3,5	7,5	1,31	2,81	Hafer	4560	3,2	4,7	14,59	21,43
2014	WR	240	3,5	5,0	0,84	1,20	Ackerbohne	11280	4,7	11,3	53,02	127,46
2014	Ackerbohne	800	4,7	11,3	3,76	9,04						
2014	SW	150	3,5	5,0	0,53	0,75						
2014	Klee-Gras-Mischung (30:70)	30	0,6	5,2	0,02	0,16						
2014	Körnermais	53	3,3	4,0	0,17	0,21						
2014	Sojabohne	300	5,7	12,9	1,71	3,87						
2015	Phosmax	2000	21,5	0	43,00	0,00	Ackerbohne	6733	4,7	11,3	31,65	76,08
2015	Erbsen	550	4,3	10,6	2,37	5,83	Weizen+WT	2640	3,5	5,0	9,24	13,20
2015	ZF-Mischung (Buchweizen, Senf, Phacelia, Ölrettich)	30	0,6	5,0	0,02	0,15	Dinkel	10000	3,5	7,5	35,00	75,00
2015	Dinkel	175	3,5	7,5	0,61	1,31	Erbse/Hafer-Gemenge (20:80)	4260	3,75	7,65	15,98	32,59
2015	Einkorn	150	3,60	4,40	0,54	0,66	Einkorn	1100	3,60	4,40	3,96	4,84
2015	WT	150	3,5	5,0	0,53	0,75	Körnermais	4400	3,3	4,0	14,52	17,60
2015	Zuckermais	3	3,3	4,0	0,01	0,01	WT	16466	3,5	5,0	57,63	82,33
2015	SW	250	3,5	5,0	0,88	1,25	Sonnenblume	1072	7,1	17,0	7,61	18,22
2015	Gräsermischung	50	0,7	5,4	0,04	0,27						
2015	Sonnenblume	9	7,1	17,0	0,06	0,15						
2015	Körnermais	53	3,3	4,0	0,17	0,21						
2016	Phacelia	10	0,1	3,8	0,00	0,04	Körnermais	8100	3,3	4,0	26,73	32,40
2016	Ölrettich	50	0,5	3,8	0,03	0,19	Ackerbohne	5130	4,7	11,3	24,11	57,97
2016	Einkorn	100	3,60	4,40	0,36	0,44	WT	4280	3,5	5,0	14,98	21,40
2016	WW	240	3,5	5,0	0,84	1,20	WW	3700	3,5	5,0	12,95	18,50
2016	Ackerbohne	75	4,7	11,3	0,35	0,85	WR	520	3,5	5,0	1,82	2,60
2016	Hafer	90	3,2	4,7	0,29	0,42	Einkorn	2200	3,60	4,40	7,92	9,68
2016	Sonnenblume	27	7,1	17,0	0,19	0,46	Dinkel	12600	3,5	7,5	44,10	94,50
2016	Körnermais	140	3,3	4,0	0,46	0,56	Hafer	1000	3,2	4,7	3,20	4,70

2016	Zuckermais	9	3,3	4,0	0,03	0,04	Sonnenblume	3200	7,1	17,0	22,72	54,40
2016	Buchweizen	80	0,5	3,6	0,04	0,29						
2016	Alexandrinerklee	50	0,6	5,0	0,03	0,25						
2016	Sommerwicke	50	4,0	9,2	0,20	0,46						
2016	WR	575	3,5	5,0	2,01	2,88						
2016	Erbsen	125	4,3	10,6	0,54	1,33						
2016	WT	510	3,5	5,0	1,79	2,55						
2016	Landsberger Gemenge	120	0,7	4,7	0,08	0,56						
				Total (kg/5 a)	77,54	83,77				**Total (kg/5 a)**	601,21	1078,40
				Total (kg/ha/5 a)	3,91	4,35				**Total (kg/ha/5 a)**	33,54	59,42
										Saldo (kg/5 a)	**-523,67**	**-994,62**

Tabelle A10. Zusammenfassung der Hoftorbilanz von Betrieb 5, HPG Alpenvorland, LNF bis 2013 11 ha, ab 2014 21 ha.

Phosphor									
		Nährstoffzufuhr (kg/ha)				**Nährstoffabfuhr (kg/ha)**			
Jahr	**Organische Handelsdünger**	**Mineralische Dünger**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	0,00	0,00	3,65	3,65	0,33	64,08	5,83	-60,43	-5,49
2013	0,00	0,00	1,33	1,33	0,12	49,29	4,48	-47,96	-4,36
2014	6,60	0,00	5,22	11,82	0,56	153,73	7,32	-141,91	-6,76
2015	0,00	43,00	5,22	48,22	2,30	175,58	8,36	-127,36	-6,06
2016	0,00	0,00	7,24	7,24	0,34	158,53	7,55	-151,29	-7,20
Mittelwert (kg/a)	1,32	8,60	4,53	14,45		120,24		-105,79	
Mittelwert (kg/ha/a)	0,31	2,05	1,29	3,66		33,54		-29,88	
	Kalium								
		Nährstoffzufuhr (kg/ha)				**Nährstoffabfuhr (kg/ha)**			
Jahr	**Organische Handelsdünger**	**Mineralische Dünger**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	0,00	0,00	5,94	5,94	0,54	90,29	8,21	-84,35	-7,67

2013	0,00	0,00	2,49	2,49	0,23	96,05	8,73	-93,56	-8,51
2014	29,10	0,00	23,14	52,24	2,49	276,05	13,15	-223,81	-10,66
2015	0,00	0,00	10,60	10,60	0,50	319,87	15,23	-309,27	-14,73
2016	0,00	0,00	12,51	12,51	0,60	296,15	14,10	-283,64	-13,51
Mittelwert (kg/a)	5,82	0,00	10,93	16,75		215,68		-198,92	
Mittelwert (kg/ha/a)	1,39	0,00	2,97	4,35		59,42		-55,06	

Tabelle A11. Hoftorbilanz von Betrieb 6, HPG Alpenvorland, LNF 50 ha, WW= Winterweizen, WR= Winterroggen.

Betriebsnummer 6, HPG 3			**Nährstoffeinträge (kg/t FM)**		**Nährstoffeinträge total (kg)**				**Nährstoffentzüge (kg/t FM)**		**Nährstoffentzüge total (kg)**	
Jahr	**Betriebsmittelzu-käufe**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**	**Ernteprodukt**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**
2012	Schweinejauche	160000	0,00	0,90	0,00	144,00	WW	38000	3,50	5,00	133,00	190,00
2012	Körnermais	360	3,30	4,00	1,19	1,44	Dinkel	13000	3,50	7,50	45,50	97,50
							WR	7000	3,50	5,00	24,50	35,00
							Einkorn	12000	3,60	4,40	43,20	52,80
							Körnermais	59000	3,30	4,00	194,70	236,00
							Sojabohne	12400	5,70	12,90	70,68	159,96
2013	Schweinejauche	160000	0,00	0,90	0,00	144,00	Sojabohne	22000	5,70	12,90	125,40	283,80
2013	Körnermais	200	3,30	4,00	0,66	0,80	Ackerbohne	12300	4,70	11,30	57,81	138,99
2013	Hirse	200	7,00	3,50	1,40	0,70	WW	5500	3,50	5,00	19,25	27,50
2013	Buchweizen	382	0,48	3,60	0,18	1,38	Einkorn	11000	3,60	4,40	39,60	48,40
							Körnermais	36000	3,30	4,00	118,80	144,00
							Hirse	9104	7,00	3,50	63,73	31,86
							Buchweizen	3700	0,48	3,60	1,78	13,32
2014	Schweinejauche	160000	0,00	0,90	0,00	144,00	Einkorn	15600	3,60	4,40	56,16	68,64
2014	Dinkel	180	3,50	7,50	0,63	1,35	Öllein	350	5,30	8,00	1,86	2,80
2014	Öllein	672	5,30	8,00	3,56	5,38	Hirse	6100	7,00	3,50	42,70	21,35
							Sojabohne	24100	5,70	12,90	137,37	310,89
							Ackerbohne	10600	4,70	11,30	49,82	119,78

2015	Schweinejauche	160000	0,00	0,90	0,00	144,00	Dinkel	23000	3,50	7,50	80,50	172,50
2015	WR	200	3,50	5,00	0,70	1,00	WR	7700	3,50	5,00	26,95	38,50
2015	Öllein	420		5,30	8,00	2,23	Einkorn	4500	3,60	4,40	16,20	19,80
2015	Hanf	400	10,60	7,40	4,24	2,96	Öllein	18000	5,30	8,00	95,40	144,00
2015	Gewürzfenchel	5	2,40	6,50	0,01	0,03	Hanf	3900	10,60	7,40	41,34	28,86
2015	Sojabohne	1800	5,70	12,90			Sojabohne	3500	5,70	12,90	19,95	45,15
							Ackerbohne	13625	4,70	11,30	64,04	153,96
2016	Schweinejauche	160000	0,00	0,90	0,00	144,00	Dinkel	42000	3,50	7,50	147,00	315,00
2016	Hanf	150	10,60	7,40	1,59	1,11	WR	3500	3,50	5,00	12,25	17,50
2016	Erbsen	320	4,30	10,60	1,38	3,39	Einkorn	18000	3,60	4,40	64,80	79,20
							Ackerbohne-Erbsen-Gemenge	28000	0,55	4,00	15,40	112,00
				Total (kg/5 a)	23,54	741,76				**Total (kg/ 5a)**	1809,68	3109,07
				Total (kg/ha/5 a)	0,47	14,84				**Total (kg/ha/5 a)**	36,19	62,18
										Saldo (kg/5 a)	**-1786,14**	**-2367,30**

Tabelle A12. Zusammenfassung der Hoftorbilanz von Betrieb 6, HPG Alpenvorland, LNF 50 ha.

Phosphor								
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)				**Nährstoffabfuhr (kg/ha)**			
Jahr	**Organische Düngemittel**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	0,00	1,19	1,19	**0,02**	511,58	10,23	-510,39	-10,21
2013	0,00	2,24	2,24	**0,04**	426,36	8,53	-424,12	-8,48
2014	0,00	4,19	4,19	**0,08**	287,91	5,76	-283,71	-5,67
2015	0,00	12,95	12,95	**0,26**	344,38	6,89	-331,43	-6,63
2016	0,00	2,97	2,97	**0,06**	239,45	4,79	-236,48	-4,73
Mittelwert (kg/a)	**0,00**	**4,71**	**4,71**		**361,94**		**-357,23**	
Mittelwert (kg/ha/a)	**0,00**	**0,09**	**0,09**		**7,24**		**-7,14**	
Kalium								

	Nährstoffzufuhr (kg/ha)				Nährstoffabfuhr (kg/ha)			
Jahr	**Organische Düngemittel tierischer Herkunft**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	144,00	1,44	145,44	2,91	771,26	15,43	-625,82	-12,52
2013	0,00	2,88	2,88	0,06	687,87	13,76	-685,00	-13,70
2014	0,00	6,73	6,73	0,13	602,77	12,06	-596,05	-11,92
2015	0,00	6,22	6,22	0,12	602,77	12,06	-596,55	-11,93
2016	0,00	4,50	4,50	0,09	523,70	10,47	-519,20	-10,38
Mittelwert (kg/a)	**28,80**	**4,35**	**33,15**		**637,68**		**-604,52**	
Mittelwert (kg/ha/a)	**0,58**	**0,09**	**0,66**		**12,75**		**-12,09**	

Tabelle A13. Hoftorbilanz von Betrieb 7, HPG SÖ Flach- und Hügelland, LNF 80 ha, WW= Winterweizen, WR= Wintertriticale, WG= Wintergerste, SG= Sommergerste.

Betriebsnummer 7, HPG 4			**Nährstoffeinträge (kg/t FM)**		**Nährstoffeinträge total (kg)**				**Nährstoffentzüge (kg/t FM)**		**Nährstoffentzüge total (kg)**	
Jahr	**Betriebsmittelzu-käufe**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**	**Ernteprodukt**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**
2012	Biofert	12000	6,60	4,20	79,20	50,40	Ackerbohne	2800	4,70	11,30	13,16	31,64
2012	Pferdemist	20000	1,20	9,10	24,00	182,00	Erbsen	34000	4,30	10,60	146,20	360,40
2012	Ackerbohne	150	4,70	11,30	0,71	1,70	Ölkürbis	5610	19,00	10,00	106,59	56,10
2012	Begrünungssaatgut (30:70)	820	0,60	5,20	0,49	4,26	SG	7500	3,50	5,00	26,25	37,50
2012	Futtergräser	320	0,70	5,40	0,22	1,73	Speisekürbis	300	0,90	4,60	0,27	1,38
2012	Erbsen	3000	4,30	10,60	12,90	31,80	Dinkel	31700	3,50	7,50	110,95	237,75
2012	Ölkürbis	75	19,00	10,00	1,43	0,75	WT	12250	3,50	5,00	42,88	61,25
2012	Dinkel	1000	3,50	7,50	3,50	7,50	WW	62000	3,50	5,00	217,00	310,00
2012	WT	1000	3,50	5,00	3,50	5,00	Wicke	1500	4,00	9,20	6,00	13,80
2012	WW	1200	3,50	5,00	4,20	6,00						
2012	Blühmischung (ohne Leg.)	45	0,60	5,00	0,03	0,23						
2013	Ackerbohne	1350	4,70	11,30	6,35	15,26	Ackerbohne	33000	4,70	11,30	155,10	372,90
2013	Blühmischung (ohne Leg.)	50	0,60	5,00	0,03	0,25	Erbsen	15700	4,30	10,60	67,51	166,42

2013	Erbsen	1500	4,30	10,60	6,45	15,90	Ölkürbis	9310	19,00	10,00	176,89	93,10
2013	Ölkürbis	70	19,00	10,00	1,33	0,70	SG	20000	3,50	5,00	70,00	100,00
2013	SG	690	3,50	5,00	2,42	3,45	Speisekürbis	1700	0,90	4,60	1,53	7,82
2013	Dinkel	900	3,50	7,50	3,15	6,75	Dinkel	18700	3,50	7,50	65,45	140,25
2013	WW	1200	3,50	5,00	4,20	6,00	WT	20000	3,50	5,00	70,00	100,00
2013	Begrünungssaatgut (30:70)	720	0,60	5,20	0,43	3,74	WW	63400	3,50	5,00	221,90	317,00
2014	Biofert	12000	6,60	4,20	79,20	50,40	Ackerbohne	16000	4,70	11,30	75,20	180,80
2014	Pferdemist	17000	1,20	9,10	20,40	154,70	Erbsen	6600	4,30	10,60	28,38	69,96
2014	Ackerbohne	1200	4,70	11,30	5,64	13,56	Ölkürbis	3900	19,00	10,00	74,10	39,00
2014	Erbsen	600	4,30	10,60	2,58	6,36	Phacelia	400	0,05	3,80	0,02	1,52
2014	Ölkürbis	65	19,00	10,00	1,24	0,65	Speisekürbis	700	0,90	4,60	0,63	3,22
2014	Phacelia	10	0,05	3,80	0,00	0,04	Dinkel	22000	3,50	7,50	77,00	165,00
2014	Dinkel	1200	3,50	7,50	4,20	9,00	WG	39100	3,50	5,00	136,85	195,50
2014	WW	1400	3,50	5,00	4,90	7,00	WW	75300	3,50	5,00	263,55	376,50
2014	WG	1300	3,50	5,00	4,55	6,50	Wicke	4700	4,00	9,20	18,80	43,24
2014	Begrünungssaatgut (30:70)	470	0,60	5,20	0,28	2,44						
2015	Biofert	10000	6,60	4,20	66,00	42,00	Ackerbohne	12000	4,70	11,30	56,40	135,60
2015	Pferdemist	25000	1,20	9,10	30,00	227,50	Körnermais	15400	3,30	4,00	50,82	61,60
2015	Bodengesundung (30:70)	45	0,60	5,20	0,03	0,23	Ölkürbis	1680	19,00	10,00	31,92	16,80
2015	Begrünungssaatgut (30:70)	650	0,60	5,20	0,39	3,38	Phacelia	480	0,05	3,80	0,03	1,82
2015	Ackerbohne	1350	4,70	11,30	6,35	15,26	Sojabohne	25000	5,70	12,90	142,50	322,50
2015	Futtergräser	150	0,70	5,40	0,11	0,81	Sommermenggetreide	4000	3,50	5,00	14,00	20,00
2015	Körnermais	168	3,30	4,00	0,55	0,67	Speisekürbis	2000	0,90	4,60	1,80	9,20
2015	Ölkürbis	35	19,00	10,00	0,67	0,35	Dinkel	13900	3,50	7,50	48,65	104,25
2015	Phacelia	10	0,05	3,80	0,00	0,04	WG	35800	3,50	5,00	125,30	179,00

2015	Sojabohne	1400	5,70	12,90	7,98	18,06	WW	76900	3,50	5,00	269,15	384,50
2015	Sommermenggetreide	150	3,50	5,00	0,53	0,75						
2015	Dinkel	600	3,50	7,50	2,10	4,50						
2015	WG	600	3,50	5,00	2,10	3,00						
2015	WW	1100	3,50	5,00	3,85	5,50						
2016	Biofert	12000	6,60	4,20	79,20	50,40	Ackerbohne	18200	4,70	11,30	85,54	205,66
2016	Pferdemist	35000	1,20	9,10	42,00	318,50	Buchweizen	2800	0,48	3,60	1,34	10,08
2016	Patentkali	1800	0,00	249,00	0,00	448,20	Gewürzfenchel	400	2,40	6,50	0,96	2,60
2016	Ackerbohne	970	4,70	11,30	4,56	10,96	Körnermais	43000	3,30	4,00	141,90	172,00
2016	Buchweizen	60	0,48	3,60	0,03	0,22	Ölkürbis	3470	19,00	10,00	65,93	34,70
2016	Erbsen-Getreide-Gemenge (50:50)	330	3,90	7,80	1,29	2,57	Phacelia	700	0,05	3,80	0,04	2,66
2016	Gewürzfenchel	10	2,40	6,50	0,02	0,07	Sojabohne	47200	5,70	12,90	269,04	608,88
2016	Körnermais	115	3,30	4,00	0,38	0,46	Hafer	2400	3,20	4,70	7,68	11,28
2016	Ölkürbis	40	19,00	10,00	0,76	0,40	Sonnenblume	1400	7,10	17,00	9,94	23,80
2016	Sojabohne	1200	5,70	12,90	6,84	15,48	Speisekürbis	2500	0,90	4,60	2,25	11,50
2016	Hafer	170	3,20	4,70	0,54	0,80	Dinkel	26600	3,50	7,50	93,10	199,50
2016	Sonnenblume	3	7,10	17,00	0,02	0,05	WG	33800	3,50	5,00	118,30	169,00
2016	Dinkel	1400	3,50	7,50	4,90	10,50	Wintermenggetreide	4200	3,50	5,00	14,70	21,00
2016	WG	1440	3,50	5,00	5,04	7,20	WW	49000	3,50	5,00	171,50	245,00
2016	Wintermenggetreide	180	3,50	5,00	0,63	0,90	Wicke	4400	4,00	9,20	17,60	40,48
2016	WW	1800	3,50	5,00	6,30	9,00						
2016	Wicke	180	4,00	9,20	0,72	1,66						
				Total (kg/5 a)	**551,39**	**1793,47**				**Total (kg/5 a)**	**3912,59**	**6475,46**
				Total (kg/ha/5 a)	**110,28**	**358,69**				**Total (kg/ha/5 a)**	**782,52**	**1295,09**
										Saldo (kg/5 a)	**-3361,20**	**-4681,99**

Tabelle A14. Zusammenfassung der Hoftorbilanz von Betrieb 7, HPG SO Flach- und Hügelland, LNF 80 ha.

Phosphor										
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)						Nährstoffabfuhr (kg/ha)			
Jahr	**Organische Düngemittel tierischer Herkunft**	**Organische Handelsdünger**	**Mineralische Dünger**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	24,00	79,20	0,00	26,97	130,17	1,63	669,30	8,37	-539,12	-6,74
2013	0,00	0,00	0,00	24,35	24,35	0,30	828,38	10,35	-804,03	-10,05
2014	20,40	79,20	0,00	23,39	122,99	1,54	674,53	8,43	-551,54	-6,89
2015	30,00	66,00	0,00	24,64	120,64	1,51	740,57	9,26	-619,92	-7,75
2016	42,00	79,20	0,00	32,03	153,23	1,92	999,82	12,50	-846,59	-10,58
Mittelwert (kg/a)	23,28	60,72	0,00	26,28	110,28		782,52		-672,24	
Mittelwert (kg/ha/a)	0,29	0,76	0,00	0,33	1,38		9,78		-8,40	
Kalium										
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)						**Nährstoffabfuhr (kg/ha)**			
Jahr	**Organische Düngemittel tierischer Herkunft**	**Organische Handelsdünger**	**Mineralische Dünger**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	182,00	50,40	0,00	58,96	291,36	3,64	1109,82	13,87	-818,46	-10,23
2013	0,00	0,00	0,00	52,05	52,05	0,65	1297,49	16,22	-1245,44	-15,57
2014	154,70	50,40	0,00	45,55	250,65	3,13	1074,74	13,43	-824,09	-10,30
2015	227,50	42,00	0,00	52,55	322,05	4,03	1235,27	15,44	-913,23	-11,42
2016	318,50	50,40	448,20	60,26	877,36	10,97	1758,14	21,98	-880,78	-11,01
Mittelwert (kg/a)	176,54	38,64	89,64	53,87	358,69	4,48	1295,09	16,19	-936,40	-11,70
Mittelwert (kg/ha/a)	2,21	0,48	1,12	0,67	4,48	0,06	16,19	0,20	-11,70	-0,15

Tabelle A15. Hoftorbilanz von Betrieb 8, HPG SÖ Flach- und Hügelland, LNF 8 ha, WW= Winterweizen, WR= Winterroggen, WG= Wintergerste.

Betriebsnummer 8, HPG 4			**Nährstoffeinträge (kg/t FM)**		**Nährstoffeinträge total (kg)**				**Nährstoffentzüge (kg/t FM)**		**Nährstoffentzüge total (kg)**	
Jahr	**Betriebsmittelzukäufe**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**	**Ernteprodukt**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**
2012	Biofert	5000	6,60	4,20	33,00	21,00	Ölkürbis	1973	19,00	10,00	37,49	19,73

2012	Ölkürbis	14	19,00	10,00	0,27	0,14	Klee-Gras (30/70)	13500	0,60	5,20	8,10	70,20
2012	Ackerbohne	163	4,70	11,30	0,77	1,84	Ackerbohne	1996	4,70	11,30	9,38	22,55
2012	WG	96	3,50	5,00	0,34	0,48	Dinkel	2660	3,50	7,50	9,31	19,95
2012	Dinkel	112	3,50	7,50	0,39	0,84	WG	2253	3,50	5,00	7,89	11,27
2013	Biofert	5000	6,60	4,20	33,00	21,00	Klee-Gras (30/70)	19500	0,60	5,20	11,70	101,40
2013	WW	175	3,50	5,00	0,61	0,88	WW	4152	3,50	5,00	14,53	20,76
2013	WG	128	3,50	5,00	0,45	0,64	WG	2914	3,50	5,00	10,20	14,57
2013	WR	250	3,50	5,00	0,88	1,25	Dinkel	3401	3,50	7,50	11,90	25,51
2013	Dinkel	128	3,50	7,50	0,45	0,96	WR	760	3,50	5,00	2,66	3,80
2013	Ölkürbis	12	19,00	10,00	0,23	0,12	Ölkürbis	4301	19,00	10,00	81,72	43,01
2014	Biofert	5000	6,60	4,20	33,00	21,00	Ölkürbis	2343	19,00	10,00	44,52	23,43
2014	Ölkürbis	49	19,00	10,00	0,93	0,49	Ackerbohne-Dinkel-Ge-menge	3801	4,10	9,40	15,58	35,73
2014	Ackerbohne	130	4,70	11,30	0,61	1,47	Ackerbohne	2658	4,70	11,30	12,49	30,04
							Klee-Gras (30/70)	19500	0,60	5,20	11,70	101,40
2015	Biofert	5000	6,60	4,20	33,00	21,00	Ölkürbis	3213	19,00	10,00	61,05	32,13
2015	Ölkürbis	17	19,00	10,00	0,32	0,17	Dinkel	8089	3,50	7,50	28,31	60,67
2015	WW	270	3,50	5,00	0,95	1,35	Klee-Gras (30/70)	9000	0,60	5,20	5,40	46,80
2015	WG	48	3,50	5,00	0,17	0,24	WW	6228	3,50	5,00	21,80	31,14
2015	Dinkel	288	3,50	7,50	1,01	2,16	WG	1140	3,50	5,00	3,99	5,70
2015							Buchweizen	600	0,48	3,60	0,29	2,16
2016	Biofert	5000	6,60	4,20	33,00	21,00	Dinkel	16443	3,50	7,50	57,55	123,32
2016	Ölkürbis	48	19,00	10,00	0,91	0,48	Ölkürbis	2119	19,00	10,00	40,26	21,19
2016	Körnermais	28	3,30	4,00	0,09	0,11	Körnermais	11859	3,30	4,00	39,13	47,44
2016	Dinkel	608	3,50	7,50	2,13	4,56	Klee-Gras (30/70)	15000	0,60	5,20	9,00	78,00
2016	Buchweizen	11	0,48	3,60	0,01	0,04						
				Total (kg/5 a)	**176,50**	**123,22**				**Total (kg/5 a)**	**555,95**	**991,89**
				Total (kg/ha/5 a)	**23,22**	**16,21**				**Total (kg/ha/5 a)**	**73,15**	**130,51**

										Saldo (kg/5 a)	**-379,46**	**-868,67**

Tabelle A16. Zusammenfassung der Hoftorbilanz von Betrieb 8, HPG SO Flach- und Hügelland, LNF 8 ha.

Phosphor								
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)				**Nährstoffabfuhr(kg/ha)**			
Jahr	**Organische Handelsdün-ger**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	33,00	1,76	34,76	4,57	72,16	9,50	-37,40	-4,92
2013	33,00	2,61	35,61	4,69	132,71	17,46	-97,10	-12,78
2014	33,00	1,54	34,54	4,55	84,29	11,09	-49,75	-6,55
2015	33,00	2,44	35,44	4,66	120,83	15,90	-85,39	-11,24
2016	33,00	3,14	36,14	4,75	145,95	19,20	-109,81	-14,45
Mittelwert (kg/a)	33,00	2,30	35,30		111,19		-75,89	
Mittelwert (kg/ha/a)	4,34	0,30	4,64		14,63		-9,99	
Kalium								
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)				**Nährstoffabfuhr(kg/ha)**			
Jahr	**Organische Handelsdün-ger**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	21,00	3,30	24,30	3,20	143,70	18,91	-119,40	-15,71
2013	21,00	3,85	24,85	3,27	209,05	27,51	-184,20	-24,24
2014	21,00	1,96	22,96	3,02	190,59	25,08	-167,64	-22,06
2015	21,00	3,92	24,92	3,28	178,60	23,50	-153,68	-20,22
2016	21,00	5,19	26,19	3,45	269,95	35,52	-243,76	-32,07
Mittelwert (kg/a)	21,00	3,64	24,64		198,38		-173,73	
Mittelwert (kg/ha/a)	2,76	0,48	3,24		26,10		-22,86	

Tabelle A17. Hoftorbilanz von Betrieb 9, HPG NÖ Flach- und Hügelland/Marchfeld, LNF 48 ha, WR= Winterroggen, WT= Wintertriticale, ZR= Zuckerrübe.

Betriebsnummer 9, HPG 5a			**Nährstoffeinträge (kg/t FM)**		**Nährstoffeinträge total (kg)**				**Nährstoffentzüge (kg/t FM)**		**Nährstoffentzüge total (kg)**	
Jahr	**Betriebsmittelzukäufe**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**	**Ernteprodukt**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**

2012	Pferdemist	40000	1,20	9,10	48,00	364,00	WT	31560	3,50	5,00	110,46	157,80
2012	WR	1710	3,50	5,00	5,99	8,55	Grünerbse	10150	1,10	2,70	11,17	27,41
2012	WT	390	3,50	5,00	1,37	1,95	Ölkürbis	2400	19,00	10,00	45,60	24,00
2012	Winterdurum	1381	3,50	5,00	4,83	6,91	Zwiebeln	56000	0,35	2,00	19,60	112,00
2012	Speisekürbis	9	0,90	4,60	0,01	0,04	WR	66920	3,50	5,00	234,22	334,60
2012	Zwiebeln	5	0,35	2,00	0,00	0,01	Speisekürbis	9000	0,90	4,60	8,10	41,40
2012	Kartoffel	12450	0,60	5,00	7,47	62,25	Körnermais	6000	3,30	4,00	19,80	24,00
2012	ZR	20	0,40	2,10	0,01	0,04	Kartoffel	48000	0,60	5,00	28,80	240,00
2012	Sonnenblume	12	7,10	17,00	0,09	0,20	Sonnenblume	500	7,10	17,00	3,55	8,50
2012	Körnermais	120	3,30	4,00	0,40	0,48						
2012	Erbsen	2660	4,30	10,60	11,44	28,20						
2013	WR	780	3,50	5,00	2,73	3,90	WR	49850	3,50	5,00	174,48	249,25
2013	Peluschke	518	4,30	10,60	2,23	5,49	Zwiebeln	8200	0,35	2,00	2,87	16,40
2013	WT	420	3,50	5,00	1,47	2,10	Speisekürbis	85800	0,90	4,60	77,22	394,68
2013	Körnermais	525	3,30	4,00	1,73	2,10	Winterwicke	13200	4,00	9,20	52,80	121,44
2013	Hanf	40	10,60	7,40	0,42	0,30	WT	1500	3,50	5,00	5,25	7,50
2013	Speisekürbis	10	0,90	4,60	0,01	0,05	Hanf	600	10,60	7,40	6,36	4,44
2013	Zwiebeln	7	0,35	2,00	0,00	0,01	Kartoffel	37400	0,60	5,00	22,44	187,00
2014	WR	90	3,50	5,00	0,32	0,45	WT	4560	3,50	5,00	15,96	22,80
2014	WT	720	3,50	5,00	2,52	3,60	Speisekürbis	54400	0,90	4,60	48,96	250,24
2014	Zwiebeln	6	0,35	2,00	0,00	0,01	WR	45090	3,50	5,00	157,82	225,45
2014	Speisekürbis	34	0,90	4,60	0,03	0,16	Grünerbse	13680	1,10	2,70	15,05	36,94
2014	Sojabohne	675	5,70	12,90	3,85	8,71	Sojabohne	6840	5,70	12,90	38,99	88,24
2014	Leg.mischung: Platter-bse, Peluschke	260	4,30	10,60	1,12	2,76	Zwiebeln	214000	0,35	2,00	74,90	428,00
2014	Leindotter	30	6,80	8,00	0,20	0,24	Anis	950	3,10	20,00	2,95	19,00
2014	Senf	30	5,30	8,00	0,16	0,24	Körnermais	32250	3,30	4,00	106,43	129,00
2014	Anis	30	3,10	20,00	0,09	0,60	Kartoffel	37500	0,60	5,00	22,50	187,50

2014	Kartoffel	500	0,60	5,00	0,30	2,50	Winterwicke	1430	4,00	9,20	5,72	13,16
2014	Erbsen	1560	4,30	10,60	6,71	16,54						
2015	Ackerbohne	612	4,70	11,30	2,88	6,92	WR	21040	3,50	5,00	73,64	105,20
2015	Sojabohne	1775	5,70	12,90	10,12	22,90	Anis	3200	3,10	20,00	9,92	64,00
2015	Speisekürbis	10	0,90	4,60	0,01	0,05	ZR	367200	0,40	2,10	146,88	771,12
2015	ZR	200	0,40	2,10	0,08	0,42	Grünerbse	22360	1,10	2,70	24,60	60,37
2015	Ringelblume	7	0,50	3,80	0,00	0,02	Sojabohne	29835	5,70	12,90	170,06	384,87
2015	Zwiebeln	4	0,35	2,00	0,00	0,01	WT	15100	3,50	5,00	52,85	75,50
2015	Erbsen	2731	4,30	10,60	11,74	28,95	Zwiebeln	106600	0,35	2,00	37,31	213,20
2015	Anis	60	3,10	20,00	0,19	1,20	Speisekürbis	51400	0,90	4,60	46,26	236,44
2015	Kartoffel	3800	0,60	5,00	2,28	19,00						
2015	Körnermais	487	3,30	4,00	1,61	1,95						
2016	Leg.mischung: Platter-bse, Peluschke	1800	4,30	10,60	7,74	19,08	ZR	258400	0,40	2,10	103,36	542,64
2016	Kümmel	50	4,40	10,00	0,22	0,50	Grünerbse	34050	1,10	2,70	37,46	91,94
2016	Speisekürbis	10	0,90	4,60	0,01	0,05	Sojabohne	23370	5,70	12,90	133,21	301,47
2016	Sojabohne	700	5,70	12,90	3,99	9,03	Ringelblume	190	0,50	3,80	0,10	0,72
2016	Anis	75	3,10	20,00	0,23	1,50	Zwiebeln	193800	0,35	2,00	67,83	387,60
2016	Kartoffel	4900	0,60	5,00	2,94	24,50	Anis	5600	3,00	20,00	16,80	112,00
2016	Erbsen	3440	4,30	10,60	14,79	36,46	Speisekürbis	20000	0,90	4,60	18,00	92,00
2016	ZR	250	0,40	2,10	0,10	0,53	Durum	34100	3,50	5,00	119,35	170,50
2016	Winterdurum	1324	3,50	5,00	4,63	6,62	Kartoffel	29810	0,60	5,00	17,89	149,05
2016	Nicht-Leg.misch.	120	0,50	4,20	0,06	0,50						
2016	Zwiebeln	6	0,35	2,00	0,00	0,01						
				Total (kg/5 a)	**167,11**	**702,56**				**Total (kg/5 a)**	**2387,47**	**7109,36**
				Total (kg/ha/5 a)	**3,48**	**14,64**				**Total (kg/ha/5 a)**	**49,74**	**148,11**
										Saldo (kg/5 a)	**-2220,36**	**-6406,79**

Tabelle A18. Zusammenfassung der Hoftorbilanz von Betrieb 9, HPG NÖ Flach- und Hügelland/Marchfeld, LNF 48 ha.

Phosphor								
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)				Nährstoffabfuhr(kg/ha)			
Jahr	**Organische Düngemittel tierischer Herkunft**	**Saat-gut**	**Total**	**To-tal/ha**	**Ernteprodukte - Total**	**To-tal/ha**	**Saldo/a**	**Saldo/a/ha**
2012	48,00	31,59	79,59	**1,66**	481,30	10,03	-401,70	-8,37
2013	0,00	8,60	8,60	**0,18**	318,98	6,65	-310,38	-6,47
2014	0,00	15,30	15,30	**0,32**	489,26	10,19	-473,96	-9,87
2015	0,00	28,90	28,90	**0,60**	561,52	11,70	-532,61	-11,10
2016	0,00	34,72	34,72	**0,72**	513,99	10,71	-479,27	-9,98
Mittelwert (kg/a)	**9,60**	**23,82**	**33,42**		**473,01**		**-439,58**	
Mittelwert (kg/ha/a)	**0,20**	**0,50**	**0,70**		**9,85**		**-9,16**	
Kalium								
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)				Nährstoffabfuhr(kg/ha)			
Jahr	**Organische Düngemittel tierischer Herkunft**	**Saat-gut**	**Total**	**To-tal/ha**	**Ernteprodukte = To-tal**	**Total/ ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	364,00	108,63	472,63	9,85	969,71	20,20	-497,08	-10,36
2013	0,00	13,95	13,95	0,29	793,71	16,54	-779,76	-16,25
2014	0,00	35,80	35,80	0,75	1587,32	33,07	-1551,52	-32,32
2015	0,00	81,41	81,41	1,70	1910,70	39,81	-1829,30	-38,11
2016	0,00	98,78	98,78	2,06	1847,92	38,50	-1749,14	-36,44
Mittelwert (kg/a)	**72,80**	**67,71**	**140,51**		**1421,87**		**-1281,36**	
Mittelwert (kg/ha/a)	**1,52**	**1,41**	**2,93**		**29,62**		**-26,69**	

Tabelle A19. Hoftorbilanz von Betrieb 10, HPG NÖ Flach- und Hügelland/Marchfeld, LNF 37 ha, WW= Winterweizen.

Betriebsnummer 10, HPG 5a			**Nährstoffeinträge (kg/t FM)**		**Nährstoffeinträge total (kg)**				**Nährstoffentzüge (kg/t FM)**		**Nährstoffentzüge total (kg)**	
Jahr	**Betriebsmittelzu-käufe**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**	**Ernteprodukt**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**
2011	Pferdemist	50000	1,20	9,10	60,00	455,00	Karotten	188228	0,36	4,40	67,76	828,20

2011	Bio Agenasol 2011	8000	11,00	12,50	88,00	100,00	Erbsen	700	4,30	10,60	3,01	7,42
2011	Karotten	33	0,36	4,40	0,01	0,15	Kartoffel	46900	0,60	5,00	28,14	234,50
2011	Erbsen	1328	4,30	10,60	5,71	14,08	Spinat	62850	0,50	5,50	31,43	345,68
2011	Kartoffel	2200	0,60	5,00	1,32	11,00	WW	63470	3,50	5,00	222,15	317,35
2011	Spinat	156	0,50	5,50	0,08	0,86	Zwiebeln	108729	0,35	2,00	38,06	217,46
2011	WW	2236	3,50	5,00	7,83	11,18						
2011	Zwiebeln	88	0,35	2,00	0,03	0,18						
2012	Pferdemist	120000	1,20	9,10	144,00	1092,00	Karotten	135665	0,36	4,40	48,84	596,93
2012	Bio Agenasol 2011	8000	11,00	12,50	88,00	100,00	Erbsen	2300	4,30	10,60	9,89	24,38
2012	WW	637	3,50	5,00	2,23	3,19	Kartoffel	145976	0,60	5,00	87,59	729,88
2012	Karotten	42	0,36	4,40	0,02	0,18	Spinat	69534	0,50	5,50	34,77	382,44
2012	Erbsen	744	4,30	10,60	3,20	7,89	WW	56701	3,50	5,00	198,45	283,51
2012	Kartoffel	12100	0,60	5,00	7,26	60,50						
2012	Spinat	96	0,50	5,50	0,05	0,53						
2013	Bio Agenasol 2011	8000	11,00	12,50	88,00	100,00	Grünerbsen	19400	1,10	2,70	21,34	52,38
2013	Erbsen	3039	4,30	10,60	13,07	32,21	Karotten	230269	0,36	4,40	82,90	1013,18
2013	Karotten	61	0,36	4,40	0,02	0,27	Körnermais	31500	3,30	4,00	103,95	126,00
2013	Körnermais	490	3,30	4,00	1,62	1,96	Erbsen	1300	4,30	10,60	5,59	13,78
2013	Spinat	96	0,50	5,50	0,05	0,53	Rhabarber	22400	0,60	5,30	13,44	118,72
2013	WW	1600	3,50	5,00	5,60	8,00	Spinat	39090	0,50	5,50	19,55	215,00
2013	Zwiebeln	40	0,35	2,00	0,01	0,08	WW	33499	3,50	5,00	117,25	167,50
2013	Ölrettich	250	0,53	3,80	0,13	0,95	Zwiebeln	22967	0,35	2,00	8,04	45,93
2014	Bio Agenasol 2011	6000	11,00	12,50	66,00	75,00	Grünerbsen	47220	1,10	2,70	51,94	127,49
2014	Ölrettich	63	0,53	3,80	0,03	0,24	Karotten	146245	0,36	4,40	52,65	643,48
2014	Phacelia	63	0,05	3,80	0,00	0,24	Erbsen	2315	4,30	10,60	9,95	24,54
2014	Erbsen	2985	4,30	10,60	12,84	31,64	Körnermais	38140	3,30	4,00	125,86	152,56
2014	Karotten	45	0,36	4,40	0,02	0,20	Spinat	48750	0,50	5,50	24,38	268,13

2014	Körnermais	490	3,30	4,00	1,62	1,96	WW	38633	3,50	5,00	135,22	193,17
2014	Spinat	72	0,50	5,50	0,04	0,40	Zwiebeln	55000	0,35	2,00	19,25	110,00
2014	WW	1307	3,50	5,00	4,57	6,54						
2014	Zwiebeln	16	0,35	2,00	0,01	0,03						
2015	Patentkali	4200	0,00	249,00	0,00	1045,80	Karotten	156342	0,36	4,40	56,28	687,90
2015	Bio Agenasol 2011	11000	11,00	12,50	121,00	137,50	Körnermais	5690	3,30	4,00	18,78	22,76
2015	Ölrettich	47	0,53	3,80	0,02	0,18	Erbsen	2000	4,30	10,60	8,60	21,20
2015	Phacelia	47	0,05	3,80	0,00	0,18	Sojabohne	28668	5,70	12,90	163,41	369,82
2015	Erbsen	4604	4,30	10,60	19,80	48,80	Spinat	70540	0,50	5,50	35,27	387,97
2015	Karotten	55	0,36	4,40	0,02	0,24	WW	20960	3,50	5,00	73,36	104,80
2015	Körnermais	425	3,30	4,00	1,40	1,70	Zwiebeln	26332	0,35	2,00	9,22	52,66
2015	Sojabohne	1716	5,70	12,90	9,78	22,14	Grünerbsen	50570	1,10	2,70	55,63	136,54
2015	Spinat	108	0,50	5,50	0,05	0,59						
2015	WW	1070	3,50	5,00	3,75	5,35						
2015	Zwiebeln	40	0,35	2,00	0,01	0,08						
				Total (kg/5 a)	**757,19**	**3379,52**				**Total (kg/5 a)**	**1981,91**	**9023,24**
				Total (kg/ha/5 a)	**252,40**	**1126,51**				**Total (kg/ha/5 a)**	**53,57**	**243,87**
										Saldo (kg/5 a)	**-1224,71**	**-5643,72**

Tabelle A20. Zusammenfassung der Hoftorbilanz von Betrieb 10, HPG NÖ Flach- und Hügelland/Marchfeld, LNF 37 ha.

Phosphor										
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)						**Nährstoffabfuhr(kg/ha)**			
Jahr	**Organische Düngemittel tierischer Herkunft**	**Organische Handelsdünger**	**Mineralische Düngemittel**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2011	60,00	88,00	0,00	14,98	162,98	4,40	390,54	10,56	-227,56	-6,15
2012	144,00	88,00	0,00	12,75	244,75	6,61	379,54	10,26	-134,78	-3,64
2013	0,00	88,00	0,00	20,50	108,50	2,93	372,05	10,06	-263,55	-7,12

2014	0,00	66,00	0,00	19,12	85,12	2,30	419,25	11,33	-334,13	-9,03
2015	0,00	121,00	0,00	34,84	155,84	4,21	420,54	11,37	-264,70	-7,15
Mittelwert (kg/a)	40,80	90,20	0,00	20,44	151,44		396,38		-244,94	
Mittelwert (kg/ha/a)	1,10	2,44	0,00	0,55	4,09		10,71		-6,62	
Kalium										
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)						**Nährstoffabfuhr(kg/ha)**			
Jahr	**Organische Düngemittel tierischer Herkunft**	**Organische Handelsdünger**	**Mineralische Düngemittel**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2011	455,00	100,00	0,00	37,44	592,44	16,01	1950,61	52,72	-1358,17	-36,71
2012	1092,00	100,00	0,00	72,28	1264,28	34,17	2017,13	54,52	-752,84	-20,35
2013	0,00	100,00	0,00	44,00	144,00	3,89	1752,49	47,36	-1608,49	-43,47
2014	0,00	75,00	0,00	41,24	116,24	3,14	1519,36	41,06	-1403,12	-37,92
2015	0,00	137,50	1045,80	79,26	1262,56	34,12	1783,66	48,21	-521,09	-14,08
Mittelwert (kg/a)	309,40	102,50	209,16	54,84	675,90		1804,65		-1128,74	
Mittelwert (kg/ha/a)	8,36	2,77	5,65	1,48	18,27		48,77		-30,51	

Tabelle A21. Hoftorbilanz von Betrieb 11, HPG NÖ Flach- und Hügelland/Marchfeld, LNF bis 2013 93 ha. ab 2014 138 ha, WW= Winterweizen, WR= Winterroggen, SG= Sommergerste, ZR= Zuckerrübe, WT= Wintertriticale.

Betriebsnummer 11, HPG 5a			**Nährstoffeinträge (kg/t FM)**		**Nährstoffeinträge total (kg)**				**Nährstoffentzüge (kg/t FM)**		**Nährstoffentzüge total (kg)**	
Jahr	**Betriebsmittelzukäufe**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**	**Ernteprodukt**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**
2012	Kompost	60000	1,40	5,30	84,00	318,00	Körnermais	54180	3,30	4,00	178,79	216,72
2012	Pferdemist	200000	1,20	9,10	240,00	1820,00	Sojabohne	131000	5,70	12,90	746,70	1689,90
2012	Sojabohne	10000	5,70	12,90	57,00	129,00	WR	15710	3,50	5,00	54,99	78,55
2012	Phacelia	200	0,05	3,80	0,01	0,76	WW	64845	3,50	5,00	226,96	324,23
2012	Senf	125	5,30	8,00	0,66	1,00	ZR	535790	0,40	2,10	214,32	1125,16

2012	ZR	17	0,40	2,10	0,01	0,04	Dinkel	2779	3,50	7,50	9,73	20,84
2012	WT	810	3,50	5,00	2,84	4,05						
2012	Dinkel	275	3,50	7,50	0,96	2,06						
2012	WR	5490	3,50	5,00	19,22	27,45						
2012	WW	5640	3,50	5,00	19,74	28,20						
2012	Körnermais	224	3,30	4,00	0,74	0,90						
2013	Pferdemist	150000	1,20	9,10	180,00	1365,00	Sojabohne	159405	5,70	12,90	908,61	2056,32
2013	Kompost	216000	1,40	5,30	302,40	1144,80	Körnermais	68570	3,30	4,00	226,28	274,28
2013	ZR	17	0,40	2,10	0,01	0,04	Dinkel	1784	3,50	7,50	6,24	13,38
2013	Luzerne	685	0,60	5,00	0,41	3,43	WT	14347	3,50	5,00	50,21	71,74
2013	WW	4980	3,50	5,00	17,43	24,90	WR	66070	3,50	5,00	231,25	330,35
2013	WT	2615	3,50	5,00	9,15	13,08	ZR	246300	0,40	2,10	98,52	517,23
2013	WR	1440	3,50	5,00	5,04	7,20	SG	9089	3,50	5,00	31,81	45,45
2013	WG	2130	3,50	5,00	7,46	10,65	WW	50144	3,50	5,00	175,50	250,72
2013	Senf	300	5,30	8,00	1,59	2,40						
2013	Phacelia	300	0,05	3,80	0,02	1,14						
2013	Sojabohne	2000	5,70	12,90	11,40	25,80						
2013	Körnermais	336	3,30	4,00	1,11	1,34						
2013	SG	600	3,50	5,00	2,10	3,00						
2014	Pferdemist	225000	1,20	9,10	270,00	2047,50	ZR	754120	0,40	2,10	301,65	1583,65
2014	Kompost	196000	1,40	5,30	274,40	1038,80	Körnermais	150596	3,30	4,00	496,97	602,38
2014	ZR	14	0,40	2,10	0,01	0,03	Sojabohne	132144	5,70	12,90	753,22	1704,66
2014	WW	4040	3,50	5,00	14,14	20,20	WW	137279	3,50	5,00	480,48	686,40
2014	WG	2430	3,50	5,00	8,51	12,15	WT	57698	3,50	5,00	201,94	288,49
2014	WT	1800	3,50	5,00	6,30	9,00	WR	55000	3,50	5,00	192,50	275,00
2014	WR	1710	3,50	5,00	5,99	8,55	WG	31650	3,50	5,00	110,78	158,25
2014	Buchweizen	150	0,48	3,60	0,07	0,54						
2014	Sojabohne	4000	5,70	12,90	22,80	51,60						
2014	Körnermais	1120	3,30	4,00	3,70	4,48						

2015	Pferdemist	340000	1,20	9,10	408,00	3094,00	ZR	1050990	0,40	2,10	420,40	2207,08
2015	Kompost	196000	1,40	5,30	274,40	1038,80	Körnermais	46856	3,30	4,00	154,62	187,42
2015	ZR	10	0,40	2,10	0,00	0,02	Hirse	4008	7,00	3,50	28,06	14,03
2015	Sojabohne	12024	5,70	12,90	68,54	155,11	Sojabohne	158598	5,70	12,90	904,01	2045,91
2015	Hirse	40	7,00	3,50	0,28	0,14	WW	61952	3,50	5,00	216,83	309,76
2015	Durum	900	3,50	5,00	3,15	4,50	Durum	13642	3,50	5,00	47,75	68,21
2015	SG	1620	3,50	5,00	5,67	8,10	WR	27560	3,50	5,00	96,46	137,80
2015	Körnermais	644	3,30	4,00	2,13	2,58	WT	34990	3,50	5,00	122,47	174,95
2015	WT	1303	3,50	5,00	4,56	6,52						
2015	WW	5059	3,50	5,00	17,71	25,30						
2015	Senf	339	5,30	8,00	1,80	2,71						
2015	Phacelia	350	0,05	3,80	0,02	1,33						
2015	Leindotter	716	6,80	8,00	4,87	5,73						
2015	WG	3000	3,50	5,00	10,50	15,00						
2015	WR	2010	3,50	5,00	7,04	10,05						
2015	Dinkel	2000	3,50	7,50	7,00	15,00						
2016	Pferdemist	500000	1,20	9,10	600,00	4550,00	Körnermais	151218	3,30	4,00	499,02	604,87
2016	ZR	22	0,40	2,10	0,01	0,05	WW	14210	3,50	5,00	49,74	71,05
2016	Erbsen	2803	4,30	10,60	12,05	29,71	WG	13780	3,50	5,00	48,23	68,90
2016	Kümmel	223	4,40	10,00	0,98	2,23	WR	4470	3,50	5,00	15,65	22,35
							ZR	816460	0,40	2,10	326,58	1714,57
							Sojabohne	117713	5,70	12,90	670,96	1518,50
							Dinkel	36031	3,50	7,50	126,11	270,23
							WG	72630	3,50	5,00	254,21	363,15
							WR	35870	3,50	5,00	125,55	179,35
				Total (kg/5 a)	**2997,88**	**17093,94**				**Total (kg/5 a)**	**9804,06**	**22271,82**
				Total (kg/ha/5 a)	**25,10**	**141,17**				**Total (kg/ha/5 a)**	**82,12**	**185,99**
										Saldo (kg/5 a)	**-6806,18**	**-5177,89**

Tabelle A22. Zusammenfassung der Hoftorbilanz von Betrieb 11, HPG NÖ Flach- und Hügelland/Marchfeld, LNF bis 2013 93 ha. ab 2014 138 ha.

Phosphor									
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)					Nährstoffabfuhr(kg/ha)			
Jahr	**Organische Düngemittel tierischer Herkunft**	**Organische Düngemittel pflanzlicher Herkunft**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	240,00	84,00	101,17	425,17	4,57	1431,48	15,39	-1006,31	-10,82
2013	180,00	302,40	55,71	538,11	5,79	1728,43	18,59	-1190,32	-12,80
2014	270,00	274,40	61,50	605,90	4,39	2537,53	18,39	-1931,63	-14,00
2015	408,00	274,40	133,25	815,65	5,91	1990,59	14,42	-1174,94	-8,51
2016	600,00	0,00	13,04	613,04	4,44	2116,04	15,33	-1502,99	-10,89
Mittelwert (kg/a)	339,60	187,04	72,94	599,58		1960,81	16,42	-1361,24	
Mittelwert (kg/ha/a)	5,35	3,40	1,35	10,09		33,04		-22,94	
Kalium									
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)					Nährstoffabfuhr(kg/ha)			
Jahr	**Organische Düngemittel tierischer Herkunft**	**Organische Düngemittel pflanzlicher Herkunft**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	1820,00	318,00	193,45	2331,45	25,07	3455,40	37,15	-1123,94	-12,09
2013	1365,00	1144,80	92,97	2602,77	27,99	3559,46	38,27	-956,69	-10,29
2014	2047,50	1038,80	106,55	3192,85	23,14	5298,83	38,40	-2105,98	-15,26
2015	3094,00	1038,80	252,08	4384,88	31,77	5145,17	37,28	-760,29	-5,51
2016	4550,00	0,00	31,99	4581,99	33,20	4812,97	34,88	-230,98	-1,67
Mittelwert (kg/a)	2575,30	708,08	135,41	3418,79		4454,36	37,20	-1035,58	
Mittelwert (kg/ha/a)	40,53	12,88	2,48	55,90		74,57		-18,67	

Tabelle A 23. Hoftorbilanz von Betrieb 12, HPG NÖ Flach- und Hügelland/Marchfeld, LNF 43 ha, WW= Winterweizen, WR= Winterroggen, SG= Sommergerste, ZR= Zuckerrübe.

Betriebsnummer 12, HPG 5a			**Nährstoffeinträge (kg/t FM)**		**Nährstoffeinträge total (kg)**				**Nährstoffentzüge (kg/t FM)**		**Nährstoffentzüge total (kg)**	
Jahr	**Betriebsmittelzu-käufe**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**	**Ernteprodukt**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**

2011	Pferdemist	40000	1,20	9,10	48,00	364,00	WW	70000	3,5	5,0	245,00	350,00
2011	Erbsen	300	4,3	10,6	1,29	3,18	Körnermais	24000	3,3	4,0	79,20	96,00
2011	Körnermais	56	3,3	4,0	0,18	0,22	ZR	228000	0,4	2,1	91,20	478,80
2011	Esparsette	150	0,6	5,0	0,09	0,75	Ackergras	35000	0,7	5,4	24,50	189,00
2011	ZR	5	0,4	2,1	0,00	0,01	Esparsette	800	0,6	5,0	0,48	4,00
2011	WW	3500	3,5	5,0	12,25	17,50	WR	300	3,5	5,0	1,05	1,50
2011							Erbsen	5200	4,3	10,6	22,36	55,12
2012	Pferdemist	40000	1,20	9,10	48,00	364,00	WW	45600	3,5	5,0	159,60	228,00
2012	Agenasol	4000	11,00	12,50	44,00	50,00	Körnermais	12000	3,3	4,0	39,60	48,00
2012	Körnermais	28	3,3	4,0	0,09	0,11	ZR	160000	0,4	2,1	64,00	336,00
2012	SG	250	3,5	5,0	0,88	1,25	Senf	100	5,3	8,0	0,53	0,80
2012	Senf	5	5,3	8,0	0,03	0,04	Ackergras	35000	0,7	5,4	24,50	189,00
2012	WR	150	3,5	5,0	0,53	0,75	WR	900	3,5	5,0	3,15	4,50
2012	ZR	4	0,4	2,1	0,00	0,01	SG	3000	3,5	5,0	10,50	15,00
2012	WW	2500	3,5	5,0	8,75	12,50					0,00	0,00
2013	Pferdemist	40000	1,20	9,10	48,00	364,00	WW	44000	3,5	5,0	154,00	220,00
2013	Agenasol	10000	11,00	12,50	110,00	125,00	Körnermais	34000	3,3	4,0	112,20	136,00
2013	WW	4560	3,5	5,0	15,96	22,80	ZR	65000	0,4	2,1	26,00	136,50
2013	ZR	2	0,4	2,1	0,00	0,00	Luzerne	100	0,6	5,0	0,06	0,50
2013	Körnermais	84	3,3	4,0	0,28	0,34	Wicke	1200	4,0	9,2	4,80	11,04
2013	Luzerne	50	0,6	5,0	0,03	0,25	Ackergras	35000	0,7	5,4	24,50	189,00
2013	Wicke	75	4,0	9,2	0,30	0,69	WR	500	3,5	5,0	1,75	2,50
2013	Erbsen	375	4,3	10,6	1,61	3,98	Erbsen	5500	4,3	10,6	23,65	58,30
2013	WR	325	3,5	5,0	1,14	1,63						
2014	Pferdemist	40000	1,20	9,10	48,00	364,00	WW	28500	3,5	5,0	99,75	142,50
2014	Agenasol	6000	11,00	12,50	66,00	75,00	WG	7500	3,5	5,0	26,25	37,50
2014	WW	1140	3,5	5,0	3,99	5,70	Hafer	800	3,2	4,7	2,56	3,76
2014	Hafer	100	3,2	4,7	0,32	0,47	Körnermais	37500	3,3	4,0	123,75	150,00
2014	WG	450	3,5	5,0	1,58	2,25	ZR	143700	0,4	2,1	57,48	301,77

2014	Körnermais	112	3,3	4,0	0,37	0,45	Senf	300	5,3	8,0	1,59	2,40
2014	ZR	3	0,4	2,1	0,00	0,01	Ackergras	35000	0,7	5,4	24,50	189,00
2014	Senf	5	5,3	8,0	0,03	0,04	Esparsette	400	0,6	5,0	0,24	2,00
2014	Esparsette	100	0,6	5,0	0,06	0,50						
2015	Pferdemist	40000	1,20	9,10	48,00	364,00	WW	77500	3,5	5,0	271,25	387,50
2015	Agenasol	3000	11,00	12,50	33,00	37,50	WG	2200	3,5	5,0	7,70	11,00
2015	WW	2750	3,5	5,0	9,63	13,75	Hafer	2000	3,2	4,7	6,40	9,40
2015	Körnermais	56	3,3	4,0	0,18	0,22	Körnermais	22500	3,3	4,0	74,25	90,00
2015	Hafer	75	3,2	4,7	0,24	0,35	ZR	90500	0,4	2,1	36,20	190,05
2015	WG	100	3,5	5,0	0,35	0,50	Wicke	2300	4,0	9,2	9,20	21,16
2015	Wicke	100	4,0	9,2	0,40	0,92	Senf	100	5,3	8,0	0,53	0,80
2015	Senf	5	5,3	8,0	0,03	0,04	Ackergras	35000	0,7	5,4	24,50	189,00
2015	ZR	2	0,4	2,1	0,00	0,00						
				Total (kg/5 a)	553,57	2198,71				**Total (kg/5 a)**	1878,78	4477,40
				Total (kg/ha/5 a)	12,87	51,13				**Total (kg/ha/5 a)**	43,69	104,13
										Saldo (kg/5 a)	**-1325,21**	**-2278,69**

Tabelle A24. Zusammenfassung der Hoftorbilanz von Betrieb 12, HPG NÖ Flach- und Hügelland/Marchfeld, LNF 43 ha.

Phosphor									
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)					**Nährstoffabfuhr(kg/ha)**			
Jahr	**Organische Düngemittel tierischer Herkunft**	**Organische Handelsdünger**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2011	48,00	0,00	13,82	61,82	1,44	463,79	10,79	-401,97	-9,35
2012	48,00	44,00	10,27	102,27	2,38	301,88	7,02	-199,61	-4,64
2013	48,00	110,00	19,32	177,32	4,12	346,96	8,07	-169,64	-3,95
2014	48,00	66,00	6,34	120,34	2,80	336,12	7,82	-215,78	-5,02
2015	48,00	33,00	10,83	91,83	2,14	430,03	10,00	-338,20	-7,87

Mittelwert (kg/a)	48,00	50,60	12,11	110,71		375,76		-265,04	
Mittelwert (kg/ha/a)	1,12	1,18	0,28	2,57		8,74		-6,16	
Kalium									
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)					**Nährstoffabfuhr(kg/ha)**			
Jahr	**Organische Düngemittel tierischer Herkunft**	**organische Düngemittel**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**To-tal/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2011	364,00	0,00	21,66	385,66	8,97	1174,42	27,31	-788,76	-18,34
2012	364,00	50,00	14,66	428,66	9,97	821,30	19,10	-392,64	-9,13
2013	364,00	125,00	29,68	518,68	12,06	753,84	17,53	-235,16	-5,47
2014	364,00	75,00	9,41	448,41	10,43	828,93	19,28	-380,52	-8,85
2015	364,00	37,50	15,79	417,29	9,70	898,91	20,90	-481,62	-11,20
Mittelwert (kg/a)	364,00	57,50	18,24	439,74		895,48		-455,74	
Mittelwert (kg/ha/a)	8,47	1,34	0,42	10,23		20,83		-10,60	

Tabelle A25. Hoftorbilanz von Betrieb 13, HPG NÖ Flach- und Hügelland/Weinviertel, LNF 74 ha, WW= Winterweizen, WR= Winterroggen, SG= Sommergerste, SR= Sommerrggen, WG= Wintergerste, SR= Sommerroggen.

Betriebsnummer 13, HPG 5b			**Nährstoffeinträge (kg/t FM)**		**Nährstoffeinträge total (kg)**				**Nährstoffentzüge (kg/t FM)**		**Nährstoffentzüge total (kg)**	
Jahr	**Betriebsmittelzu-käufe**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**	**Ernteprodukt**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**
2012	WG	2280	3,50	5,00	7,98	11,40	WG	20848	3,50	5,00	72,97	104,24
2012	WW	3090	3,50	5,00	10,82	15,45	Erbsen	3695	1,00	3,00	3,70	11,09
2012	Körnermais	840	3,30	4,00	2,77	3,36	WW	17146	3,50	5,00	60,01	85,73
2012	Erbsen	1320	4,30	10,60	5,68	13,99	Körnermais	83665	3,30	4,00	276,09	334,66
2012							SR	9516	3,50	5,00	33,31	47,58
2012							Erbsen	250	4,30	10,60	1,08	2,65
2013	Öllein	210	5,30	8,00	1,11	1,68	WR	28403	3,50	5,00	99,41	142,02
2013	Körnermais	644	3,30	4,00	2,13	2,58	WG	34753	3,50	5,00	121,64	173,77
2013	WG	120	3,50	5,00	0,42	0,60	Erbsen	2000	4,30	10,60	8,60	21,20
2013	SR	120	3,50	5,00	0,42	0,60	WW	77508	3,50	5,00	271,28	387,54

2013	WR	120	3,50	5,00	0,42	0,60	Rotklee	300	0,60	5,00	0,18	1,50
2013	WW	2610	3,50	5,00	9,14	13,05	Körnermais	148522	3,30	4,00	490,12	594,09
2013	Ölrettich	75	0,53	3,80	0,04	0,29	Öllein	3788	5,30	8,00	20,08	30,30
2013	Phacelia	50	0,05	3,80	0,00	0,19						
2013	Leindotter	60	6,80	8,00	0,41	0,48						
2014	Leindotter	60	6,80	8,00	0,41	0,48	Öllein	4283	5,30	8,00	22,70	34,26
2014	SG	66	3,50	5,00	0,23	0,33	Luzerne	1155	0,60	5,00	0,69	5,78
2014	Körnermais	700	3,30	4,00	2,31	2,80	Erbsen	7400	4,30	10,60	31,82	78,44
2014	Sojabohne	900	5,70	12,90	5,13	11,61	Rotklee	185	0,60	5,00	0,11	0,93
2014	Öllein	275	5,30	8,00	1,46	2,20	WG	57755	3,50	5,00	202,14	288,78
2014	Ölrettich	50	0,53	3,80	0,03	0,19	WW	87150	3,50	5,00	305,03	435,75
2014							Leindotter	150	6,80	8,00	1,02	1,20
2014							WR	700	3,50	5,00	2,45	3,50
2014							Körnermais	179641	3,30	4,00	592,82	718,56
2015	Öllein	675	5,30	8,00	3,58	5,40	Öllein	4300	5,30	8,00	22,79	34,40
2015	Linsen	130	3,90	7,60	0,51	0,99	Körnermais	44650	3,30	4,00	147,35	178,60
2015	SG	600	3,50	5,00	2,10	3,00	Linsen	565	3,90	7,60	2,20	4,29
2015	Hafer	90	3,20	4,70	0,29	0,42	Luzerne	530	0,60	5,00	0,32	2,65
2015	Ackerbohne	300	4,70	11,30	1,41	3,39	Erbsen	14929	4,30	10,60	64,19	158,25
2015	Körnermais	224	3,30	4,00	0,74	0,90	Rotklee	500	0,60	5,00	0,30	2,50
2015	Phacelia	100	0,05	0,00	0,01	0,00	Sojabohne	13560	5,70	12,90	77,29	174,92
2015	WG	480	3,50	5,00	1,68	2,40	WG	63270	3,50	5,00	221,45	316,35
2015	WW	2760	3,50	5,00	9,66	13,80	WR	4791	3,50	5,00	16,77	23,96
2015	Dinkel	275	3,50	7,50	0,96	2,06	Ackerbohne-Erbsen	550	4,50	10,95	2,48	6,02
2015	WR	120	3,50	5,00	0,42	0,60						
2015	Linsen	130	3,90	7,60	0,51	0,99						
2016	Öllein	375	5,30	8,00	1,99	3,00	Rotklee	266	0,60	5,00	0,16	1,33
2016	Bockshornklee	125	6,10	12,70	0,76	1,59	Luzerne	75	0,60	5,00	0,05	0,38
2016	Leindotter	100	6,80	8,00	0,68	0,80	Erbsen	11425	4,30	10,60	49,13	121,11

2016	WG	342	3,50	5,00	1,20	1,71	WG	31110	3,50	5,00	108,89	155,55
2016	Sojabohne	300	5,70	12,90	1,71	3,87	WW	65349	3,50	5,00	228,72	326,75
2016	Ölrettich	50	0,53	3,80	0,03	0,19	WR	1500	3,50	5,00	5,25	7,50
2016	Buchweizen	120	0,48	3,60	0,06	0,43	Öllein	6100	5,30	8,00	32,33	48,80
2016	Ackerbohne	1000	4,70	11,30	4,70	11,30	Körnermais	85120	3,30	4,00	280,90	340,48
2016							Sojabohne	7736	5,70	12,90	44,10	99,79
				Total (kg/5 a)	**83,87**	**138,71**				**Total (kg/5 a)**	**3921,87**	**5507,17**
				Total (kg/ha/5 a)	**1,13**	**1,87**				**Total (kg/ha/5 a)**	**53,00**	**74,42**
										Saldo (kg/5 a)	**-3838,00**	**-5368,46**

Tabelle A26. Zusammenfassung der Hoftorbilanz von Betrieb 13, HPG NÖ Flach- und Hügelland/Weinviertel, LNF 74 ha.

Phosphor								
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)				**Nährstoffabfuhr(kg/ha)**			
Jahr	**Organische Düngemittel**	**Saat-gut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	0,00	27,24	27,24	**0,37**	447,15	6,04	-419,91	-5,67
2013	0,00	14,08	14,08	**0,19**	1011,30	13,67	-997,22	-13,48
2014	0,00	9,56	9,56	**0,13**	1158,78	15,66	-1149,21	-15,53
2015	0,00	21,86	21,86	**0,30**	555,13	7,50	-533,28	-7,21
2016	0,00	11,12	11,12	**0,15**	749,51	10,13	-738,39	-9,98
Mittelwert (kg/a)	**0,00**	**16,77**	**16,77**		**784,37**		**-767,60**	
Mittelwert (kg/ha/a)			**0,23**		**10,60**		**-10,37**	
Kalium								
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)				**Nährstoffabfuhr(kg/ha)**			
Jahr	**Organische Düngemittel**	**Saat-gut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	0,00	44,20	44,20	0,60	585,95	7,92	-541,74	-7,32

2013	0,00	20,06	20,06	0,27	1350,41	18,25	-1330,35	-17,98
2014	0,00	17,61	17,61	0,24	1567,19	21,18	-1549,58	-20,94
2015	0,00	33,95	33,95	0,46	901,94	12,19	-868,00	-11,73
2016	0,00	22,89	22,89	0,31	1101,68	14,89	-1078,79	-14,58
Mittelwert (kg/a)	**0,00**	**27,74**	**27,74**		**1101,43**		**-1073,69**	
Mittelwert (kg/ha/a)			**0,37**		**14,88**		**-14,51**	

Tabelle A27. Hoftorbilanz von Betrieb 14, HPG NÖ Flach- und Hügelland/Weinviertel, LNF 118 ha, WW= Winterweizen.

Betriebsnummer 14, HPG 5b			**Nährstoffeinträge (kg/t FM)**		**Nährstoffeinträge total (kg)**				Nährstoffentzüge (kg/t FM)		Nährstoffentzüge total (kg)	
Jahr	**Betriebsmittelzukäufe**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**	**Ernteprodukt**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**
2012	WW	1630	3,5	5,0	5,71	8,15	Fenchel	1930	2,4	6,5	4,63	12,55
2012	Kartoffel	25000	0,6	5,0	15,00	125,00	Holunder	73390	0,44	2,5	32,29	183,48
2012	Durum	1140	3,5	5,0	3,99	5,70	WW	61673	3,5	5,0	215,86	308,37
2012	Fenchel	71	2,4	6,5	0,17	0,46	Dinkel	11800	3,5	7,5	41,30	88,50
2012	Buchweizen	400	0,5	3,6	0,19	1,44	Durum	18760	3,5	5,0	65,66	93,80
2012	Bockshornklee	80	6,1	12,7	0,49	1,02	Hirse	18760	7,00	3,50	131,32	65,66
2012	Dinkel	1100	3,5	7,5	3,85	8,25	Walnüsse	150	3,00	5,00	0,45	0,75
2012	Luzerne	210	0,6	5,0	0,13	1,05						
2012	Hirse	210	7,00	3,50	1,47	0,74						
2012	Erbsen	780	4,3	10,6	3,35	8,27						
2013	BioAgenasol	6600	11	12,5	72,60	82,50	Fenchel	500	2,4	6,5	1,20	3,25
2013	Buchweizen	114	0,5	3,6	0,05	0,41	Holunder	56210	0,44	2,5	24,73	140,53
2013	Dinkel	1340	3,5	7,5	4,69	10,05	Kartoffel	243274	0,6	5,0	145,96	1216,37
2013	Knoblauch	2075	0,6	2,2	1,25	4,57	WW	105823	3,5	5,0	370,38	529,12
2013	Körnermais	250	3,3	4,0	0,83	1,00	Walnüsse	300	3,00	5,00	0,90	1,50
2013	Erbsen	361	4,3	10,6	1,55	3,83	Holunderblüten	119	0,44	2,5	0,05	0,30
2013	Knollensellerie	1013	0,65	4,50	0,66	4,56	Dinkel	20250	3,5	7,5	70,88	151,88
2013	WW	2650	3,5	5,0	9,28	13,25	Erbsen	400	4,3	10,6	1,72	4,24

2013	Kartoffel	26700	0,6	5,0	16,02	133,50	Knollenselle-rie	57388	0,65	4,50	37,30	258,25
2013	Durum	1250	3,5	5,0	4,38	6,25	Knoblauch	7000	0,6	2,2	4,20	15,40
							Bockshorn-klee	2200	6,1	12,7	13,42	27,94
2014	Kompost	154200	1,4	5,3	215,88	817,26	Bockshorn-klee	2674	6,1	12,7	16,31	33,96
2014	Agrobiosol	19083	6,60	29,10	125,95	555,32	Holunder	63474	0,44	2,5	27,93	158,69
2014	Kartoffel	17600	0,6	5,0	10,56	88,00	Kartoffel	126000	0,6	5,0	75,60	630,00
2014	Durum	1100	3,5	5,0	3,85	5,50	WW	101490	3,5	5,0	355,22	507,45
2014	Erbsen	320	4,3	10,6	1,38	3,39	Dinkel	16650	3,5	7,5	58,28	124,88
2014	Luzerne	110	0,6	5,0	0,07	0,55	Holnderblü-ten	304	0,44	2,5	0,13	0,76
2014	WW	4270	3,5	5,0	14,95	21,35	Durum	36880	3,5	5,0	129,08	184,40
2014	Wicke	400	4,0	9,2	1,60	3,68	Fenchel	3098	2,4	6,5	7,44	20,14
2014	Bockshornklee	250	6,1	12,7	1,53	3,18	Erbsen	6000	4,3	10,6	25,80	63,60
2014	Senf	4	5,3	8,0	0,02	0,03	Knollenselle-rie	86388	0,65	4,50	56,15	388,75
					0,00	0,00	Flohsamen	3788	1,8	2,8	6,82	10,61
					0,00	0,00	Mariendistel	300	16,00	30,00	4,80	9,00
2015	Kompost	202011	1,4	5,3	282,82	1070,66	Durum	75152	3,5	5,0	263,03	375,76
2015	Bioadusol	71227	14,8	18,2	1054,16	1296,33	Kartoffel	345675	0,6	5,0	207,41	1728,38
2015	Hirse	270	7,00	3,50	1,89	0,95	Körnermais	91120	3,3	4,0	300,70	364,48
2015	Luzerne	150	0,6	5,0	0,09	0,75	Hirse	8687	7,00	3,50	60,81	30,40
2015	Körnermais	298	3,3	4,0	0,98	1,19	WW	98922	3,5	5,0	346,23	494,61
2015	Knollensellerie	1485	0,65	4,50	0,97	6,68	Knollenselle-rie	55314	0,65	4,50	35,95	248,91
2015	WW	1290	3,5	5,0	4,52	6,45	Holunder	72975	0,44	2,5	32,11	182,44
2015	Kartoffel	26400	0,6	5,0	15,84	132,00						
2016	Bockshornklee	70	6,1	12,7	0,43	0,89	Holunder	67728	0,44	2,5	29,80	169,32
2016	Flohsamen	160	1,8	2,8	0,29	0,45	Kartoffel	314904	0,6	5,0	188,94	1574,52
2016	Inkarnatsklee	160	0,6	5,0	0,10	0,80	Knollenselle-rie	69445	0,65	4,50	45,14	312,50

2016	SG	125	3,5	5,0	0,44	0,63	Flohsamen	8810	1,8	2,8	15,86	24,67
2016	Hafer	447	3,2	4,7	1,43	2,10	Bockshorn-klee	3953	6,1	12,7	24,11	50,20
2016	Kartoffel	25000	0,6	5,0	15,00	125,00	Hafer	3500	3,2	4,7	11,20	16,45
2016	Knollensellerie	2322	0,65	4,50	1,51	10,45	SG	1000	3,5	5,0	3,50	5,00
2016	Durum	4280	3,5	5,0	14,98	21,40	Durum	71320	3,5	5,0	249,62	356,60
2016	Senf	18	5,3	8,0	0,10	0,14	Inkarnatsklee	4500	0,6	5,0	2,70	22,50
2016	Kresse	240	0,2	5,4	0,05	1,30	Kresse	4500	0,2	5,4	0,90	24,30
							WW	61309	3,5	5,0	214,58	306,55
				Total (kg/5 a)	**1916,98**	**4596,40**				**Total (kg/5 a)**	**3958,39**	**11521,66**
				Total (kg/ha/5 a)	**16,25**	**38,95**				**Total (kg/ha/5 a)**	**33,55**	**97,64**
										Saldo (kg/5 a)	**-2041,41**	**-6925,26**

Tabelle A28. Zusammenfassung der Hoftorbilanz von Betrieb 14, HPG NÖ Flach- und Hügelland/Weinviertel, LNF 118 ha.

Phosphor									
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)					**Nährstoffabfuhr(kg/ha)**			
Jahr	**Organische Düngemittel pflanzlicher Herkunft**	**Organische Handelsdünger**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	0,00	0,00	34,35	34,35	0,29	491,51	4,17	-457,16	-3,87
2013	0,00	72,60	38,70	111,30	0,94	670,75	5,68	-559,45	-4,74
2014	215,88	125,95	33,94	375,77	3,18	763,55	6,47	-387,78	-3,29
2015	282,82	1054,16	24,28	1361,26	11,54	1246,23	10,56	115,03	0,97
2016	0,00	0,00	34,31	34,31	0,29	786,35	6,66	-752,04	-6,37
Mittelwert (kg/a)	99,74	250,54	33,12	383,40		791,68		-408,28	
Mittelwert (kg/ha/a)	0,85	2,12	0,28	3,25		6,71		-3,46	
Kalium									
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)					**Nährstoffabfuhr(kg/ha)**			

Jahr	Organische Düngemittel pflanzlicher Herkunft	Organische Handelsdünger	Saatgut	Total	Total/ha	Ernteprodukte = Total	Total/ha	Saldo	Saldo/ha
2012	0,00	0,00	160,07	160,07	1,36	753,10	6,38	-593,02	-5,03
2013	0,00	82,50	177,41	259,91	2,20	2348,76	19,90	-2088,85	-17,70
2014	817,26	555,32	125,68	1498,25	12,70	2132,22	18,07	-633,96	-5,37
2015	1070,66	1296,33	148,02	2515,01	21,31	3424,98	29,03	-909,97	-7,71
2016	0,00	0,00	163,15	163,15	1,38	2862,61	24,26	-2699,46	-22,88
Mittelwert (kg/a)	377,58	386,83	154,87	919,28		2304,33		-1385,05	
Mittelwert (kg/ha/a)	3,20	3,28	1,31	7,79		19,53		-11,74	

Tabelle A29. Hoftorbilanz von Betrieb 15, HPG NÖ Flach- und Hügelland/Weinviertel, LNF 65 ha, WW= Winterweizen, SW= Sommerweizen, ZR= Zuckerrübe, WT= Wintertriticale, WR= Winterroggen, SG= Sommergerste.

Betriebsnummer 15, HPG 5b			Nährstoffeinträge (kg/t FM)		Nährstoffeinträge total (kg)				Nährstoffentzüge (kg/t FM)		Nährstoffentzüge total (kg)	
Jahr	**Betriebsmittel-zukäufe**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**	**Ernteprodukt**	**Menge (kg)**	**P**	**K**	**P**	**K**
2012	Pferdemist	10000	1,20	9,10	12,00	91,00	SG	2287	3,50	5,00	8,00	11,44
2012	SG	220	3,50	5,00	0,77	1,10	ZR	99000	0,40	2,10	39,60	207,90
2012	Körnermais	525	3,30	4,00	1,73	2,10	Körnermais	68584	3,30	4,00	226,33	274,34
2012	WR	240	3,50	5,00	0,84	1,20	Sojabohne	13513	5,70	12,90	77,02	174,32
2012	WT	629	3,50	5,00	2,20	3,15	WT	7020	3,50	5,00	24,57	35,10
2012	SW	1380	3,50	5,00	4,83	6,90	WR	3000	3,50	5,00	10,50	15,00
2012	Sojabohne	1333	5,70	12,90	7,60	17,20	SW	25390	3,50	5,00	88,87	126,95
2012	ZR	300	0,40	2,10	0,12	0,63	WW	18991	3,50	5,00	66,47	94,96
2012	WW	1152	3,50	5,00	4,03	5,76						
2012	Buchweizen	200	0,48	3,60	0,10	0,72						
2013	Pferdemist	15000	1,20	9,10	18,00	136,50	Körnermais	56641	3,30	4,00	186,92	226,56
2013	WW	3336	3,50	5,00	11,68	16,68	Sojabohne	23390	5,70	12,90	133,32	301,73
2013	Winterwicke	140	4,00	9,20	0,56	1,29	WW	74454	3,50	5,00	260,59	372,27
2013	Körnermais	442	3,30	4,00	1,46	1,77	SG	2210	3,50	5,00	7,74	11,05
2013	SG	200	3,50	5,00	0,70	1,00						

2013	Sojabohne	1860	5,70	12,90	10,60	23,99						
2014	Pferdemist	70000	1,20	9,10	84,00	637,00	Körnermais	59599	3,30	4,00	196,68	238,40
2014	Körnermais	439	3,30	4,00	1,45	1,76	SG	14171	3,50	5,00	49,60	70,86
2014	SG	960	3,50	5,00	3,36	4,80	Sojabohne	66902	5,70	12,90	381,34	863,04
2014	Sojabohne	2040	5,70	12,90	11,63	26,32	WW	82228	3,50	5,00	287,80	411,14
2014	WW	3570	3,50	5,00	12,50	17,85						
2015	Pferdemist	75000	1,20	9,10	90,00	682,50	Körnermais	54762	3,30	4,00	180,71	219,05
2015	Erbsen	780	4,30	10,60	3,35	8,27	Sojabohne	69587	5,70	12,90	396,65	897,67
2015	WW	180	3,50	5,00	0,63	0,90	SW	17530	3,50	5,00	61,36	87,65
2015	SW	2263	3,50	5,00	7,92	11,32	WW	27650	3,50	5,00	96,78	138,25
2015	Körnermais	325	3,30	4,00	1,07	1,30	Grünerbse	9240	1,10	2,70	10,16	24,95
2015	Sojabohne	4030	5,70	12,90	22,97	51,99	WR + Winterwicke	7791	3,80	7,10	29,61	55,32
2015	WR	180	3,50	5,00	0,63	0,90						
2016	Pferdemist	75000	1,20	9,10	90,00	682,50	Körnermais	72870	3,30	4,00	240,47	291,48
2016	WW	3996	3,50	5,00	13,99	19,98	Sojabohne	47077	5,70	12,90	268,34	607,29
2016	Sojabohne	2604	5,70	12,90	14,84	33,59	WW	98339	3,50	5,00	344,19	491,70
2016	Körnermais	224	3,30	4,00	0,74	0,90	Grünerbse	28000	1,10	2,70	30,80	75,60
2016	Erbsen	1800	4,30	10,60	7,74	19,08	Ölkürbis	3600	19,00	10,00	68,40	36,00
2016	Ölkürbis	17	19,00	10,00	0,32	0,17						
				Total (kg/5 a)	**444,36**	**2512,09**				**Total (kg/5 a)**	**3772,79**	**6359,99**
				Total (kg/ha/5 a)	**7,28**	**41,18**				**Total (kg/ha/5 a)**	**61,85**	**104,26**
										Saldo (kg/5 a)	**-3328,44**	**-3847,90**

Tabelle A30. Zusammenfassung der Hoftorbilanz von Betrieb 15, HPG NÖ Flach- und Hügelland/Weinviertel, LNF 65 ha.

Phosphor								
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)				**Nährstoffabfuhr(kg/ha)**			
Jahr	**Organische Düngemittel tierischer Herkunft**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**

2012	12,00	22,22	34,22	0,53	541,36	8,33	-507,14	-7,80
2013	18,00	25,00	43,00	0,66	588,56	9,05	-545,57	-8,39
2014	84,00	28,93	112,93	1,74	915,41	14,08	-802,48	-12,35
2015	90,00	36,58	126,58	1,95	775,26	11,93	-648,68	-9,98
2016	90,00	37,63	127,63	1,96	952,20	14,65	-824,57	-12,69
Mittelwert (kg/a)	58,80	30,07	88,87		754,56	11,61	-665,69	
Mittelwert (kg/ha/a)	0,90	0,46	1,37		11,61	0,18	-10,24	
Kalium								
	Nährstoffzufuhr (kg/ha)				**Nährstoffabfuhr(kg/ha)**			
Jahr	**Organische Düngemittel tierischer Herkunft**	**Saatgut**	**Total**	**Total/ha**	**Ernteprodukte = Total**	**Total/ha**	**Saldo**	**Saldo/ha**
2012	91,00	38,75	129,75	2,00	939,99	14,46	-810,24	-12,47
2013	136,50	44,73	181,23	2,79	911,62	14,02	-730,39	-11,24
2014	637,00	50,72	687,72	10,58	1583,43	24,36	-895,70	-13,78
2015	682,50	74,67	757,17	11,65	1422,88	21,89	-665,71	-10,24
2016	682,50	73,72	756,22	11,63	1502,07	23,11	-745,85	-11,47
Mittelwert (kg/a)	445,90	56,52	502,42		1272,00		-769,58	
Mittelwert (kg/ha/a)	6,86	0,87	7,73		19,57		-11,84	

Tabelle A 31. Datengrundlage der Hoftorbilanzen: Nährstoffentzüge der Kulturpflanzen, sowie Nährstoffeinträge der Düngemittel.

Fruchtart	TM	N	P	K
	% FM	kg/t FM		
Getreide				
Qualitätsweizen	86,0	17,5	3,5	5,0
Winterweizen	86,0	16,8	3,5	5,0
Wintergerste	86,0	13,5	3,5	5,0
Winterroggen	86,0	12,9	3,5	5,0
Triticale	86,0	13,6	3,5	5,0
Sommerweizen	86,0	18,0	3,5	5,0
Dinkel	86,0	21,3	3,5	7,5
Einkorn, Emmer		0,00	3,60	4,40
Sommergerste	86,0	13,4	3,5	5,0
Sommerroggen	86,0	12,5	3,5	5,0
Hafer	86,0	15,8	3,2	4,7
Hirse		17,00	7,00	3,50
Einkorn, Emmer		0,00	3,60	4,40
Körnerleguminosen				
Erbse	86,0	35,0	4,3	10,6
Grünspeiseerbse	22,0	9,1	1,1	2,7
Ackerbohne	86,0	42,0	4,7	11,3
Lupine, blau	86,0	48,0	4,2	9,0
Lupine, gelb	86,0	61,0	4,2	9,0
Lupine, weiß	86,0	52,0	4,2	9,0
Wicke	86,0	38,0	4,0	9,2
Sojabohne	86,0	55,0	5,7	12,9
Linse	86,0	39,0	3,9	7,6
Ölfrüchte				
Winterraps	91,0	28,0	7,8	8,0
Sommerraps	91,0	30,0	7,8	8,0
Sonnenblumen	91,0	24,0	7,1	17,0
Öllein	91,0	31,0	5,3	8,0
Senf	91,0	38,6	5,3	8,0
Leindotter	91,0	37,0	6,8	8,0
Ölkürbis		46,0	19,0	10,0
Hackfrüchte inkl. Mais				
Frühkartoffeln	22,0	3,9	0,7	6,0
Mittelfrühe und späte Kartoffeln	22,0	3,1	0,6	5,0
Zuckerrüben	23,0	1,6	0,4	2,1
Gehaltsrüben	15,0	1,6	0,3	4,1
Masserüben	12,0	1,4	0,3	3,7
Körnermais	86,0	12,8	3,3	4,0
Corn-Cob-Mix	60,0	8,3	2,0	3,2

Feldgemüse	TM	N	P	K
	% FM	kg/t FM		
Blumenkohl	7,60	2,80	0,45	3,00
Brokkoli	9,00	4,50	0,65	3,80
Buschbohnen	9,60	2,50	0,40	2,50
Erbsen, Markerbsen	22,00	9,00	1,00	3,00
Feldsalat	9,00	4,50	0,43	5,40
Kohlrabi	6,90	2,80	0,45	3,50
Kopfsalat	5,00	1,20	0,30	3,00
Möhren, Bundmöhren, Frischmarktware	12,00	1,70	0,36	4,40
Möhren, Waschmöhren, Frischmarktware	10,00	1,30	0,35	3,50
Möhren, Industrieware	10,00	1,30	0,35	3,50
Porree, Frischmarktware	11,60	2,50	0,35	3,00
Porree, Industrieware	11,60	2,00	0,35	3,00
Radies	8,10	2,00	0,30	2,80
Rosenkohl	15,20	6,50	0,90	5,50
Rote Beete	13,80	2,80	0,50	4,00
Knollensellerie	10,20	2,50	0,65	4,50
Speisekürbis	12,30	2,50	0,90	4,60
Speisezwiebeln	14,00	1,80	0,35	2,00
Spinat, Frischmarktware	7,80	4,00	0,50	5,50
Spinat, Industrieware	8,40	3,60	0,50	5,50
Weißkohl, Frischmarktware	7,80	2,20	0,32	3,50
Weißkohl, Industrieware	9,60	2,00	0,32	3,50
Gewürze und Sonstiges				
Anis		31,40	3,10	20,00
Hanf		32,50	10,60	7,40
Kümmel		33,00	4,40	10,00
Ringelblume		3,00	0,50	3,80
Bockshornklee		38,70	6,10	12,70
Gewürzfenchel		11,20	2,40	6,50
Topinambur		2,60	0,50	5,10
Walnüsse		19,00	3,00	5,00
Holunder		2,00	0,44	2,5
Knoblauch		3,40	0,60	2,20
Rhabarber		2,00	0,60	5,30
Gartenkresse		7	0,2	5,4
Flohsamen		0	1,8	2,8
Mariendistel		30,00	16,00	30,00

Futterpflanzen ein- bis mehrjährig	TM	N	P	K
Leguminosen/Nicht-Leguminosen-Gemenge	% FM	kg/t FM		
Luzerne	18,0	6,2	0,6	5,0
Luzerne-Gras (70 : 30)	20,0	5,5	0,7	5,4
Luzerne-Gras (50 : 50)	20,0	5,0	0,7	5,4

Luzerne-Gras (30 : 70)	20,0	4,5	0,7	5,4
Kleearten	18,0	5,5	0,6	5,0
Klee-Gras (70 : 30)	20,0	5,0	0,6	5,2
Klee-Gras (50 : 50)	20,0	4,7	0,6	5,2
Klee-Gras (30 : 70)	20,0	4,3	0,6	5,2
Esparsette, Serradella	18,0	5,5	0,6	5,0
Körnerleguminosen-Gemenge	18,0	5,2	0,6	4,0
Nichtleguminosen				
Silomais (Hauptfrucht)	30,0	3,4	0,7	4,0
Silomais (Zwischenfrucht)	25,0	2,8	0,6	3,7
Ackergras	20,0	3,8	0,7	5,4
Getreide (Ganzpflanzen)	20,0	3,6	0,7	5,2
Futerraps, Rübsen	13,0	3,5	0,6	5,2
Senf	15,0	3,4	0,6	5,2
Sonnenblume	13,0	2,7	0,5	5,2
Futterpflanzen ein- bis überjährig				
Leguminosen/Nicht-Leguminosen				
Körner- und Feinleguminosen-Gemenge	18,0	5,4	0,6	5,0
Körnerleguminosen-Gemenge	25,0	6,5	0,7	5,0
Körnerleguminosen-Getreide-Gemenge (70 : 30)	25,0	5,9	0,7	5,0
Körnerleguminosen-Getreide-Gemenge (50 : 50)	28,0	5,2	0,7	5,0
Körnerleguminosen-Getreide-Gemenge (30 : 70)	30,0	4,6	0,7	5,0
Körnerleguminosen-Nichtleguminosen-Gemenge	20,0	4,4	0,7	5,0
Getreide (Ganzpflanzen)	30,0	3,9	0,7	5,2
Grünmais	17,0	2,5	0,5	3,5
Ackergras	20,0	3,8	0,7	5,4
Nichtleguminosen-Gemenge (Kreuzblütler)	15,0	3,5	0,6	5,0
Untersaaten (Ernte/Umbruch im Herbst)				
Kleearten, Luzerne	20,0	6,0	0,6	5,0
Klee/Luzerne-Gras	20,0	4,8	0,6	4,6
Ackergras	20,0	3,8	0,7	5,4
Zwischenfrüchte				
Leguminosen				
Kleearten, Luzerne	15,0	5,3	0,6	4,5
Körnerleguminosen-Gemenge	15,0	5,2	0,6	4,0
Nichtleguminosen				
Senf, Futerraps, Rübsen, Ölrettich	15,0	3,7	0,5	3,8
Phacelia	15,0	3,7	0,1	3,8
Buchweizen	15,0	3,0	0,5	3,6
Ackergras	15,0	4,3	0,6	4,7
Getreide (Ganzpflanzen)	15,0	3,8	0,6	4,5
Markstammkohl (Futterkohl)	15,0	3,5	0,5	4,2
Futtermöhre	15,0	3,5	0,5	4,2
Sonnenblume	15,0	3,0	0,5	3,6
Stoppelrübe	15,0	3,5	0,5	4,2

Grünmais	15,0	2,5	0,6	4,5
Steckrübe (Kohlrübe)	15,0	3,5	0,5	4,2
Nichtleguminosen-Gemenge	15,0	3,5	0,5	4,2

Düngemittel	**TM-Gehalt**	**N**	**P**	**K**
	%	**kg/t FM**		
Gülle				
Rindergülle	6,40	3,30	0,50	5,40
Schweinegülle	14,00	6,90	3,10	2,20
Jauche				
Rinderjauche	1,10	0,60	0,10	1,70
Schweinejauche	0,60	0,90	0,00	0,90
Festmist				
Rindermist	23,00	5,20	1,20	7,40
Schweinemist	28,00	7,90	2,60	7,30
Pferdemist	31,00	5,70	1,20	9,10
Schafmist	31,00	9,00	1,80	13,10
Ziegenmist	31,00	7,80	2,00	13,30
Geflügelmist	43,00	15,70	5,50	8,80
Hühnerfrischkot	41,00	19,00	4,20	4,70
Sonstiges				
Grüngut-Kompost	63,00	7,20	1,40	5,30
Biogasgülle (Feststoffe)	21,80	6,50	4,40	4,50
Handelsdünger				
Bio-Agenasol		55,00	11,00	12,50
Bio-Adusol		33,60	14,80	18,20
AgroBiosol		60,00	6,60	29,10
Patentkali		0,00	0,00	249,00
Biofert		40,00	6,60	4,20
Phosmax			21,5	0,0

AUSGABE: ZUSAMMENFASSUNG

Regressions-Statistik	
Multipler Ko	0,33663061
Bestimmthe	0,11332017
Adjustiertes	-0,10834979
Standardfeh	21,4510035
Beobachtung	6

ANOVA

	Freiheitsgrade (	*dratsummen*	*Quadratsum*	*Prüfgröße (F)*	*F krit*
Regression	1	235,231572	235,231572	0,51121123	0,5141276
Residue	4	1840,5822	460,145551		
Gesamt	5	2075,81378			

	Koeffizienten	*tandardfehle*	*t-Statistik*	*P-Wert*	*Untere 95%*	*Obere 95%*	*Untere 95,0%*	*Obere 95,0%*
Schnittpunkt	37,6456428	15,9517522	2,35996912	0,07766553	-6,64352167	81,9348072	-6,64352167	81,9348072
X Variable 1	0,54840079	0,76700444	0,71499037	0,5141276	-1,58114494	2,67794651	-1,58114494	2,67794651

Abbilung A1. Regressionsanalyse P-Bodengehalt und P-Abfuhren durch Ernteprodukte.

Regressions-Statistik	
Multipler Ko	0,01815981
Bestimmthe	0,00032978
Adjustiertes	-0,24958778
Standardfeh	58,1964738
Beobachtung	6

ANOVA

	Freiheitsgrade (	*dratsummen*	*Quadratsum*	*Prüfgröße (F)*	*F krit*
Regression	1	4,46909109	4,46909109	0,00131955	0,97276328
Residue	4	13547,3182	3386,82956		
Gesamt	5	13551,7873			

	Koeffizienten	*tandardfehle*	*t-Statistik*	*P-Wert*	*Untere 95%*	*Obere 95%*	*Untere 95,0%*	*Obere 95,0%*
Schnittpunkt	152,474026	72,3477099	2,10751696	0,10277784	-48,3954192	353,343471	-48,3954192	353,343471
X Variable 1	0,16366966	4,50562722	0,03632561	0,97276328	-12,345957	12,6732963	-12,345957	12,6732963

Abbilung A2. Regressionsanalyse K-Bodengehalt und K-Abfuhren durch Ernteprodukte.

Regressions-Statistik	
Multipler Ko	0,03559009
Bestimmthe	0,00126665
Adjustiertes	-0,24841668
Standardfeh	58,1691969
Beobachtung	6

ANOVA

	Freiheitsgrade (	*dratsummen*	*Quadratsum*	*Prüfgröße (F)*	*F krit*
Regression	1	17,1654294	17,1654294	0,00507304	0,94663741
Residue	4	13534,6219	3383,65547		
Gesamt	5	13551,7873			

	Koeffizienten	*tandardfehle*	*t-Statistik*	*P-Wert*	*Untere 95%*	*Obere 95%*	*Untere 95,0%*	*Obere 95,0%*
Schnittpunkt	157,791194	46,347274	3,40454099	0,02716349	29,1105319	286,471856	29,1105319	286,471856
X Variable 1	-0,07272938	1,02111732	-0,0712253	0,94663741	-2,90780556	2,76234679	-2,90780556	2,76234679

Abbilung A3. Regressionsanalyse K-Bodengehalt und Jahre biologischer Bewirtschaftung.

Regressions-Statistik								
Multipler Ko	0,54419373							
Bestimmthe	0,29614681							
Adjustiertes	0,12018351							
Standardfeh	19,1119606							
Beobachtung	6							
ANOVA								
	Freiheitsgrade (	*dratsummen*	*Quadratsum*	*Prüfgröße (F)*	*F krit*			
Regression	1	614,745629	614,745629	1,6830033	0,26429003			
Residue	4	1461,06815	365,267037					
Gesamt	5	2075,81378						
	Koeffizienten	*tandardfehle*	*t-Statistik*	*P-Wert*	*Untere 95%*	*Obere 95%*	*Untere 95,0%*	*Obere 95,0%*
Schnittpunkt	76,2922078	23,7592845	3,2110482	0,03255643	10,3258585	142,258557	10,3258585	142,258557
X Variable 1	-1,91958042	1,47966645	-1,29730617	0,26429003	-6,02779309	2,18863226	-6,02779309	2,18863226

Abbilung A4. Regressionsanalyse P-Bodengehalt und Jahre biologischer Bewirtschaftung.

Regressions-Statistik								
Multipler Ko	0,18750805							
Bestimmthe	0,03515927							
Adjustiertes	-0,12564752							
Standardfeh	27,4158341							
Beobachtung	8							
ANOVA								
	Freiheitsgrade (	*dratsummen*	*Quadratsum*	*Prüfgröße (F)*	*F krit*			
Regression	1	164,338145	164,338145	0,21864294	0,65657629			
Residue	6	4509,76775	751,627959					
Gesamt	7	4674,1059						
	Koeffizienten	*tandardfehle*	*t-Statistik*	*P-Wert*	*Untere 95%*	*Obere 95%*	*Untere 95,0%*	*Obere 95,0%*
Schnittpunkt	58,1323356	18,1477593	3,20327896	0,01852329	13,7263683	102,538303	13,7263683	102,538303
X Variable 1	0,79534488	1,70093517	0,46759271	0,65657629	-3,36669355	4,9573833	-3,36669355	4,9573833

Abbilung A5. Regressionsanalyse P-Saldo und Zufuhr von Düngemitteln tierischer Herkunft.

Regressions-Statistik								
Multipler Ko	0,623513							
Bestimmthe	0,38876846							
Adjustiertes	0,30144967							
Standardfeh	6,74385766							
Beobachtung	9							
ANOVA								
	Freiheitsgrade (	*dratsummen*	*Quadratsum*	*Prüfgröße (F)*	*F krit*			
Regression	1	202,488378	202,488378	4,45228864	0,07278362			
Residue	7	318,357313	45,4796161					
Gesamt	8	520,845691						
	Koeffizienten	*tandardfehle*	*t-Statistik*	*P-Wert*	*Untere 95%*	*Obere 95%*	*Untere 95,0%*	*Obere 95,0%*
Schnittpunkt	-33,4310491	8,8008532	-3,79861456	0,00672692	-54,24176	-12,6203382	-54,24176	-12,6203382
X Variable 1	0,25647354	0,12154887	2,1100447	0,07278362	-0,03094386	0,54389094	-0,03094386	0,54389094

Abbilung A6. Regressionsanalyse K-Saldo und Zufuhr von Düngemitteln tierischer Herkunft.

Regressions-Statistik								
Multipler Ko	0,07554268							
Bestimmthe	0,0057067							
Adjustiertes	-0,0707774							
Standardfeh	2190,14547							
Beobachtung	15							
ANOVA								
	Freiheitsgrade (	*dratsummen*	*Quadratsum*	*Prüfgröße (F)*	*F krit*			
Regression	1	357898,185	357898,185	0,07461284	0,78902644			
Residue	13	62357583,6	4796737,2					
Gesamt	14	62715481,8						
	Koeffizienten	*tandardfehle*	*t-Statistik*	*P-Wert*	*Untere 95%*	*Obere 95%*	*Untere 95,0%*	*Obere 95,0%*
Schnittpunkt	1651,38995	973,978286	1,69551003	0,11378083	-452,762209	3755,54211	-452,762209	3755,54211
X Variable 1	21,9884578	80,4985364	0,27315351	0,78902644	-151,918057	195,894973	-151,918057	195,894973

Abbilung A 7. Regressionsanalyse P-Saldo und Nährstoffeffizienz.

Regressions-Statistik								
Multipler Ko	0,04516605							
Bestimmthe	0,00203997							
Adjustiertes	-0,07472618							
Standardfeh	1554,34571							
Beobachtung	15							
ANOVA								
	Freiheitsgrade (	*dratsummen*	*Quadratsum*	*Prüfgröße (F)*	*F krit*			
Regression	1	64202,1581	64202,1581	0,02657384	0,87301355			
Residue	13	31407877,5	2415990,58					
Gesamt	14	31472079,7						
	Koeffizienten	*tandardfehle*	*t-Statistik*	*P-Wert*	*Untere 95%*	*Obere 95%*	*Untere 95,0%*	*Obere 95,0%*
Schnittpunkt	1061,16203	754,969932	1,40556859	0,18329911	-569,851352	2692,1754	-569,851352	2692,1754
X Variable 1	-5,62427443	34,5016058	-0,16301486	0,87301355	-80,1604622	68,9119133	-80,1604622	68,9119133

Abbilung A 8. Regressionsanalyse K-Saldo und Nährstoffeffizienz.