

Berichte aus dem Ökolandbau 2021

Nährstoffmanagement und Frucht- folgegestaltung in sächsischen Ökobetrieben



Analyse des Nährstoff- und Humusmanagements sowie der Fruchtfolgegestaltung in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus im Freistaat Sachsen

Dietmar Meyer, Knut Schmidtke, Beate Wunderlich, Jana Lauter,
Yvonne Wendrock, Nicole Grandner & Hartmut Kolbe

Inhalt

1	Einleitung und Problemstellung.....	9
2	Material und Methoden	12
2.1	Datengrundlage.....	12
2.2	Bewertung des Nährstoff- und Humusmanagements.....	16
2.3	Bewertung der Fruchtfolgegestaltung.....	18
2.4	Statistische Verrechnung.....	21
3	Ergebnisse	23
3.1	Analyse des Nährstoff- und Anbaumanagements auf Betriebsebene	23
3.1.1	Nährstoffbilanzen	23
3.1.2	Nährstoffgehalte im Boden der Ackerflächen	36
3.1.3	Nährstoffgehalte im Boden der Grünlandflächen.....	42
3.1.4	Düngebedarf.....	43
3.1.5	Humusbilanzen.....	45
3.1.6	Anbaustruktur und Fruchtfolgegestaltung.....	50
3.2	Schlagbezogene Bewertung des Nährstoff- und Anbaumanagements	55
3.2.1	Betrieb 1 – Futterbaubetrieb	55
3.2.2	Betrieb 14 – Marktfruchtbetrieb	63
3.2.3	Betrieb 24 – Futterbaubetrieb.....	73
3.3	Betriebsvergleich der schlagbezogenen Bewertung.....	78
3.3.1	Nährstoff- und Humusmanagement	78
3.3.2	Fruchtfolgegestaltung.....	84
4	Diskussion und Schlussfolgerungen	89
4.1	Methodik.....	89
4.2	Nährstoff- und Humusmanagement der Betriebe	90
4.3	Fruchtfolgegestaltung der Betriebe	94
5	Zusammenfassung.....	97
6	Literaturverzeichnis	99

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Boxplot der N-Schlagbilanzsalden der Ackerschläge von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	26
Abbildung 2: Boxplot der P-Schlagbilanzsalden der Ackerschläge von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	26
Abbildung 3: Box-Plot der K-Schlagbilanzsalden der Ackerschläge von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	27
Abbildung 4: Boxplot der Mg-Schlagbilanzsalden der Ackerschläge von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	27
Abbildung 5: Boxplot der S-Schlagbilanzsalden der Ackerschläge von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	28
Abbildung 6: Beziehungen zwischen der im gewogenen Mittel der Ackerflächen der Betriebe durch den Leguminosenanbau erzielten symbiotisch fixierten N-Mengen und den entsprechenden N-Schlagsalden in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	32
Abbildung 7: Beziehungen zwischen den im gewogenen Mittel der Ackerflächen der Betriebe über organische Düngung zugeführten N-Mengen und den entsprechenden N-Schlagsalden in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	32
Abbildung 8: Beziehungen zwischen den im gewogenen Mittel der Ackerflächen der Betriebe über die symbiotische N ₂ -Fixierleistung der Leguminosen und die organische Düngung zugeführten N-Mengen und den entsprechenden N-Schlagsalden in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	33
Abbildung 9: Beziehungen zwischen den im gewogenen Mittel der Ackerflächen der Betriebe über organische Düngung zugeführten P-Mengen und den entsprechenden P-Schlagbilanzsalden in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	33
Abbildung 10: Beziehung zwischen den im gewogenen Mittel der Ackerflächen der Betriebe über organische Düngung zugeführten K-Mengen und den entsprechenden K-Schlagsalden in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	34
Abbildung 11: Beziehung zwischen den im gewogenen Mittel der Ackerflächen der Betriebe ermittelten N- und P-Schlagsalden in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	34
Abbildung 12: Beziehungen zwischen den im gewogenen Mittel der Ackerflächen der Betriebe ermittelten N- und K-Schlagbilanzsalden in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	35
Abbildung 13: Beziehungen zwischen den im gewogenen Mittel der Ackerflächen der Betriebe ermittelten P- und K-Schlagbilanzsalden in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	35
Abbildung 14: Boxplot der Humussalden der Ackerflächen in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	48
Abbildung 15: Beziehung zwischen der über organische Düngemittel zugeführten N-Menge und den mittleren gewogenen Humusbilanzen von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	48
Abbildung 16: Beziehung zwischen der über Leguminosen gebundenen N-Menge und den mittleren gewogenen Humusbilanzen von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	49
Abbildung 17: Beziehung zwischen dem mittleren gewogenen N-Schlagsaldo und dem Humussaldo von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	49
Abbildung 18: Ertragsgefährdung der Schläge je Betrieb und im Mittel aller Schläge durch zu geringe pH-Werte der Böden	78
Abbildung 19: Ertragsgefährdung der Schläge je Betrieb und im Mittel aller Schläge durch zu geringe P-Gehalte der Böden	80
Abbildung 20: Ertragsgefährdung der Schläge je Betrieb und im Mittel aller Schläge durch zu geringe K-Gehalte der Böden	80
Abbildung 21: Ertragsgefährdung der Schläge je Betrieb und im Mittel aller Schläge durch zu geringe Humusbilanzen	81
Abbildung 22: Ertragsgefährdung der Schläge je Betrieb und im Mittel aller Schläge durch zu geringe N-Bilanzen	82
Abbildung 23: Anteil ertragsgefährdeter Schläge je Betrieb und im Mittel der Betriebe in der Summe aller Prüfparameter zum Nährstoff- und Humusmanagement	83

Abbildung 24: Anteil potenziell umweltgefährdender Schläge je Betrieb durch zu hohe N-Bilanzen.....	84
Abbildung 25: Anteil ertragsgefährdeter Schläge je Betrieb durch zu kurze Anbaupausen im Kartoffelbau (Betriebe mit Kartoffelanbau sind durch schwarze Betriebsnummern hervorgehoben, Schläge mit Kartoffelanbau je Betrieb = 100, Schläge ohne Kartoffelanbau sind nicht berücksichtigt).....	85
Abbildung 26: Anteil ertragsgefährdeter Schläge je Betrieb durch zu kurze Anbaupausen beim Anbau von Körnerleguminosen (Betriebe mit Körnerleguminosenanbau sind durch schwarze Betriebsnummern hervorgehoben, Schläge mit Körnerleguminosenanbau je Betrieb = 100, Schläge ohne Körnerleguminosenanbau sind nicht berücksichtigt)	86
Abbildung 27: Anteil ertragsgefährdeter Schläge je Betrieb durch zu kurze Anbaupausen beim Anbau von Ölfrüchten (Betriebe mit Ölfrüchtanbau sind durch schwarze Betriebsnummern hervorgehoben, Schläge mit Ölfrüchtanbau je Betrieb = 100, Schläge ohne Ölfrüchtbau sind nicht berücksichtigt)	86
Abbildung 28: Anteil ertragsgefährdeter Schläge je Betrieb durch zu kurze Anbaupausen beim Anbau von Rotklee, Luzerne oder Lupine (Betriebe mit Anbau dieser Kulturen sind durch schwarze Betriebsnummern hervorgehoben, Schläge mit Anbau dieser Kulturen je Betrieb = 100, Schläge ohne Anbau dieser Kulturen sind nicht berücksichtigt).....	87
Abbildung 29: Anteil ertragsgefährdeter Schläge je Betrieb durch zu kurze Anbaupausen beim Anbau von Kartoffeln und/oder Ölfrüchten und/oder Körnerleguminosen und/oder Rotklee, Luzerne, Lupine (Schläge mit Anbau dieser Kulturen je Betrieb = 100, Schläge ohne Anbau dieser Kulturen sind nicht berücksichtigt).....	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ackerflächen und Standortkennwerte der untersuchten ökologisch wirtschaftenden Betriebe	13
Tabelle 2: Kennwerte der Tierhaltung und des Grünlandes der untersuchten Betriebe	14
Tabelle 3: Bewertung der Bodengehalte für die Hauptnährstoffe P, K, Mg, der pH-Werte und der Humusbilanzen auf der Grundlage der VDLUFA-Versorgungsklassen	17
Tabelle 4: Bewertung der Nährstoffbilanzsalden	17
Tabelle 5: Kriterien zur Bewertung der Fruchtfolgefunktion zur Regulierung der Verunkrautung	18
Tabelle 6: Kriterien zur Bewertung der Fruchtfolgefunktion zur Regulierung des Krankheitsbefalls	20
Tabelle 7: Kriterien zur Bewertung der Fruchtfolgefunktion zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit	21
Tabelle 8: Gewogenes Mittel der Schlagbilanzsalden der Hauptnährstoffe (Jahre 2006 – 2011) der erfassten Ackerschläge in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	25
Tabelle 9: Gewogenes Mittel (Jahre 2006 - 2011) der über mineralische und organische Düngemittel zugeführten Nährstoffmengen der erfassten Ackerschläge in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	29
Tabelle 10: Gewogenes Mittel (Jahre 2006 – 2011) der über Haupt- und Zwischenfruchtleguminosen symbiotisch fixierten N-Menge auf den erfassten Ackerschlägen in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	30
Tabelle 11: Gewogenes Mittel der von den erfassten Ackerschlägen mit dem Erntegut abgefahrenen Nährstoffmengen der Hauptnährstoffe (Jahre 2006 – 2011) in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	31
Tabelle 12: Gewogenes Mittel des pH-Wertes, des P-, K- und Mg- Gehalts sowie des Humusgehalts der Ackerflächen von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen (Buchstaben A – E = Versorgungsstufen nach VDLUFA)	37
Tabelle 13: Verteilung der Ackerschläge von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen auf die Versorgungsklassen des VDLUFA bezüglich der pH-Werte der Böden und ihrer P-, K- und Mg-Versorgung	38
Tabelle 14: Verteilung der Ackerfläche von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen auf die Versorgungsklassen des VDLUFA bezüglich der pH-Werte der Böden und ihrer P-, K- und Mg-Versorgung	39
Tabelle 15: Gewogenes Mittel des Gehaltes ausgewählter Mikronährstoffe der Schläge von 30 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen (Buchstaben A – E = Versorgungsstufen nach Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, ZORN et al., 2007)	41
Tabelle 16: Verteilung der Ackerschläge von 29 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen auf die Versorgung der Böden mit Mikronährstoffen (Versorgungsklassen nach ZORN et al., 2007)	42
Tabelle 17: Verteilung der Ackerfläche von 29 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen auf die Versorgung der Böden mit Mikronährstoffen (Versorgungsklassen nach ZORN et al., 2007)	42
Tabelle 18: Gewogenes Mittel der pH-Werte, der P-, K- und Mg- Gehalte sowie der Humusgehalte der Grünlandflächen von 13 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen (Buchstaben A – E = Versorgungsstufen nach VDLUFA)	43
Tabelle 19: Gewogenes Mittel der mit dem Programm BEFU erstellten jährlichen Düngeempfehlung für P, K, und Mg sowie für die Kalkung je Fruchtfolge für 32 Betriebe des ökologischen Landbaus in Sachsen	44
Tabelle 20: Gewogenes Mittel sowie Aufteilung der Bilanzkomponenten der Humusbilanzsalden (Jahre 2006 – 2011) der erfassten Ackerschläge in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen (A – E- Versorgungsstufen nach VDLUFA, 2014)	46
Tabelle 21: Verteilung der Ackerschläge und Ackerflächen von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen auf die Humusbilanzklassen (gemäß VDLUFA, 2014)	47
Tabelle 22: Anbauverhältnis im Mittel der Ackerfläche von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	51
Tabelle 23: Beachtung allgemeiner Grundsätze bei der Fruchtfolgegestaltung auf den Ackerschlägen von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	53

Tabelle 24: Beachtung allgemeiner Grundsätze bei der Fruchtfolgegestaltung auf der Ackerfläche von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen	54
Tabelle 25: Bodengehalte und Salden der Hauptnährstoffe und des Humus auf den Schlägen des Betriebes 1	58
Tabelle 26: Bewertung der Bodengehalte und Salden der Hauptnährstoffe und des Humus auf den Schlägen des Betriebes 1	59
Tabelle 27: Bewertung der Fruchtfolgen des Betriebes 1	62
Tabelle 28: Bodengehalte und Salden der Hauptnährstoffe und des Humus auf den Schlägen des Betriebes 14	65
Tabelle 29: Bewertung der Bodengehalte und Salden der Hauptnährstoffe und des Humus auf den Schlägen des Betriebes 14	67
Tabelle 30: Bewertung der Fruchtfolgen des Betriebes 14	71
Tabelle 31: Bodengehalte und Salden der Hauptnährstoffe und des Humus auf den Schlägen des Betriebes 24	74
Tabelle 32: Bewertung der Bodengehalte und Salden der Hauptnährstoffe und des Humus auf den Schlägen des Betriebes 24	75
Tabelle 33: Bewertung der Fruchtfolgen des Betriebes 24	77

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
AF	Ackerfläche
BEFU	Programm des LfULG zur Düngebedarfsermittlung: „Bestandesführung“
Bo	Bor
C	Kohlenstoff
CaO	Kalziumoxid (Maß für die Wirksamkeit von Kalkdüngemitteln)
C _t , C _{org}	Gesamt-Kohlenstoff
Cu	Kupfer
°C	Grad Celsius (Temperatur)
dt	Dezitonne (100 kg)
GF	Grünlandfläche
GV	Großvieheinheit (60 kg N/ha)
ha	Hektar
häq	Humusäquivalent
K	Kalium
kg	Kilogramm
L	Lehm
LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche
IS	lehmiger Sand
m	Meter
Mg	Magnesium
mm	Millimeter (Niederschlag)
Mn	Mangan
Mo	Molybdän
N	Stickstoff
N _{min}	Gehalt des Bodens an mineralischem Stickstoff
NN	Normal-Null (Höhe über dem Meeresspiegel)
N _t	Gesamt-Stickstoffgehalt des Bodens
P	Phosphor
R ²	Bestimmtheitsmaß
S	Sand
S	Schwefel
SMUL	Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft
S _{min}	Gehalt des Bodens an mineralischem Schwefel
Sl	anlehmiger Sand
SL	stark lehmiger Sand
sL	sandiger Lehm
STAND	standortangepasste Methode zur Humusbilanzierung
t	Tonne
uL	schluffiger Lehm
VDLUFA	Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
Zn	Zink

1 Einleitung und Problemstellung

Die ökologisch bewirtschaftete Ackerfläche ist in den vergangenen 25 Jahren im Freistaat Sachsen stetig gewachsen. Im Jahr 2015 wurden 37.400 ha landwirtschaftliche Fläche (LN) ökologisch bewirtschaftet, was einem Anteil an der insgesamt in Sachsen bewirtschafteten Landwirtschaftsfläche von 4,1 % entsprach (SMUL, 2016). In den Jahren 2016 und 2017 hat die ökologisch bewirtschaftete Fläche nochmals um fast 20.000 ha auf insgesamt 57.400 Hektar zugenommen. Damit betrug der Anteil der Ökofläche an der sächsischen landwirtschaftlichen Fläche dann 6,4 Prozent (SMUL, 2018).

Eine ähnliche Tendenz war auch auf Bundesebene zu beobachten (BMEL, 2017). Der Anstieg der Produktionsfläche war aber oft nicht ausreichend, um die schnell wachsende Nachfrage nach Bio-Produkten aus deutscher Produktion zu decken. Hierzu trug sicher auch bei, dass die Erträge aus ökologischer Produktion in den letzten zwei Jahrzehnten kaum angestiegen, bei einigen Kulturen sogar leicht gesunken sind, während im konventionellen Ackerbau ein jährlicher Zuwachs um 2 % erzielt worden ist (MAYER & MÄDER, 2016).

Die Ursachen für diese Stagnation sind vielfältig. Zunächst fehlen der ökologischen Landwirtschaft Regulierungsmechanismen, die ähnlich hohe Wirkungsgrade wie chemisch-synthetische Mittel aufweisen, um Ertragschwankungen durch zufällige Einflussfaktoren, wie dem Wetter oder Pflanzenkrankheiten, ausgleichen zu können (NEUHOFF, 2015). Zusätzlich häufen sich in jüngster Zeit Berichte über Anbaufehler und suboptimales Management, wodurch langfristig auch die Bodenfruchtbarkeit gefährdet werden kann. So ist in einigen Regionen Deutschlands das Nährstoffmanagement im ökologischen Ackerbau und dem Grünland vielfach noch ungenügend, vor allem weil Nährstoffzüge nicht hinreichend über Düngung ausgeglichen werden (KOLBE, 2015, 2016).

Hauptnährstoffe wie Phosphor und Kalium aber auch wichtige Mikronährstoffe wie Kupfer, Zink oder Molybdän gelangen in vielen Betrieben ausschließlich über die Verwertung tierischer Exkremente aus der eigenen Viehhaltung auf die Felder. Der Haltung von Nutztieren wird deshalb im ökologischen Landbau aufgrund des angestrebten kreislauforientierten Wirtschaftens eine besondere Bedeutung beigemessen. Nutztiere stellen ein wichtiges Bindeglied im Betriebsorganismus dar und unterstützen den Acker- und Pflanzenbau über die Verwertung von Futterpflanzen und den Anfall von Wirtschaftsdüngern. In zunehmendem Maße gibt es aber auch reine Marktfruchtbetriebe ohne Viehhaltung. In solchen Betrieben erfolgt die Zufuhr von Stickstoff über den Anbau von Leguminosen. Die Hauptnährstoffe können auch über den Zukauf von organischen oder mineralischen Düngemitteln bereitgestellt werden. Es ist allerdings zu befürchten, dass die Nährstoffzufuhren in diesen Betrieben vielfach nicht ausreichend sind, so dass es mittel- und langfristig zu einer Abnahme der Gehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Boden kommen kann.

So berichtet GRUBER (2009) von deutlich abnehmenden Gehalten an pflanzenverfügbarem Phosphor, Kalium und Magnesium im Boden in einem ökologisch bewirtschafteten Fruchtfolgeversuch in Mecklenburg-Vorpommern, der seit 1993 auf schwach-lehmigem Sand durchgeführt wird. Trotz positiver Flächenbilanz bei Kalium empfiehlt sie aufgrund zurückgehender Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium für diesen Standort eine Steigerung der Kaliumdüngung, um die Versorgung der Pflanzen langfristig sicherstellen zu können. Untersuchungen in 24 ökologisch bewirtschafteten Ackerschlägen in Thüringen haben gezeigt, dass sich über einen Zeitraum von 5 Jahren (2004 – 2009) der Anteil Ackerschläge mit sehr niedriger P-Versorgung (Gehaltsklasse A) von 8 % auf 21 % und der Anteil Kalk bedürftiger Flächen von 21 % auf 27 % erhöht hat (ZORN & WAGNER, 2010).

Bei Kalium stieg im gleichen Zeitraum der Anteil Ackerschläge mit niedriger Versorgung um sechs Prozentpunkte auf 27 % an, währenddessen der Anteil mit sehr niedriger Versorgung mit etwa 5 % nahezu unverändert blieb. Untersuchungen zum N-Bilanzsaldo ökologisch bewirtschafteter Ackerflächen im Rahmen des N_{min}-Testflächennetzes in Thüringen ergaben zudem ein Defizit in den N-Bilanzen (ohne N-Deposition) in Höhe von 27 kg je ha und Jahr im Durchschnitt von 10 Jahren (1999 – 2008, HEROLD & HÖPFNER, 2010). Negative Bilanzsalden im Ackerbau des ökologischen Landbaus für Kalium und Phosphor fanden auch LINDENTHAL (2000), BENGTTSSON et al. (2003), HARZER (2006), KOLBE (2015).

HEGE et al. (2003) wiesen für 33 ökologisch wirtschaftende Betriebe in Bayern mittlere Hoftorbilanzen für Phosphor in Höhe von -4,4 kg P/ha und Jahr und für Kalium in Höhe von -18,3 kg K/ha und Jahr aus, wobei nur vier Betriebe einen leicht positiven Saldo bei Phosphor und Kalium erreichten. Untersuchungen von LEISEN (2013) und PAULSEN et al. (2013) in langjährig ökologisch bewirtschaftetem Grünland zeigten zudem, dass der Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphat im Boden vieler ökologisch wirtschaftender Betriebe signifikant rückläufig ist.

Eine weitere Ursache der Ertragsstagnation im ökologischen Landbau ist in dem Phänomen der „Bodenmüdigkeit“ zu vermuten (PAULSEN et al., 2016). Darunter versteht man den Rückgang der Ertragsfähigkeit eines Bodens als Folge wiederholten Anbaus der gleichen Kulturpflanze auf derselben Fläche. So können im ökologischen Landbau bestimmte Probleme von Leguminosen vielfach auf einen zu häufigen Anbau von Feldfutter, als Marktfrüchte (Körnerleguminosen) oder als Zwischenfrüchte zurückgeführt werden.

Der Anbau von Leguminosen ist für eine ausreichende Stickstoffversorgung unabdingbar (SCHELLER, 2013). Ein ausreichender Anteil an Leguminosen in der Fruchtfolge und dessen richtige Einbindung in das Betriebsmanagement ist daher für den Erfolg des ökologischen Landbaus von zentraler Bedeutung. Ihre ausgeprägte Selbstunverträglichkeit, sowohl innerhalb der Art als auch zwischen verschiedenen Arten der gleichen Pflanzenfamilie, verlangt jedoch oftmals Anbaupausen von mehreren Jahren, die in der Praxis nicht immer eingehalten werden (SCHMIDTKE, 2016). Neuere Ergebnisse zeigen beispielsweise bei Ackerbohne, und vor allem bei Erbse, dass der Ertrag mit zunehmender Anbauhäufigkeit deutlich abnimmt (SCHMIDT et al., 2014). Ähnliche Wechselwirkungen zwischen dem Auftreten verschiedener Pflanzenkrankheiten und der Anbauhäufigkeit sind auch für Kreuzblütler, wie Winterraps, andere Ölfrüchte oder den Kartoffelbau bekannt (KOLBE et al., 2012; BÖHM, 2014).

Durch eine sorgfältige Fruchtfolgeplanung kann dem Phänomen der Bodenmüdigkeit vorgebeugt werden. Optimale Fruchtfolgen sollen eine ausreichende Stickstoffversorgung aller Fruchtfolgeglieder sichern und gleichzeitig phytosanitäre Restriktionen vermeiden, eine ausreichende Unterdrückung von Unkräutern bewirken und gesamtbetriebliche Anforderungen wie die Bereitstellung von Futter und die Verwertung von Wirtschaftsdünger berücksichtigen. In früheren Zeiten waren hierfür standardisierte Fruchtfolgesysteme mit festgelegten Abfolgen der Fruchtarten fester Bestandteil der landwirtschaftlichen Praxis (z. B. BRINKMANN, 1950). Heute wird die Abfolge der Kulturen nicht nur im konventionellen, sondern auch im ökologischen Landbau vielfach entsprechend kurzfristigen Erfordernissen Jahr für Jahr neu festgelegt (KOLBE, 2006). Dies könnte zur Folge haben, dass essentielle Fruchtfolgegrundsätze, die früher wie selbstverständlich beachtet wurden, vielfach in Vergessenheit geraten sind oder hinter wirtschaftlichen Erwägungen zurückgestellt werden.

Vor diesem Hintergrund wurde mit Landesmitteln des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) ein Forschungsauftrag an das Zentrum für angewandte Forschung der Hochschule für Technik und Wirtschaft (ZAFT) vergeben, der das Ziel hatte, eine Status-Quo-Analyse zum Nährstoffmanagement von Acker- und Grünlandflächen der ökologisch wirtschaftenden Betriebe im Freistaat Sachsen zu erstellen. Hierzu wurden zunächst anhand der in den Betrieben vorliegenden Schlagkarteien und anderen

Aufzeichnungen eine umfassende Datenerhebung von Acker- und Grünlandflächen vorgenommen. Parallel dazu wurden Ergebnisse der Bodenuntersuchung an pflanzenverfügbaren Grundnährstoffen (P, K, Mg), an Mikronährstoffen sowie die pH-Werte des Bodens erfasst. In einem Folgeprojekt wurden die erhobenen Daten durch die G.U.B. Ingenieur AG für eine detaillierte Auswertung sowohl des Nährstoff- und Humusmanagements als auch der Fruchtfolgegestaltung der Betriebe genutzt. Hierzu wurde auf Schlagebene ein Bewertungsverfahren entwickelt und angewendet, wodurch Schwächen und Stärken in der Betriebsführung anhand weniger und leicht zu erhebender Parameter veranschaulicht werden können.

2 Material und Methoden

2.1 Datengrundlage

Die vorliegende Untersuchung basiert auf einer Datenerhebung auf Betrieben des ökologischen Landbaus im Zeitraum zwischen Juli 2011 bis November 2012. Hierfür wurden 32 ökologisch wirtschaftende Landwirtschaftsbetriebe im Freistaat Sachsen, verteilt über die sächsischen Agrarstrukturgebiete ausgewählt und in der Regel zu zwei bis drei Terminen für detaillierte Befragungen zu deren Aufzeichnungen in den Schlagkarteien des Acker- und Grünlandes und zur Entnahme von Bodenproben aufgesucht. Tabelle 1 und Tabelle 2 geben einen Überblick zu den Standortdaten sowie zur Anzahl und dem Flächenumfang der untersuchten Acker- und Grünlandschläge der Betriebe. In den fünf Agrarstrukturgebieten Sachsens wurden folgende Betriebszahlen erfasst:

- 4 Betriebe aus dem Agrarstrukturgebiet I (Sächsisches Heidegebiet und Riesaer- Torgauer Elbtal)
- 8 Betriebe aus dem Agrarstrukturgebiet II (Oberlausitz und Sächsische Schweiz)
- 12 Betriebe aus dem Agrarstrukturgebiet III (Mittelsächsisches Lössgebiet)
- 6 Betriebe aus dem Agrarstrukturgebiet IV (Erzgebirgsvorland, Vogtland und Elsterbergland)
- 2 Betriebe aus dem Agrarstrukturgebiet V (Erzgebirgskamm).

Aufgezeichnet und ausgewertet wurden 810 Ackerschläge mit einem Flächenumfang von insgesamt 6.742 ha. Dieses entsprach knapp 36 % der insgesamt im Jahr 2011 in Sachsen ökologisch bewirtschafteten Ackerfläche (SMUL, 2013). Auch hinsichtlich der Boden- und Klimaverhältnisse, der Größe der Betriebe und den auf die Acker- und Grünlandfläche bezogenen Tierbesatz entsprechen die untersuchten Betriebe einem repräsentativen Querschnitt der insgesamt ökologisch bewirtschafteten Flächen im Freistaat Sachsen. Der Grünlandanteil an der bewirtschafteten Fläche der Betriebe war allerdings mit 27 % (Summe Grünlandfläche aller untersuchten Betriebe = 2.476 ha) unterrepräsentiert im Vergleich zu allen ökologisch wirtschaftenden Betrieben des Jahres 2011, die einen Grünlandanteil von fast 39 % aufwiesen (SMUL, 2013). Insgesamt schwankte der Grünlandflächenanteil zwischen den untersuchten Betrieben zwischen 0 % bis etwas über 72 %. Der Umfang der betriebseigenen Tierhaltung bezogen auf die Betriebsfläche variierte zwischen den untersuchten Betrieben zwischen 0 GV und 1,4 GV/ha (Tabelle 2). Im gewogenen Mittel der landwirtschaftlich genutzten Fläche betrug sie 0,3 GV/ha.

Die Bewirtschaftung der in Tabelle 1 angegebenen Ackerschläge wurde in sechs aufeinander folgenden Jahren (2006 – 2011) erhoben, so dass insgesamt ca. 4860 „Ackerschlagjahre“ erfasst wurden. Ziel war es, möglichst auf allen Ackerschlägen einen vollständigen Fruchtfolgeumlauf je Ackerschlag aufzunehmen. Die erhobenen Daten wurden sowohl in entsprechend zur Bilanzierung vorbereitete Dateien des Tabellenkalkulationsprogramms EXCEL eingetragen als auch für tiefergehende Analysen in die aktuelle Fassung des Programms BEFU aufgenommen. Das Programm BEFU kann aus dem Internet heruntergeladen werden (<http://www.landwirtschaft.sachsen.de/befu/>), wesentliche Programmelemente des Teils Ökologischer Landbau sind bei KOLBE & KÖHLER (2008) beschrieben.

Tabelle 1: Ackerflächen und Standortkennwerte der untersuchten ökologisch wirtschaftenden Betriebe

Betrieb	Ackerfläche (AF)	Acker-schläge	Jahres-niederschlag	Jahresmittel-temperatur	Höhe über NN	Vorherrschende Bodenart der Ackerflächen	Umstellung des Betriebes
[Nr.]	[ha]	[Anzahl]	[mm]	[°C]	[m]		[Jahr]
1	189,5	16	640	9,2	250	L	1990
2	632,7	67	531	9,9	110	IS	1992
3	21,1	6	640	9,5	220	L	1995
4	56,6	24	870	7,5	600	sL	1990
5	89,1	21	870	7,5	540	sL	1994
6	180,0	18	763	7,7	510	sL	2003
7	146,8	21	657	8,2	160	sL	2004
8	203,3	17	667	8,9	280	IS	1996
9	36,1	13	684	10,9	175	sL	1993
10	28,2	2	585	9,1	220	L	2001
11	17,8	5	684	9,4	230	L	2003
12	75,5	9	643	8,5	370	sL	2003
13	842,3	99	680	6,5	550	sL	2001
14	257,1	35	450	7,5	110	SL	2000
15	306,9	26	635	9,1	150	SL	2002
16	47,0	6	555	10,0	87	sL	2000
17	16,8	13	727	6,9	380	IS	1993
18	40,7	20	620	7,6	350	IS	1992
19	302,5	21	690	9,5	205	L	2007
20	120,2	23	700	8,1	280	sL	1992
21	480,2	18	580	8,5	154	IS	2007
22	346,3	39	641	8,2	280	sL	1990
23	61,8	9	542	8,7	100	IS	2001
24	63,7	20	701	7,9	370	sL	2003
25	50,7	9	651	9,9	245	sL	1993
26	55,1	11	608	9,8	160	IS	1999
27	207,2	20	684	9,4	168	uL	2001
28	842,1	67	550	9,3	124	sL	1991
29	67,7	6	588	10,2	149	sL	1994
30	565,0	109	680	6,5	550	sL	1994
31	226,9	17	450	7,5	110	sL	2000
32	165,0	23	684	9,4	168	uL	2001

Tabelle 2: Kennwerte der Tierhaltung und des Grünlandes der untersuchten Betriebe

Betrieb	Grünlandfläche (GF)	Grünland-Schläge	Anteil GF an Summe GF + AF	vorherrschende Bodenart	Tierbesatz	Tierbesatz	Tierbesatz
[Nr.]	[ha]	[Anzahl]	[%]		[GV/ha GF]	[GV/ha AF]	[GV/ ha GF+AF]
1	43,3	10	18,6	L	3,7	0,8	0,7
2	137,0	24	17,8	IS	1,0	0,2	0,2
3	40,0	18	65,5	L	0,6	1,1	0,4
4	34,2	16	37,7	sL	2,0	1,2	0,7
5	43,7	19	32,9	sL	3,4	1,6	1,1
6	62,0	12	25,6	k.A.	1,2	0,4	0,3
7	23,4	11	13,7	sL	1,4	0,2	0,2
8	15,3	6	7,0	IS	-	-	-
9	8,5	10	19,1	sL	2,5	0,6	0,5
10	0	0	-	-	-	-	-
11	0	0	-	-	-	-	-
12	0	0	-	-	-	-	-
13	390,0	104	31,6	sL	1,4	0,7	0,4
14	0	0	0	-	-	-	-
15	57,6	14	15,8	SL	1,5	0,3	0,2
16	39,8	4	45,9	sL	-	-	-
17	44,0	10	72,4	IS	1,0	2,7	0,7
18	28,2	17	40,9	IS	1,9	1,3	0,8
19	14,4	13	4,5	L	-	-	-
20	91,1	22	43,1	sL	1,4	1,1	0,6
21	0	0	-	IS	-	-	-
22	42,5	23	10,9	sL	4,7	0,6	0,5
23	23,4	10	27,5	IS	2,0	0,8	0,5
24	18,9	18	22,9	sL	4,9	1,4	1,1
25	15,8	9	23,8	sL	2,0	0,6	0,5
26	6,4	6	10,4	IS	1,2	0,1	0,1
27	10,4	1	4,8	uL	28,7	1,4	1,4
28	0	0	-	-	-	-	-
29	0	0	-	-	-	-	-
30	1.150,0	8*	67,1	sL	0,4	0,7	0,2
31	136,0	8	37,5	sL	0,6	0,3	0,2
32	0	0	-	uL	-	-	-

Nachfolgend aufgeführte Merkmale wurden je Schlag und Jahr erfasst:

- die angebaute Haupt- und Zwischenfrucht
- die je Hektar und Jahr ausgebrachte Menge an organischen und mineralischen Düngemitteln
- die erzielten Erträge an Haupternteprodukten
- Leguminosenanteil im Ackerfutterbau
- die vom Ackerschlag abgefahrenen Koppelprodukte (z. B. Stroh)
- die auf dem Schlag durchgeführte Bodenbearbeitung einschließlich Angaben zum eingesetzten Gerät, dem Termin der Bearbeitung und der Bearbeitungstiefe
- die auf dem Ackerschlag vorhandene Bodenart sowie die mittlere Ackerzahl (Angaben gemäß der Reichsbodenschätzung)
- die Schlaggröße
- der Gehalt des Bodens in der Ackerkrume an Gesamtkohlenstoff (C_{org}) und Gesamtstickstoff (N_t)
- der Gehalt an pflanzenverfügbarem P, K und Mg sowie
- der pH-Wert des Bodens.

Schnittguterträge an Heu und Silage wurden auf Frischmasseerträge umgerechnet und entsprechend in den Schlagdatenblättern ausgewiesen. Es wurden die überregional abgestimmten Datenbanken über Nährstoffgehalte der Fruchtarten und Düngemittel verwendet, die auch im Teil Ökologischer Landbau des Programms BEFU hinterlegt sind (ALBERT et al., 2007; KOLBE & KÖHLER, 2008). Die berechneten Ergebnisse wurden einzelschlagspezifisch ausgewiesen und anschließend zur Aggregation auf Ebene eines Betriebes sowie aller untersuchten Ackerflächen in Sachsen unter Berücksichtigung der jeweiligen Flächengröße als gewogenes Mittel aller Betriebe oder von bestimmten Betriebstypen zusammengefasst.

Zu den Ergebnissen der Bodenuntersuchung wurden, soweit vorhanden, auch die jeweiligen Untersuchungsmethoden vermerkt. Zudem wurden in den Betrieben einzelschlagspezifische Daten der Ackerkrume, die aus dem Zeitraum 1990 – 2005 vorlagen, in die Dokumentation aufgenommen. In wenigen Fällen waren Angaben zum N_{min} -Vorrat im Boden vorhanden, die ebenfalls schlagspezifisch dokumentiert wurden. Daten zum Vorrat an S_{min} im Boden und zum Vorrat an Mikronährstoffen des Bodens der Ackerschläge aus dem Zeitraum 1990 – 2011 lagen in keiner Acker- und Grünlandschlagkartei der Betriebe vor. Neben schlagspezifischen Daten wurden in den Stammdatenblättern der Betriebe die mittleren jährlichen Niederschläge, die mittlere Höhenlage des Betriebes und die Jahresmitteltemperatur am Standort erfasst. Darüber hinaus wurden folgende Angaben zur Anbau- und Betriebsstruktur des Jahres 2011 aufgenommen:

- Summe Acker- und Grünlandflächen
- Umfang und Art der Tierhaltung
- der Art der Aufstallung der Tiere im Hinblick auf die anfallenden Wirtschaftsdüngemittel sowie
- Anbauverhältnisse und Fruchtfolgen auf den Ackerschlägen.

Zusätzlich wurden in der Regel je Betrieb auf jeweils sieben Schlägen Bodenproben aus 0 – 20 cm (Ackerflächen) bzw. 0 – 10 cm (Grünlandflächen) entnommen. Die Gehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffen an P und K wurden im CAL-Extrakt (SCHÜLLER, 1969), Mg im $CaCl_2$ -Extrakt (SCHACHTSCHABEL, 1956), sowie der

pH-Wert (gemessen in 0,01 M CaCl₂) und der Gehalt an Mikronährstoffen durch die Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) in Leipzig bzw. Nossen ermittelt. Hierbei wurde der Gehalt an pflanzenverfügbarem Kupfer (Cu), Mangan (Mn) und Zink (Zn) im Ackerboden und Grünlandboden sowie zusätzlich auch Bor (B) und Molybdän (Mo) im Grünlandboden nach der CAT-Methode extrahiert (ANON., 2004) sowie die Gehalte an B und Mo nach der Heißwasser-Methode von BERGER & TRUOG (ANON., 1991). In älteren Bodenuntersuchungen wurden zudem die pflanzenverfügbaren Nährstoffe P und K auch mit der DL-Methode nach EGNER & RIEHM (1956) bestimmt (siehe ALBERT et al., 2007).

2.2 Bewertung des Nährstoff- und Humusmanagements

Die Bewertung des Nährstoff- und Humusmanagements der erfassten Betriebe erfolgte einerseits hinsichtlich des aktuellen Versorgungszustandes der Böden und andererseits hinsichtlich der errechneten Nährstoffbilanzen der Schläge.

Die Beurteilung des aktuellen Versorgungszustandes der Böden mit den Hauptnährstoffen Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) sowie die Beurteilung des pH-Wertes der Böden und der Humusbilanzen erfolgte nach der VDLUFA Klassifikation. Die Humusbilanzen wurden mit der standortangepassten Methode mit dem Programm BEFU für jeden Ackerschlag berechnet. Die Düngungsbemessung für P, K und Mg sowie für die Kalkung erfolgte ebenfalls mit dem Programm BEFU, Teil ökologischer Landbau (KOLBE & KÖHLER, 2008; KOLBE & SCHUSTER, 2011).

Zur schlagbezogenen Beurteilung einer möglichen Ertragsgefährdung durch suboptimale Bodengehalte der Hauptnährstoffe P, K und Mg, einen suboptimalen pH-Wert oder einer zu geringen Zufuhr an organischer Substanz (Humus) wurde die 5-stufige VDLUFA-Klassifikation (VDLUFA, 1999, 2000, 2014, 2015) in ein 3-stufiges Bewertungsschema überführt. Eine Ertragsgefährdung wurde angenommen, wenn sich die Bodengehalte der Hauptnährstoffe P, K, Mg unterhalb der für den ökologischen Landbau als optimal geltenden Versorgungsklasse B, bzw. der pH-Wert der Böden sowie die schlagbezogenen Humusbilanzen unterhalb der Versorgungsklasse C befanden (Tabelle 3).

Aus entsprechenden experimentellen Arbeiten geht eindeutig hervor, dass die Wahrscheinlichkeit einer Ertragsgefährdung und weitere negativen Aspekte der Bodenfruchtbarkeit deutlich ansteigt, wenn die Versorgungsklasse A (Grundnährstoffe P, K, Mg) sowie die Klasse A bzw. B (pH-Wert, Nährstoff- u. Humussalden) erreicht werden (KOLBE, 2010, 2015). Umgekehrt wurde von einer Überversorgung ausgegangen, wenn die Bodengehalte für P, K und Mg sowie der pH-Wert die Versorgungsklasse C überschritten bzw. die Humusbilanzsalden im Bereich der Klasse E lagen. Hohe und sehr hohe P-Gehalte des Bodens und/oder sehr hohe Humussalden bedeuten ein erhöhtes Risiko für Nährstoffverluste und wurden daher als Indiz für eine (potenzielle) Umweltgefährdung gewertet.

Die Bewertung der Gehalte an Mikronährstoffen in den Ackerböden erfolgte gemäß den Angaben der Thüringischen Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL, 2005; ZORN et al., 2007) ebenfalls mit einer dreistufigen Klassifizierung (A = niedriger Gehalt, C = mittlerer Gehalt (optimal), E = hoher Gehalt). Für Molybdän ist eine Bewertung nur in der Tendenz, nicht aber anhand von Richtwerten möglich, da die Bestimmung der Bodengehalte nicht nach der Ammoniumoxalat/Oxalsäure-Methode nach GRIGG (ANON., 1978) erfolgte. Da für die Gehalte an Mikronährstoffen in Grünlandböden, die mittels der CAT-Methode extrahiert wurden, kein Klassifizierungsrahmen vorliegt, werden die entsprechenden Ergebnisse ohne Bewertung lediglich als Gehalte im Boden dargestellt.

Tabelle 3: Bewertung der Bodengehalte für die Hauptnährstoffe P, K, Mg, der pH-Werte und der Humusbilanzen auf der Grundlage der VDLUFA-Versorgungsklassen

Bewertung			VDLUFA-Versorgungsklassen		
			P, K, Mg	pH-Wert	Humusbilanz
I	gering	potenzielle Ertragsgefährdung	A	A, B	A, B
II	optimal	Erreichung u. Sicherung optimaler Erträge	B, C	C	C, D
III	hoch	Übersorgung, ggf. potenzielle Umweltgefährdung	D, E	D, E	E

Die Nährstoffbilanzierung wurde ebenfalls mit der aktuellen Version des Programms BEFU, Teil Ökologischer Landbau in Form von Schlagbilanzen für Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg) sowie Schwefel (S) berechnet. Die N-Bilanzen sowie die symbiotische N₂-Fixierleistung der Haupt- und Zwischenfruchtleguminosen wurden entsprechend den im Programm angegebenen Kalkulationsansätzen ermittelt (KOLBE & KÖHLER, 2008). Für Stickstoff und Schwefel werden Brutto-Bilanzen dargestellt, die auch Zuflüsse über trockene, feste oder gasförmige Depositionen berücksichtigen (N: 30 kg/ha Deposition, 10 kg/ha nicht-legume N-Bindung, Saat- u. Pflanzgut; S: 8 kg/ha Deposition). Nicht berücksichtigt sind gasförmige Verluste z. B. beim Mulchen von Futterleguminosen und Austräge über die Auswaschung.

Zur schlagbezogenen Beurteilung einer möglichen Ertragsgefährdung durch suboptimale Nährstoffbilanzsalden wurde ebenfalls eine 3-stufige Klassifizierung entwickelt, wobei für die Nährstoffe K und Mg zwischen leichten bzw. mittleren bis schweren Böden auf Grund deren unterschiedlichen Nachlieferungspotenzialen (KOLBE & KÖHLER, 2008) unterschieden wurde (Tabelle 4). Eine Ertragsgefährdung wurde angenommen, wenn sich die Salden der Hauptnährstoffe im Bereich der Klasse I befanden. Dies wäre bei Stickstoff beispielsweise bei Salden < 0 kg N/ha*a der Fall. Bei P, K und Mg wurde eine Ertragsgefährdung durch zu niedrige Salden nur angenommen, wenn zu geringe Bodengehalte dieser Nährstoffe nach Tabelle 3 bereits eine Ertragsgefährdung erwarten lassen, wodurch bereits ableitbare Gefährdungen durch zu geringe Salden somit noch verstärkt würden. Salden der Klasse III (hoch) für Stickstoff und eingeschränkt auch für Phosphor wurden als Indiz einer möglichen Umweltgefährdung durch Nährstoffausträge bewertet.

Die Stickstoffeffizienz gibt Auskunft, welcher prozentuale Anteil des eingesetzten Stickstoffs zum Ertrag beigetragen und mit der Ernte das Feld verlassen hat. Sie wurde berechnet aus dem Quotienten der N-Abfuhr und der Summe aller N-Zufuhren.

Tabelle 4: Bewertung der Nährstoffbilanzsalden

Bewertung		Nährstoffbilanz-Saldo [kg/ha*a]						
		N	P	K leichte Böden ¹⁾	Mg leichte Böden ¹⁾	S	Mg mittlere u. schwere Böden ²⁾	
I	gering	< 0	< -2	< 0	< -40	< 0	< -20	< 0
II	mittel	0 - 50	-2 - 5	0 - 30	-40 - 0	0 - 10	-20 - 0	0 - 20
III	hoch	> 50	> 5	> 30	> 0	> 10	> 0	> 20

¹⁾ leichte Böden = S, SI, IS

²⁾ mittlere u. schwere Böden = SL, sL, L, IT, T

2.3 Bewertung der Fruchtfolgegestaltung

Im Gegensatz zum Nährstoff- und Humushaushalt existiert zur Bewertung von Fruchtfolgen bisher kein einheitliches Klassifikationsschema. Die Fruchtfolgegestaltung dient der Sicherung und Mehrung der Bodenfruchtbarkeit (Humusgehalt, Nährstoffdynamik), ist eine vorbeugende Maßnahme gegen Krankheits- und Unkrautauflaufen und sichert damit auch das Ertrags- und Qualitätsniveau der Fruchtarten (KOLBE, 2006, 2008). In viehhaltenden Betrieben trägt sie zusätzlich zur Abdeckung des Futterbedarfs der Tiere bei. Die hier zu ihrer Bewertung der Fruchtfolgen entwickelten Kriterien orientieren sich an diesen Grundfunktionen.

Regulierung des Unkrautauflaufens

Ein Einfluss der Fruchtfolge auf die Verunkrautung resultiert vor allem aus der unterschiedlichen Begünstigung des Auflaufens von Herbst- und Frühjahrskeimern, der Konkurrenzwirkung der Kulturen in Abhängigkeit von der Vorfrucht und dem Anteil konkurrenzstarker bzw. infolge ihrer Anbautechnik unkrautarmer Kulturen.

Der regelmäßige Wechsel zwischen Sommerung und Winterung gehört seit je her zu den wirkungsvollsten vorbeugenden Maßnahmen zur Regulierung der Verunkrautung und verhindert das übermäßige Auftreten einzelner Arten. Allerdings sind diesem regelmäßigen Wechsel vielfach ökonomische Grenzen gesetzt. Für die Bewertung wurde es daher als ausreichend erachtet, wenn je Schlag zumindest alle 2 Jahre zwischen Sommerung und Winterung gewechselt wurde (günstig, Klasse II, Tabelle 5). Wurden Sommerung oder Winterung innerhalb der 6-jährigen Untersuchungsperiode mehr als 2-mal nacheinander auf einem Schlag angebaut, wurde die Fruchtfolgegestaltung in diesem Kriterium als ungünstig (Klasse I) bewertet. Der Getreideanbau bildet auch im ökologischen Landbau die Grundlage für den wirtschaftlichen Erfolg (BECKMANN et al., 2001). Ein Getreideanteil von 30 % an der Fruchtfolge sollte daher nicht unterschritten werden. Andererseits ist mit steigendem Getreideanteil auch mit einem starken Anstieg der Verunkrautung zu rechnen (PALLUT, 2000). Für die Bewertung wurde ein Getreideanteil von 30 – 50 % als günstig definiert (Tabelle 5).

Dem Feldfutterbau mit Leguminosen kommt im ökologischen Landbau aufgrund seiner Bedeutung für die Bereitstellung von Stickstoff und den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit eine zentrale Rolle beim Aufbau von Fruchtfolgen zu. Zugleich kann der Anbau von mehrjährigem Feldfutterbau, wie Klee- oder Luzernegras, wirkungsvoll zur Unkrautkontrolle beitragen. Sein Fruchtfolgeanteil sollte so bemessen werden, dass der (wirtschaftliche) Gesamtnutzen maximiert wird. In vieharmen bzw. viehlosen Betrieben sind die wirtschaftlichen Grenzen durch die Verwertungsmöglichkeiten für die Aufwüchse gesetzt (Kolbe et al., 2006). Für die Bewertung wurde ein Feldfutteranteil an der Fruchtfolge von 15 – 30 % als günstig angenommen (Tabelle 5).

Tabelle 5: Kriterien zur Bewertung der Fruchtfolgefunktion zur Regulierung der Verunkrautung

Bewertung	Kriterium
Wechsel Sommerung/Winterung	
II günstig	bis 2-mal Sommerung/Winterung nacheinander
I ungünstig	> 2-mal Sommerung/Winterung nacheinander
Getreideanteil	
II günstig	30 - 50 % Getreide (2 - 3-mal in 6 Jahren)
I ungünstig	< 30 % oder > 50 % Getreide (< 2- oder > 3-mal in 6 Jahren)
Anteil Feldfutterbau	
II günstig	15 - 30 % (1 - 2-mal in 6 Jahren)
I ungünstig	< 15 % oder > 30 % (< 1-mal oder > 2-mal in 6 Jahren)

Regulierung des Krankheits- und Schädlingsbefalls

Das Auftreten von Krankheiten und Schädlingen kann zu erheblichen Ertragseinbußen, sowohl hinsichtlich der Höhe als auch der Qualität der Ernteprodukte führen. Fruchtfolgen können das Aufkommen von Schaderregern mindern, wenn Vorgaben für Gesamtanteile und Abfolgen einzelner Fruchtarten oder ganzer Pflanzenfamilien beachtet werden. Dabei hat die Einhaltung entsprechender Anbaupausen zwischen Wirtspflanzen des Erregers entscheidende Bedeutung (KOLBE, 2008).

Im Kartoffelbau gibt es eine Reihe von Schaderregern, die an Ernteresten im Boden überdauern. Hierzu zählen Nematoden aber auch saprophytisch lebende Pathogene, wie der Erreger der Wurzeltöterkrankheit. Um den Befall auszuschließen oder zumindest zu mindern, muss der Selbstfolgeabstand der Kartoffel mindestens 4 Jahre, besser 5 – 6 Jahre betragen. Der Anteil von Kartoffeln in der Fruchtfolge sollte daher 25 % nicht überschreiten (Kolbe et al., 2012). In vorliegender Untersuchung durfte innerhalb des 6-jährigen Untersuchungszeitraums die Kartoffel deshalb nur 1-mal auf der gleichen Fläche angebaut werden, um eine gute Bewertung (Klasse II) im Kriterium „Anteil Kartoffelbau“ zu erhalten (Tabelle 6).

Aufgrund ihrer Fähigkeit zur N₂-Fixierung, des großen Wurzelwerkes und der Gare fördernden Wirkung haben Körnerleguminosen eine hervorragende Vorfruchtwirkung. Erbsen, Ackerbohnen und Lupinen kennzeichnet aber auch eine ausgeprägte Selbstunverträglichkeit. Neben der direkten Selbstfolge ist es ebenfalls zu vermeiden, andere Leguminosen ohne entsprechende Anbaupause auf die gleiche Fläche zu bringen. In Erbsenbeständen können Anbaupausen von weniger als 5 – 6 Jahren zur Erbsenmüdigkeit (Keimungsanomalien, Aufgangsstörungen, verringertes Wurzelwachstum) führen, die sich letztlich in Ertragsdepressionen niederschlagen. Als Ursache sind verschiedene, zumeist bodenbürtige pilzliche Erreger bekannt (KRAFT & PFLÉGER, 2001).

Bei Ackerbohne und Erbse ist zu beachten, dass sie zu den Wirtspflanzen des Erregers der Weißstängeligkeit (*Sclerotinia sclerotiorum*) gehören. Um die Gefahr von Fuß- und Welkekrankheiten bei der Ackerbohne zu minimieren, sind ebenfalls Anbaupausen von 4 – 6 Jahren erforderlich. Bei der Lupine muss wegen der Anthraknose (*Colletotrichum* spp.) zu ähnlichen Anbaupausen geraten werden. Für die Bewertung wurde ein Anteil Körnerleguminosen (Erbse, Ackerbohne, Lupine) von < 20 % an der Fruchtfolge, bzw. Anbaupausen von mindestens 5 Jahren als günstig (Klasse II) angenommen (Tabelle 6). Höhere Fruchtfolgeanteile dieser Artengruppe bzw. geringere Anbaupausen führen mittelfristig unweigerlich zu Ertragsrisiken (Klasse I).

Auch Ölfrüchte wie Raps und Sonnenblumen werden von einer Vielzahl von Krankheiten befallen, die zu erheblichen Ertragseinbußen führen können (Arp et al., 2010). Hierzu zählen vor allem die bodenbürtigen Erreger der Weißstängeligkeit (*Sclerotinia sclerotiorum*) und der Rapswelke (*Verticillium longisporum*) sowie auch der Kohlhernie (*Plasmodiophora brassicae*). Dazu können auch tierische Schaderreger, wie Rapserrdfloh, Rapsstängelrüssler, Kohlflye und Rapsglanzkäfer, erhebliche wirtschaftliche Schäden verursachen. Das Auftreten dieser Schädlinge und Krankheiten wird maßgeblich von der Anbaukonzentration beeinflusst. Es kann durch eine angepasste Fruchtfolgegestaltung wesentlich gemindert werden. Für Raps sind gemeinhin Anbaupausen von mindestens 3 Jahren erforderlich (Könnecke, 1967). Sind weitere Wirtspflanzen dieser Krankheiten und Schädlinge, wie etwa andere Kreuzblütler oder Sonnenblumen, ggf. auch als Zwischenfrucht in der Fruchtfolge, so sind auch deutlich höhere Anbaupausen nötig. Für Sonnenblume werden Pausen bis 5 Jahren, für Öllein sogar von 6 – 7 Jahren gefordert (LfL, 2006; Heyland et al., 2006). Für die Bewertung wurden eine Anbaukonzentration dieser Ölpflanzen von < 25 %, bzw. Anbaupausen von mindestens 5 Jahren als günstig (Klasse II) angenommen (Tabelle 6).

Aufgrund seiner Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit und das N-Management, ist die Erhaltung gesunder Bestände auch im Feldfutterbau mit Leguminosen wichtig. Infektionen mit pilzlichen, meistens bodenbürtigen

Erregern können erhebliche Ertragsausfälle verursachen (FREYER et al., 2005; SCHMIDTKE, 2016). Mischinfektionen mit Erregern der bei vielen Leguminosen auftretenden Fuß- und Brennfleckenkrankheit können Verluste bis zu 75 % verursachen. Aber auch der Kleekrebs kann in Rotklee und Luzerne zu deutlichen Ausfällen führen.

Im Kleegrasanbau wird die verbreitete zu beobachtende Bodenmüdigkeit auf den Anstieg von pflanzenparasitären Nematoden, z. B. dem Kleestängelälhchen zurückgeführt (Serikstad et al., 2013). Mit dem Frisch- oder Trockenmasseertrag sinkt regelmäßig auch die N₂-Fixierungsleistung der Bestände. Für die Bewertung wurde ein Rotkleeanteil von < 35 %, ein Luzerneanteil von < 20 % oder ein Lupinenanteil von < 20 % als günstig angenommen, sofern auf den Anbau der jeweils anderen Arten verzichtet wird (Tabelle 6). Ist der Boden allerdings erst einmal mit diesen Erregern infiziert, sind auch erheblich längere Anbaupausen erforderlich, da manche Erreger über viele Jahre im Boden überdauern können (FREYER et al., 2005).

Tabelle 6: Kriterien zur Bewertung der Fruchtfolgefunktion zur Regulierung des Krankheitsbefalls

Bewertung	Kriterium
Anteil Kartoffelbau	
II günstig	< 25 % (bis 1-mal in 6 Jahren)
I ungünstig	> 25 % (> 1-mal in 6 Jahren)
Anteil Körnerleguminosen (Erbse, Ackerbohne, Lupine)	
II günstig	< 20 % (bis 1-mal in 6 Jahren)
I ungünstig	> 20 % (> 1-mal in 6 Jahren)
Anteil Ölfrüchte (Raps, Sonnenblume etc.)	
II günstig	< 25 % (bis 1-mal in 6 Jahren)
I ungünstig	> 25 % (> 1-mal in 6 Jahren)
Anteil Rotklee/Luzerne/Lupine	
II günstig	< 35 % Rotklee (< 2-mal in 6 Jahren), 0 % Luzerne, 0 % Lupine < 20 % Luzerne (< 1-mal in 6 Jahren), 0 % Klee, 0 % Lupine < 20 % Lupine (< 1-mal in 6 Jahren), 0 % Klee, 0 % Luzerne
I ungünstig	> 35 % Rotklee (> 2-mal in 6 Jahren), 0 % Luzerne, 0 % Lupine > 20 % Luzerne (> 1-mal in 6 Jahren), 0 % Klee, 0 % Lupine > 20 % Lupine (> 1-mal in 6 Jahren), 0 % Klee, 0 % Luzerne

Förderung der Bodenfruchtbarkeit

Zwischenfruchtanbau ist in viehlosen und viehschwachen Betrieben neben dem Anbau von Körnerleguminosen als Hauptfrucht eine wichtige Möglichkeit, die Bodenfruchtbarkeit zu verbessern. Mit Zwischenfrüchten wird vor allem eine hohe Stickstofffixierung in Verbindung mit einer Nährstoffkonservierung über den Winter sowie eine guten Unkrautunterdrückung angestrebt. Die Zwischenfrüchte sorgen für Bodenbedeckung und dienen den Bodenlebewesen als Nahrungsgrundlage. Ständige Bodenbedeckung bedeutet Humusaufbau und damit verbesserte Speichermöglichkeiten für Wasser und pflanzenverfügbare Nährstoffe (KOLBE et al., 2004).

Zwischenfrüchten können als Stoppelsaaten oder Winterzwischenfrüchte zwischen zwei Hauptfrüchten oder als Untersaat in eine Deckfrucht genutzt werden. Feldfutter, das zwar als Stoppel- oder Untersaat angesät, im Folgejahr aber als Hauptfrucht fungiert, gilt nicht als Zwischenfrucht. Die Option für den Anbau einer Winterzwischenfrucht besteht in der Regel nur, wenn als Hauptfrucht eine Sommerung (Getreide oder Blattfrüchte)

folgt, damit sich die Zwischenfrucht nach der Aussaat ausreichend entwickeln und ihre Funktionen erfüllen kann. Die Option für eine Untersaat verlangt lichte Bestände bei der Deckfrucht. Wurde diese Optionen auf den untersuchten Schlägen mindestens 1-mal innerhalb des 6-jährigen Beobachtungszeitraums genutzt, wurde das Fruchtfolgemanagement in diesem Punkt als günstig (Klasse II) bewertet (Tabelle 7).

Der Anbau von Leguminosen, ob als Feldfutter oder als Marktfrucht, spielt in den Fruchtfolgen des Ökologischen Landbaus eine zentrale Rolle. Von ihm hängt der Stickstoff-Input im Betriebskreislauf maßgeblich ab. Ein zu geringer Anteil an Leguminosen mindert den Ertrag der Marktfrüchte aufgrund zu geringen N-Inputs, ein zu hoher Anteil verringert den Markterlös der gesamten Fruchtfolge. Für die Bewertung wurde ein Leguminosenanteil von 25 – 35 % (1-2-mal in 6 Jahren) als günstig angenommen (Tabelle 7).

Eng mit dem Leguminosenanbau verbunden ist die Frage nach der Stellung der Leguminosen in der Fruchtfolge. Grundsätzlich sollten nach Feldfutter-, Gründüngungs- oder Körnerleguminosen als 2. Fruchtfolgeglied anspruchsvolle Nichtleguminosen wie Kartoffeln und Mais auf leichteren Böden oder Winterweizen, Sommerweizen und Mais bzw. Winterraps auf mittleren bis schweren Böden folgen (KOLBE, 2006, 2008). Bei Einhaltung dieser Anbaureihenfolge wurde das Fruchtfolgemanagement in diesem Kriterium als günstig (Klasse II) bewertet. Abweichungen führten zu einer Minderbewertung (Tabelle 7)

Tabelle 7: Kriterien zur Bewertung der Fruchtfolgefunktion zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit

Bewertung	Kriterium
Zwischenfruchtanbau (Blank- oder Untersaat)	
II günstig	≥ 1-mal in 6 Jahren (sofern Option vorhanden)
I ungünstig	< 1-mal in 6 Jahren (sofern Option vorhanden)
Bewertung des Leguminosenanteils	
I ungünstig	< 25 % (weniger als 1-mal in 6 Jahren) oder > 35 % (>2-mal in 6 Jahren)
II günstig	25 – 35 % (1-2-mal in 6 Jahren)
Bewertung des ersten Fruchtfolgegliedes nach Leguminosenanbau	
II günstig	leichte Böden: Kartoffeln, Mais oder andere anspruchsvolle Fruchtarten mittlere bis schwere Böden: Weizen, Mais, Raps oder andere anspruchsvolle Arten

2.4 Statistische Verrechnung

Gewogener Mittelwert

Die untersuchten Betriebe unterscheiden sich in der Anzahl ihrer Schläge und die Einzelschläge in ihren Schlaggrößen. Um für die einzelnen Untersuchungsparameter zu Mittelwerten auf Betriebsebene und für die untersuchten Betriebe insgesamt zu gelangen, war eine Bereinigung der Ergebnisse um die unterschiedlichen Schlagzahlen und Flächengrößen erforderlich.

Hierzu wurden die erhobenen Parameter schlagweise mit den jeweiligen Schlaggröße multipliziert, die entstandenen Produkte betriebsweise und über alle Betriebe aufsummiert und schließlich durch die Summe der Schlaggrößen eines Betriebes oder aller Betriebe dividiert.

Boxplot

Die betriebsweise Verrechnung der Nährstoff- und Humussalden erfolgte mittels Boxplots (siehe Abbildung 1 bis Abbildung 5 sowie Abbildung 14). Darin bedeuten:

- die horizontale Linie innerhalb der Säulen: das arithmetrische Mittel der Schlagsalden je Betrieb
- die untere und obere Begrenzung der Säulen: das erste und dritte Quartil der Verteilungen
- der Fehlerbalken: die Streuung der Daten um den Mittelwert
- die Punkte: die Minima und Maxima der Verteilungen.

Scatterplot

Die Beziehungen zwischen den verschiedenen Parametern des Nährstoffmanagements sind in Scatterplots dargestellt und durch Regressionsanalysen beschrieben (siehe Abbildung 6 bis Abbildung 13 sowie Abbildung 15 bis Abbildung 17). Die Signifikanzniveaus für die berechneten Korrelationskoeffizienten (r) nach PEARSON betragen: $p = 10\%$ (*), $p = 5\%$ (*), 1% (**), $0,1\%$ (***) .

3 Ergebnisse

3.1 Analyse des Nährstoff- und Anbaumanagements auf Betriebsebene

3.1.1 Nährstoffbilanzen

Die aggregierten mittleren Schlagsalden der untersuchten Betriebe für die Nährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg) und Schwefel (S) wurden in Tabelle 8 zusammengefasst. Im flächenbereinigten Mittel aller untersuchten Ackerflächen waren bei Stickstoff mit 31,9 kg/ha*a optimale, bei Phosphor und Kalium mit -9,9 kg bzw. -59,6 kg/ha*a aber deutlich negative Schlagsalden zu verzeichnen. Die Nährstoff-Schlagsalden der Betriebe schwankten im Untersuchungszeitraum zwischen den Betrieben erheblich:

- zwischen -23,0 kg und +86,2 kg je ha und Jahr bei Stickstoff
- zwischen -20,5 kg und +2,1 kg je ha und Jahr bei Phosphor
- zwischen -155,0 kg und +24,8 kg je ha und Jahr bei Kalium
- zwischen -12,1 kg und +86,0 kg je ha und Jahr bei Magnesium sowie
- zwischen -4,5 kg und +9,6 kg je ha und Jahr bei Schwefel.

Auch innerhalb der einzelnen Betriebe waren sowohl für den Nährstoff Stickstoff als auch für Phosphor, Kalium, Magnesium und Schwefel sehr hohe Schwankungen in den Bilanzsalden zwischen den Schlägen zu erkennen (Abbildung 1 bis Abbildung 5). So traten z. B. in einigen Betrieben Differenzen im N-Saldo zwischen den Ackerschlägen von bis zu 120 kg N/ha*a auf. Hinsichtlich des K-Saldos waren sogar Differenzen von bis zu 200 kg K/ha*a zwischen einzelnen Schlägen vorhanden. Während einige Ackerschläge innerhalb des Betriebes im Zeitraum zwischen 2006 und 2011 mit einem hohen Überschuss in der Nährstoffbilanz bewirtschaftet wurden, waren andere Ackerschläge im gleichen Zeitraum mit stark negativen Nährstoffsalden behaftet. Diese Differenzen können Hinweise auf ein unzureichendes schlagspezifisches Nährstoffmanagement im Ackerbau der hier untersuchten Betriebe geben. Zwischen den mittleren Salden der Futterbaubetriebe und den Salden der reinen Marktfruchtbetriebe bestanden hingegen nur geringe Unterschiede.

Nur in drei von 32 Betrieben wurde Phosphor zum Ausgleich der Nährstoffabfuhr in Form von im ökologischen Landbau zugelassenen mineralischen Düngemitteln zugeführt (Tabelle 9), so dass im Durchschnitt aller untersuchten Ackerflächen lediglich 0,3 kg P/ha und Jahr über mineralische Düngemittel verabreicht worden sind. Auch die Höhe der jährlich über mineralische Düngemittel zugeführten Kaliummengen war mit durchschnittlich 1,4 kg K/ha*a insgesamt sehr gering. Kalium wurde über diesen Weg nur in sechs von 32 Betrieben mit einer Spannweite zwischen 0,3 kg und 10,7 kg K/ha*a im Durchschnitt der betrieblichen Ackerflächen zugeführt. In 17 von 32 untersuchten Betrieben fand eine Zufuhr an Magnesium über magnesiumhaltige Kalkdüngemittel statt, allerdings führte dieses im Vergleich zu Phosphor und Kalium zu höheren mittleren Nährstoffzufuhren auf die betriebliche Ackerfläche (17 kg Mg/ha*a).

Erwartungsgemäß waren organische Düngemittel für die Zufuhr an Phosphor und Kalium auf die Ackerflächen wesentlich bedeutsamer als die mineralische Düngung (Tabelle 9). Mit zwei Ausnahmen wurden in allen untersuchten Betrieben organische Düngemittel im Ackerbau eingesetzt und dabei bis zu 74,2 kg N, 17,7 kg P, 90,4 kg K sowie bis zu 57,8 kg Mg pro ha und Jahr ausgebracht. Im flächenbereinigten Durchschnitt aller untersuchten Ackerflächen wurden mit organischen Düngemitteln 26,7 kg Stickstoff, 6,3 kg Phosphor und

31,0 kg Kalium je Hektar und Jahr gedüngt. Die reinen Marktfruchtbetriebe setzten verbreitet Gärrückstände und zugekaufte Wirtschaftsdünger wie Gülle und Stallmist ein und führten hierdurch im Durchschnitt zwischen 3,3 kg und 62,0 kg Stickstoff, zwischen 0,7 kg und 17,7 kg Phosphor und zwischen 3,9 kg und 75,5 kg Kalium je ha und Jahr zu. Überraschender Weise waren die Nährstoffzufuhren über organische Düngemittel im flächenbereinigten Mittel in den reinen Marktfruchtbetrieben sogar etwas höher als in den Betrieben mit Viehhaltung (Tabelle 9). Dieses Ergebnis unterstreicht insgesamt die Bedeutung der organischen Düngemittel für die Nährstoffversorgung im Ackerbau des ökologischen Landbaus in Sachsen, auch der viehlos wirtschaftenden Betriebe.

Tabelle 8: Gewogenes Mittel der Schlagbilanzsalden der Hauptnährstoffe (Jahre 2006 – 2011) der erfassten Ackerschläge in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

Betrieb Nr.	N [kg/ha*a]	P [kg/ha*a]	K [kg/ha*a]	Mg [kg/ha*a]	S [kg/ha*a]
1	1,9	-20,2	-114,1	-12,1	-1,0
2	18,7	-14,1	-77,8	7,2	4,1
3	-2,3	-14,4	-79,7	-7,2	-1,2
4	26,6	-6,4	-52,5	-1,4	-2,2
5	71,4	-4,1	-57,3	-5,9	-4,5
6	19,0	-13,2	-75,5	9,7	2,5
7	35,3	-4,4	-41,1	-4,2	3,4
8	-20,8	-10,4	-64,1	-8,0	3,2
9	11,0	-12,7	-78,8	-7,8	-2,3
10	32,1	-11,2	-30,6	-2,5	2,8
11	86,2	-7,7	-42,3	57,7	6,5
12	59,5	0,2	24,8	7,7	5,4
13	32,0	-10,5	-60,8	67,3	4,0
14	57,4	-10,5	-54,5	17,2	8,9
15	55,2	-6,5	-23,1	-3,8	5,2
16	-23,0	-15,7	-79,4	-9,2	0,0
17	51,8	-0,1	-10,5	-0,6	-0,9
18	27,4	-5,7	-46,9	39,2	4,7
19	20,4	-14,1	-43,8	-3,2	4,3
20	43,8	-0,1	-44,8	-3,3	-2,4
21	-3,6	-11,6	-80,9	-3,4	-1,0
22	54,2	-6,7	-15,0	-2,6	5,4
23	31,9	-6,9	-45,1	86,0	9,1
24	-10,1	-11,3	-73,9	-8,7	3,7
25	7,1	-6,0	-18,4	16,6	5,3
26	33,4	-3,9	-6,0	-1,4	7,0
27	43,0	-3,4	-42,5	42,9	-1,3
28	51,4	-5,5	-37,5	9,0	3,7
29	37,8	-5,6	-24,1	46,1	9,6
30	38,1	-20,5	-155,0	-4,6	2,2
31	5,6	-3,0	-19,1	-2,1	1,2
32	85,5	2,1	-14,7	48,5	0,5
alle Betriebe	31,9	-9,9	-59,6	13,3	3,0
Futterbaubetriebe	31,5	-10,8	-66,6	16,3	3,7
Markfruchtbetriebe	32,4	-8,2	-47,6	8,0	1,8

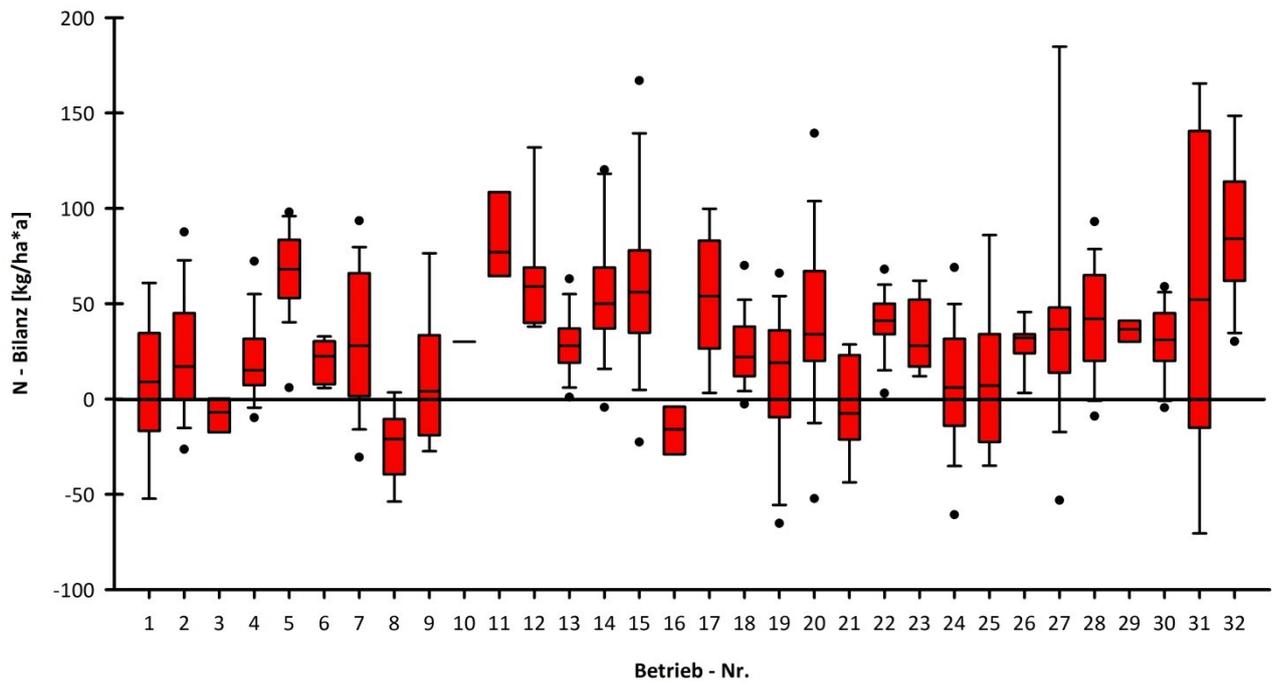


Abbildung 1: Boxplot der N-Schlagbilanzsalden der Ackerschläge von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

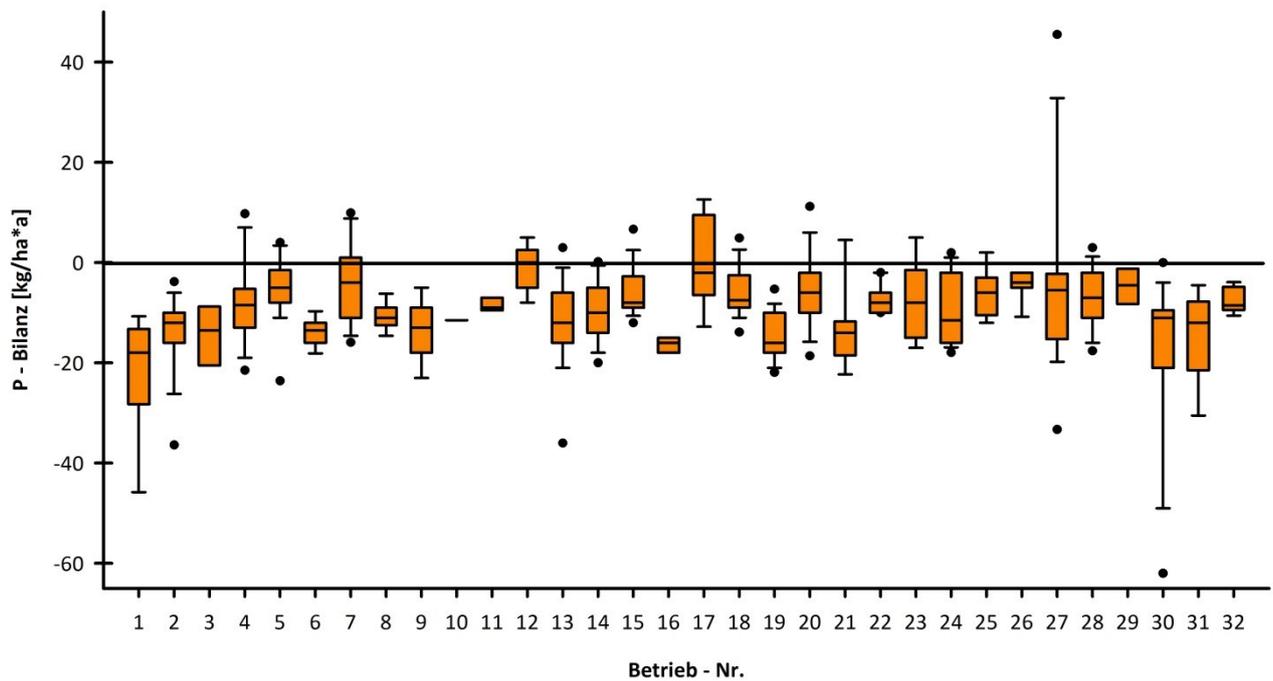


Abbildung 2: Boxplot der P-Schlagbilanzsalden der Ackerschläge von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

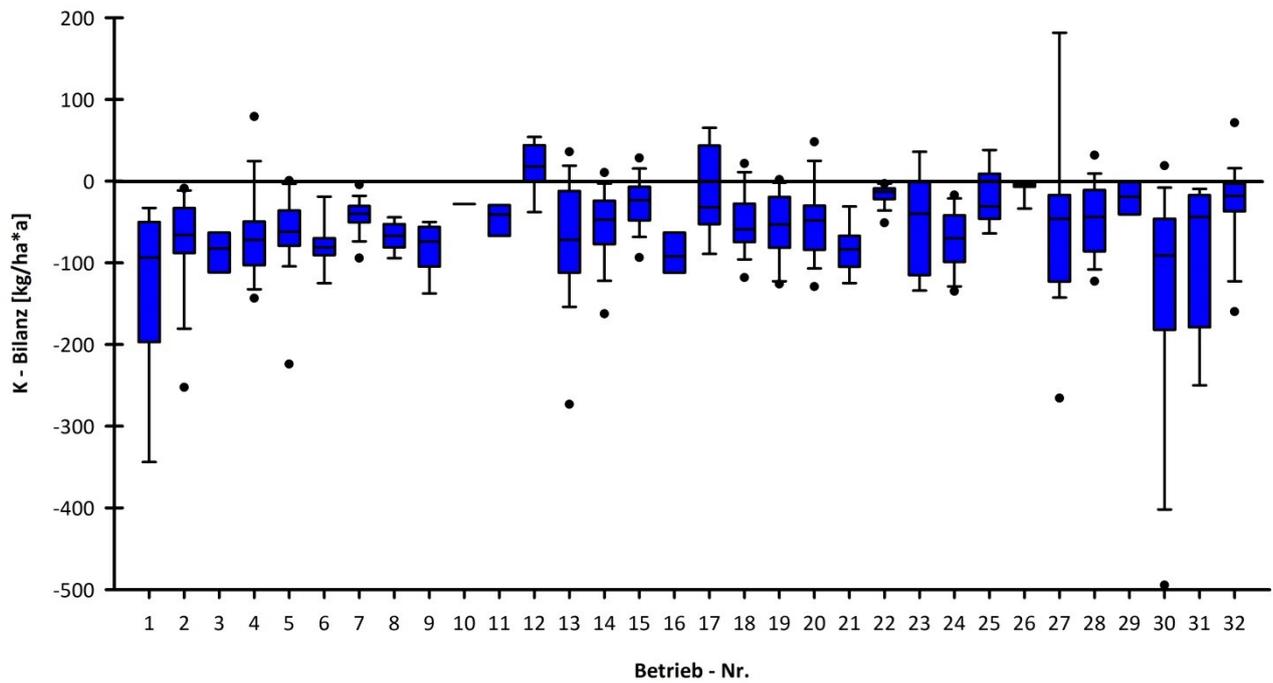


Abbildung 3: Box-Plot der K-Schlagbilanzsalden der Ackerschläge von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

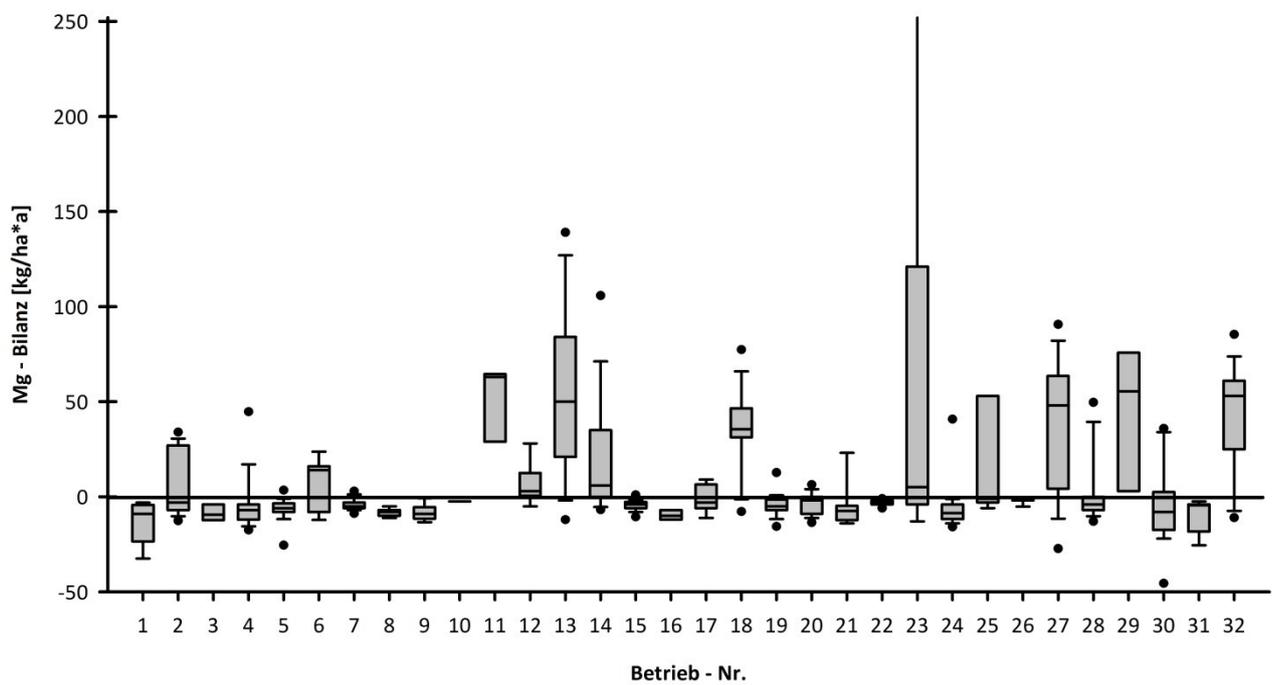


Abbildung 4: Boxplot der Mg-Schlagbilanzsalden der Ackerschläge von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

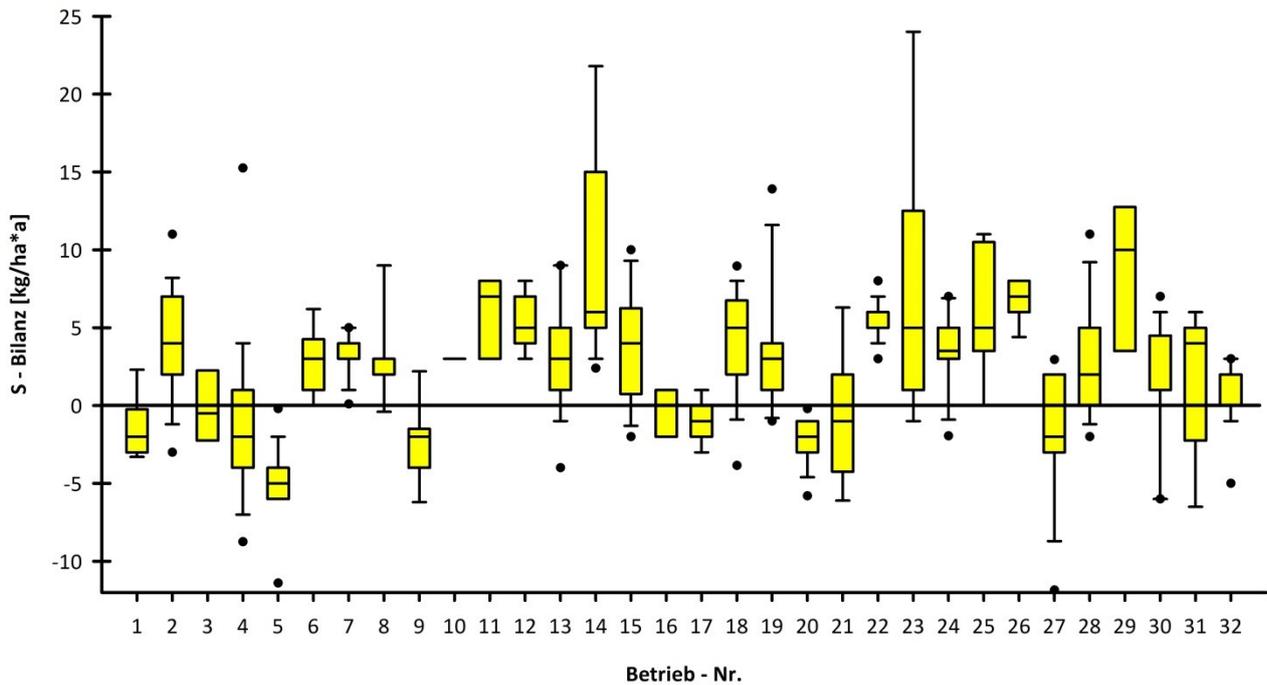


Abbildung 5: Boxplot der S-Schlagbilanzsalden der Ackerschläge von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

Über die symbiotische N_2 -Fixierung der auf den Ackerschlägen angebaute Leguminosen wurden im flächenbereinigten Durchschnitt $50,7 \text{ kg N/ha}^*a$ gesammelt (Tabelle 10), so dass zusammen mit den über organische Düngemittel zugeführten N-Mengen im Durchschnitt $77,4 \text{ kg N/ha}^*a$ auf die Ackerflächen eingebracht wurden. Die legume N_2 -Bindung war im Ackerbau der untersuchten Betriebe mit einem Anteil von $65,5 \%$ an der gesamten N-Zufuhr demnach wesentlich bedeutender als die Zufuhr von Stickstoff über organische Düngemittel. Allerdings war auch hinsichtlich der Mengen ($4,1 - 111,0 \text{ kg N/ha}^*a$) sowie des Anteils der symbiotischen N_2 -Fixierung an der insgesamt zugeführten N-Menge je Ackerfläche eines Betriebes ($44,5 - 100 \%$) eine große Variationsbreite zwischen den untersuchten Betrieben festzustellen.

Die mit dem Erntegut im flächenbereinigten Mittel jährlich von den Schlägen abgeführten Nährstoffmengen sind aus Tabelle 11 zu ersehen. Wie für die übrigen Parameter der Nährstoffbilanzen waren auch für die Abfuhr erhebliche Unterschiede zwischen den Schlägen eines Betriebes und den Betrieben insgesamt erkennbar. Im Mittel betragen die Abfuhr für N 89 kg/ha^*a , für P 16 kg/ha^*a , für K 91 kg/ha^*a und für Mg 10 kg/ha^*a . Zwischen den Veredelungsbetrieben und den Marktfruchtbetrieben bestanden nur geringe Unterschiede.

Zwischen der Herkunft der Stickstoffzufuhr, über den Anbau von Leguminosen oder über organische Düngemittel, und den mittleren N-Schlagsalden der Betriebe bestanden enge Beziehungen (Abbildung 6 bis Abbildung 7). Hohe N-Salden von $> 50 \text{ kg N/ha}^*a$ wurden sowohl durch den Anbau von Leguminosen als auch durch die organische Düngung erzielt. Negative Salden traten selbst bei einer hohen N-Zufuhr von $> 90 \text{ kg/ha}^*a$ über die symbiotische N_2 -Fixierung auf. Auch in der Summe haben beide N-Herkünfte einen deutlichen Einfluss auf die Höhe der N-Schlagbilanzen (Abbildung 8).

Etwas weniger eng ist die Beziehung zwischen den P-Bilanzsalden und den über die organische Düngung zugeführten P-Einträgen (Abbildung 9). Für Kalium bestand zwischen den K-Salden und der organischen K-

Düngung hingegen kein Zusammenhang (Abbildung 10). Insgesamt waren die Schlagbilanzen der Hauptnährstoffe N, P und K eng miteinander verknüpft (Abbildung 11 bis Abbildung 13). Am engsten ist die Beziehung zwischen den mittleren P- und den K-Salden.

Tabelle 9: Gewogenes Mittel (Jahre 2006 - 2011) der über mineralische und organische Düngemittel zugeführten Nährstoffmengen der erfassten Ackerschläge in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

Betrieb Nr.	mineralische Düngemittel [kg/ha*a]			organische Düngemittel [kg/ha*a]			
	P	K	Mg	N	P	K	Mg
1	0,9	0,0	0,0	27,9	5,1	30,5	3,8
2	1,2	4,7	16,3	7,7	1,5	8,8	1,0
3	0,0	0,0	0,0	9,4	2,6	11,8	2,1
4	2,3	0,0	4,9	56,9	12,0	86,9	8,2
5	0,0	0,0	0,0	73,3	16,6	90,4	10,6
6	0,0	0,0	18,9	16,6	4,0	21,9	2,7
7	0,0	0,0	0,0	20,9	7,9	16,0	2,2
8	0,0	0,0	0,0	8,5	2,3	10,4	1,4
9	0,0	0,0	0,0	16,5	5,0	17,3	3,0
10	0,0	0,0	1,9	7,1	1,6	8,8	1,2
11	0,0	0,0	66,4	73,9	11,3	75,5	6,1
12	0,0	0,0	6,6	32,0	8,9	44,5	4,7
13	0,0	0,0	45,3	32,3	7,0	42,5	34,0
14	1,0	3,7	24,2	6,9	1,9	9,9	0,9
15	0,0	0,0	0,0	18,6	3,4	20,8	2,1
16	0,0	0,0	0,0	3,3	0,7	3,9	0,4
17	0,0	0,0	0,0	74,2	13,0	74,1	9,2
18	0,0	0,0	42,3	50,5	12,3	65,2	7,9
19	0,0	0,0	1,8	10,1	2,4	7,6	3,9
20	0,0	0,0	0,0	73,4	0,3	85,0	9,5
21	0,0	0,0	5,2	23,0	6,9	18,8	2,3
22	0,0	0,0	0,0	4,0	1,7	2,5	0,7
23	0,0	1,2	90,2	27,8	6,6	36,5	4,4
24	0,0	0,0	0,4	27,2	7,1	31,1	3,6
25	0,0	0,0	2,5	16,7	4,3	23,0	2,5
26	0,0	0,0	24,4	0,0	0,0	0,0	0,0
27	15,2	74,1	54,1	58,9	15,2	74,1	54,1
28	0,0	0,0	12,8	49,5	11,0	50,6	5,6
29	0,0	0,0	48,8	19,7	6,3	20,0	3,2
30	0,0	0,0	13,7	27,7	6,3	39,3	4,3
31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32	0,0	0,0	0,0	62,0	17,7	73,5	57,8
alle Betriebe	0,7	3,0	15,5	26,7	6,3	31,0	9,9
Futterbaubetriebe	1,0	4,6	18,8	24,7	5,7	31,0	11,5
Marktfruchtbetriebe	0,1	0,4	9,9	30,1	7,5	31,0	7,1

Tabelle 10: Gewogenes Mittel (Jahre 2006 – 2011) der über Haupt- und Zwischenfruchtleguminosen symbiotisch fixierten N-Menge auf den erfassten Ackerschlägen in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

Betrieb Nr.	Leguminosen- anteil der Fruchtfolge [%]	Stickstoffsammlung durch Leguminosen [kg N/ha*a]		
		Hauptfrucht	Zwischenfrucht	Summe Haupt- und Zwischenfrucht
1	13	40,2	3,0	43,2
2	26	48,2	0,1	48,3
3	6	32,1	0,1	32,2
4	17	49,9	8,5	58,4
5	29	99,9	0,0	99,9
6	32	66,5	10,9	77,4
7	16	13,4	17,0	30,4
8	26	15,4	14,0	29,4
9	11	29,6	1,6	31,2
10	34	30,1	18,3	48,4
11	31	109,9	1,1	111,0
12	8	30,8	0,0	30,8
13	11	50,6	1,7	52,3
14	25	92,5	2,6	95,1
15	13	38,7	16,9	55,6
16	39	23,8	0,0	23,8
17	18	42,3	7,6	49,9
18	20	42,1	3,8	45,9
19	7	55,2	9,5	64,7
20	25	51,1	5,6	56,7
21	8	27,3	0,7	28,0
22	13	33,7	6,1	39,8
23	30	36,4	3,5	39,9
24	26	46,5	0,8	47,3
25	14	8,0	8,7	16,7
26	3	4,1	0,0	4,1
27	18	44,4	14,5	58,9
28	22	51,8	0,0	51,8
29	16	37,1	1,8	38,9
30	23	5,34	54,7	60,0
31	24	19,5	0,0	19,5
32	9	62,2	14,6	76,8
alle Betriebe	18	45,9	4,8	50,7
Futterbaubetriebe	19	44,6	5,4	50,0
Marktfruchtbetriebe	17	48,0	4,0	52,0

Tabelle 11: Gewogenes Mittel der von den erfassten Ackerschlägen mit dem Erntegut abgefahrenen Nährstoffmengen der Hauptnährstoffe (Jahre 2006 – 2011) in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

Betrieb Nr.	Nährstoffabfuhr [kg/ha*a]			
	N	P	K	Mg
1	113	26	145	16
2	80	17	91	10
3	87	17	91	9
4	131	21	139	14
5	144	21	148	16
6	117	17	97	12
7	59	12	57	6
8	102	13	74	9
9	79	18	96	11
10	69	13	39	6
11	141	19	118	15
12	47	9	20	4
13	95	17	103	12
14	90	13	68	8
15	63	10	44	6
16	93	16	83	10
17	115	13	85	10
18	111	18	112	11
19	99	16	51	7
20	130	18	130	13
21	98	19	100	11
22	48	8	18	3
23	78	14	83	9
24	128	18	105	13
25	61	10	41	5
26	16	4	6	1
27	116	19	118	12
28	94	17	88	9
29	65	12	44	6
30	94	27	194	23
31	22	3	19	2
32	100	16	88	9
alle Betriebe	89	16	91	10
Futterbaubetriebe	86	17	98	11
Marktfruchtbetriebe	94	16	79	9

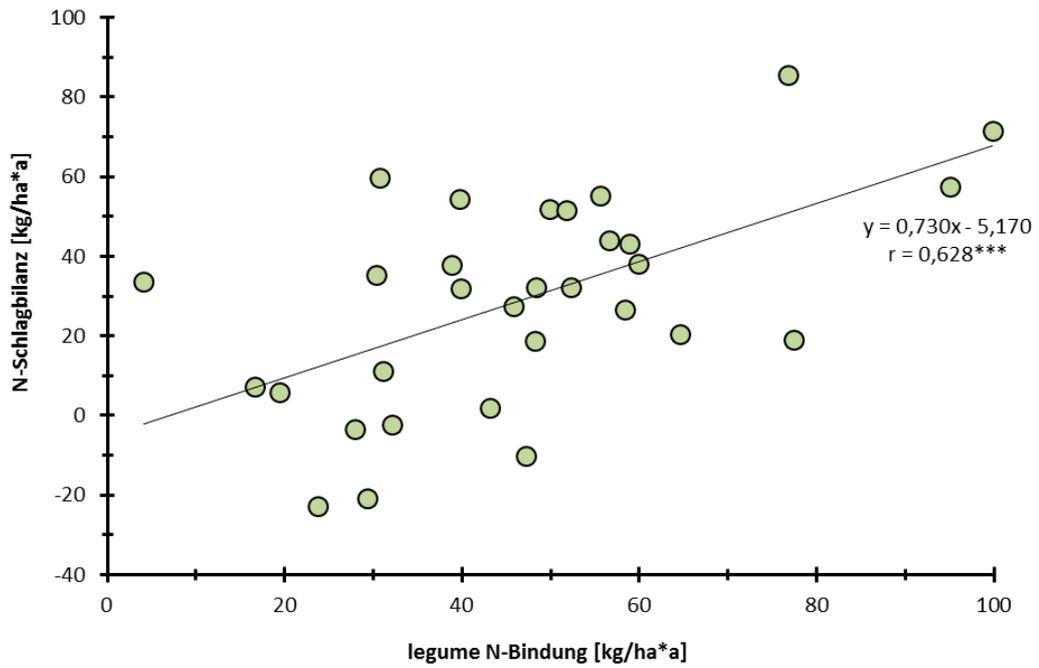


Abbildung 6: Beziehungen zwischen der im gewogenen Mittel der Ackerflächen der Betriebe durch den Leguminosenanbau erzielten symbiotisch fixierten N-Mengen und den entsprechenden N-Schlagsalden in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

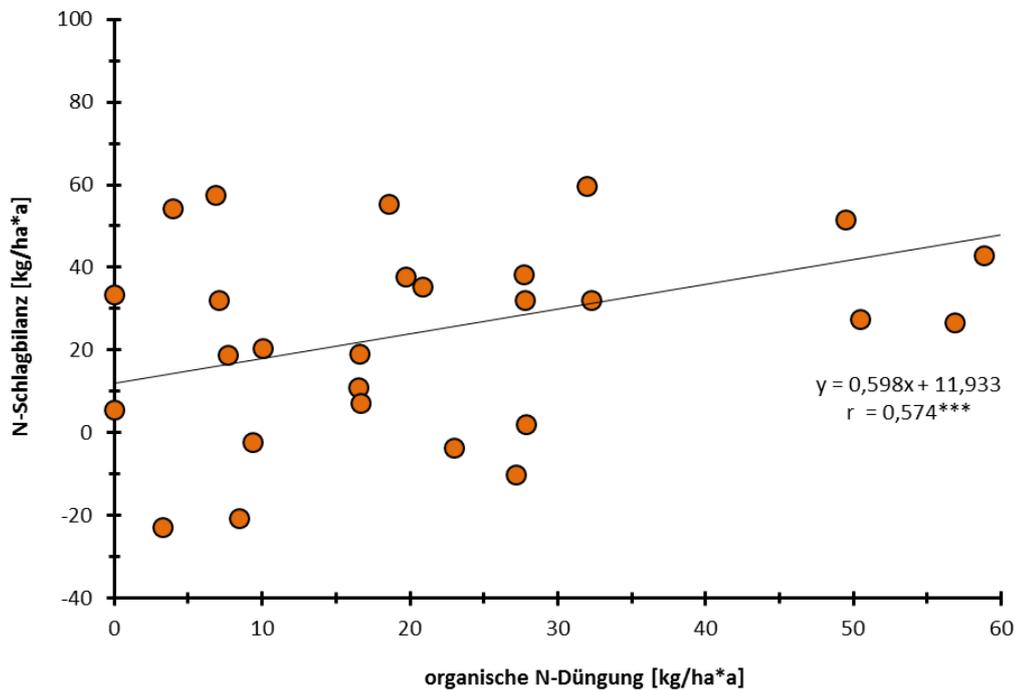


Abbildung 7: Beziehungen zwischen den im gewogenen Mittel der Ackerflächen der Betriebe über organische Düngung zugeführten N-Mengen und den entsprechenden N-Schlagsalden in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

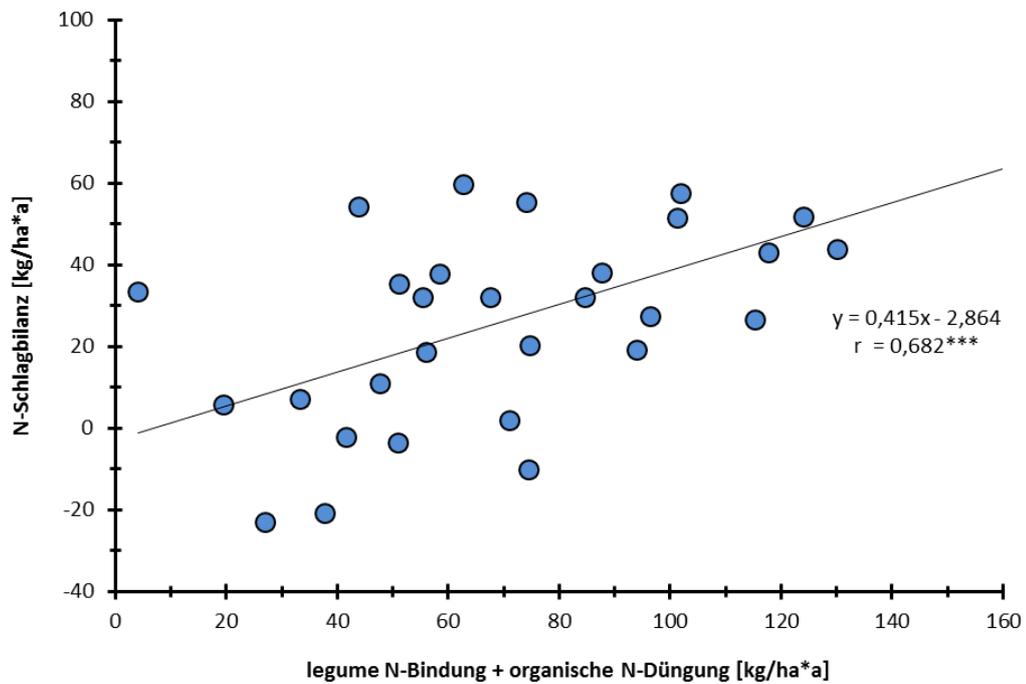


Abbildung 8: Beziehungen zwischen den im gewogenen Mittel der Ackerflächen der Betriebe über die symbiotische N₂-Fixierleistung der Leguminosen und die organische Düngung zugeführten N-Mengen und den entsprechenden N-Schlagsalden in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

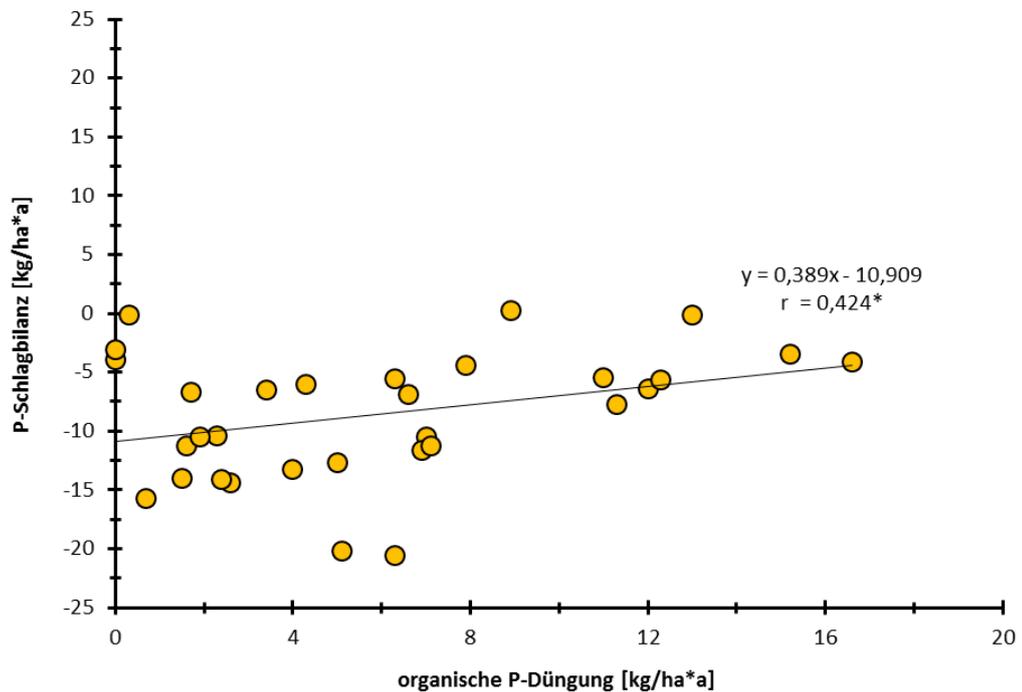


Abbildung 9: Beziehungen zwischen den im gewogenen Mittel der Ackerflächen der Betriebe über organische Düngung zugeführten P-Mengen und den entsprechenden P-Schlagbilanzsalden in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

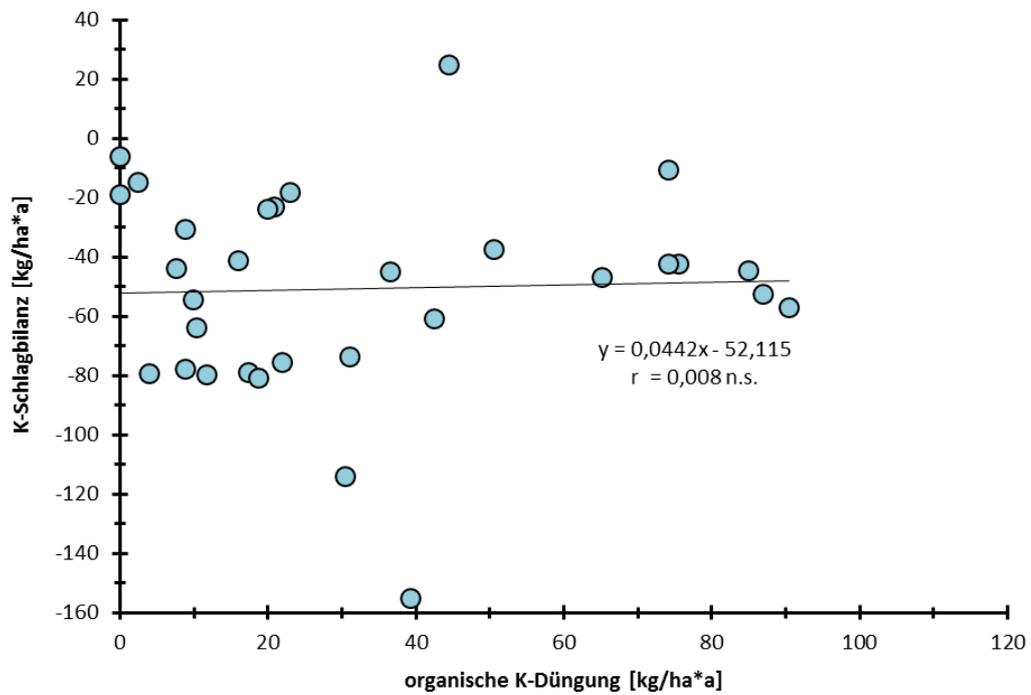


Abbildung 10: Beziehung zwischen den im gewogenen Mittel der Ackerflächen der Betriebe über organische Düngung zugeführten K-Mengen und den entsprechenden K-Schlagsalden in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

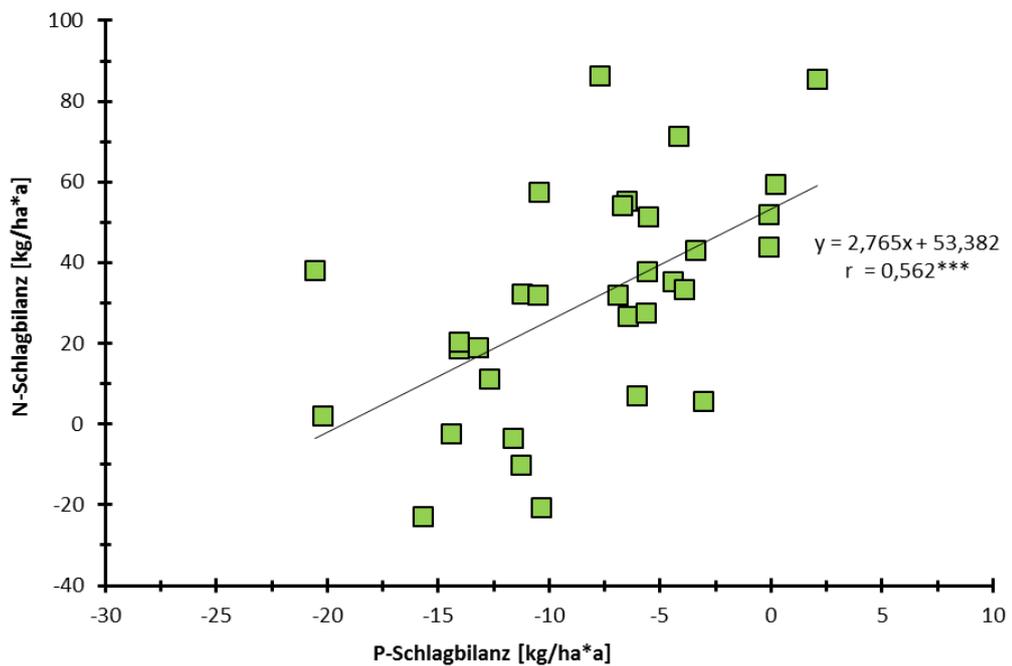


Abbildung 11: Beziehung zwischen den im gewogenen Mittel der Ackerflächen der Betriebe ermittelten N- und P-Schlagsalden in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

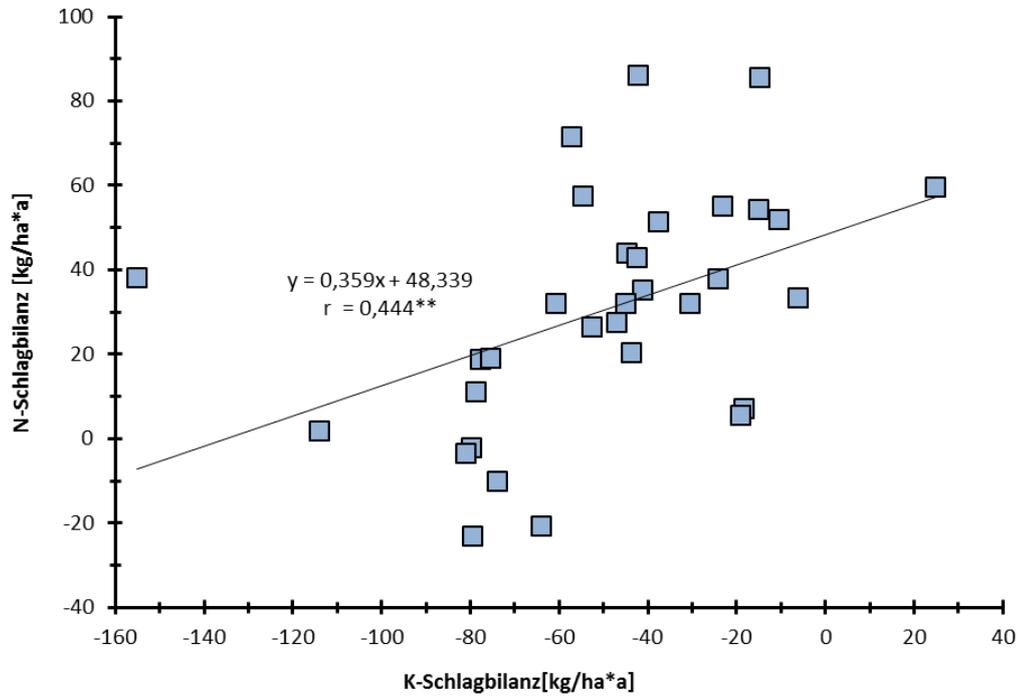


Abbildung 12: Beziehungen zwischen den im gewogenen Mittel der Ackerflächen der Betriebe ermittelten N- und K-Schlagbilanzsalden in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

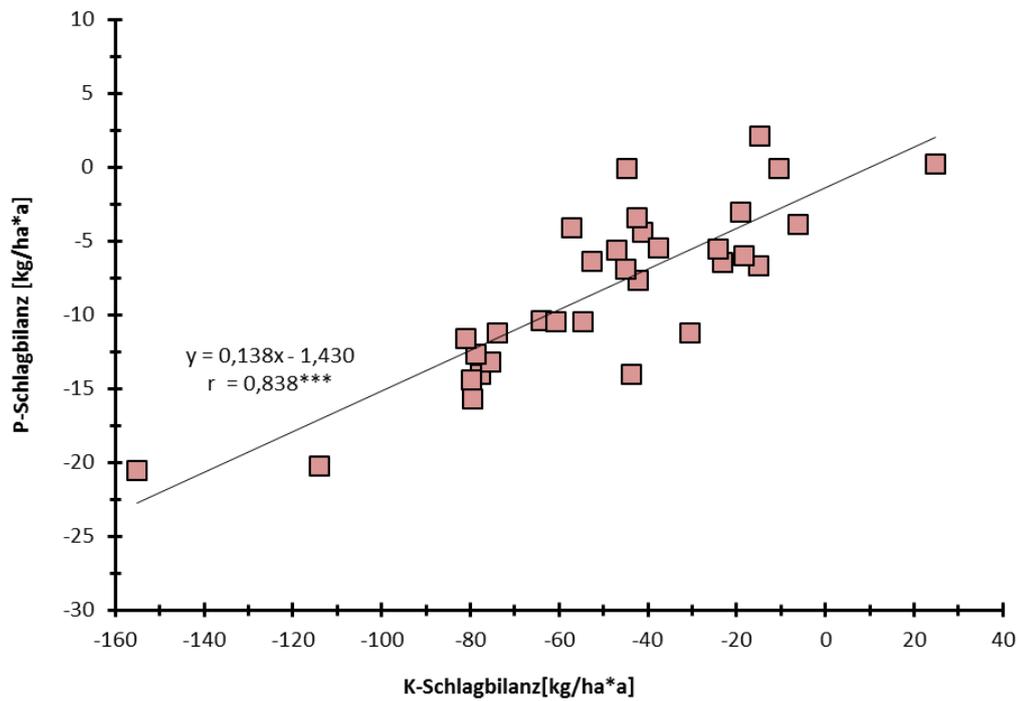


Abbildung 13: Beziehungen zwischen den im gewogenen Mittel der Ackerflächen der Betriebe ermittelten P- und K-Schlagbilanzsalden in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

3.1.2 Nährstoffgehalte im Boden der Ackerflächen

Makronährstoffe

In Tabelle 12 sind die Ergebnisse der Untersuchungen zum pH-Wert der Böden sowie ihrem Humusgehalt und ihren Gehalten an den pflanzenverfügbaren Hauptnährstoffen P, K und Mg als flächenbereinigtes Mittel der Einzelbetriebe sowie der untersuchten 32 Betriebe insgesamt zusammengefasst. Der mittlere pH-Wert der Ackerflächen schwankte in einem vergleichsweise engen Bereich zwischen pH 5,6 und pH 6,4. Nur in gut einem Drittel der Betriebe lag der mittlere pH-Wert im bodenartsspezifischen Optimum entsprechend der Versorgungsstufe C gemäß VDLUFA-Klassifikation. Für die restlichen Betriebe wurden im Durchschnitt der Schläge teils erheblich zu geringe pH-Werte festgestellt, die mittelfristig Ertragsrisiken nach sich ziehen könnten.

Bezogen auf die Anzahl Schläge wurde auf 221 von 670 Ackerschlägen (= 32,9 %) ein sehr geringer bis geringer pH-Wert entsprechend der Versorgungsklassen A und B vorgefunden (Tabelle 13). Für 67,1 % der Schläge wurden mittel bis hoch einzustufende pH-Werte ermittelt. Bezogen auf die Gesamtfläche aller untersuchten Schläge wurden auf 1.371,8 ha zu geringe pH-Werte der Versorgungsklassen A und B vorgefunden. Dies entsprach 25 % der untersuchten Ackerfläche insgesamt (Tabelle 14).

Tabelle 12: Gewogenes Mittel des pH-Wertes, des P-, K- und Mg- Gehalts sowie des Humusgehalts der Ackerflächen von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen (Buchstaben A – E = Versorgungsstufen nach VDLUFA)

Betrieb [Nr.]	vorherrschende Bodenart	pH-Wert		P-Gehalt		K-Gehalt		Mg-Gehalt		Humus- Gehalt
				[mg/100 g]		[mg/100 g]		[mg/100 g]		[%]
1	L	6,3	C	4,7	C	10,2	B	13,5	D	2,2
2	IS	6,4	C	5,8	C	9,6	C	12,3	E	2,1
3	L	6,0	B	3,9	C	10,0	B	11,9	C	3,4
4	sL	5,7	B	3,2	C	9,1	B	16,8	E	4,1
5	sL	6,0	C	4,3	C	12,1	C	10,0	D	4,3
6	sL	5,6	B	6,6	D	21,5	D	9,1	D	4,8
7	sL	6,3	C	9,2	D	19,9	D	12,9	D	2,5
8	IS	5,9	B	4,5	C	13,1	D	8,6	E	2,6
9	sL	6,2	B	8,9	D	17,8	D	9,2	D	2,6
10	L	6,1	B	4,0	C	15,4	C	15,7	D	1,8
11	L	6,4	B	3,6	C	8,9	B	15,7	D	2,3
12	sL	6,0	C	9,2	D	24,6	D	23,4	E	4,8
13	sL	5,8	B	5,8	C	16,0	D	19,6	E	3,5
14	SL	6,1	B	5,6	C	10,2	C	9,5	E	1,7
15	SL	5,8	B	2,2	B	4,9	B	6,1	D	2,2
16	sL	5,9	B	3,4	C	5,8	B	13,1	E	2,3
17	IS	5,8	B	3,1	C	6,3	B	21,2	E	-
18	IS	6,2	C	3,5	C	12,5	D	17,3	E	4,2
19	L	6,3	C	6,4	D	13,5	C	11,7	C	2,9
20	sL	5,8	B	2,9	B	10,2	C	10,9	E	1,9
21	IS	6,2	C	5,6	C	15,4	D	10,5	E	-
22	sL	5,8	B	6,1	D	13,6	C	13,7	E	1,6
23	IS	5,7	B	6,0	C	10,1	C	6,3	D	1,3
24	sL	5,7	B	6,5	D	11,8	C	12,4	E	2,3
25	sL	6,0	B	8,6	D	14,2	C	10,8	E	1,5
26	IS	5,6	B	10,5	D	8,6	C	6,5	D	1,8
27	uL	6,7	C	7,8	D	14,3	C	11,9	E	2,0
28	sL	6,3	C	5,3	C	12,6	C	10,0	D	1,8
29	sL	6,1	B	3,8	C	6,9	B	10,5	E	3,6
30	sL	5,9	B	5,2	C	12,1	C	8,1	D	4,0
31	sL	6,8	C	6,2	D	9,3	B	8,1	D	1,3
32	uL	6,3	C	6,2	D	18,6	D	6,6	B	1,8
Mittel		6,2		5,6		12,8		11,5		2,7

Die Phosphor-, Kalium- und Magnesiumversorgung der Ackerflächen war im Mittel der Flächen eines jeden Betriebes durchweg ausreichend bis hoch (Versorgungsklassen B bis D), für Magnesium meistens geogen bedingt sogar sehr hoch (Versorgungsklasse E, Tabelle 12). Ertragsrisiken durch eine Unterversorgung mit diesen Nährstoffen zeichneten sich bei der betriebsweisen Analyse nicht ab.

Erst die schlagweise Betrachtung ließ auch für diese Nährstoffe auf Einzelflächen eine erhebliche Unterversorgung erkennen. Eine für den ökologischen Landbau als kritisch einzustufende Versorgung des Bodens (Versorgungsklasse A) mit pflanzenverfügbaren Mengen an Phosphor lag auf 11,5 % der erhobenen Ackerschläge (Tabelle 13) bzw. auf 9,6 % der betrachteten Ackerfläche (Tabelle 14) vor. Auf gut einem Drittel der ökologisch bewirtschafteten Ackerfläche war die P-Versorgung ausreichend (Klasse B). Weitere gut 50 % der Flächen waren mittel bis sehr hoch (Klassen C bis E) mit Phosphor versorgt.

Hinsichtlich des pflanzenverfügbaren Kaliums lag der Anteil unterversorgter Ackerschläge mit 10,1 % der Schläge bzw. mit 7,9 % der Ackerfläche auf nahezu ähnlich niedrigem Niveau. Dagegen wiesen 29,6 % der Ackerflächen eine für den ökologischen Landbau ausreichende K-Versorgung der Stufe B auf. Knapp zwei Drittel der Flächen waren mittel bis sehr hoch (Klassen C bis E) mit Kalium versorgt. Beim Nährstoff Magnesium wiesen über 60 % der untersuchten Schläge und Ackerflächen eine Überversorgung (Versorgungsklassen D und E) auf (Tabelle 13, Tabelle 14). Dieses Ergebnis sollte bei der Wahl des Kalkdüngemittels berücksichtigt werden. Kalke mit Mg-Beimengungen sind daher in aller Regel nicht erforderlich.

Entgegen der Erwartung ist der Anteil der Ackerfläche mit zu geringen pH-Werten (Klassen A und B) sowie geringer bis sehr geringer P- und K-Versorgung in den reinen Marktfruchtbetrieben, ohne jede Viehhaltung, deutlich geringer als in den Betrieben mit Veredelung (Tabelle 14, Abschnitte b und c).

Tabelle 13: Verteilung der Ackerschläge von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen auf die Versorgungsklassen des VDLUFA bezüglich der pH-Werte der Böden und ihrer P-, K- und Mg-Versorgung

Gehalts- klasse	Einstufung	pH-Wert		P		K		Mg	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Ackerschläge (Anzahl)									
A	sehr niedrig	19	2,8	77	11,5	67	10,1	22	3,6
B	niedrig	202	30,1	245	36,5	192	28,9	59	9,7
C	mittel	359	53,6	176	26,2	192	28,9	89	14,9
D	hoch	88	13,1	129	19,2	157	23,6	158	26,0
E	sehr hoch	2	0,3	44	6,6	56	8,4	279	46,0
Summe (n)		670	100,0	671	100,0	664	100,0	607	100,0

Tabelle 14: Verteilung der Ackerfläche von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen auf die Versorgungsklassen des VDLUFA bezüglich der pH-Werte der Böden und ihrer P-, K- und Mg-Versorgung

Gehalts- klasse	Einstufung	pH-Wert		P		K		Mg	
		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
a) alle Betriebe									
A	sehr niedrig	102,2	1,9	530,4	9,6	430,7	7,9	125,0	2,9
B	niedrig	1.269,6	23,1	1.938,5	35,2	1.616,8	29,6	504,8	11,8
C	mittel	3.332,2	60,6	1.769,4	32,7	1.902,7	34,8	948,4	22,2
D	hoch	781,9	14,2	986,4	17,9	996,7	18,2	1.343,9	31,5
E	sehr hoch	8,3	0,2	279,7	5,1	523,4	9,6	1.343,9	31,5
Summe		5.496,2	100,0	5.504,5	100,0	5.470,3	100,0	4.265,9	100,0
b) Markfruchtbetriebe									
A	sehr niedrig	-	0,0	-	0,0	57,4	3,4	-	0,0
B	niedrig	381,1	22,8	120,6	6,9	320,5	19,2	144,3	8,6
C	mittel	1.269,4	75,9	957,3	54,9	838,3	50,2	391,9	23,4
D	hoch	21,0	1,3	644,8	37,0	347,8	20,8	455,6	27,3
E	sehr hoch	-	0,0	21,0	1,2	107,5	6,4	679,7	40,7
Summe		1.671,5	100,0	1.743,6	100,0	1.671,5	100,0	1.671,5	100,0
c) Futterbaubetriebe									
A	sehr niedrig	54,1	1,5	85,7	2,1	299,0	8,0	16,2	0,5
B	niedrig	1.161,6	31,4	637,9	15,5	1.283,5	34,5	295,5	8,8
C	mittel	2.168,6	58,5	1.688,4	41,0	988,1	26,6	480,1	14,4
D	hoch	297,8	8,0	1.588,1	38,6	707,2	19,0	829,9	24,8
E	sehr hoch	21,8	0,6	118,1	2,9	437,1	11,8	1.719,6	51,5
Summe		3.704,0	100,0	4.118,2	100,0	3.714,8	100,0	3.341,2	100,0
d) Betriebe auf leichten Böden									
A	sehr niedrig	-	0,0	10,7	41,8	-	0,0	-	0,0
B	niedrig	10,7	41,8	9,6	37,5	20,3	79,3	-	0,0
C	mittel	14,9	58,2	-	0,0	5,3	20,7	-	0,0
D	hoch	-	0,0	5,3	20,7	-	0,0	20,3	79,3
E	sehr hoch	-	0,0	-	0,0	-	0,0	5,3	20,7
Summe		25,6	100,0	25,6	100,0	25,6	100,0	25,6	100,0
e) Betriebe auf mittleren Böden									
A	sehr niedrig	44,6	1,0	57,2	1,3	314,2	7,2	8,0	0,2
B	niedrig	1.262,8	29,1	557,2	12,6	1.234,2	28,4	354,8	8,8
C	mittel	2.715,3	62,7	2.063,6	46,8	1.369,2	31,5	581,7	14,4
D	hoch	288,5	6,7	1.611,6	36,6	889,9	20,5	895,3	22,2
E	sehr hoch	21,8	0,5	118,9	2,7	536,5	12,3	2.187,8	54,3
Summe		4.333,1	100,0	4.408,5	100,0	4.343,9	100,0	4.027,5	100,0
f) Betriebe auf schweren Böden									
A	sehr niedrig	9,5	0,9	10,1	1,0	42,2	4,1	8,1	0,8
B	niedrig	269,1	26,5	169,1	16,6	349,5	34,4	85,1	8,9
C	mittel	707,8	69,6	342,2	33,6	451,9	44,4	290,2	30,2
D	hoch	30,3	3,0	496,5	48,8	165,1	16,2	369,9	38,6
E	sehr hoch	-	0,0	-	0,0	8,1	0,8	206,2	21,5
Summe		1.016,8	100,0	1.017,9	100,0	1.016,8	100,0	959,5	100,0

Mikronährstoffe

In Tabelle 15 sind die gemessenen Bodengehalte an essentiellen Mikronährstoffen als flächenbereinigtes Mittel der Einzelbetriebe sowie der untersuchten Betriebe insgesamt zusammengefasst worden. Die Bewertung der Ergebnisse auf Betriebsebene nach der Klassifikation der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (ZORN et al., 2007) lässt für die flächenbereinigten Betriebsmittel der Nährstoffe Bor, Mangan und Zink jeweils einen ausreichenden bis hohen Versorgungszustand der Böden erkennen (Tabelle 16). Zu geringe Kupfergehalte wurden immerhin in 8 von 32 Betrieben festgestellt. Die überwiegende Anzahl an Betrieben wiesen ausreichende Cu-Gehalte auf.

Für Molybdän (Mo) hingegen wurden nach der Heißwassermethode relativ niedrige Gehalte ermittelt. Eine Beurteilung der Mo-Bodengehalte anhand von Richtwerten ist jedoch nicht möglich, da die Bestimmung nicht nach der Ammoniumoxalat/Oxalsäure-Methode nach GRIGG (ANON., 1978) erfolgte. Bei Verwendung der Heißwassermethode wird deutlich weniger Mo extrahiert, so dass bei Verwendung des gleichen VDLUFA-Bewertungssystems dann oft ein Mangel vermutet wird, während nach der Oxalatmethode eine ausreichende Versorgung vorliegt (KLOSE et al., 2015). So hat eine Analyse der sächsischen Dauertestflächen ergeben, unter denen auch Ökoflächen geführt werden, dass in den Böden Sachsens eine hohe bis sehr hohe (Klasse C, E) Mo-Versorgung vorliegt und ein Mangel der Versorgungsklasse A praktisch nicht vorkommt.

Insgesamt wurden 258 Schläge auf ihren Gehalt an Mikronährstoffen untersucht. Borgehalte unterhalb des Optimums wurden nur auf 9 Schlägen festgestellt. Dies entsprach 3,5 % der untersuchten Schläge bzw. 4,1 % der untersuchten Ackerfläche (Tabelle 17). Gut 55 % der untersuchten Ackerfläche waren mit diesem Element optimal, weitere knapp 41 % sogar sehr hoch versorgt. Ähnlich dem Bor war auch für die Elemente Mangan und Zink nur auf wenigen Schlägen eine Unterversorgung feststellbar. Beim Cu waren jedoch ca. ein Drittel der Flächen bzw. Schläge von einer deutlichen Unterversorgung betroffen (Klasse A), während zwischen 40 – 50 % der Untersuchungsgebiete eine optimale Versorgung der Klasse C aufwiesen.

Tabelle 15: Gewogenes Mittel des Gehaltes ausgewählter Mikronährstoffe der Schläge von 30 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen (Buchstaben A – E = Versorgungsstufen nach Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, ZORN et al., 2007)

Betrieb	vorherrschende Bodenart	Bor (heißwasser-lösl. Methode)		Molybdän (heißwasser-lösl. Methode)		Kupfer (CAT-Methode)		Mangan (CAT-Methode)		Zink (CAT-Methode)	
[Nr.]		[mg/kg]		[mg/kg]		[mg/kg]		[mg/kg]		[mg/kg]	
1	L	0,54	C	0,03		3,2	A	200,2	E	8,2	E
2	IS	0,56	E	0,03		9,4	E	138,0	E	15,0	E
3	L	0,62	E	0,01		5,1	C	187,3	E	7,0	E
4	sL	0,57	C	0,00		2,5	A	72,9	E	2,9	E
5	sL	0,81	E	0,00		1,8	A	124,6	E	4,1	E
6	sL	0,89	E	0,01		2,2	A	96,0	E	5,1	E
7	sL	0,78	E	0,03		3,4	A	215,1	E	6,6	E
8	IS	0,66	E	0,00		2,1	C	130,6	E	2,9	E
9	sL	0,65	E	0,07		7,7	C	203,9	E	8,4	E
10	L	0,49	C	0,03		2,9	A	204,4	E	6,3	E
11	L	0,53	C	0,02		2,6	A	209,6	E	5,5	E
12	sL	0,73	E	0,02		4,6	C	109,7	E	9,5	E
13	sL	0,44	E	0,02		4,0	C	112,5	E	5,0	E
14	SL	0,42	E	0,04		2,5	C	95,6	E	5,5	E
15	SL	0,38	E	0,01		2,0	C	136,2	E	7,1	E
18	IS	0,47	E	0,01		3,7	E	111,2	E	5,0	E
19	L	0,64	E	0,02		5,1	C	683,9	E	4,3	E
20	sL	0,53	C	0,00		4,2	C	149,7	E	4,6	E
21	IS	0,55	E	0,03		4,9	E	101,2	E	5,6	E
22	sL	0,48	C	0,01		6,1	C	134,5	E	3,6	E
23	IS	0,27	E	0,02		5,3	E	38,6	E	3,3	E
24	sL	0,48	C	0,01		8,8	E	156,4	E	7,1	E
25	sL	0,46	C	0,02		6,1	C	86,6	E	3,6	E
26	IS	0,33	E	0,02		7,2	E	81,9	E	6,8	E
27	uL	0,75	E	0,03		4,5	C	81,5	E	4,4	E
28	sL	0,53	C	0,04		7,8	C	86,7	E	4,9	E
29	sL	0,59	C	0,02		6,2	C	45,3	E	4,5	E
30	sL	0,46	C	0,00		8,7	E	263,4	E	5,0	E
31	sL	0,43	C	0,04		5,3	C	75,6	E	5,1	E
32	uL	0,60	C	0,02		3,9	A	89,9	E	4,4	E
Mittel		0,54		0,02		5,3		12,2		5,6	

Tabelle 16: Verteilung der Ackerschläge von 29 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen auf die Versorgung der Böden mit Mikronährstoffen (Versorgungsklassen nach ZORN et al., 2007)

Gehalts- klasse	Einstufung	Bor		Kupfer		Mangan		Zink	
		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
A	sehr niedrig	9	3,5	92	35,7	-	0,0	1	0,4
C	optimal	125	48,4	103	39,9	1	0,4	32	12,4
E	sehr hoch	124	48,1	63	24,4	257	99,6	225	87,2
Summe		258	100,0	258	100,0	258	100,0	258	100,0

Tabelle 17: Verteilung der Ackerfläche von 29 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen auf die Versorgung der Böden mit Mikronährstoffen (Versorgungsklassen nach ZORN et al., 2007)

Gehalts- klasse	Einstufung	Bor		Kupfer		Mangan		Zink	
		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
A	sehr niedrig	106,0	4,1	812,6	31,1	-	0,0	39,	0,1
C	optimal	1.441,2	55,2	1.276,5	48,9	0,9	0,0	260,4	10,0
E	sehr hoch	1.062,7	40,7	520,9	20,0	2.609,1	100,0	2.345,7	89,9
Summe		2.609,9	100,0	2.609,9	100,0	2.609,9	100,0	2.609,9	100,0

3.1.3 Nährstoffgehalte im Boden der Grünlandflächen

Im Grünland der untersuchten Betriebe waren die pH-Werte im Durchschnitt um ca. 0,5 Einheiten geringer als auf den Ackerflächen (Tabelle 18). Für einzelne Betriebe betrug der Unterschied zu den Ackerflächen im Mittel der Schläge sogar fast eine ganze pH-Einheit. Für die Grünlandnutzungen sind die geringen pH-Werte gleichwohl meistens noch ausreichend. Im Betriebsvergleich zeichnete sich nur für 3 Betriebe auch im Grünland ein Kalkbedarf ab.

Im Mittel der Wiesen- und Weidenflächen eines jeden Betriebes war die Phosphor-, Kalium- und Magnesiumversorgung durchweg ausreichend bis hoch (Versorgungsklassen B bis D), in einzelnen Betrieben und besonders für Magnesium auch sehr hoch einzustufen (Versorgungsklasse E).

Tabelle 18: Gewogenes Mittel der pH-Werte, der P-, K- und Mg- Gehalte sowie der Humusgehalte der Grünlandflächen von 13 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen (Buchstaben A – E = Versorgungsstufen nach VDLUFA)

Betrieb [Nr.]	vorherrschende Bodenart	pH-Wert		P-Gehalt		K-Gehalt		Mg-Gehalt		C _{org} -Gehalt
				[mg/100 g]		[mg/100 g]		[mg/100 g]		[%]
2	IS	5,3	C	7,1	C	17,0	D	16,8	E	2,9
4	sL	5,4	C	2,7	B	9,8	C	22,8	E	-
7	sL	5,7	C	7,1	C	16,1	D	17,1	E	-
8	IS	5,0	B	4,5	B	6,7	B	8,2	E	5,5
9	sL	5,8	D	9,9	D	27,5	E	12,4	E	5,9
18	IS	5,7	C	4,0	B	8,5	B	17,5	E	3,6
19	L	5,8	C	3,8	B	9,4	B	15,6	D	-
20	sL	4,9	B	6,3	C	22,8	D	14,9	E	6,3
22	sL	5,3	C	9,2	D	21,1	D	16,1	E	4,8
23	IS	5,4	C	6,1	C	18,9	D	22,1	E	8,7
24	sL	4,8	B	3,0	B	13,1	C	13,0	E	7,5
25	sL	5,8	D	13,3	E	13,6	C	22,9	E	6,0
26	IS	5,3	C	6,5	C	14,2	C	13,1	E	5,6

3.1.4 Düngebedarf

Basierend auf den Ergebnissen der Bodenuntersuchungen (siehe Kapitel 3.1.2), der Fruchtfolgebezogenen Nährstoffbilanzen (siehe Kapitel 3.1.1) und den Ertragserwartungen der Landwirte wurden mit dem Programm BEFU, Teil Ökolandbau, schlagweise Düngeempfehlungen für die Hauptnährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium sowie Empfehlungen für eine Gesundungs- bzw. Erhaltungskalkung zur Sicherung optimaler pH-Werte des Bodens erstellt. In Tabelle 19 sind die Ergebnisse als flächenbereinigte Mittel je Betrieb und im gewogenen Mittel aller Betriebe zusammengefasst.

Nach diesen Berechnungen war eine Phosphordüngung mit geeigneten organischen bzw. mineralischen Düngemitteln in etwa 50 % der Betriebe erforderlich, wobei die Empfehlung für die mittlere jährliche Gabe zwischen 0,6 kg P und 24 kg P/ha*a schwankt. In den restlichen Betrieben waren die pflanzenverfügbaren P-Vorräte des Bodens im Mittel der Betriebsfläche in der Regel ausreichend, um die Kulturen optimal mit Phosphor zu versorgen. Für Kalium zeigte sich prinzipiell ein ähnliches Bild, wobei ein Düngebedarf im flächenbereinigten Mittel der Schläge in ca. einem Drittel der Betriebe unmittelbar bestand. Die Empfehlung für die mittlere jährliche Gabe schwankte zwischen 4,4 kg K/ha und 81,6 kg K/ha*a in Betrieb 16. Besonders Betriebe auf leichten Böden sind betroffen. Ein wirklicher Bedarf für eine Magnesium-Düngung bestand nur in Betrieb 13 mit 47 kg Mg/ha*a.

Eine Kalkung zur Anhebung oder zum Erhalt eines optimalen pH-Wertes wird durch das Programm BEFU im Mittel für alle Betriebe empfohlen. Grundlagen der Kalkempfehlung sind die Bodenart, der Humusgehalt und der gemessene pH-Wert des Bodens. Die im Mittel der Flächen eines Betriebes empfohlene Kalkgabe schwankte in einem weiten Bereich zwischen 9,2 dt und mehr als 50 dt CaO pro Hektar.

Werden die mit dem Programm BEFU berechneten Düngermengen zur Regulierung bzw. Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit mit den auf den Betrieben tatsächlich verabreichten mineralischen und organischen Düngemitteln verglichen, so kann eine erhebliche Diskrepanz festgestellt werden (vgl. Tabelle 19 und Tabelle 9). Insbesondere besteht ein hoher Nachholbedarf in der Düngung beim Nährstoff Phosphor, auf bestimmten

Flächen auch mit Kalium. Die größten Fehlbeträge bestehen jedoch bei der Kalkversorgung, wobei annähernd in jedem Betrieb ein Düngebedarf zur Aufrechterhaltung optimaler pH-Werte besteht.

Tabelle 19: Gewogenes Mittel der mit dem Programm BEFU erstellten jährlichen Düngeempfehlung für P, K, und Mg sowie für die Kalkung je Fruchtfolge für 32 Betriebe des ökologischen Landbaus in Sachsen

Betrieb Nr.	P [kg/ha*a]	K [kg/ha*a]	Mg [kg/ha*a]	CaO [dt/ha*Rotation]
1	1,2	0	0	19,5
2	2,3	0	0	13,7
3	17,6	25,5	0	22,3
4	17,0	10,8	0	26,5
5	0	0	0	23,2
6	0	0	0	30,8
7	0	0	0	16,4
8	14,2	0	0,8	51,7
9	0	0	0	14,7
10	2,9	0	0	17,2
11	2,5	0	0	17,1
12	0	0	0	16,8
13	0,6	0	47,0	14,7
14	0	4,4	0	18,9
15	21,4	31,0	0	15,0
16	22,1	81,6	0	23,4
17	24,0	0	0	10,4
18	7,9	0	0	9,2
19	0	0	0	18,8
20	14,7	0	0	23,2
21	2,0	5,7	0	14,3
22	2,7	0	0	35,6
23	0	16,1	0	12,6
24	0	0	0	31,5
25	0	0	0	23,7
26	0	0	0,9	21,0
27	0	0	0	13,4
28	0	0	0	15,3
29	4,2	6,7	0	14,8
30	2,6	11,5	0	24,2
31	0	0	0	10,8
32	0	0	0	24,1
Gewogenes Mittel	5,4	13,1	0,5	13,7

3.1.5 Humusbilanzen

Humusbilanzen wurden für jeden der 810 Schläge im Durchschnitt der Jahre 2006 – 2011 berechnet. Die schlagweisen Ergebnisse sind beispielhaft für die Betriebe 1, 14 und 24 in Kapitel 3.2 dargestellt. Im flächenbereinigten Mittel der Betriebe schwankten die Salden zwischen -169 häq/ha*a (Versorgungsstufe B) und +607 häq/ha*a (Versorgungsstufe E, Tabelle 20). Negative Salden sind kurzfristig tolerierbar. Mittelfristig sollten auch in diesen Betrieben mindestens ausgeglichene Bilanzen angestrebt werden.

Stark positive Salden der Versorgungsstufe E wurden meistens durch den hohen Einsatz organischer Düngemittel und/oder einem hohen Klee grasanteil in der Fruchtfolge verursacht. Sie bergen langfristig die Gefahr einer starken Humusanreicherung mit hohem Mineralisierungspotenzial und der Möglichkeit erhöhter N-Verluste. Im gewogenen Mittel über alle Schläge und Betriebe wurde ein Saldo von 150 häq/ha*a berechnet. Damit ist die Humusversorgung der untersuchten Betriebe insgesamt als optimal zu beurteilen.

Von den insgesamt untersuchten 810 Schlägen waren etwa 17 % mit Humus unterversorgt, dies entsprach 23 % der Fläche (Tabelle 21). Von der insgesamt bilanzierten Ackerfläche wiesen 54 % eine optimale und knapp 23 % sogar eine hohe bis sehr hohe Humusversorgung auf. In reinen Marktfruchtbetrieben, ohne jede Tierhaltung, war der Anteil gering bis sehr gering mit Humus versorgter Ackerflächen mit ca. 40 % deutlich höher als in den Betrieben mit Veredelung. Hier kann die Humuszufuhr über den Verbleib des Strohs und den Feldfutter- bzw. Leguminosenanbau die fehlende Zufuhr über Wirtschaftsdünger offenbar nicht ausreichend kompensieren. Hoch bis sehr hoch mit Humus versorgte Flächen hatten in dieser Gruppe lediglich einen Flächenanteil von knapp 10 % gegenüber 29 % in den Veredelungsbetrieben.

Tabelle 20: Gewogenes Mittel sowie Aufteilung der Bilanzkomponenten der Humusbilanzsalden (Jahre 2006 – 2011) der erfassten Ackerschläge in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen (A – E-Versorgungsstufen nach VDLUFA, 2014)

Betrieb	Humusbedarf (Pflanzenarten)	Humus- Reproduktionsleistung (organische Düngung)	Saldo	
Nr.	[häq/ha*a]	[häq/ha*a]	[häq/ha*a]	
1	-276	242	-34	B
2	-65	155	90	C
3	0	47	47	C
4	182	256	438	D
5	248	359	607	E
6	154	133	287	C
7	-2	105	103	C
8	71	106	177	C
9	-41	102	61	C
10	157	143	-14	B
11	182	182	364	D
12	-45	267	222	C
13	125	130	255	C
14	111	121	232	C
15	76	147	223	C
16	57	36	93	C
17	247	341	588	E
18	260	268	528	E
19	-94	286	192	C
20	238	267	505	E
21	-236	66	-169	B
22	15	144	159	C
23	59	183	242	C
24	146	110	256	C
25	-27	171	144	C
26	-141	94	-47	B
27	-231	159	-54	B
28	-136	198	62	C
29	-144	181	67	C
30	159	152	311	D
31	14	98	112	C
32	-205	201	-3	B
gewogenes Mittel aller Betriebe	-9	159	150	C
gewogenes Mittel Futterbaubetriebe	37	164	200	C
gewogenes Mittel Marktfruchtbetriebe	-105	149	44	C

Tabelle 21: Verteilung der Ackerschläge und Ackerflächen von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen auf die Humusbilanzklassen (gemäß VDLUFA, 2014)

Bilanz- klasse	Einstufung	Ackerschläge		Ackerfläche	
		[Anzahl]	[%]	[ha]	[%]
alle Betriebe					
A	sehr niedrig	24	3,0	333,22	4,9
B	niedrig	116	14,3	1.223,0	18,1
C	optimal	392	48,4	3.645,4	54,1
D	hoch	160	19,8	1.117,0	16,6
E	sehr hoch	118	14,6	421,56	6,3
Summe		810	100,0	6.740,2	100,0
Futterbaubetriebe					
A	sehr niedrig	13	2,1	86,7	1,9
B	niedrig	62	10,0	586,8	12,9
C	optimal	297	47,8	2558,3	56,1
D	hoch	143	23,0	963,9	21,1
E	sehr hoch	106	17,1	363,2	8,0
Summe		621	100,0	4558,8	100,0
reine Marktfruchtbetriebe					
A	sehr niedrig	11	5,8	246,6	11,3
B	niedrig	54	28,6	636,3	29,2
C	optimal	95	50,3	1087,1	49,8
D	hoch	17	9,0	153,1	7,0
E	sehr hoch	12	6,3	58,4	2,7
Summe		189	100,0	2181,4	100,0

Wie bei den Nährstoffen Stickstoff, Phosphor und Kalium (siehe Kap. 3.1.1), waren auch für die Humussalden zwischen den Ackerschlägen eines Betriebes starke Schwankungen zu verzeichnen (Abbildung 14), die sich in einzelnen Betrieben auf Differenzen von mehr als 900 Humusäquivalente je Hektar und Jahr beliefen.

Der Humus-Bilanzsaldo war nur leicht positiv mit der über organische (Wirtschafts-) Düngemittel zugeführten N-Menge korreliert (Abbildung 15). Noch schwächer war die Beziehung zur symbiotischen N₂-Fixierleistung der im Ackerbau angebauten Leguminosen (Abbildung 16). Zwischen den Humussalden und den N-Schlagsalden bestand eine positive, aber ebenfalls nur schwach statistisch gesicherte Beziehung (Abbildung 17). Bei einer optimalen Humusbilanz zwischen 0 und 300 häq/ha*a (VDLUFA, 2014) betrug der durchschnittliche N-Saldo zwischen 25 und 30 kg/ha*a.

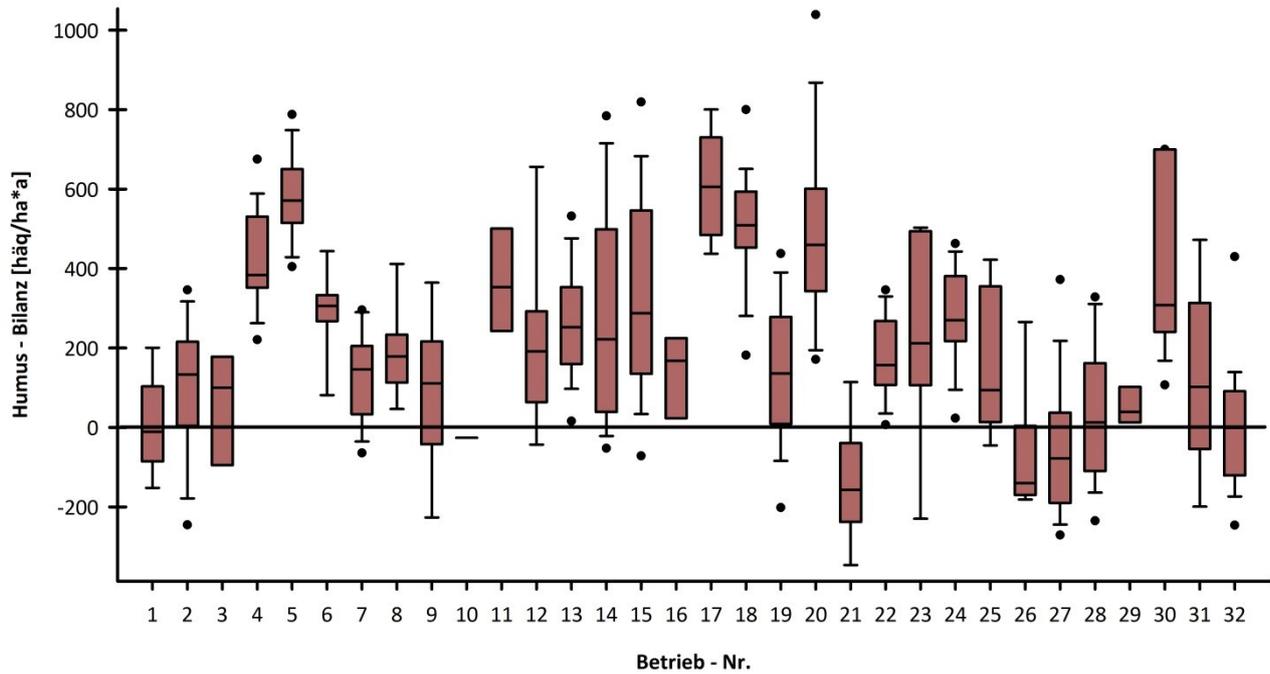


Abbildung 14: Boxplot der Humussalden der Ackerflächen in 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

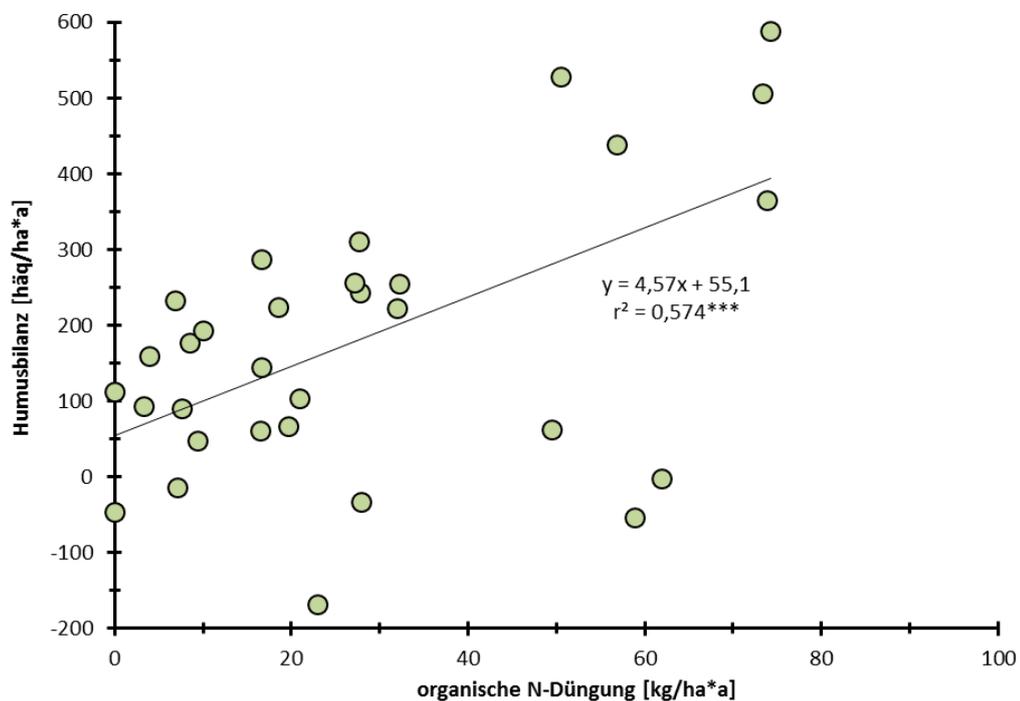


Abbildung 15: Beziehung zwischen der über organische Düngemittel zugeführten N-Menge und den mittleren gewogenen Humusbilanzen von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

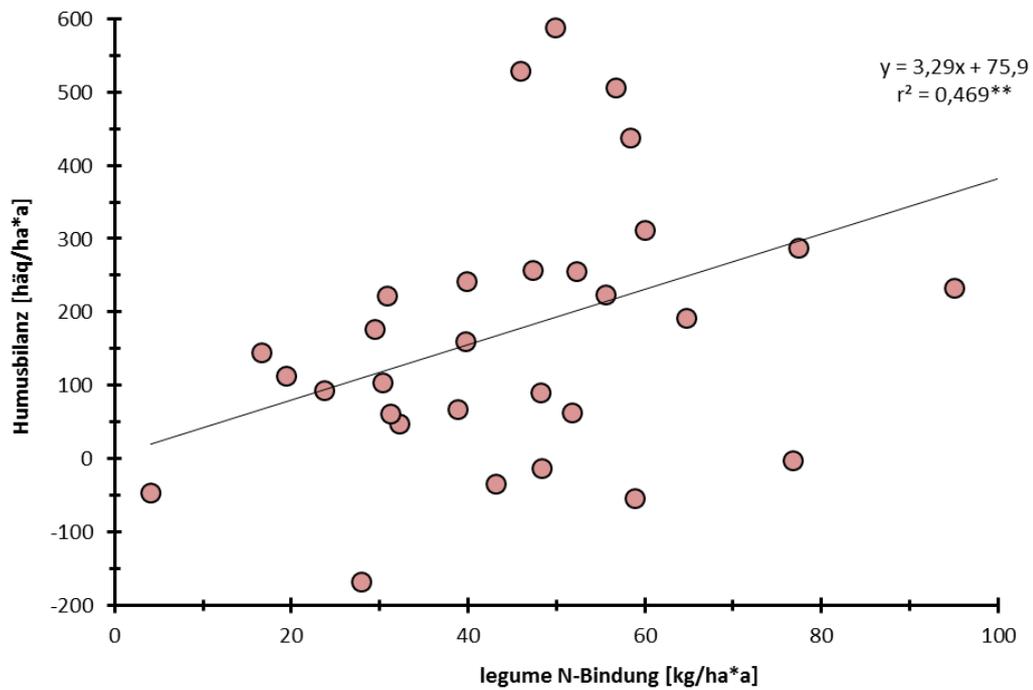


Abbildung 16: Beziehung zwischen der über Leguminosen gebundenen N-Menge und den mittleren gewogenen Humusbilanzen von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

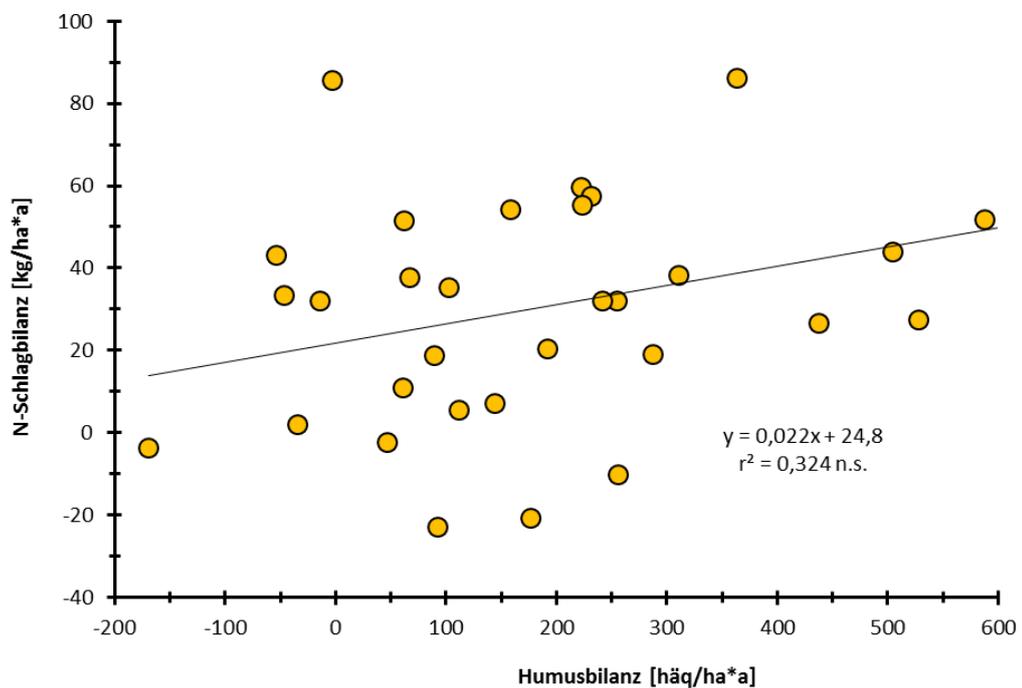


Abbildung 17: Beziehung zwischen dem mittleren gewogenen N-Schlagsaldo und dem Humussaldo von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

3.1.6 Anbaustruktur und Fruchtfolgegestaltung

Mit einem mittleren Anteil von 46 % an der Fruchtfolge hatte der Anbau von Getreide im Betrachtungszeitraum 2006 – 2011 die größte Bedeutung im Ackerbau der untersuchten Betriebe, wobei der Getreideanteil zwischen den Betrieben zwischen 25,6 % und 71,5 % der Ackerfläche erheblich variierte (Tabelle 22). Angebaut wurde überwiegend Winterweizen, gefolgt von Wintergerste und Triticale. Der Anbau von Feldfutter, meistens Kleearten oder Luzerne mit und ohne Grasbeimengungen, hatte im Mittel einen Anteil von 23,7 % an der Anbaufläche, gefolgt von Körnerleguminosen mit einem Anteil von 13,5 %. Der Anbau von Ölsaaten, wie Winterraps, war auf den untersuchten Betrieben des ökologischen Landbaus nur von geringer Bedeutung. Gleiches galt für den Anbau von Mais zur Futternutzung und Energiegewinnung oder als Marktfrucht zur Körnernutzung. In den reinen Marktfruchtbetrieben kommt dem Anbau von Hackfrüchten und Körnerleguminosen ein deutlich höherer Anteil an der Fruchtfolge zu als in den Betrieben mit Veredelung. Hier hat demgegenüber der Feldfurtherbau mit einem mittleren Fruchtfolgeanteil von 26 % eine höhere Bedeutung.

Zwischen dem Anbau einer Sommerung und einer Winterung wurde auf 79 % der untersuchten Ackerschläge bzw. 75 % der untersuchten Ackerfläche regelmäßig gewechselt (Tabelle 23, Tabelle 24). Die Betriebe leisteten damit einen wesentlichen Beitrag zur Unterdrückung spezifischer Unkräuter. Ebenso wurden die empfohlenen Anbaupausen beim Anbau von Kartoffeln, Körnerleguminosen und Ölfrüchten im Mittel der Schläge und Flächen je Betrieb und über die Betriebe insgesamt auf mehr als 3/4 der Schläge und Flächen eingehalten. Nur in einzelnen Betrieben wurden bestimmte Fruchtarten oder Fruchtartengruppen deutlich zu häufig auf dem gleichen Schlag angebaut, so im Betrieb 1 mit Kartoffeln oder in den Betrieben 8, 10, 14 und 15 mit Körnerleguminosen. Betrachtet man nicht alle Schläge oder die Gesamtfläche eines Betriebes, sondern nur die tatsächlich für den Anbau von Körnerleguminosen genutzten Schläge und Flächen, so sank der Erfüllungsgrad letzteren Kriteriums in einzelnen Betrieben jedoch auf unter 40 %. Die Bewertung der daraus möglicherweise resultierenden Ertragsgefährdung folgt im Kapitel 3.2.

Tabelle 22: Anbauverhältnis im Mittel der Ackerfläche von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

Betrieb [Nr.]	Anteil an der 6-jährigen Fruchtfolge [%]						
	Getreide	Ölfrüchte	Hackfrucht	Mais	Körner- leguminosen	Feldfutter	Feldgemüse
1	30,9	8,1	22,3	10,5	11,8	13,2	-
2	56,5	-	5,9	-	5,8	28,9	2,5
3	56,6	-	-	-	13,2	30,2	-
4	38,0	1,0	2,0	-	0,3	47,9	-
5	48,3	0,4	-	-	-	40,8	-
6	47,3	14,4	-	-	5,5	32,0	-
7	68,8	0,0	3,3	-	4,7	19,9	-
8	41,9	3,7	0,0	1,0	21,0	31,9	-
9	52,0	-	12,7	0,0	-	35,2	-
10	56,2	-	-	-	26,8	10,4	-
11	43,2	3,3	-	-	1,0	47,9	-
12	71,5	0,9	-	-	14,6	12,9	-
13	48,2	9,0	-	4,2	14,4	23,5	-
14	28,7	0,0	-	-	28,8	25,5	-
15	47,8	10,8	-	-	22,2	18,5	-
16	31,4	-	6,1	9,8	10,3	38,6	-
17	61,0	-	1,2	-	4,9	32,3	-
18	43,9	4,5	2,9	-	4,3	44,1	-
19	58,0	7,4	6,7	-	14,1	7,2	-
20	39,8	-	6,6	-	7,8	46,2	0,7
21	46,6	4,7	14,1	5,5	10,0	15,2	-
22	57,8	0,0	-	-	14,6	18,6	-
23	48,1	3,9	-	-	-	30,1	-
24	38,8	1,8	0,7	-	19,0	32,6	-
25	65,1	-	0,0	4,5	2,6	27,7	-
26	43,0	-	0,0	-	1,3	9,1	-
27	25,8	-	16,7	5,1	14,2	27,3	-
28	35,4	-	18,6	-	17,3	22,1	4,7
29	66,6	-	-	-	15,3	16,4	-
30	53,3	4,8	-	-	5,6	27,7	-
31	36,3	2,2	-	-	24,7	27,0	-
32	31,7	0,8	12,3	-	35,7	17,6	-
gewog. Mittel aller Betriebe	46,3	3,6	6,0	1,5	13,5	23,7	0,8
gewog. Mittel Futterbaubetr.	48,8	4,4	3,2	1,6	10,8	26,1	1,6
gewog. Mittel Marktfruchtetr.	42,1	5,3	10,8	1,3	17,9	19,7	0,4

Ausreichende Pausen beim Anbau von Rotklee, Luzerne und Lupine wurden im Durchschnitt lediglich auf knapp 60 % der Schläge und Ackerfläche eingehalten (Tabelle 23, Tabelle 24). Fruchtfolgebedingte Optionen für den Zwischenfruchtbau waren auf 70 % der Schläge mindestens 1-mal in 6 Jahren gegeben. Im Mittel wurde diese Option auf 59 % dieser Schläge bzw. auf knapp 62 % der durch sie repräsentierten Fläche genutzt. Hinzu kamen viele Schläge, auf denen in den Herbst- und Wintermonaten bereits das als nachfolgende Hauptfrucht in Stoppel- oder Untersaat eingesäte Feldfutter stand, das dem klassischen Zwischenfruchtbau in seiner Wirkung auf die Bodenfruchtbarkeit meistens überlegen ist.

Erhebliche Reserven bestanden auf den meisten Betrieben bezüglich der effizienten Ausnutzung des vom Feldfutterbau oder den Körnerleguminosen hinterlassenen Stickstoffs. Nach Leguminosen sollten als 2. Fruchtfolgeglied anspruchsvollere Fruchtarten, wie Kartoffel oder Mais auf leichteren Böden bzw. Winterweizen auf besseren Böden folgen, die den hinterlassenen Stickstoff mit hoher Güte verwerten können. Erst danach sollten weniger anspruchsvolle Nichtleguminosen folgen. Diese Abfolge wird nur in wenigen Betrieben auf allen Schlägen und Flächen befolgt. Im gewogenen Mittel lag der Erfüllungsgrad dieses Kriteriums bezogen auf die Anzahl der Schläge lediglich bei knapp 52 %, bezogen auf die untersuchte Ackerfläche waren es knapp 55 %.

Tabelle 23: Beachtung allgemeiner Grundsätze bei der Fruchtfolgegestaltung auf den Ackerschlägen von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

Betrieb [Nr.]	Anteil an den Schlägen der Betriebe [%]						
	Wechsel Sommerung Winterung	Kartoffeln	Körner- leguminosen	Ölfrüchte	Rotklee Luzerne Lupine	Option für Zwischen- fruchtanbau	Anbau- Rangfolge nach Leguminosen
1	87,5	60,0	72,7	100,0	20,0	28,6	100,0
2	83,6	100,0	95,2	-	26,4	68,6	58,1
3	100,0	-	100,0	-	-	33,3	100,0
4	75,0	80,0	-	-	-	93,3	27,8
5	57,1	-	-	100,0	-	-	61,9
6	100,0	100,0	100,0	94,4	72,2	55,6	88,9
7	66,7	100,0	100,0	-	100,0	78,9	86,7
8	94,1	-	62,5	100,0	70,6	88,9	94,1
9	76,9	85,7	-	-	-	7,7	69,2
10	100,0	-	50,0	-	100,0	100,0	100,0
11	80,0	-	100,0	100,0	-	75,0	60,0
12	66,7	-	87,5	50,0	-	25,0	55,6
13	76,8	-	77,6	94,9	80,6	79,8	31,3
14	60,0	-	40,0	100,0	23,8	62,5	54,3
15	69,2	-	41,2	91,7	11,8	95,2	28,0
16	85,7	-	100,0	-	0,0	60,0	100,0
17	100,0	100,0	0,0	-	-	88,9	46,2
18	70,0	100,0	100,0	100,0	-	64,7	50,0
19	100,0	83,3	93,3	100,0	88,9	63,2	52,4
20	65,2	100,0	88,9	-	-	75,0	60,9
21	83,3	100,0	100,0	100,0	100,0	42,9	55,6
22	100,0	-	90,9	-	100,0	5,6	79,5
23	55,6	-	-	100,0	50,0	100,0	0,0
24	75,0	100,0	70,6	-	50,0	15,4	35,0
25	66,7	-	100,0	-	-	-	22,2
26	90,9	-	100,0	-	-	-	0,0
27	85,0	61,5	72,7	100,0	71,4	92,3	45,0
28	86,6	76,0	72,5	-	30,6	86,7	86,6
29	100,0	-	100,0	-	80,0	100,0	100,0
30	71,8	-	100,0	72,7	97,1	-	4,7
31	100,0	-	50,0	-	100,0	83,3	-
32	69,6	93,3	30,4	100,0	80,0	95,5	52,2
Gew. Mittel	79,3	82,8	74,3	91,3	59,3	58,6	51,6

Tabelle 24: Beachtung allgemeiner Grundsätze bei der Fruchtfolgegestaltung auf der Ackerfläche von 32 Betrieben des ökologischen Landbaus in Sachsen

Betrieb [Nr.]	Anteil an der Ackerfläche der Betriebe [%]						Anbau-Rangfolge nach Leguminosen
	Wechsel Sommerung Winterung	Kartoffeln	Körner-leguminosen	Ölfrüchte	Rotklee Luzerne Lupine	Option für Zwischenfruchtanbau	
1	83,0	61,5	91,0	100,0	44,3	22,6	100,0
2	81,6	100,0	94,9	-	24,4	65,9	59,1
3	100,0	-	100,0	-	-	54,0	100,0
4	76,1	78,6	-	-	-	96,6	17,2
5	49,3	-	-	100,0	-	0,0	64,2
6	100,0	-	100,0	92,3	69,9	26,0	79,2
7	63,0	100,0	100,0	-	100,0	83,8	87,0
8	94,3	-	62,3	100,0	66,5	96,1	97,3
9	83,0	80,5	-	-	-	8,9	57,4
10	100,0	-	38,9	-	100,0	100,0	100,0
11	86,5	-	100,0	100,0	-	93,5	80,9
12	78,8	-	82,4	82,6	-	32,2	65,0
13	84,1	-	80,5	94,8	80,7	72,9	25,5
14	56,4	-	36,2	100,0	12,7	67,8	42,9
15	77,3	-	34,1	82,5	25,0	96,1	35,5
16	75,5	-	100,0	-	0,0	58,3	100,0
17	100,0	100,0	0,0	-	-	72,5	27,4
18	67,3	100,0	100,0	100,0	-	65,3	57,0
19	100,0	90,4	90,9	100,0	97,1	66,1	57,7
20	59,6	100,0	91,2	-	-	79,7	63,9
21	89,1	100,0	100,0	100,0	100,0	26,9	40,4
22	100,0	-	96,0	-	100,0	4,8	76,0
23	63,7	-	-	100,0	57,8	100,0	0,0
24	92,9	100,0	71,7	-	46,7	23,6	34,9
25	74,5	-	100,0	-	-	0,0	25,1
26	89,5	-	100,0	-	-	0,0	0,0
27	96,1	68,8	76,6	100,0	81,7	93,6	48,5
28	86,3	79,3	76,5	-	22,6	90,0	91,6
29	100,0	-	100,0	-	61,3	100,0	100,0
30	77,2	-	100,0	90,3	98,7	0,0	5,5
31	100,0	-	49,9	-	100,0	91,3	-
32	83,6	93,7	33,6	100,0	89,5	95,1	66,3
gewog. Mittel aller Betriebe	75,4	83,4	75,9	93,7	56,0	61,7	55,1
gewog. Mittel Futterbaubetr.	81,4	82,5	65,7	95,2	46,2	75,1	71,0
gewog. Mittel Marktfruchtbetr.	73,2	77,8	78,6	92,0	64,0	54,5	44,7

3.2 Schlagbezogene Bewertung des Nährstoff- und Anbaumanagements

Nachfolgend wird die gewählte Methodik zur schlagweisen Bewertung der Betriebe zunächst an ausgewählten Beispielen näher erläutert. Anschließend folgt eine Zusammenschau der Bewertungsergebnisse über alle bewerteten Schläge und Betriebe.

3.2.1 Betrieb 1 – Futterbaubetrieb

Betrieb 1 befindet sich im Agrarstrukturgebiet III (Mittelsächsisches Lössgebiet) mit einer Jahresmitteltemperatur von 9,2 °C und einem Jahresniederschlag von 640 mm. Der Betrieb bewirtschaftet knapp 233 ha LN, davon 190 ha Ackerfläche, verteilt auf 16 Schläge, und 43 ha Grünland. Als Hauptfrüchte werden Winterweizen, Triticale, Kartoffeln, Körner- und Silomais sowie gelegentlich auch Sonnenblumen angebaut. Als Körnerleguminosen stehen Körnererbsen und Ackerbohne in der Fruchtfolge, als Futterleguminosen sind Luzerne, Rotklee und Gemenge mit Nichtleguminosen im Anbau.

Der Betrieb hält Milchkühe mit entsprechender Nachzucht, sowie Mutterschafe und Lämmer. Der Tierbesatz lag im Untersuchungszeitraum bei 3,7 GV je ha Grünland bzw. 0,8 GV je ha Ackerfläche. Als organische Düngemittel (Wirtschaftsdünger) werden Gülle und Stallmist aus der eigenen Rinder- und Schafhaltung sowie Pferdemist aus Zukauf eingesetzt. Eine mineralische Düngung oder eine Kalkung war im Untersuchungszeitraum nicht erfolgt.

Nährstoff- und Humusmanagement

Aus Tabelle 25 geht hervor, dass sich der pH-Wert der Schläge im Mittel zwischen pH 6,1 und pH 6,6 bewegte. Nur Schlag 16 lag etwas darunter. Der untere Richtwert von pH 6,3 des VDLUFA für den Optimalbereich (Klasse C) für Lehmböden wurde auf 8 Schlägen knapp unterschritten. Bei diesen pH-Werten sind nach der Definition des VDLUFA zwar noch keine signifikanten Ertragsverluste zu erwarten, aber die Bedingungen für die Ausbildung der Bodenstruktur und die Nährstoffverfügbarkeit bereits eingeschränkt. Im Durchschnitt des Betriebes wird eine Kalkung angeregt (siehe Tabelle 19).

Die P-, K- und Mg-Gehalte der Schläge lagen im Optimalbereich, ausgenommen war lediglich Schlag 15, der mit 4,8 mg/100 g Boden einen deutlich zu geringen K-Gehalt (Versorgungsklasse A) aufwies. Die mittleren 6-jährigen Humusbilanzen der Schläge variierten in einem weiten Bereich zwischen -176 häq/ha*a und 235 häq/ha*a. Der untere Grenzwert des VDLUFA für eine optimale Humusversorgung von 0 häq/ha*a wurde auf neun Schlägen unterschritten. Auf diesen Schlägen ist bei Fortführung der bisherigen Bewirtschaftung mittel- bis langfristig mit einer Abnahme der Humusgehalte zu rechnen.

Die mittleren 6-jährigen N-Salden der Schläge waren überwiegend ausgeglichen bis leicht positiv. Auf 3 Schlägen wurden sogar N-Salden von >50 kg/ha*a erreicht, die bereits auf ein erhöhtes Risiko für N-Verluste durch Verlagerung in tiefere Bodenschichten hindeuten und allenfalls kurzfristig, d. h. beispielsweise nach Leguminosenanbau und anderen Kulturen mit N-reichen Wurzel- und Bestandesrückständen toleriert werden können.

Auf sechs Schlägen sind negative N-Salden aufgetreten, obwohl die N-Deposition aus der Atmosphäre in der Bilanzierung berücksichtigt worden ist. An den teilweise sehr hohen N-Verwertungsraten von weit über 100 % kann abgelesen werden, dass die N-Vorräte der Flächen abnehmen werden, was durch negative Humussalden auf den meisten der betroffenen Flächen bestätigt werden kann (Tabelle 25).

Die P- und K-Salden der Schläge waren durchweg stark bis sehr stark negativ. Von allen Schlägen wurden demnach erheblich größere Mengen dieser Grundnährstoffe mit den Ernten abgefahren als über die organische oder mineralische Düngung auf die Schläge zugeführt worden sind. Dies ist solange tolerierbar und Stand der Düngungsempfehlungen, wie sich die Bodengehalte dieser Elemente noch im Optimalbereich der Versorgungsklassen B und C des VDLUFA befinden, was hier nahezu ausnahmslos der Fall war. Deutlich negative Salden führen mittel- bis langfristig aber zu einer Abreicherung der P- und K-Gehalte im Boden. Sie sollten Anlass sein, die Bodengehalte regelmäßig zu überwachen. Bei Unterschreitung der empfohlenen Grenzwerte wäre auch im Ökolandbau eine P- oder K-Düngung erforderlich, um Ertragseinbußen zu vermeiden und die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten. In Betrieb 1 war eine K-Düngung im Untersuchungszeitraum beispielsweise nur auf Schlag 15 angeraten, der sowohl sehr geringe Bodengehalte als auch sehr stark negative K-Salden aufwies.

Die Magnesiumsalden waren auf allen Schlägen ebenfalls negativ, was auf den schweren, nachlieferungsstarken Lehmböden überwiegend tolerierbar ist. Erst ab Salden von $<-20 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}$ ist mit einer messbaren Abreicherung der Böden zu rechnen, die mittel- bis langfristig Risiken für die Magnesiumversorgung der Kulturen bergen könnte. Die Schwefelsalden der Schläge befanden sich durchweg im Optimum. Mit Berücksichtigung der S-Einträge aus der Atmosphäre war eine S-Mangelsituation bisher nicht gegeben.

Tabelle 26 zeigt das Vorgehen zur Bewertung der Bodengehalte, Nährstoff- und Humussalden sowie zur Visualisierung der Ergebnisse (Grundlagen siehe Tabelle 3 u. Tabelle 4). Rot unterlegte Felder kennzeichnen Untersuchungs- und Bilanzierungsergebnisse, die auf eine Ertragsgefährdung durch ein oder mehrere der berücksichtigten Merkmale hindeuten. Beispielsweise lag der pH-Wert im Betrieb 1 auf 8 von 15 Schlägen unterhalb des Optimums. Eine potenzielle Ertragsgefährdung durch zu geringe pH-Werte bestand damit auf 53 % der Schläge (vgl. letzte Zeile der Tabelle 26).

Durch negative Humusbilanzen waren 56 % der Schläge gefährdet, durch negative N-Salden 38 % der Schläge. Die P-Salden waren zwar ebenfalls durchweg stark negativ, aufgrund (noch) ausreichender P-Bodengehalte war eine Ertragsgefährdung bis zum Aufnahmezeitpunkt noch nicht gegeben. Die Farbunterlegung durch Orange zeigt an, dass die Bewirtschaftung in diesen Punkten nicht optimal war, ohne dass dies aber unmittelbar Ertragsrisiken nach sich ziehen würde. Sie soll darauf hinwirken, die Entwicklung der Bodengehalte weiterhin regelmäßig zu verfolgen, um zukünftige Mangelsituationen in der Bodenfruchtbarkeit rechtzeitig zu erkennen. Bei Fortsetzung dieses Trends sind Maßnahmen zur P-Düngung erforderlich, wie es im Durchschnitt des Betriebes bereits in Tabelle 19 angedeutet worden ist.

Für die Kaliumernährung der Kulturen war eine solche Situation nur auf Schlag 15 bereits gegeben. Geringe K-Gehalte im Boden in Verbindung mit stark negativen K-Salden führten auf diesem Schlag mit hoher Wahrscheinlichkeit zu latenten Ertragseinbußen durch K-Mangel. Abhilfe könnte eine mineralische K-Düngung, z. B. mit Kalirohsalzen, Patentkali oder Kaliumsulfat schaffen, damit die Versorgungsklasse B erreicht und gesichert wird.

Aus der zeilenweisen Summation der Einzelbewertungen je Schlag ergibt sich die Gesamtbeurteilung der Ertragsgefährdung der Einzelschläge durch Fehler im Nährstoff- und Humusmanagement (Tabelle 25). Es wird deutlich, dass von den 16 Schlägen dieses Betriebes nur 2 Schläge im Zeitraum der Erhebungen nicht durch eines der hier geprüften Kriterien der Bodenfruchtbarkeit gefährdet waren. Bei 14 Schlägen wiesen die Bewertungen zumindest für einen, teilweise auch für zwei oder sogar drei Kriterien auf ein suboptimales Nährstoff- und Humusmanagement hin, so dass es mit hoher Wahrscheinlichkeit in diesem Betrieb bereits zu Ertragsausfällen durch eine entsprechende Abnahme der Bodenfruchtbarkeit gekommen ist. Anteilig ausgedrückt war eine Ertragsgefährdung auf 14 Schlägen durch 10 – 30 % der Bewertungskriterien gegeben (relati-

ve Ertragsgefährdung, Tabelle 26. Bei den im Nährstoffmanagement ausgewiesenen Schlägen handelt es sich um ein allgemeines Gefährdungspotenzial, da im Wesentlichen alle angegebenen Fruchtarten dieser Ackerflächen betroffen sind.

Tabelle 25: Bodengehalte und Salden der Hauptnährstoffe und des Humus auf den Schlägen des Betriebes 1

Schlag	pH-Wert	P-Gehalt Boden	K-Gehalt Boden	Mg-Gehalt Boden	Humusbilanz	N-Saldo	P-Saldo	K-Saldo	Mg-Saldo	S-Saldo	N-Effizienz
[Nr.]		[mg/100 g]			[häq/ha*a]	[kg/ha*a]					[%]
1	6,2	4,2	9,2	12,5	235	65	-14	-102	-8	5	86
2	6,4	5,1	9,2	11,2	-107	-81	-23	-114	-11	4	340
3	6,6	5,7	11,7	8,1	24	12	-19	-69	-9	4	135
4	6,1	5,1	9,1	17,7	130	59	-23	-161	-15	5	86
5	6,2	4,1	8,1	12,4	-51	21	-22	-156	-16	7	117
6	-	-	-	-	-53	2	-34	-209	-26	5	141
7	6,0	4,5	11,7	12,7	-96	6	-13	-38	-4	6	142
8	6,0	3,7	11,1	10,5	-142	-18	-14	-64	-4	9	250
9	6,2	5,0	11,5	13,1	-176	-13	-10	-30	-1	9	178
10	6,3	3,9	7,2	17,8	24	-18	-16	-59	-6	6	186
11	6,3	4,9	10,3	18,8	171	-4	-30	-235	-28	5	139
12	6,5	3,7	9,6	16,1	10	31	-11	-47	-4	6	105
13	6,4	6,7	13,2	15,1	-16	-40	-17	-85	-9	4	221
14	6,1	4,7	6,4	12,7	-7	55	-44	-328	-31	4	88
15	6,6	3,5	4,8	13,8	-14	35	-50	-381	-36	3	100
16	5,8	6,1	13,5	10,1	186	33	-12	-34	-5	10	101

Tabelle 26: Bewertung der Bodengehalte und Salden der Hauptnährstoffe und des Humus auf den Schlägen des Betriebes 1

Schlag [Nr.]	Bodenart	pH-Wert	P-Gehalt Boden	K-Gehalt Boden	Mg-Gehalt Boden	Humusbilanz	N-Saldo	P-Saldo	K-Saldo	Mg-Saldo	S-Saldo	Ertragsgefährdung	Umweltgefährdung	relative Gefährdung [%]
1	L	I	II	II	III	II	III	I	I	II	II	ja	ja	10
2	L	II	II	II	II	I	I	I	I	II	II	ja	nein	20
3	L	II	II	II	II	II	II	I	I	II	II	nein	nein	-
4	L	I	II	II	III	II	III	I	I	II	II	ja	ja	10
5	L	I	II	II	III	I	II	I	I	II	II	ja	nein	20
6	L	-	-	-	-	I	II	I	I	I	II	Ja	nein	10
7	L	I	II	II	III	I	II	I	II	II	II	ja	nein	20
8	L	I	II	II	II	I	I	I	I	II	II	ja	nein	30
9	L	I	II	II	III	I	I	I	II	II	II	ja	nein	30
10	L	II	II	II	III	II	I	I	I	II	II	ja	nein	10
11	L	II	II	II	III	II	I	I	I	I	II	ja	nein	10
12	L	II	II	II	III	II	II	I	I	II	II	nein	nein	-
13	L	II	II	II	III	I	I	I	I	II	II	ja	nein	20
14	L	I	II	II	III	I	III	I	I	I	II	ja	ja	20
15	L	II	II	I	III	I	II	I	I	I	II	ja	nein	30
16	sL	I	II	II	III	II	II	I	II	II	II	ja	nein	10
Ertragsgefährdung		ja	nein	ja	nein	ja	ja	nein	ja	nein	nein			ja
[%]		53	-	7	-	56	38	-	6	-	-			88

Zur Verbesserung der Situation wird empfohlen, zunächst die Humusversorgung zu stabilisieren. In Ergänzung zur Düngungspraxis auf dem Betrieb 1 (siehe Tabelle 9) käme in erster Linie ein weiterer Einsatz von Wirtschaftsdüngern, ggf. auch durch Zukauf, in Frage. Damit wäre auch eine vermehrte Zufuhr an Stickstoff und anderen Nährstoffen verbunden, die zum Ausgleich vor allem der negativen Nährstoffsalden der betreffenden Ackerschläge beitragen könnte. Die Ausweitung des Feldfutterbaus hingegen scheint mit Blick auf die folgenden Auswertungen zur Fruchtfolgegestaltung (Tabelle 27) nur begrenzt möglich.

Darüber hinaus ist auf 8 Schlägen eine Kalkung zur Stabilisierung des pH-Wertes dringend angeraten. Hierfür stehen auch für die ökologische Landwirtschaft geeignete und zugelassene Kalkdüngemittel wie Kohlensäurer Kalk, Dolomitkalk oder Muschelkalk zur Verfügung. Schlag 15 bedarf einer Kalium-Grunddüngung. Für diesen Nährstoff sind eine Reihe mineralischer Düngemittel auch für die Anwendung in der ökologischen Landwirtschaft nutzbar. Aus der Düngebedarfsermittlung (siehe Tabelle 19) geht weiterhin hervor, dass in Zukunft auch eine Zufuhr von P-haltigen Düngemitteln erforderlich wird, um die Versorgungsklasse B zu sichern.

Fruchtfolgemangement

Aus Tabelle 27 ist die Bewertung des Fruchtfolgemangements des Betriebes 1 zu entnehmen (Grundlagen siehe Tabelle 5, Tabelle 6 und Tabelle 7). Die erste Spalte gibt zunächst Auskunft über den Leguminosenanteil der Fruchtfolgen (Futter- u. Körnerleguminosen) auf den einzelnen Schlägen. Optimal wäre ein Anteil von 25 – 35 % Leguminosen in der Fruchtfolge (vgl. Tabelle 7). Dieser Anteil wurde im Untersuchungszeitraum auf 11 von 15 Schlägen erreicht. Oft lag der Leguminosenanteil aber weit höher, so dass die erforderlichen Anbaupausen nicht immer eingehalten wurden (s. u.).

In der zweiten Spalte ist der Zwischenfruchtanteil der Fruchtfolge ausgewiesen. Im Mittel wurden auf allen Schlägen zumindest einmal in 6 Jahren Zwischenfrüchte als Stoppelsaaten angebaut. Zum Anbau kamen Senf oder andere Kreuzblütler, Leguminosen in Reinsaat oder im Gemenge mit Nichtleguminosen. Nur auf 4 Schlägen (25 %) erfolgte innerhalb des Untersuchungszeitraums kein Zwischenfruchtanbau. Dafür wurden auf 7 Schlägen sogar 2-mal in 6 Jahren Zwischenfrüchte angebaut. Damit wurden nahezu alle ernte- und bestellterminabhängigen Optionen für den Zwischenfruchtanbau genutzt, wie die vorletzte Spalte der Tabelle 27 ausweist (Klasse II).

Auf den vier Schlägen ohne Zwischenfruchtanbau (Klasse I) hätten Zwischenfrüchte jeweils nach Winterweizen bzw. vor Kartoffeln oder Körnererbsen angebaut werden können. Möglicherweise haben späte Erntetermine des Weizens dem entgegengestanden. Eine unmittelbare Ertragsgefährdung ist aus dem unterlassenen Zwischenfruchtanbau gleichwohl nicht gegeben. Deshalb erhalten Schläge mit Mängeln bei diesem Kriterium in Tabelle 27 lediglich eine orangefarbene Unterlegung.

Der Betrieb wechselt auf nahezu allen Schlägen regelmäßig zwischen Sommerung und Winterung, wodurch sich die Verunkrautung auf Dauer wesentlich in Grenzen halten lässt (PALLUT, 2000). Allerdings liegt der Getreideanteil der Fruchtfolge vielfach verhältnismäßig niedrig. In vielen Betrieben bildet der Getreideanbau gemeinhin das wirtschaftliche Rückgrat des Ackerbaus und sollte daher günstigenfalls einen Anteil von mindestens 30 % an der Fruchtfolge aufweisen. Dieser Anteil wurde im Betrieb 1 auf immerhin 10 von 16 Flächen nicht erreicht.

Dafür wurden in diesem Betrieb vermehrt Kartoffeln angebaut, die ebenfalls eine hohe wirtschaftliche Bedeutung haben. Allerdings konnten die hier erforderlichen Anbaupausen von mindestens 5 Jahren nicht immer eingehalten werden. Für 40 % der Schläge mit Kartoffelanbau waren daher Risiken aufgrund der zu engen Fruchtfolge anzunehmen. Gleiches galt auf 3 Schlägen (27 %) für den Anbau von Körnerleguminosen (Tabelle 27).

Im Feldfutterbau wurden Luzerne oder Rotklee auf 57 % der Schläge zu häufig, d. h. mehr als 1-mal in 6 Jahren angebaut. Hierdurch ist auf Dauer eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für Ertragsausfälle durch typische Fruchtfolgekrankheiten wie Kleekrebs und Parasiten wie dem Kleestängelälchen gegeben, die unter dem Begriff der „Bodenmüdigkeit“ zusammengefasst werden. Mit sinkenden Grünmasseerträgen kann dann auch die N-Bindungsleistung der Fruchtfolge abfallen.

Tabelle 27: Bewertung der Fruchtfolgen des Betriebes 1

Schlag [Nr.]	Leguminosen- anteil (Hauptfrucht) [%]		Zwischen- fruchtanteil [%]		Somme- rung/ Winterung	Anteil Getreide	Anteil Feldfutter- bau	Anteil Kartoffel	Anteil Körnerle- guminosen	Anteil Ölfrüchte	Anteil Rotklee/ Luzerne/ Lupine	Zwischen- fruchtanbau Bodenfrucht- barkeit	Anbau- rangfolge Legumi- nosen	Relative Gefähr- dung
1	66	I	17	I	I	I	II	II	I	-	I	II	II	ja
2	33	II	33	II	II	II	II	I	II	-	II	II	II	ja
3	33	II	0	I	II	I	II	II	II	II	II	I	II	nein
4	50	I	17	I	II	II	II	II	II	-	I	II	II	ja
5	17	I	33	II	II	II	II	I	-	II	II	II	II	ja
6	17	I	33	II	II	II	II	II	-	II	II	II	II	nein
7	17	I	17	I	II	II	I	II	II	-	-	II	II	nein
8	33	II	33	II	II	II	I	I	I	-	-	II	II	ja
9	17	I	0	I	I	I	I	I	II	-	-	I	II	ja
10	33	II	0	I	II	II	II	II	II	-	II	I	II	nein
11	33	II	17	I	II	II	II	II	-	II	I	II	II	ja
12	17	I	33	II	II	II	I	II	II	-	-	II	II	nein
13	33	II	17	I	II	II	II	II	II	-	II	II	II	nein
14	33	II	33	II	II	II	II	I	-	-	I	II	II	ja
15	33	II	33	II	II	II	II	I	-	-	I	II	II	ja
16	50	I	0	I	II	II	II	-	I	-	II	I	II	ja
Ertragsgefährdung					nein	nein	nein	ja	ja	nein	ja	nein	nein	ja
[%]					-	-	-	40	27	-	57	-	-	63

Bei den im Anbaumanagement ausgewiesenen Flächen handelt es sich meistens um ein spezifisches Gefährdungspotenzial, da in der Regel nur bestimmte Fruchtarten betroffen sind. Daher wurde kein Gefährdungsumfang der einzelnen Flächen ausgewiesen. Aus der dargelegten Gefährdung geht jedoch abschließend hervor, dass im Betrieb 1 auf mehr als der Hälfte der Flächen ein Gefährdungspotenzial für mindestens einer, manchmal auch für mehrere der angebauten Fruchtarten vorliegt. Die letzte Spalte der Tabelle 27 gibt an, wie der vom Leguminosenglied der Fruchtfolge gesammelte Stickstoff innerhalb der Fruchtfolge verwertet wurde. Um eine hohe N-Ausnutzung zu erreichen, sollten auf den umsatzstarken Lehmböden nach Leguminosen möglichst anspruchsvolle und wirtschaftlich ertragreiche Kulturen mit einem vergleichsweise hohen Stickstoffbedarf angebaut werden (KOLBE, 2008). Dieser Grundsatz wurde im Beispielbetrieb auf allen Schlägen befolgt. Erst im 3. und 4. Fruchtfolgeglied folgten weniger anspruchsvolle Kulturen, bevor erneut Leguminosen zum Anbau kamen.

3.2.2 Betrieb 14 – Marktfruchtbetrieb

Betrieb 14 befindet sich im Agrarstrukturgebiet I (Sächsische Heide und Elbtal) mit einer mittleren Jahrestemperatur von 7,5 °C und einem Jahresniederschlag von lediglich 450 mm. Die vorherrschende Bodenart ist ein stark lehmiger Sand (SL).

Die Umstellung auf den ökologischen Landbau erfolgte im Jahr 2000. Die ökologisch bewirtschaftete Ackerfläche betrug 2011 knapp 313 ha, verteilt auf 35 Schläge. Der Betrieb hat keine Viehhaltung und verfügt über kein Grünland. Als Hauptfruchtarten wurden im Untersuchungszeitraum Winterweizen, Wintergerste und Winterroggen sowie Speiseerbsen und Luzerne (2-jährig) angebaut. Das Getreide- und Erbsenstroh blieb durchweg auf den Schlägen, ebenso der gesamte Luzerneaufwuchs. Der Betrieb setzte auf ca. zwei Drittel seiner Schläge mineralische Düngemittel wie Patentkali, Magnesia-Kainit, Physiocal 43 und Physiomax 39 ein, letztere zur Kalkversorgung der Schläge. Zusätzlich wurde auf 8 Schlägen Schafmist aus Zukauf ausgebracht. Die über mineralische und organische Düngemittel je Hektar und Jahr ausgebrachten Nährstoffmengen betragen im Mittel der Schläge 6,9 kg N, 2,9 kg P, 13,6 kg K und 25,1 kg Mg (siehe Tabelle 9).

Nährstoff- und Humusmanagement

Aus Tabelle 28 und Tabelle 29 geht hervor, dass der pH-Wert der Schläge zwischen pH 5,3 und pH 7,0 in weiten Grenzen variierte. Der optimale pH-Bereich gemäß VDLUFA (2000) von pH 6,1 bis 6,7 wurde auf 20 % der Schläge des Betriebes deutlich unterschritten. Auf diesen Schlägen könnte daher die Bodenstruktur und die Nährstoffverfügbarkeit bereits negativ beeinflusst gewesen sein. Möglicherweise war es auch bereits zu Ertragsverlusten infolge der geringen pH-Werte gekommen. Dabei ist zu beachten, dass nur für 23 Schläge pH-Werte ermittelt werden konnten. Wird die geringere Anzahl Schläge zugrunde gelegt, steigt der Anteil durch suboptimale pH-Werte gefährdeter Schläge sogar auf über 30 % an. Die betreffenden Ackerflächen sind in Tabelle 29 an der roten Unterlegung ihrer Felder für den Parameter Boden-pH-Wert zu erkennen. Für sie wird dringend eine Aufkalkung mit Gaben zwischen 20 – 30 dt CaO/ha empfohlen, um die Bodenstruktur zu erhalten und einen optimalen Nährstoffumsatz zu gewährleisten. Die bisher über Kalk-Düngemittel wie Physiocal 43 und Physiomax 39 eingebrachten Kalkmengen reichen hierfür bei weitem nicht aus. Auch im Durchschnitt des Betriebes ist ein Kalkbedarf berechnet worden (siehe Tabelle 19).

Die P-Gehalte im Boden der untersuchten Schläge lagen durchweg oberhalb des vom VDLUFA empfohlenen Grenzwertes von 1,5 mg P/100 g (unterer Wert der Versorgungsstufe B). Auf allen Schlägen ist daher mit einer ausreichenden Versorgung zu rechnen. Die bisher durch den Betrieb verfolgte Strategie der langsamen Abreicherung der P-Vorräte des Bodens durch Verzicht auf Düngung und Tolerierung negativer Schlagbilanzen kann daher zunächst noch fortgeführt werden. Sie entspricht den derzeitigen Empfehlungen der Offizial-

beratung (VDLUFA, 2015; siehe auch Tabelle 19). Die Bodengehalte sollten aber regelmäßig überwacht werden, um Risiken zu erkennen und bei Unterschreiten der Grenzwerte durch eine gezielte P-Düngung in mineralischer und/oder organischer Form rechtzeitig gegensteuern zu können.

Ebenso lagen die Kalium- und Magnesiumgehalte der Schläge meistens im Optimalbereich, vielfach sogar weit darüber. Lediglich für Schlag 9 wurde eine geringe Magnesiumunterversorgung festgestellt, die durch Verwendung Mg-haltiger Kalke bei der gleichfalls empfohlenen Kalkung leicht zu beheben wäre. Auf Grund der deutlich negativen K-Salden wird aber im Durchschnitt des Betriebes bereits ein zusätzlicher K-Bedarf durch die Düngebedarfsermittlung angezeigt (siehe Tabelle 19).

Tabelle 28: Bodengehalte und Salden der Hauptnährstoffe und des Humus auf den Schlägen des Betriebes 14

Schlag [Nr.]	pH-Wert	P-Gehalt im Boden	K-Gehalt im Boden	Mg-Gehalt im Boden	Humusbilanz [häq/ha*a]	N-Saldo	P-Saldo	K-Saldo	Mg-Saldo	S-Saldo	N-Effizienz [%]
1	6,4	7,0	7,0	10,0	772	41	0	9	2	15	-
2	5,7	4,0	5,0	6,0	833	46	1	16	15	19	-
3	6,4	7,0	7,0	10,0	531	77	-18	-110	-10	7	76
4	6,0	4,0	5,0	11,0	392	31	-15	-85	9	13	102
5	-	-	-	-	222	38	-18	-77	7	13	97
6	7,0	9,0	6,0	10,0	212	23	-16	-66	8	13	112
7	6,6	5,0	6,0	6,0	407	102	-15	-161	62	26	72
8	-	-	-	-	423	120	-5	-47	55	26	53
9	5,0	5,0	8,0	3,0	-30	37	-7	-15	35	22	101
10	5,9	2,0	5,0	16,0	39	65	-5	-14	0	13	64
11	5,7	4,0	5,0	6,0	51	14	-11	-24	2	12	136
12	6,5	7,0	15,0	7,0	426	117	-1	-5	28	17	55
13	6,2	4,0	15,0	13,0	281	17	-14	-55	-5	10	98
14	6,4	2,0	19,0	21,0	196	53	-10	-28	-2	12	79
15	5,9	5,0	8,0	12,0	91	69	-10	-42	28	19	72
16	6,2	7,0	12,0	7,0	443	117	-6	-65	23	17	59
17	5,4	2,0	25,0	11,0	105	39	-9	-42	0	12	96
18	6,1	5,0	16,0	9,0	499	68	-15	-139	47	23	82
19	6,2	2,0	10,0	15,0	16	56	-6	-48	0	12	69
20	-	-	-	-	-111	60	-10	-24	0	13	54

Tabelle 28: Fortsetzung

Schlag	pH-Wert	P-Gehalt im Boden	K-Gehalt im Boden	Mg-Gehalt im Boden	Humusbilanz	N-Saldo	P-Saldo	K-Saldo	Mg-Saldo	S-Saldo	N-Effizienz
[Nr.]		[mg/100g Boden]			[häq/ha*a]	[kg/ha*a]					[%]
21	-	-	-	-	572	50	-13	-111	25	18	87
22	6,3	4,0	8,0	12,0	116	69	-13	-34	-5	10	68
23	-	-	-	-	709	37	-3	-47	48	25	132
24	5,6	4,0	16,0	9,0	-38	42	-4	-17	3	14	85
25	-	-	-	-	725	41	0	0	0	15	-
26	-	-	-	-	240	59	-12	-76	6	12	83
27	6,8	8,0	10,0	8,0	-2	19	-9	-16	-3	12	117
28	-	-	-	-	20	-3	-13	-41	-6	10	173
29	6,8	8,0	10,0	8,0	9	-10	-14	-42	-6	10	184
30	6,0	4,0	5,0	11,0	277	26	-20	-84	3	11	107
31	5,3	15,0	31,0	8,0	-16	80	-4	-31	-3	11	45
32	-	-	-	-	700	46	-20	-168	104	38	90
33	-	-	-	-	85	121	-6	-72	85	33	81
34	-	-	-	-	113	56	-8	-95	113	42	81
35	-	-	-	-	569	120	-5	-58	54	26	55

Tabelle 29: Bewertung der Bodengehalte und Salden der Hauptnährstoffe und des Humus auf den Schlägen des Betriebes 14

Schlag [Nr.]	Bodenart	pH-Wert	P-Gehalt im Boden	K-Gehalt im Boden	Mg-Gehalt im Boden	Humusbilanz	N-Saldo	P-Saldo	K-Saldo	Mg-Saldo	S-Saldo	Ertragsgefährdung	Umweltgefährdung	relative Gefährdung [%]
1	sL	II	II	II	III	III	II	II	III	III	II	nein	nein	-
2	IS	I	II	II	II	III	II	II	III	III	II	ja	nein	10
3	LS	II	II	II	III	II	III	I	I	II	II	nein	ja	-
4	IS	II	II	II	III	II	II	I	I	III	II	nein	nein	-
5	sL	-	-	-	-	II	II	I	I	III	II	nein	nein	-
6	sL	III	III	II	III	II	II	I	I	III	II	nein	nein	-
7	sL	II	II	II	II	II	III	I	I	III	III	nein	ja	-
8	sL	-	-	-	-	II	III	I	I	III	III	nein	ja	-
9	sL	I	II	II	I	I	II	I	II	III	III	ja	nein	30
10	IS	II	II	II	III	II	III	I	II	II	II	nein	ja	-
11	IS	I	II	II	II	II	II	I	II	III	II	ja	nein	10
12	sL	II	II	III	II	II	III	II	II	III	II	nein	ja	-
13	sL	II	II	III	III	II	II	I	I	II	II	nein	nein	-
14	sL	II	II	III	III	II	III	I	II	II	II	nein	ja	-
15	sL	I	II	II	III	II	III	I	I	III	II	ja	ja	10
16	sL	II	II	II	II	II	III	I	I	III	II	nein	ja	-
17	sL	I	II	III	III	II	II	I	I	II	II	ja	nein	30
18	sL	II	II	III	III	II	III	I	I	III	III	nein	ja	-
19	sL	II	II	II	III	II	III	I	I	II	II	ja	ja	20
20	sL	-	-	-	-	I	III	I	II	II	II	ja	ja	10

Tabelle 29: Fortsetzung

Schlag [Nr.]	Bodenart	pH-Wert	P-Gehalt im Boden	K-Gehalt im Boden	Mg-Gehalt im Boden	Humusbilanz	N-Saldo	P-Saldo	K-Saldo	Mg-Saldo	S-Saldo	Ertragsgefährdung	Umweltgefährdung	relative Gefährdung [%]
21	sL	-	-	-	-	II	II	I	I	III	II	nein	nein	-
22	sL	II	II	II	III	II	III	I	II	II	II	nein	ja	-
23	sL	-	-	-	-	III	II	I	I	III	III	nein	nein	-
24	sL	I	II	III	III	II	II	I	II	III	II	ja	nein	10
25	sL	-	-	-	-	III	II	II	II	II	II	nein	nein	-
26	sL	-	-	-	-	II	III	I	I	III	II	nein	ja	-
27	sL	III	III	II	III	I	II	I	II	II	II	ja	nein	10
28	SL	-	-	-	-	II	I	I	I	II	II	ja	nein	10
29	sL	III	III	II	III	II	I	I	I	II	II	ja	nein	10
30	sL	II	II	II	III	II	II	I	I	III	II	nein	nein	-
31	sL	I	III	III	III	I	III	I	II	II	II	ja	ja	20
32	sL	-	-	-	-	III	II	I	I	III	III	nein	nein	-
33	sL	-	-	-	-	II	III	I	I	III	III	nein	ja	-
34	sL	-	-	-	-	II	III	I	I	III	III	nein	ja	-
35	sL	-	-	-	-	II	III	I	I	III	III	nein	ja	-
Ertragsgefährdung		ja	nein	nein	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein			ja
[%]		30	-	-	4	11	6	-	-	-	-			24 Schläge: 50

Die Berechnung der Humusbilanzen ergab überwiegend positive Salden im Optimum, was durch den Verbleib des Stroh und dem Luzerneanbau begünstigt wurde. Lediglich auf 4 Schlägen (11 %) war eine zu geringe Humusversorgung berechnet worden. Zwei dieser Schläge waren zum Zeitpunkt der Untersuchung erst drei Jahre in Bewirtschaftung durch den Betrieb, so dass sich eine ausgeglichene Humusbilanz möglicherweise noch nicht etablieren konnte. Auf fünf Flächen waren bedenklich hohe Humussalden vorzufinden.

Auch die Stickstoffsalden lagen auf 94 % der Schläge im Optimalbereich oder sogar darüber. Auf mehr als der Hälfte der Schläge waren die N-Salden sogar soweit erhöht, dass eine Umweltgefährdung, d. h. N-Austräge mit dem Sickerwasser und gasförmige N-Verluste durch das Mulchen der Luzerneaufwüchse nicht auszuschließen waren. Dies kann auch Folge des intensiven Leguminosenanbaus mit Erbsen und Luzerne sein, wodurch große N-Mengen auf den Feldern zurückbleiben, die von den Folgekulturen unter Umständen nicht immer verwertet werden können. Bestätigt wird dieser Trend einerseits durch den Anteil an Flächen mit hohen N- und Humussalden und andererseits durch den Anteil an Betriebsflächen mit verhältnismäßig niedrigen N-Effizienzen. Insgesamt 9 Flächen weisen eine N-Effizienz von unter 70 % auf (Tabelle 28, Tabelle 29).

Obwohl insgesamt nur wenige rote Flächen ausgewiesen worden sind, ist zusammenfassend festzustellen, dass ungefähr 50 % der Schläge von einer Ertragsgefährdung betroffen sein können, vor allem auf Grund von Mängeln im pH-Wert und bei der Humusversorgung. Kalkungen und eine Verbesserung des Anbaumanagements sind auf diesem Betrieb angesagt.

Fruchtfolgemangement

Im Durchschnitt über alle Schläge lag der Leguminosenanteil der Fruchtfolge bei rund 47 % und damit weit über dem empfohlenen Optimumbereich (Tabelle 30). Der Betrieb ist auf die Produktion von Speiseerbsen (Markerbsen) spezialisiert. Erbsen wurden im Mittel auf mehr als 25 % der Schläge angebaut. Weitere bedeutende Marktfrüchte waren Winterweizen, Wintergerste und Winterroggen. Der Getreideanteil an der Fruchtfolge lag im Mittel bei knapp 32 %.

Die intensive, marktfruchtorientierte Fruchtfolge birgt verschiedene Risiken, die mittel- bis langfristig mit hoher Wahrscheinlichkeit Ertragseinbußen durch einen erhöhten Unkrautdruck sowie den Befall mit spezifischen Krankheiten nach sich ziehen wird. Möglicherweise traten solche Ertragsausfälle latent bereits im Untersuchungszeitraum auf. So wurde Getreide im Untersuchungszeitraum nahezu ausschließlich als Winterung angebaut, so dass das empfohlene Verhältnis Winterung/Sommerung auf 7 Schlägen nicht immer eingehalten werden konnte.

Problematisch war aber vor allem der hohe Anteil an Körnerleguminosen, namentlich der Speiseerbse, in der Fruchtfolge. Insgesamt wurden Körnerleguminosen auf 60 % der Schläge zu häufig, d. h. mehr als 1-mal in 6 Jahren angebaut. Zahlreiche Untersuchungen der letzten Jahre belegen eindeutig, dass der Kornertrag von Erbsen im Mittel umso geringer ist, je häufiger sie auf einem Schlag angebaut werden und je kürzer der Abstand zum vorherigen Anbau von Erbsen ist (SCHMIDT et al., 2014). Ursache des höheren Risikos von Mindererträgen sind vor allem Fußkrankheiten durch verschiedene saprophytisch im Boden überdauernde pilzliche Erreger. Selbst bei einem Anbauabstand von 5 Jahren, der hier noch als günstig bewertet wurde, sind negative Effekte langfristig möglicherweise nicht auszuschließen. Neuere Empfehlungen raten bei Erbse zu Anbaupausen von bis zu 14 Jahren (FINCKH et al., 2015).

Da der Betrieb keine Viehhaltung betreibt und daher über keine wirtschaftseigenen Düngemittel verfügt, muss die N-Versorgung nahezu ausschließlich über die N₂-Bindung durch den Leguminosenanbau erfolgen. Neben den Erbsen wurde hierzu auf rund 50 % der Schläge Luzerne angebaut, meistens 2-jährig, auf einigen Schlägen aber auch 3- bis 4-jährig. Insgesamt kam Luzerne damit auf 76 % der mit Luzerne bestellten Schläge zu

oft zum Anbau. Die Nutzung von Luzerne und von Kleearten in der gleichen Fruchtfolge mit Erbsen kann den Krankheitsdruck auf den Erbsenanbau weiter verstärken. Zu geringe Anbaupausen zwischen den Luzernejahren lassen zudem Ertragsgefährdungen auch für den Luzerneanbau selbst und deren N₂-Bindungsleistungen erwarten. Insgesamt ist eine Anbauegefährdung auf insgesamt 74 % der Ackerschläge gegeben, vor allem durch deutlich zu hohen Anbauanteilen an Leguminosen in den Fruchtfolgen (Tabelle 30).

Tabelle 30: Bewertung der Fruchtfolgen des Betriebes 14

Schlag [Nr.]	Leguminosen- anteil (Hauptfrucht) [%]		Zwischen- fruchtanteil [%]		Somme- rung/ Winterung	Anteil Getreide	Anteil Feld- futterbau	Anteil Kartoffel	Anteil Körnerle- guminosen	Anteil Ölfrüchte	Anteil Rotklee/ Luzerne/ Lupine	Zwischen- fruchtanbau Bodenfrucht- barkeit	Anbau- rangfolge Legumino- sen	Relative Gefähr- dung
1	0	I	0	I	-	I	I	-	-	-	-	-	I	nein
2	0	I	0	I	-	I	I	-	-	-	-	-	I	nein
3	83	I	0	I	I	I	I	-	I	-	I	I	I	ja
4	50	I	0	I	II	II	II	-	II	-	I	I	II	ja
5	50	I	0	I	II	II	II	-	II	-	I	I	II	ja
6	50	I	0	I	II	II	II	-	II	-	I	I	I	ja
7	83	I	0	I	II	I	I	-	II	-	I	-	II	ja
8	83	I	0	I	I	I	I	-	I	-	I	I	II	ja
9	50	I	17	I	II	II	II	-	I	-	-	II	I	ja
10	50	I	17	I	I	II	II	-	I	-	-	II	II	ja
11	33	II	17	I	II	I	I	-	I	-	-	II	II	ja
12	66	I	17	I	II	II	II	-	I	-	I	II	I	ja
13	50	I	17	I	I	II	II	-	I	II	II	II	II	ja
14	50	I	17	I	I	II	II	-	I	-	II	II	II	ja
15	83	I	17	I	II	I	II	-	I	II	I	II	II	ja
16	83	I	33	II	II	I	I	-	I	-	I	II	I	ja
17	50	I	17	I	II	II	I	-	I	-	II	II	II	ja
18	83	I	0	I	II	I	I	-	II	-	I	I	I	ja

Tabelle 30: Fortsetzung

Schlag [Nr.]	Leguminosen- anteil (Hauptfrucht) [%]		Zwischen- fruchtanteil [%]		Somme- rung/ Winterung	Anteil Getreide	Anteil Feld- futterbau	Anteil Kartoffel	Anteil Körnerle- guminosen	Anteil Ölfrüchte	Anteil Rotklee/ Luzerne/ Lupine	Zwischen- fruchtanbau Bodenfrucht- barkeit	Anbau- rangfolge Legumi- nosen	Relative Gefähr- dung
19	66	I	60	III	II	II	I	-	I	-	-	II	II	nein
20	50	I	20	II	II	II	I	-	I	-	-	II	II	ja
21	83	I	20	II	II	II	I	-	II	-	I	-	-	ja
22	33	II	40	III	II	II	I	-	I	-	-	II	II	ja
23	66	I	0	I	II	I	I	-	-	-	I	-	-	ja
24	33	II	0	I	II	II	I	-	I	-	-	I	I	ja
25	0	I	0	I	II	I	II	-	-	-	-	-	-	nein
26	66	I	0	I	II	II	II	-	I	-	I	I	I	ja
27	0	I	33	II	I	II	II	-	II	-	-	-	-	nein
28	17	I	33	II	II	II	II	-	II	-	-	II	II	nein
29	17	I	33	II	II	II	II	-	II	-	-	II	II	nein
30	50	I	17	I	I	II	II	-	II	-	I	-	-	ja
31	33	II	50	III	II	II	II	-	I	-	-	II	II	ja
32	50	I	0	I	II	I	I	-	-	-	I	-	-	ja
33	34	II	0	I	II	II	II	-	II	-	II	-	-	nein
34	34	II	0	I	II	II	II	-	II	-	II	-	-	nein
35	99	I	0	I	II	I	I	-	I	-	I	I	I	ja
Ertragsgefährdung					nein	nein	nein	nein	ja	nein	ja	nein	nein	ja
[%]					-	-	-	-	60	-	76	-	-	74

Mit Blick auf die N-Versorgung ist eine Zurücknahme des Leguminosenanbaus durchaus vertretbar, ohne N-Mangelsituationen fürchten zu müssen. Es ist eine bessere Verteilung des Leguminosenanbaus auf alle Ackerflächen anzuraten. Allerdings müsste der Erbsenanbau erheblich eingeschränkt werden. An seiner Stelle könnten Ölfrüchten wie Winterraps, Sonnenblumen oder auch Senf stehen, die bisher nur auf einigen wenigen Schlägen zum Anbau kamen. Hieraus würde eine wesentliche Auflockerung der Fruchtfolge resultieren.

Optionen für den Zwischenfruchtanbau bestanden nach der Ernte der Grünerbsen oder des Wintergetreides. Diese Optionen wurden auf etwa der Hälfte der Schläge genutzt. Hierzu wurden als Zwischenfrüchte Feldgras oder auch Buschbohnen angebaut. Auf 12 Schlägen folgte Luzerne als Stoppelsaat unmittelbar auf Erbsen. Damit war der Boden auch auf diesen Schlägen ständig bedeckt. Durch die Zwischenbegrünung sind günstige Wirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit zu erwarten. Im Interesse der phytosanitären Funktion der Fruchtfolge und vor dem Hintergrund des ohnehin sehr hohen Leguminosenanteils wären nicht-legume Zwischenfrüchte wie Senf oder Ölrettich jedoch günstiger zu bewerten.

3.2.3 Betrieb 24 – Futterbaubetrieb

Der Betrieb 24 befindet sich im Agrarstrukturgebiet IV (Erzgebirgsvorland, Vogtland und Elsterbergland) mit einer mittleren Jahrestemperatur von 7,9 °C und einem Jahresniederschlag von 700 mm. Die vorherrschende Bodenart ist ein sandiger Lehm (sL).

Der Betrieb bewirtschaftet 63,7 ha Ackerfläche ökologisch. Hinzu kommen knapp 19 ha Grünland. Als Hauptmarktf Früchte werden Winterweizen, Triticale, Hafer und auf einigen Schlägen Kartoffeln angebaut. Körnerleguminosen machen einen Anteil von rund 18 % an der Fruchtfolge aus, der Anteil Futterleguminosen in Form von Klee gras, Rotklee oder Luzerne liegt bei knapp 37 %, jeweils bezogen auf die Gesamtzahl an Anbaujahren.

Der Betrieb hält Mutterkühe mit entsprechender Nachzucht, einige Schafe, Zuchtsauen und Mastschweine sowie halbjährlich Enten und Gänse zur Mast. Der Tierbesatz lag im Untersuchungszeitraum bei 1,4 GV/ha Ackerfläche bzw. 1,1 GV/ha Betriebsfläche. Als mineralisches Düngemittel wurde Kohlensaurer Kalk mit Magnesiumanteilen eingesetzt. Als organische Düngemittel (Wirtschaftsdünger) wurden Jauche und Stallmist aus der eigenen Rinder- und Schweinehaltung ausgebracht (siehe Tabelle 9).

Nährstoff- und Humusmanagement

Ergebnisse der Bodenuntersuchung konnten nur von 12 der insgesamt 20 Schläge gewonnen werden. Die auf den untersuchten Schlägen gemessenen pH-Werte lagen mit Ausnahme des Schlages Nr. 17 meistens deutlich unter der vom VDLUFA für einen optimalen pH-Wert genannten Spanne von pH 6,1 bis pH 6,7. Für diese Schläge ist infolge der zu geringen Kalkversorgung von einer potenziellen Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit auszugehen. Bezogen auf den Gesamtbetrieb betraf dies 55 % der Schläge (mit relativer Ertragsgefährdung), bezogen auf den untersuchten Anteil waren es sogar mehr als 92 % der Schläge (Tabelle 31, Tabelle 32).

Demgegenüber befanden sich die Bodengehalte der Hauptnährstoffe P, K und Mg im Optimumbereich oder sogar darüber. Eine gezielte Düngung dieser Nährstoffe wurde bisher nicht durchgeführt und scheint auch weiterhin nicht erforderlich zu sein. Die bisher verfolgte Strategie der langsamen Abreicherung der Bodenvorräte durch Verzicht auf Düngung sollte zunächst weiter beibehalten werden. Um Mangelsituationen zu vermeiden und rechtzeitig gegensteuern zu können, ist die Entwicklung der Bodengehalte weiter zu verfolgen. Auch die Humusbilanzen entsprachen auf allen Schlägen den Empfehlungen.

Tabelle 31: Bodengehalte und Salden der Hauptnährstoffe und des Humus auf den Schlägen des Betriebes 24

Schlag	pH-Wert	P-Gehalt Boden	K-Gehalt Boden	Mg-Gehalt Boden	Humusbilanz	N-Saldo	P-Saldo	K-Saldo	Mg-Saldo	S-Saldo	N-Effizienz
[Nr.]		[mg/100g Boden]			[häq/ha*a]	[kg/ha*a]					[%]
1	5,7	8,3	21,9	10,7	217	-8	-12	-58	-8	5	141
2	5,7	8,3	21,9	10,7	321	16	-1	-40	-4	6	115
3	5,6	4,8	13,1	16,6	315	-4	-16	-107	-14	10	157
4	5,6	4,8	13,1	16,6	86	34	1	-17	-1	14	106
5	5,6	4,8	13,1	16,6	244	48	1	-31	-3	12	93
6	5,6	4,8	13,1	16,6	240	37	-2	-45	-5	11	101
7	5,3	6,5	16,5	9,3	292	-28	-15	-87	-11	10	180
8	5,6	7,5	20,7	15,2	380	6	-4	-48	-6	9	103
9	-	-	-	-	400	0	-18	-135	-14	10	154
10	-	-	-	-	248	22	-12	-92	43	11	116
11	-	-	-	-	432	70	2	-41	-4	12	79
12	-	-	-	-	202	6	-13	-82	-10	10	142
13	-	-	-	-	464	24	-16	-130	-16	7	116
14	-	-	-	-	220	-36	-17	-101	-12	10	162
15	5,4	9	6	9	381	7	-8	-72	-9	11	152
16	6,0	5	14,2	15,5	20	-62	-16	-81	-10	12	645
17	6,1	5,5	17,3	16,1	218	-11	-2	-20	-3	14	157
18	5,5	6,1	8,8	7,9	174	-15	-11	-61	-8	13	177
19	-	-	-	-	336	50	-11	-68	-9	12	93
20	-	-	-	-	444	-19	-16	-118	-14	10	147

Tabelle 32: Bewertung der Bodengehalte und Salden der Hauptnährstoffe und des Humus auf den Schlägen des Betriebes 24

Schlag [Nr.]	Bodenart	pH-Wert	P-Gehalt Boden	K-Gehalt Boden	Mg-Gehalt Boden	Humusbilanz	N-Saldo	P-Saldo	K-Saldo	Mg-Saldo	S-Saldo	Ertragsgefährdung	Umweltgefährdung	relative Gefährdung [%]
1	sL	I	III	III	III	II	I	I	I	II	II	ja	nein	20
2	sL	I	III	III	III	II	II	II	II	II	II	ja	nein	10
3	sL	I	II	II	III	II	I	I	I	II	II	ja	nein	20
4	sL	I	II	II	III	II	II	II	II	II	II	ja	nein	10
5	sL	I	II	II	III	II	II	II	II	II	II	ja	nein	10
6	sL	I	II	II	III	II	II	II	I	II	II	ja	nein	10
7	sL	I	II	III	III	II	I	I	I	II	II	ja	nein	20
8	sL	I	III	III	III	II	II	I	I	II	II	ja	nein	10
9	sL	-	-	-	-	II	II	I	I	II	II	nein	nein	-
10	sL	-	-	-	-	II	II	I	I	III	II	nein	nein	-
11	sL	-	-	-	-	II	III	II	I	II	II	nein	ja	-
12	sL	-	-	-	-	II	II	I	I	II	II	nein	nein	-
13	SL	-	-	-	-	II	II	I	I	II	II	nein	nein	-
14	sL	-	-	-	-	II	I	I	I	II	II	ja	nein	10
15	sL	I	III	II	III	II	II	I	I	II	II	ja	nein	10
16	sL	I	II	II	III	II	I	I	I	II	II	ja	nein	20
17	sL	II	II	III	III	II	I	II	II	II	II	ja	nein	10
18	sL	I	II	II	III	II	I	I	I	II	II	ja	nein	20
19	sL	-	-	-	-	II	II	I	I	II	II	nein	nein	-
20	sL	-	-	-	-	II	I	I	I	II	II	ja	nein	10
Ertragsgefährdung		ja	nein	nein	nein	nein	ja	nein	ja					ja
[%]		92	-	-	-	-	40	-	-					ca. 14 Schläge: 100

Die berechneten Nährstoffsalden deuteten für 40 % der Schläge auf eine Ertragsgefährdung durch zu geringe N-Zufuhren hin (Tabelle 31, Tabelle 32). Auch im Durchschnitt des Betriebes wird ein negativer N-Saldo festgestellt (siehe Tabelle 8). Auf den Feldern mit niedrigen N-Salden werden wiederum verhältnismäßig hohe N-Effizienzen von z. T. über 150 % erreicht. Der Betrieb betreibt einen umfangreichen Feldfutterbau mit Klee gras oder Klee in Reinsaaten. Der hier gewonnene Stickstoff wurde aber meistens als Futter in den Viehstall abgefahren oder vermutlich zur Beifütterung der Mutterkühe verwendet. Auf jeden Fall wurde nur ein sehr geringer Düngeranteil auf die Ackerflächen zurückgeführt (siehe Tabelle 9). Hierdurch kann es auf Dauer zu einer Auslagerung der Ackerflächen kommen, was in den Humusbilanzen nicht sichtbar wird, sich aber durch die niedrigen N-Salden in Verbindung mit hohen N-Effizienzen andeutet. Dagegen kann es in diesem Fall zu einer Nährstoffanreicherung auf den Grünlandflächen kommen.

Abhilfe könnte im gewissen Umfang der vermehrte Zukauf von Futtermitteln schaffen, oder der Zukauf und Einsatz organischer Düngemittel wie Stallmist und Gülle, vielleicht auch über eine Reduzierung der Haltungsfarm als Mutterkühe. Eventuell besteht auch die Möglichkeit, Stickstoff in Form von Leguminosengrünmasse von Nachbarbetrieben zuzukaufen. Insgesamt wurde eine potenzielle Ertragsgefährdung durch Fehler im Nährstoff- und Humusmanagement für 14 von 20 Schlägen bzw. 70 % der Schläge dieses Betriebes festgestellt. Besonderer Handlungsbedarf besteht bezüglich einer meliorativen Kalkung, um die Bodenstruktur langfristig zu stabilisieren und die Verfügbarkeit der Bodennährstoffe zu sichern.

Fruchtfolge management

Im Betrieb 24 wurden Winterweizen, Triticale, Hafer und auf einigen Schlägen auch Kartoffeln als Marktfrüchte angebaut. Körnerleguminosen machten einen Anteil von rund 18 % an der Fruchtfolge aus, der Anteil Futterleguminosen in Form von Klee gras, Rotklee oder Luzerne lag bei knapp 37 %. Zwischenfrüchte kamen im Untersuchungszeitraum nur auf 2 Schlägen zum Anbau (Tabelle 33).

Ein regelmäßiger Wechsel zwischen Sommerung und Winterung wurde auf immerhin 75 % der Flächen durchgeführt. Dies entsprach knapp dem Mittel aller Betriebe. Der Getreideanteil der Fruchtfolge lag auf nahezu allen Schlägen im Optimalbereich zwischen 30 % und 50 %. Problematisch ist jedoch ein zu hoher Anteil des Feldfutterbaus auf ca. einem Drittel der Schläge. Für diese Flächen wäre ggf. der zusätzliche Anbau anderer Futterpflanzen (z.B. Silomais) oder von Ölfrüchten zu prüfen, die im Betrieb bisher nicht vorkommen. Futtermangel, der sich möglicherweise durch den relativ hohen Tierbesatz ergibt, könnte auch durch einen Zukauf ausgeglichen werden.

Körnerleguminosen in Form eines Hülsenfrucht-Nichtleguminosen-Gemenges oder von Soja- und Ackerbohnen wurden auf 85 % der Schläge regelmäßig angebaut. Hier wurden die phytosanitär empfohlenen Anbaupausen von mindestens 5 Jahren nicht immer eingehalten, so dass zukünftig Ertragseinbußen infolge spezifischer Fruchtfolgekrankheiten bei diesen Kulturen nicht auszuschließen sind.

Der Betrieb baute im Untersuchungszeitraum nur auf 4 von 20 Schlägen Zwischenfrüchte an, obwohl Optionen für den Zwischenfruchtanbau vor Sommerungen wie Sommergerste und Hafer nach Winterweizen oder Triticale auf vielen Schlägen durchaus bestanden. Soweit es die klimatischen Bedingungen und die Vegetationszeit im Erzgebirgsvorland zulassen, sollte die Möglichkeit des Zwischenfruchtbaus in diesem Betrieb im Interesse der Bodenfruchtbarkeit zukünftig vermehrt genutzt werden.

Tabelle 33: Bewertung der Fruchtfolgen des Betriebes 24

Schlag [Nr.]	Leguminosen- anteil (Hauptfrucht) [%]		Zwischen- fruchtanteil [%]		Sommerung/ Winterung	Anteil Getreide	Anteil Feld- futterbau	Anteil Kartoffel	Anteil Körnerle- guminosen	Anteil Ölfrüchte	Anteil Rotklee/ Luzerne/ Lupine	Zwischen- fruchtanbau Bodenfrucht- barkeit	Anbau- rangfolge Legumi- nosen	Relative Gefähr- dung
1	45	I	17	I	II	II	II	-	I	-	II	II	II	ja
2	46	I	17	I	II	II	II	II	II	-	II	II	II	nein
3	52	I	0	I	II	II	I	-	II	-	I	I	I	ja
4	29	II	0	I	II	II	II	II	II	-	II	I	II	nein
5	40	I	0	I	I	I	II	II	II	-	II	I	II	nein
6	40	I	0	I	II	II	II	II	II	-	II	I	I	nein
7	56	I	0	I	II	II	II	-	I	-	II	I	I	ja
8	56	I	0	I	II	II	II	-	I	-	II	I	I	ja
9	66	I	0	I	I	II	I	-	-	-	I	I	I	ja
10	57	I	0	I	I	II	I	-	II	-	I	I	I	ja
11	57	I	0	I	I	I	I	II	II	-	I	I	I	ja
12	23	I	0	I	II	I	II	-	-	-	II	I	II	nein
13	46	I	0	I	I	II	I	-	-	-	I	I	I	ja
14	66	I	0	I	II	II	II	-	I	-	II	I	I	ja
15	57	I	0	I	II	II	I	-	II	-	I	II	II	ja
16	34	II	0	I	II	II	II	-	II	-	II	I	I	nein
17	33	II	0	I	II	II	II	-	II	-	II	II	I	nein
18	29	II	0	I	II	II	II	-	II	-	II	I	I	nein
19	56	I	0	I	II	I	II	-	I	-	II	I	I	ja
20	52	I	0	I	II	II	II	-	II	-	I	-	II	ja
Ertragsgefährdung					nein	nein	nein	nein	ja	nein	ja	nein	nein	ja
[%]					-	-	-	-	29	-	35	-	-	60

3.3 Betriebsvergleich der schlagbezogenen Bewertung

Wie im vorausgehenden Kapitel 3.2 beispielhaft für die Ackerschläge von drei Betrieben beschrieben, wurden alle Flächen der untersuchten Betriebe einer Bewertung des Nährstoff- und Fruchtfolgemanagements unterzogen. An dieser Stelle erfolgt ein Betriebsvergleich durch die Zusammenführung der Einzelschlagergebnisse.

3.3.1 Nährstoff- und Humusmanagement

In Abbildung 18 bis Abbildung 24 werden die Ergebnisse der schlagweisen Bewertung des Nährstoffmanagements im Betriebsvergleich dargestellt. Lediglich in 6 von 32 Betrieben lagen die pH-Werte aller Schläge im Optimum (Klasse II). Eine Ertragsgefährdung durch suboptimale pH-Werte des Bodens (Klasse I) wurde insgesamt für gut zwei Drittel aller untersuchten Ackerschläge festgestellt (Abbildung 18). Besonders gravierend war die Situation in den Betrieben 8, 16, 17, 22 bis 25, in denen jeweils für deutlich mehr als zwei Drittel ihrer Schläge teils erhebliche Unterschreitungen der empfohlenen Boden-pH-Werte festgestellt wurden. In weiteren 7 Betrieben wurden zu geringe pH-Werte für mindestens 50 % der Schläge festgestellt. Entsprechend der Düngebedarfsermittlung des Programms BEFU besteht sogar in jedem Betrieb ein Bedarf zur Kalkung (vgl. Tabelle 19).

Zur Verbesserung der Situation ist auf allen betroffenen Schlägen eine Aufkalkung, ggf. mit Magnesium haltigen Karbonat-Kalken vorzunehmen. Die empfohlenen Gaben sind abhängig vom ermittelten pH-Wert und dessen Differenz zum bodenspezifisch (Bodenart, Humusgehalt) zu ermittelnden Soll-pH-Wert. Im Mittel über alle kalkbedürftigen Flächen lagen sie bei knapp 20 dt CaO/ha mit einer Schwankungsbreite von 3 dt CaO/ha bis 82 dt CaO/ha. Gaben über 20 dt CaO/ha sollten über mehrere Jahre aufgeteilt werden.

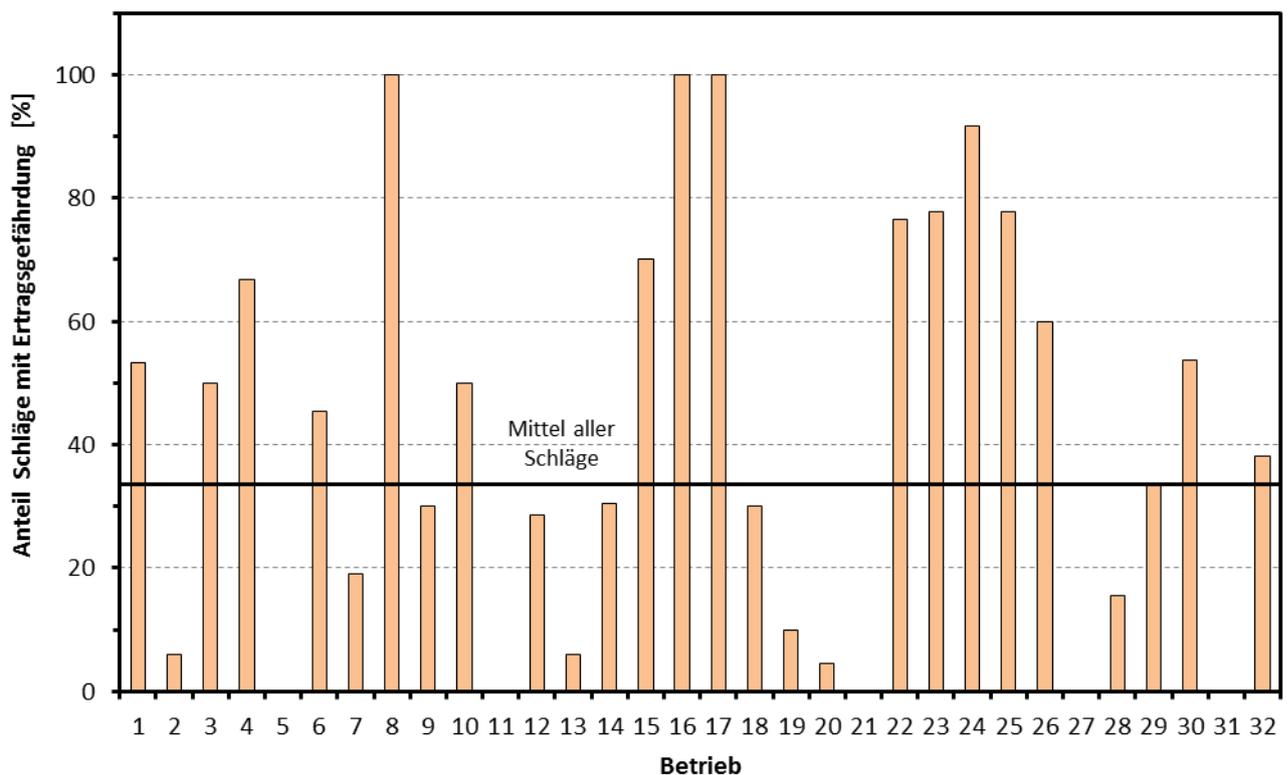


Abbildung 18: Ertragsgefährdung der Schläge je Betrieb und im Mittel aller Schläge durch zu geringe pH-Werte der Böden

Eine direkte Ertragsgefährdung durch zu geringe P-Gehalte des Bodens (Klasse I) wurde insgesamt lediglich für 25 von 693 beprobten Schlägen (4 %) festgestellt (Abbildung 19). Handlungsbedarf bestand in den Betrieben 4, 5, 8, 15, 18 und 30, deren Schläge zu 8 – 15 % P-Defizite im Boden aufwiesen. Unter Berücksichtigung der z. T. stark negativen P-Salden bei der Düngebedarfsermittlung bestand insgesamt bereits ein P-Bedarf in 17 Betrieben zur Aufrechterhaltung der Versorgungsklasse B (siehe Tabelle 19).

Auf den defizitären Schlägen sollte dringend von der bisher üblichen Abreicherungs-Strategie abgewichen und auf Dauer der P-Entzug mit den Ernteprodukten durch regelmäßige P-Zufuhren im Rahmen der Fruchtfolge ausgeglichen werden. Neben wirtschaftseigenen oder zugekauften organischen Düngemitteln mit höheren P-Gehalten wie Schweinegülle oder Hühnermist stehen dem ökologischen Landbau hierfür auch einige mineralische P-Düngemittel wie weicherdiges Rohphosphat, mit oder ohne Magnesiumkalk (DC-Naturphosphat, Dolophos 15), zur Verfügung. In den anderen Betrieben kann bis auf weiteres auf eine P-Düngung verzichtet werden und die bisher verfolgte Strategie der Abreicherung ehemals akkumulierter P-Vorräte des Bodens, ohne Ertragseinbußen befürchten zu müssen, weiterverfolgt werden.

Eine Ertragsgefährdung durch zu geringe K-Gehalte des Bodens wurde auf direktem Wege ebenfalls nur auf wenigen Schlägen festgestellt. In 60 % der untersuchten Betriebe lagen die K-Gehalte sogar sämtlich im Bereich des Optimums (Klasse II), zumeist sogar weit darüber. Im Mittel wiesen lediglich 9 % aller untersuchten Schläge K-Gehalte des Bodens unterhalb des Optimums, d. h. im Bereich der Versorgungsstufe A nach VDLUFA auf. Besondere Defizite bestanden wiederum in den Betrieben 8, 15 und 16 sowie 23, 29 und 30 mit einem weit überdurchschnittlichen Anteil durch K-Mangel gefährdeter Schläge. Nach den BEFU-Berechnungen zur Düngebedarfsermittlung, in die neben den Nährstoffgehalten des Bodens auch die K-Salden der Ackerschläge für die Düngebedarfsermittlung herangezogen werden, besteht auf 9 Betrieben ein Bedarf für eine zusätzliche K-Zufuhr (siehe Tabelle 19).

Auf den betreffenden Schlägen muss, ähnlich wie beim Phosphor, zukünftig von der üblichen Abreicherungs-Strategie abgewichen und eine regelmäßige K-Düngung erfolgen, um zunehmende Ertragseinbußen langfristig zu vermeiden. Neben wirtschaftseigenen oder zugekauften organischen Düngemitteln sind hierfür auch einige mineralische Düngemittel wie Patent-Kali oder Magnesia-Kainit zur Anwendung zugelassen.

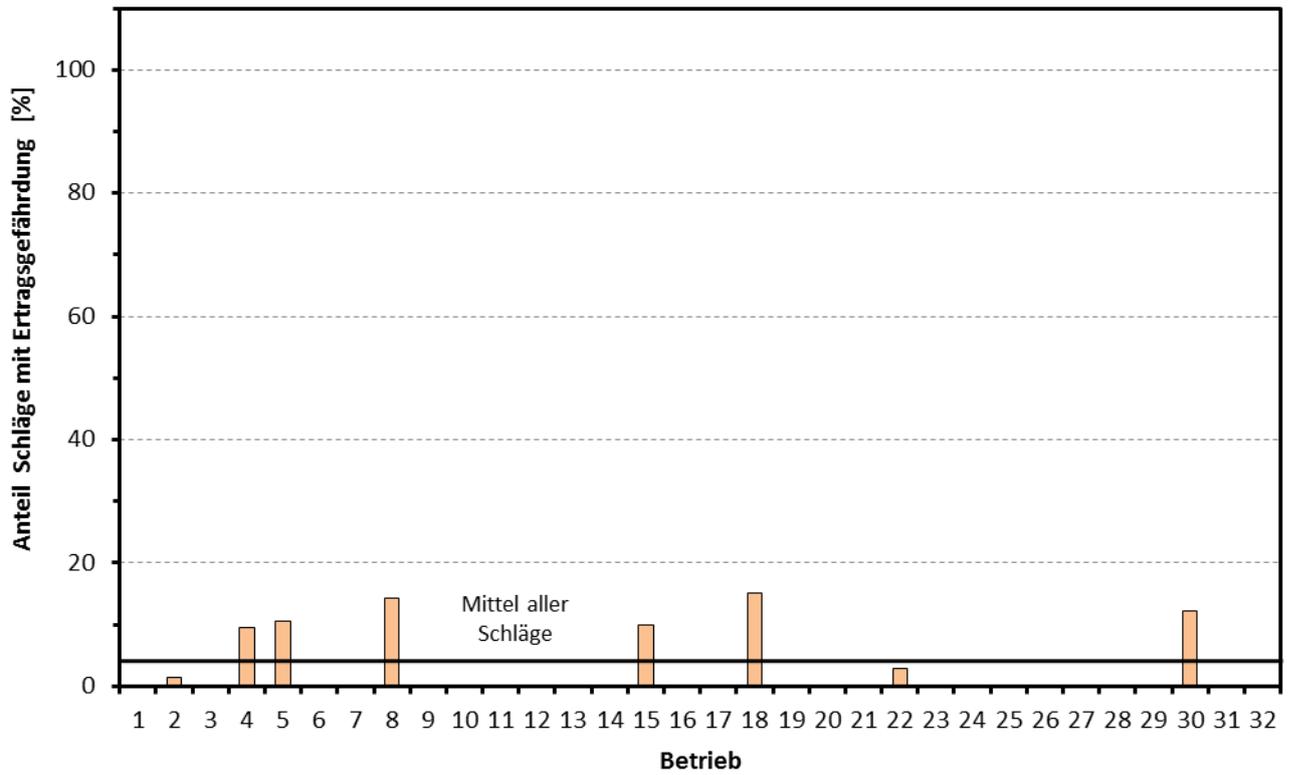


Abbildung 19: Ertragsgefährdung der Schläge je Betrieb und im Mittel aller Schläge durch zu geringe P-Gehalte der Böden

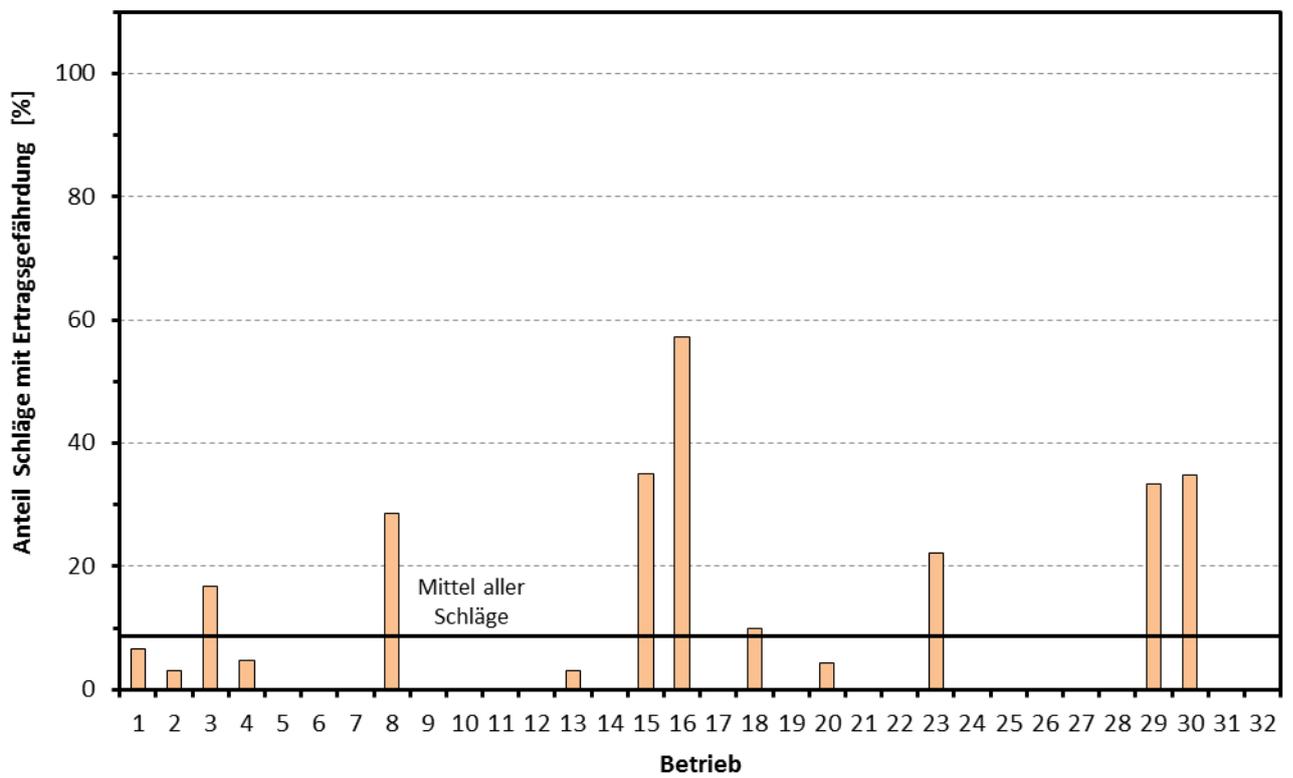


Abbildung 20: Ertragsgefährdung der Schläge je Betrieb und im Mittel aller Schläge durch zu geringe K-Gehalte der Böden

Eine Ertragsgefährdung durch zu geringe Magnesium-Gehalte des Bodens (Note I) wurde insgesamt nur auf 23 Schlägen festgestellt, davon jeweils 10 in den Betrieben 30 und 32 (ohne Darstellung). Die betreffenden Schläge bedürfen zumeist auch einer Kalkung, so dass die erforderliche Magnesiumgabe zweckmäßiger Weise zusammen mit dem Kalk ausgebracht werden kann, beispielsweise als Kohlensaurer Mg-Kalk.

Durchweg ausgeglichene bis leicht erhöhte Humussalden im Bereich der Versorgungstufen C und D nach VDLUFA (bzw. entsprechend Klasse II) wurden in 10 der 32 Betriebe festgestellt (Abbildung 21). In den übrigen Betrieben wurden zumindest auf einem, meistens aber auf mehreren Schlägen teilweise Mängel in der Humuswirtschaft ermittelt (Note I). Im gewogenen Durchschnitt wurden für ca. 17 % der Schläge Humusbilanzen berechnet, die mittel bis langfristig einen Humusabbau und damit abnehmende Werte in der Bodenfruchtbarkeit erwarten lassen. Besonderer Handlungsbedarf besteht in den Betrieben 21, 26 und 27, sowie abgeschwächt in den Betrieben 1, 10, 28 und 32, in denen jeweils deutlich mehr als 40 %, teilweise sogar mehr als 70 % der Schläge zu geringe Zufuhren an organischer Substanz aufwiesen. Abhilfe wäre mit einer Änderung der Fruchtfolge durch Ausweitung des Feldfutterbaus, Strohdüngung oder den vermehrten Einsatz wirtschaftseigener oder zugekaufter organischer Düngemittel wie Komposten oder Stallmist möglich.

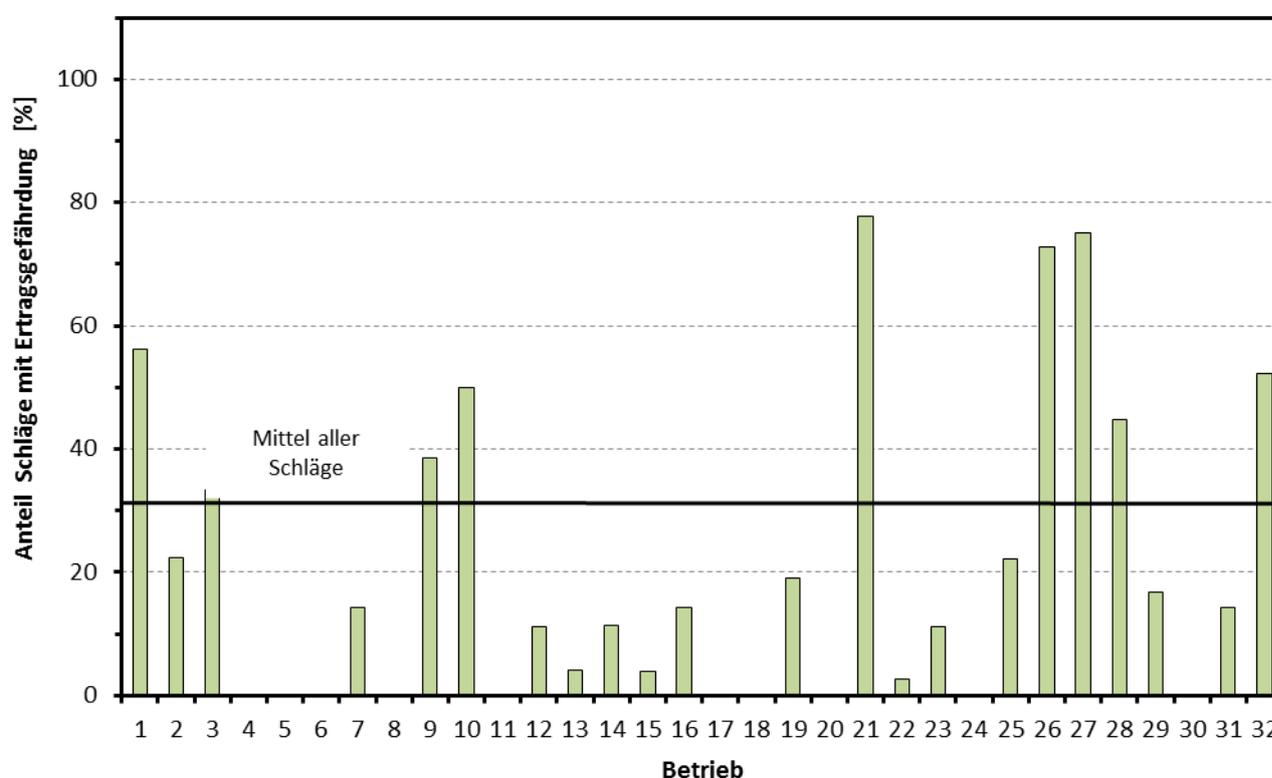


Abbildung 21: Ertragsgefährdung der Schläge je Betrieb und im Mittel aller Schläge durch zu geringe Humusbilanzen

Abbildung 22 zeigt, dass bei den N-Bilanzen in einigen Betrieben auf mehr als 80 % der Schläge negative Salden errechnet wurden, was als Hinweis auf eine unzureichende N-Versorgung bzw. auf einen bereits vorhandenen N-Mangel gedeutet werden kann. Besonders galt dies für die Schläge der Betriebe 3, 8 und 16, weniger ausgeprägt auch für Schläge der Betriebe 21 und 31. Im Durchschnitt wiesen 18 % der untersuchten Ackerschläge über den 6-jährigen Untersuchungszeitraum N-Salden von < 0 auf. Die Ursachen geringer N-Salden erscheinen vielfältig. In den Betrieben 3 und 21 haben Leguminosen mit 12 % bzw. 21 % einen deutlich zu geringen Anteil an der Fruchtfolge, hier bezogen auf die Hauptfrucht. In diesen und einigen weiteren

Betrieben gelangt über die symbiotische N-Bindung eindeutig zu wenig Stickstoff in den Betriebskreislauf (siehe Tabelle 10). Betrieb 3 setzt darüber hinaus auch keine organischen Düngemittel ein. In Betrieb 21 gelangen je Jahr durchschnittlich immerhin 13 kg N/ha über die organische Düngung auf die Ackerflächen. Diese N-Zufuhren können die unzureichende N-Zufuhr aus dem Leguminosenanbau aber nicht ausgleichen. Um latente N-Mangelsituationen zu vermeiden, sollte der Leguminosenanteil in diesen Betrieben angehoben werden.

Bei den Betrieben 8, 16 und 31 lag der Leguminosenanteil mit 45 – 50 % an den Hauptfrüchten jeweils deutlich höher. Wenn auf diesen Flächen dennoch negative N-Salden auftreten, können die Ursachen auch in sehr hohen N-Abfuhrungen liegen. So wurden beispielsweise bei fehlenden Verwertungsmöglichkeiten in der Veredelung die im Feldfutterbau heranwachsenden Grünmasseerträge außerhalb der Betriebe vermarktet. Hierdurch können hohe Fehlbeiträge an bestimmten Nährstoffen entstehen. Um Abhilfe zu schaffen, sollte das Leguminosen-Feldfutter zumindest vor anspruchsvollen Nachfrüchten, wie dem Winterweizen, auf den Flächen verbleiben, um deren N-Versorgung und die Erträge nicht zu gefährden. Ein Ausgleich an Nährstoffen kann auch durch Einkauf von organischen Düngemitteln, z. B. in Form von Komposten, bewirkt werden.

Eine weitere Ursache für negative Ergebnisse, die besonders für die Humus- und N-Bilanzen auftreten können, liegt in Ungenauigkeiten bei der Datenerhebung. Besonders auf Betrieben mit sehr langen oder heterogenen Fruchtfolgen gelingt es trotz des 6-jährigen Untersuchungszyklus nicht für jede Ackerfläche, die Daten genau für eine vollständige Fruchtfolgerotation zu erheben.

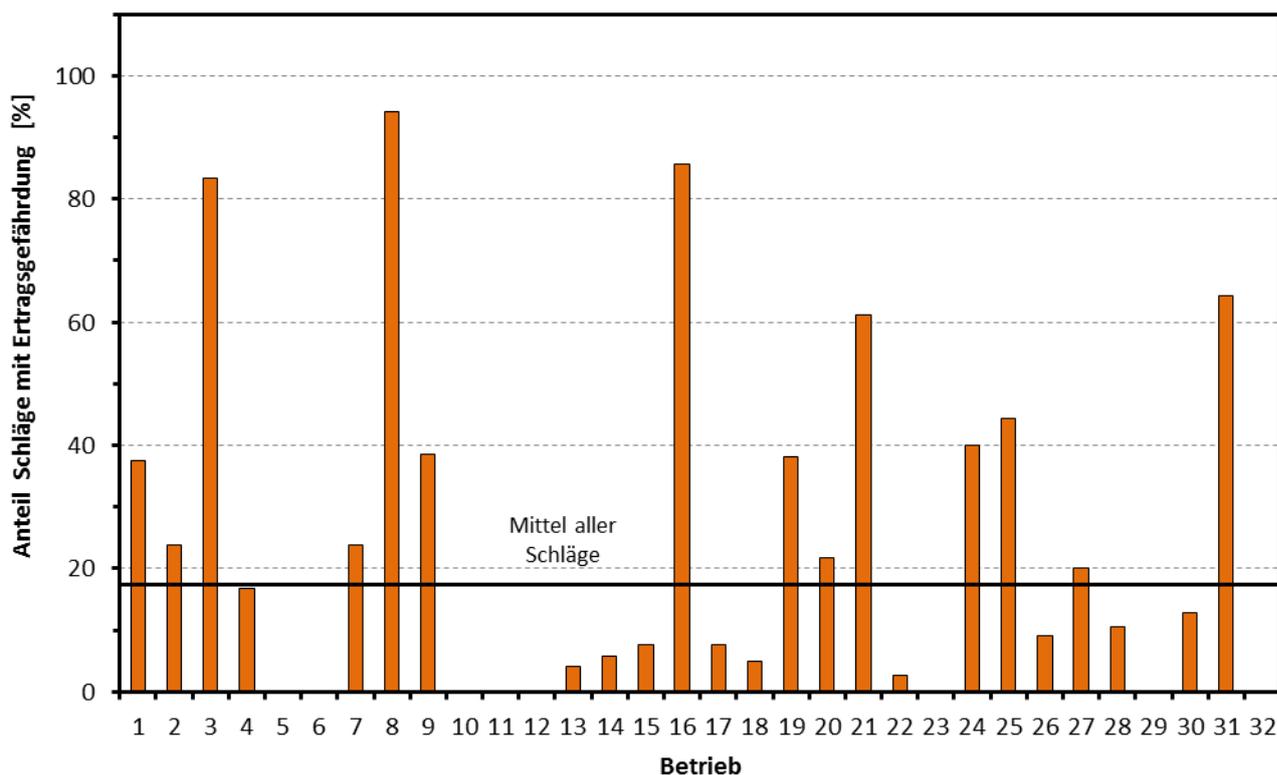


Abbildung 22: Ertragsgefährdung der Schläge je Betrieb und im Mittel aller Schläge durch zu geringe N-Bilanzen

Gemäß dem von Carl SPRENGEL im Jahr 1828 veröffentlichten Minimumgesetz (MITSCHERLICH, 1909) werden Wachstum und Ertrag der Kulturen durch die im Verhältnis jeweils knappste Ressource eingeschränkt bzw. begrenzt. Diese Ressource wird als Minimumfaktor bezeichnet. Eine Ertragsgefährdung durch Mängel im Nährstoff- und/oder Humusmanagement ist demnach bereits anzunehmen, wenn sich nur einer der hier geprüften 10 Bewertungskriterien nicht im Optimum befindet. Abbildung 23 zeigt, dass dies im gewogenen Durchschnitt auf 44 % der Schläge der Fall war. Knapp die Hälfte der untersuchten Ackerschläge wies daher mindestens einen Mangel im Nährstoff- und Humusmanagement auf. Nur in einem Betrieb (Betrieb 11) war für alle Schläge keine solche Ertragsgefährdung erkennbar. Für die anderen Betriebe ergab sich in der Summe der Einzelbewertungen für annähernd jeden Schlag eine Gefährdung des Ertragsniveaus und der Bodenfruchtbarkeit, meistens nur durch einen, oft aber auch durch mehrere Faktoren.

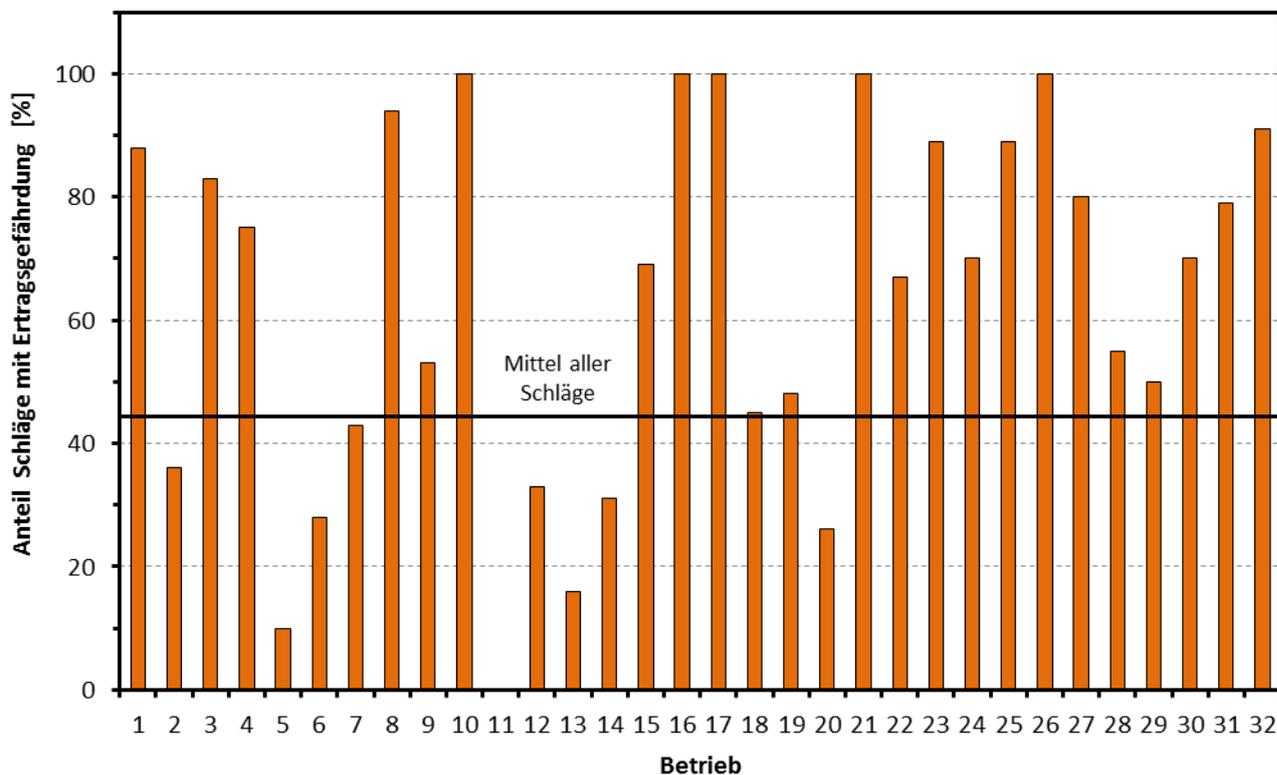


Abbildung 23: Anteil ertragsgefährdeter Schläge je Betrieb und im Mittel der Betriebe in der Summe aller Prüfparameter zum Nährstoff- und Humusmanagement

Zur Absicherung der N-Versorgung wurden in den meisten Betrieben Leguminosen mit hohen Fruchtfolgeanteilen angebaut, im Feldfutterbau, als Marktfrüchte oder in Kombination aus beiden Nutzungen. Zusätzlich gelangte Stickstoff häufig auch über organische Düngemittel auf die Schläge. Hohe und sehr hohe fruchtfolgebasierte N-Salden (Note III) deuten darauf hin, dass der zugeführte Stickstoff innerhalb der Fruchtfolgen dann nicht immer optimal verwertet wurde (vgl. z. B. Betrieb 14, Tabelle 28). Als Ursache hierfür kann auch eine Überversorgung an Humus angesehen werden. Hohe N-Salden bergen das Risiko einer Gefährdung der Umwelt durch gasförmige Verluste sowie durch sickerwassergebundene N-Austräge in tiefere Bodenschichten und das Grundwasser. Als unterer Grenzwert ab dem eine potenzielle Umweltgefährdung anzunehmen ist, wurde ein N-Saldo $> 50 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}$ angenommen (Bewertungsklasse III, Tabelle 4). Dieser Grenzwert wurde im gewogenen Mittel auf 25 % der bilanzierten Schläge überschritten (Abbildung 24). Diesen Schlägen wird über die N-Bindung der Leguminosen und über Wirtschaftsdünger deutlich mehr Stickstoff zugeführt, als von der

Fruchtfolge mit den N-Abfuhrn verwertet werden konnte. Eine wesentliche Ursache ist hierfür meistens ein zu hoher Leguminosenanteil in der Fruchtfolge (vgl. Tabelle 22). Gleichzeitig gab es innerhalb des gleichen Betriebes aber sehr oft auch Schläge, deren N-Salden negativ bzw. die mit Stickstoff unterversorgt waren. Neben den oben angedeuteten möglichen Fehlern in der Datenerhebung weisen diese Ergebnisse auch auf ein unzureichendes Management der N-Flüsse bzw. auf eine ungleiche Verteilung des Stickstoffs innerhalb der Betriebe hin. Solche Ungleichgewichte waren auf immerhin 20 der hier erfassten 32 Betriebe feststellbar.

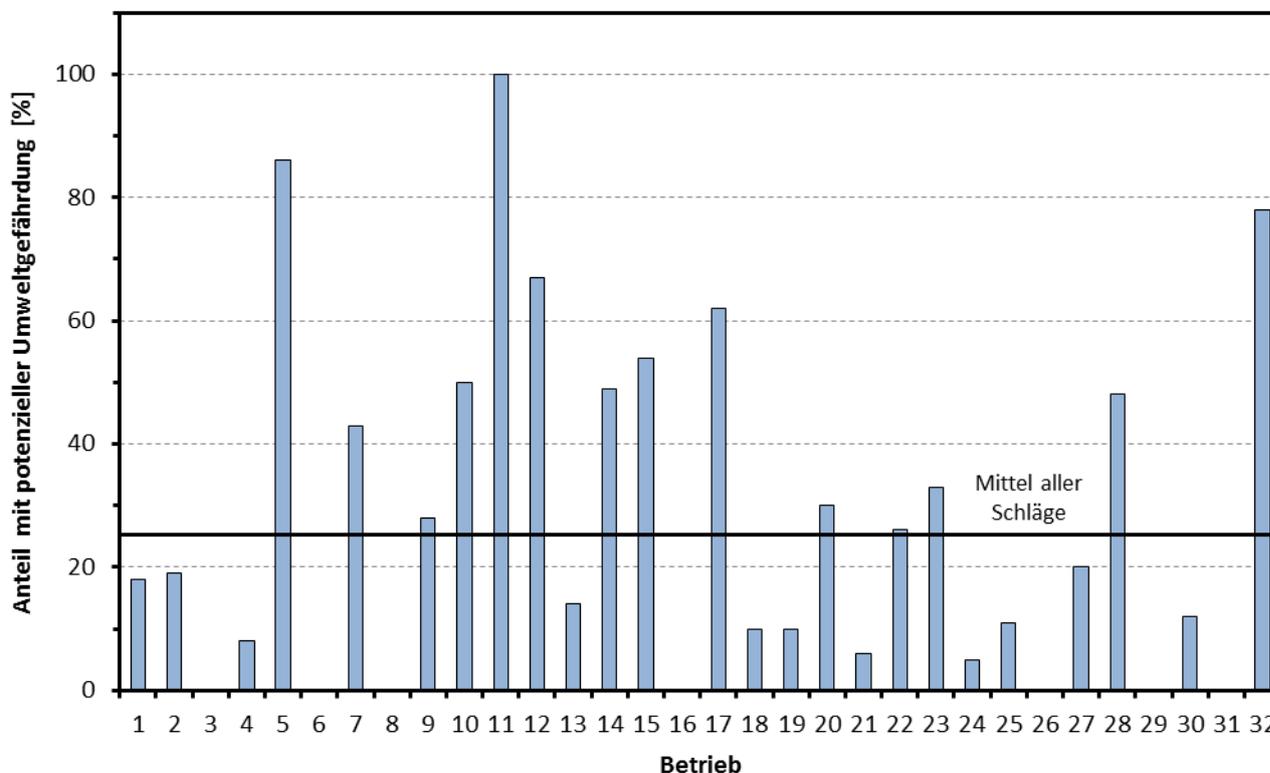


Abbildung 24: Anteil potenziell umweltgefährdender Schläge je Betrieb durch zu hohe N-Bilanzen

3.3.2 Fruchtfolgegestaltung

Fehler im Fruchtfolgemanagement werden in dieser Arbeit nur bezüglich der empfohlenen Anbaupausen im Kartoffel-, Ölfrüchte- und Körnerleguminosenbau sowie der Anteile einzelner Arten an Futterleguminosen unmittelbar ertragswirksam bewertet. Fehler bei den anderen Bewertungsfaktoren zeigen lediglich potenzielle Gefährdungen an. Sie werden im folgenden Betriebsvergleich daher nicht direkt berücksichtigt.

Im Kartoffelbau wurden die empfohlenen Anbaupausen von mindestens 4 Jahren bzw. ein Fruchtfolgeanteil von höchstens 25 % von den meisten Betrieben eingehalten. In Abbildung 25 ist allerdings zu berücksichtigen, dass Kartoffeln tatsächlich nur in 14 Betrieben (44 %) angebaut wurden. Bei der Hälfte dieser Betriebe steht die Kartoffel jedoch zu häufig in der Fruchtfolge, besonders auf den Schlägen des Betriebes 1 (vgl. Tabelle 27) sowie auf einzelnen Schlägen der Betriebe 27 und 28.

Körnerleguminosen wurden innerhalb des Untersuchungszeitraums in ca. 90 % der Betriebe angebaut (Abbildung 26). Die hierzu empfohlenen Anbaupausen von 4 – 6 Jahren bzw. ein Anteil von höchstens 20 % an der Fruchtfolge wurden längst nicht immer eingehalten. Problematisch ist vor allem der sehr intensive Anbau von Gemüseerbsen in den Betrieben 14, 31 und 32. Ein Erbsenanteil von mehr als 25 % in den Betrieben

1 und 31 bzw. mehr als 44 % im Betrieb 32 ist vor dem Hintergrund der bekannten Anfälligkeit der Erbse gegenüber zahlreichen Krankheitserregern (Stichwort „Erbseermüdigkeit“) dauerhaft nicht vertretbar und wird mittelfristig mit hoher Wahrscheinlichkeit erhebliche Ertragsnachteile zur Folge haben. So sinkt nach Untersuchungen von SCHMIDT et al. (2014) der Erbsenertrag innerhalb von 25 Jahren bei einem 4-maligen Anbau bereits um fast 50 % gegenüber dem 1-maligen Anbau ab.

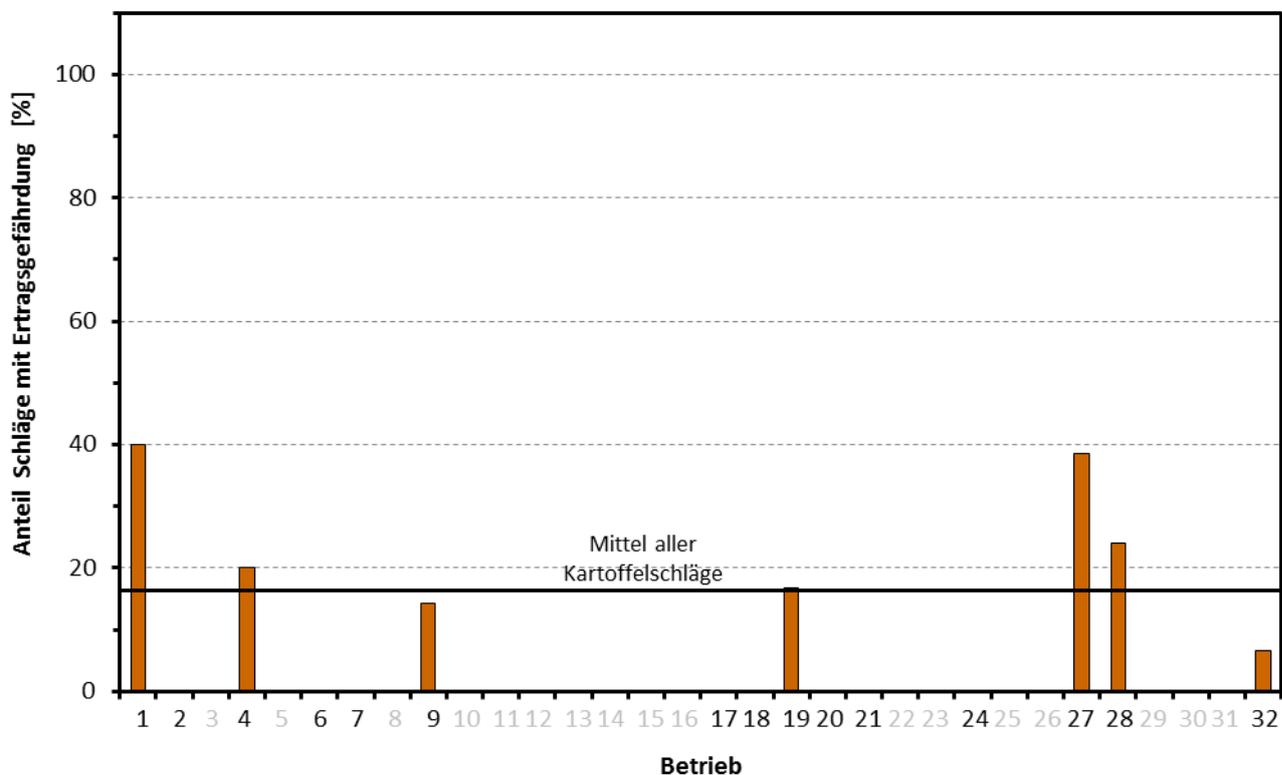


Abbildung 25: Anteil ertragsgefährdeter Schläge je Betrieb durch zu kurze Anbaupausen im Kartoffelbau (Betriebe mit Kartoffelanbau sind durch schwarze Betriebsnummern hervorgehoben, Schläge mit Kartoffelanbau je Betrieb = 100, Schläge ohne Kartoffelanbau sind nicht berücksichtigt)

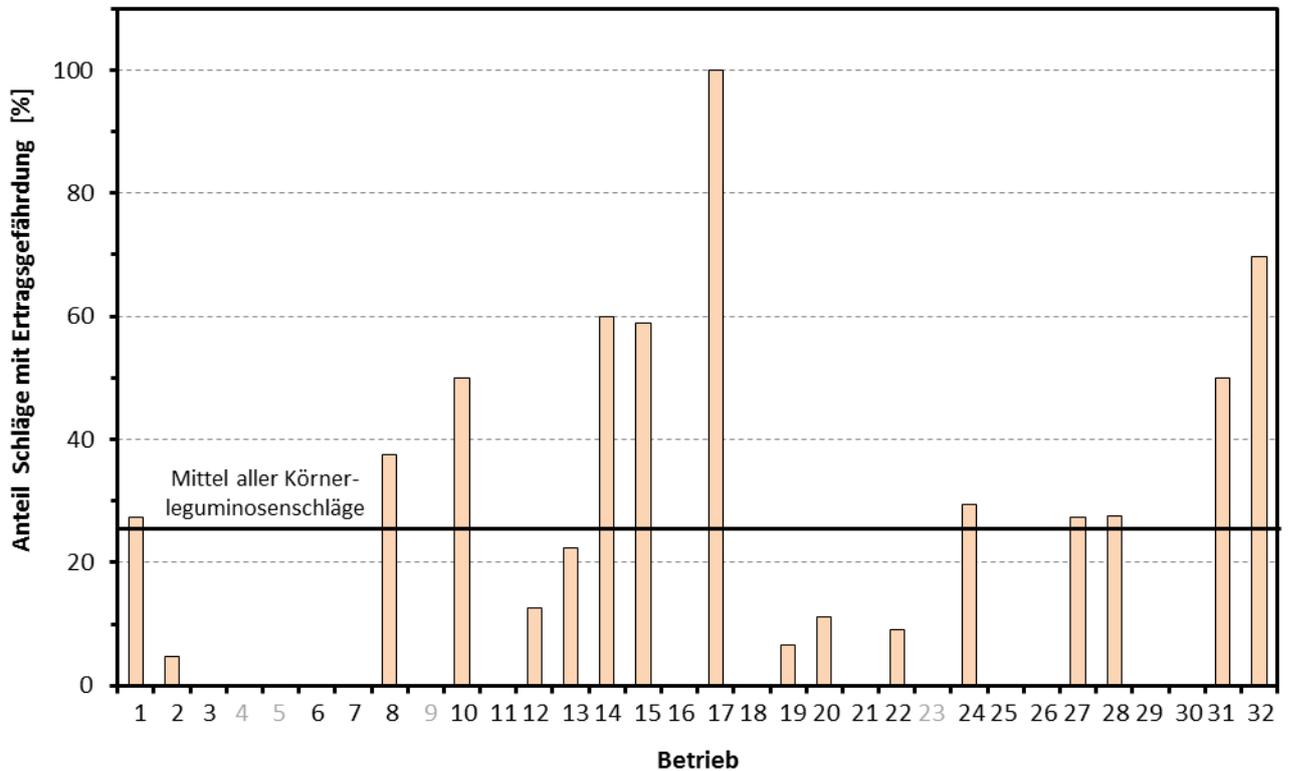


Abbildung 26: Anteil ertragsgefährdeter Schläge je Betrieb durch zu kurze Anbaupausen beim Anbau von Körnerleguminosen (Betriebe mit Körnerleguminosenanbau sind durch schwarze Betriebsnummern hervorgehoben, Schläge mit Körnerleguminosenanbau je Betrieb = 100, Schläge ohne Körnerleguminosenanbau sind nicht berücksichtigt)

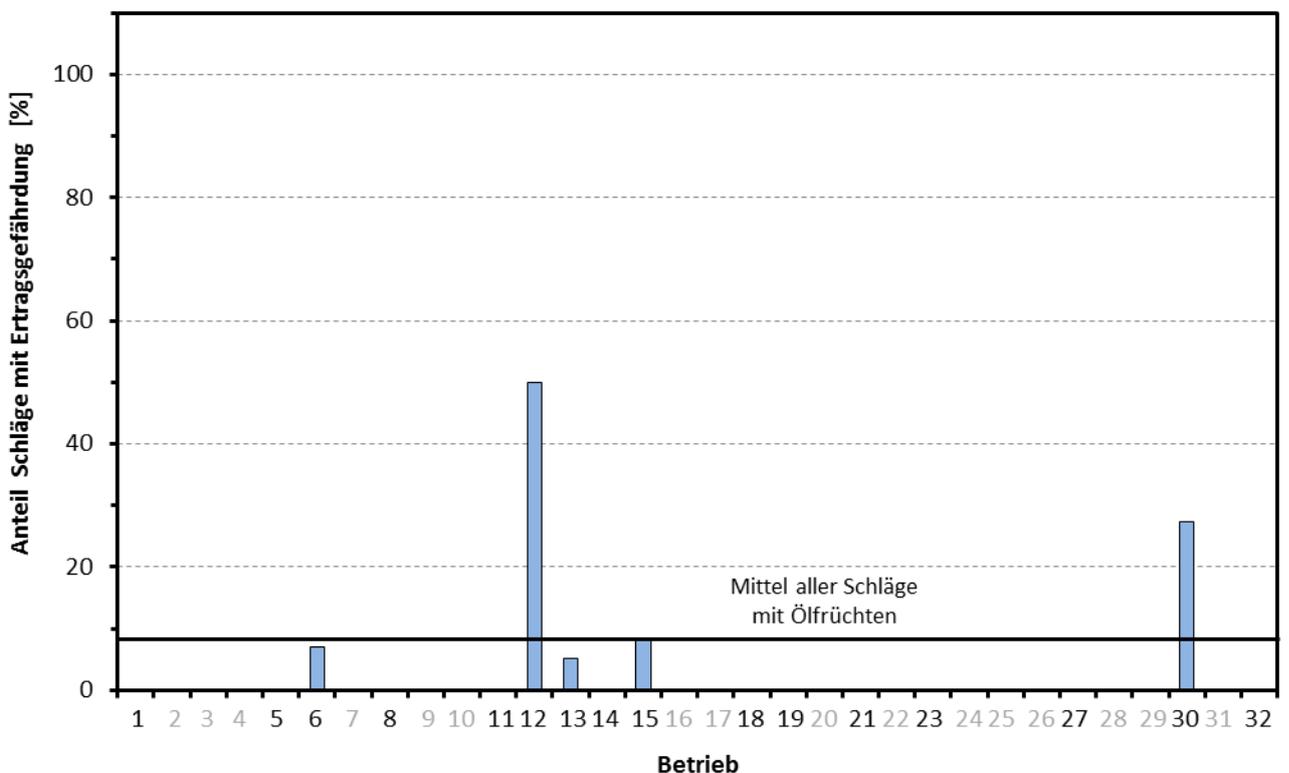


Abbildung 27: Anteil ertragsgefährdeter Schläge je Betrieb durch zu kurze Anbaupausen beim Anbau von Ölfrüchten (Betriebe mit Ölfruchtanbau sind durch schwarze Betriebsnummern hervorgehoben, Schläge mit Ölfruchtanbau je Betrieb = 100, Schläge ohne Ölfruchtanbau sind nicht berücksichtigt)

Ölfrüchte kamen, ähnlich der Kartoffel, nur auf wenigen Betrieben zum Anbau. Hier bestehen für den ökologischen Landbau noch erhebliche Potenziale zur Ausweitung des Flächenanteils, insbesondere vor dem Hintergrund des vielfach zu hohen Leguminosenanteils in der Fruchtfolge. Die empfohlenen Anbaupausen zur Vermeidung von Infektionen mit z. B. Erregern des Rapskrebs oder Schädlingen wie dem Rapsglanzkäfer wurden überwiegend eingehalten (Abbildung 27).

Rotklee und Luzerne wurden mit wenigen Ausnahmen ausschließlich im Feldfutterbau eingesetzt. Der Anbau zur Saatgutproduktion spielte in den untersuchten Betrieben keine Rolle. Beide Arten und die Lupine sind mit sich selbst und untereinander wenig verträglich und sollten einzeln oder in Kombination höchsten 1 – 2-mal in 6 Jahren auf dem gleichen Schlag zum Anbau kommen. Diese Pausen wurden auf den Schlägen der untersuchten Betriebe längst nicht immer eingehalten. In 8 Betrieben wurden diese Leguminosen auf mehr als 30 % der Schläge zu häufig angebaut, in einem Betrieb sogar auf allen Schlägen (Abbildung 28).

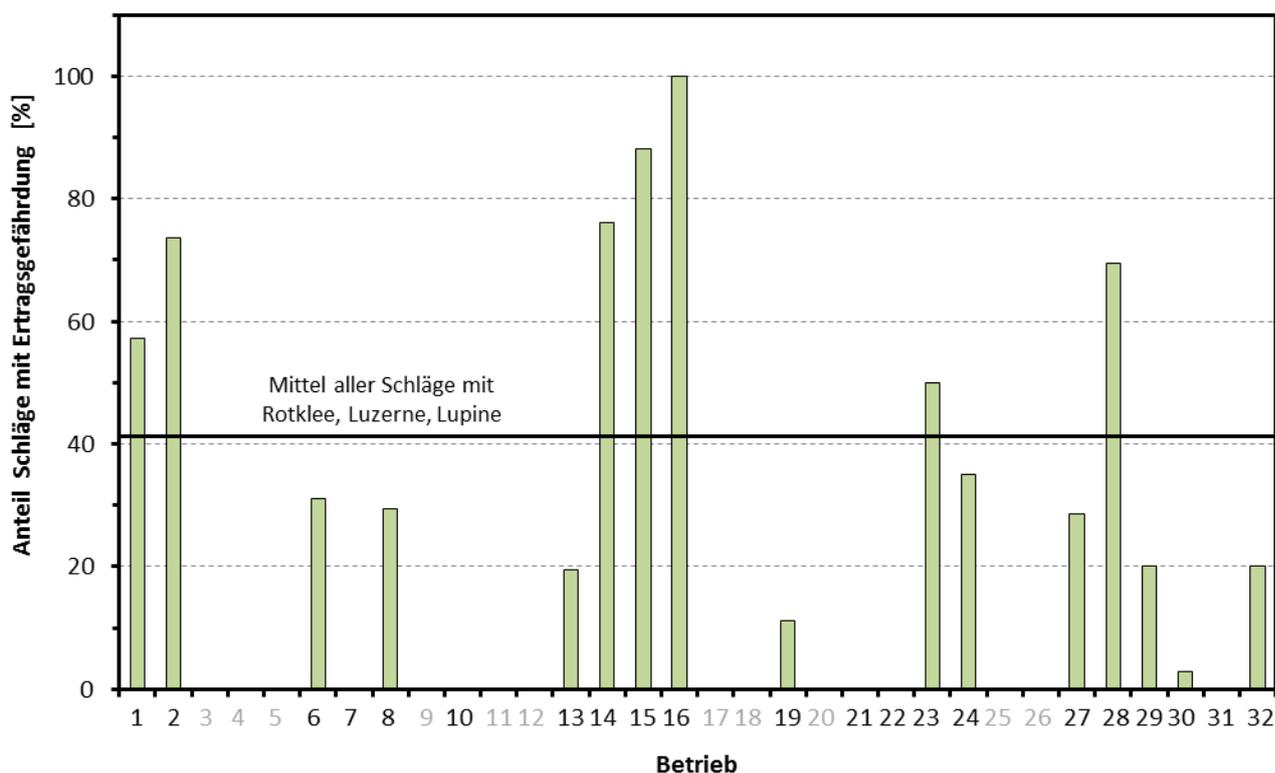


Abbildung 28: Anteil ertragsgefährdeter Schläge je Betrieb durch zu kurze Anbaupausen beim Anbau von Rotklee, Luzerne oder Lupine (Betriebe mit Anbau dieser Kulturen sind durch schwarze Betriebsnummern hervorgehoben, Schläge mit Anbau dieser Kulturen je Betrieb = 100, Schläge ohne Anbau dieser Kulturen sind nicht berücksichtigt)

Abbildung 29 fasst nochmals zusammen, auf wie vielen Schlägen je untersuchten Betrieb bzw. auf wie vielen untersuchten Schlägen insgesamt die empfohlenen Anbaupausen im Kartoffel- und/oder Ölfrüchte- und/oder Körnerleguminosenanbau nicht eingehalten wurden oder die Fruchtfolgeanteile einzelner Arten der Futterleguminosen zu hoch waren. Diese aufgeführten Fehler im Fruchtfolgemanagement werden nach Auswertung der einschlägigen Literatur meistens unmittelbar ertragswirksam, mit hoher Wahrscheinlichkeit sind latente Ertragseinbußen auf einigen Schlägen durch diese Fehler bereits eingetreten. Die Darstellung zeigt, dass nur in 7 Betrieben keine Fehler im Fruchtfolgemanagement beim Anbau dieser Kulturen gemacht wurden. In

10 Betrieben hingegen wurden solche Fehler für mehr als 50% der Schläge aufgedeckt, in 3 Betrieben sogar für mehr als 80 % der Ackerschläge. Im Mittel wurden diese Kulturen auf knapp 40 % der untersuchten Schläge innerhalb der 6-jährigen Untersuchungsphase zu häufig angebaut bzw. hatten einen zu hohen Anteil an der Fruchtfolge.

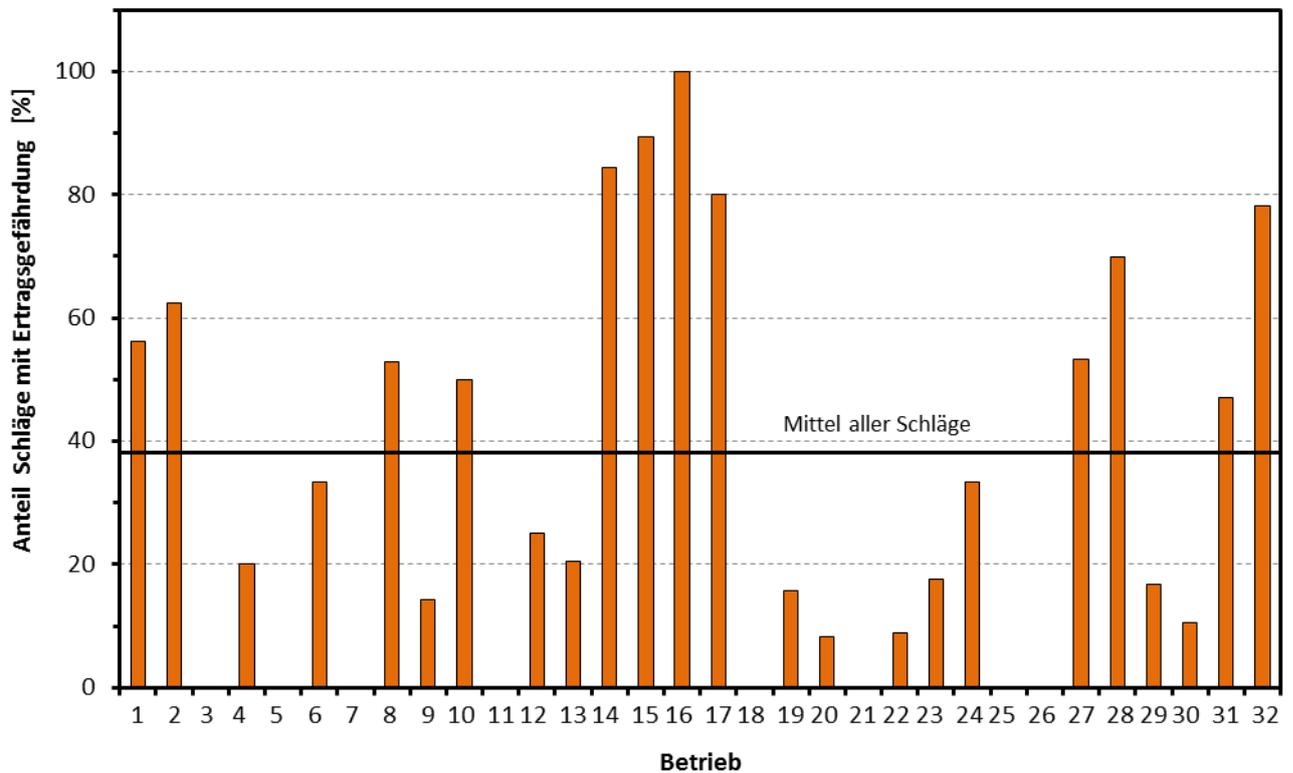


Abbildung 29: Anteil ertragsgefährdeter Schläge je Betrieb durch zu kurze Anbaupausen beim Anbau von Kartoffeln und/oder Ölfrüchten und/oder Körnerleguminosen und/oder Rotklee, Luzerne, Lupine (Schläge mit Anbau dieser Kulturen je Betrieb = 100, Schläge ohne Anbau dieser Kulturen sind nicht berücksichtigt)

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

4.1 Methodik

Die im Rahmen des Vorhabens ermittelte Datenengrundlage stellt für die im ökologischen Landbau genutzten Ackerflächen in Sachsen ein weitgehend repräsentatives Abbild dar, da mehr als ein Drittel der ökologisch bewirtschafteten Ackerfläche des Freistaates, verteilt über die verschiedenen naturräumlichen Bedingungen erfasst wurde. Insgesamt stand Datenmaterial von 810 ökologisch bewirtschafteten Schlägen und mehr als 4.800 Ernten zur Verfügung. Dabei gelang es erstmals, neben der Beurteilung des Nährstoffmanagements auch die Gestaltung der Fruchtfolgen schlag- und betriebsweise zu beurteilen. Um eine hohe Aussagekraft zu erlangen, stand sowohl ein Betriebsvergleich als auch eine genaue schlagweise Erfassung und Auswertung der Ergebnisse im Mittelpunkt der Arbeiten.

Die aufgestellten Bewertungskriterien des Nährstoffmanagements und der Fruchtfolgegestaltung umfassen folgende Aspekte:

- Biologische, chemische und physikalische Grundsätze der Bodenfruchtbarkeit
- phytosanitäre Grundsätze der Krankheitsvorsorge und Unkrautregulierung
- Grundsätze der Nachhaltigkeit der Betriebe und der Umwelt.

Diese Aspekte werden stellvertretend durch eine Beurteilung des Grades der Gefährdung des Ertrages und der Qualität der angebauten Fruchtarten, der Bodenfruchtbarkeit und (im geringeren Umfang) der Umweltgefährdung beziffert.

Zur Beurteilung der Ertragsgefährdung durch Fehler im Nährstoff- und Humusmanagement der Betriebe konnte meistens an bewerte Verfahren des VDLUFA angeknüpft werden. Ergänzend wurden Schlag-Bilanzen für die Hauptnährstoffe berechnet und in Anlehnung an KOLBE (2015) mit ihren Brutto-Beträgen, d. h. nach der PARCOM-Richtlinie unter Berücksichtigung der N- und S-Depositionen über die Atmosphäre sowie die nicht-legume N-Bindung erfasst. Die angewendeten Bewertungskriterien beruhen hierbei im Wesentlichen auf Ergebnissen aus feldexperimentellen Arbeiten, die meistens unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus durchgeführt worden sind (siehe Kap. 2.2).

Die Beschränkung auf drei Bewertungsklassen (gering, optimal, hoch) und die farbliche Unterlegung der Ergebnisse erlauben einen schnellen Überblick zum Versorgungszustand der Schläge, über mögliche Defizite eines oder mehrerer Einflussfaktoren und den daraus abzuleitenden Handlungsbedarf. Im Sinne des Minimumgesetzes (SPRENGEL, 1828; MITSCHERLICH, 1909) ist zu bedenken, dass auf Schlagebene bereits ein einzelner Fehler, bzw. eine einzige „Geringbewertung“ ausreichen kann, um die Bodenfruchtbarkeit negativ zu beeinflussen und das Wachstum und den Ertrag der angebauten Kulturen zu gefährden. Das Verfahren erscheint gut geeignet, um die Beratungspraxis zur Nährstoffversorgung im ökologischen Landbau wirksam zu unterstützen.

Ergebnisse aus Fruchtfolgeversuchen des ökologischen Landbaus sind selten. Für die Beurteilung des Fruchtfolge-Managements musste daher zunächst ein geeignetes Bewertungsverfahren entwickelt werden (siehe Kap. 2.3). Hierzu wurden wesentliche Aufgaben und Regeln der Fruchtfolge im ökologischen Landbau definiert und anschließend leicht erfass- und überprüfbare Kriterien zur Abschätzung des Erfüllungsgrades der Regeln festgelegt. So wird die unkrautunterdrückende Funktion der Fruchtfolge am besten durch den Wechsel

von Sommerung und Winterung, den Getreideanteil der Fruchtfolge sowie den Anteil des Feldfutterbaus ausgedrückt (z. B. PALLUT, 2000; KOLBE, 2008; BÖHM, 2014). Die Einhaltung von Anbaupausen sind für die Verhinderung von Fruchtfolgekrankheiten und Schädlingsbefall unerlässlich (z. B. SCHMIDT et al., 2014; SCHMIDTKE, 2016), Zwischenfruchtanbau und ein ausreichender Leguminosenanteil in der Fruchtfolge dienen zur Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und der Nährstoffversorgung der Kulturen (KOLBE et al., 2004).

Unter ökonomischen Gesichtspunkten sind zusätzlich ein ausreichender Getreideanteil an der Fruchtfolge sowie die Stellung der Kulturen nach Stickstoff sammelnden Leguminosen wichtig (SCHNEIDER et al., 2012). Für die Bewertung wurde lediglich geprüft, ob das jeweilige Kriterium erfüllt ist oder nicht (ja/nein-Prinzip). Die schlagweise Darstellung der Ergebnisse in Tabellenform und deren farbliche Unterlegung lässt auch hier sofort erkennen, bei welchen Kriterien das Fruchtfolge-Management ggf. nicht optimal war oder wo sogar Fehler gemacht worden sind, die mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Ertragseinbußen führen können oder bereits geführt haben.

Für eine aussagekräftige Analyse sollte der Untersuchungszeitraum mindestens einen vollen Fruchtfolgeumlauf umfassen. Die notwendige Beschränkung des Zeitraums auf 6 Jahre, wurde jedoch der Vielfalt der Fruchtfolgen in der Praxis nicht immer gerecht. Werden beispielsweise Körnererbsen angebaut, müsste sich die Fruchtfolge bestenfalls über 10 – 12 Jahre erstrecken, um die heute für erforderlich gehaltenen Anbaupausen einzuhalten (SCHMIDTKE, 2016). In der vorliegenden Untersuchung war zudem für die meisten der erfassten Schläge keine regelmäßig wiederkehrende Abfolge der Fruchtarten erkennbar, was darauf hindeutet, dass ein voller Fruchtfolgeumlauf innerhalb des Betrachtungszeitraums nicht immer erfasst wurde.

Andererseits deuten die Analysen auch darauf hin, dass viele Betriebe keine festgelegten Fruchtfolgen mehr betreiben, sondern die Abfolge der Kulturen eher an den wechselnden Anforderungen der Absatzmärkte orientieren als an pflanzenbaulichen Grundsätzen. Ähnliche Tendenzen und deren negative Folgen sind aus der konventionellen Landwirtschaft seit langem bekannt. Im Gegensatz zum Ökolandbau sind Fehler in der Fruchtfolgegestaltung hierbei zumindest zwischenzeitlich kompensierbar, beispielsweise durch den Einsatz synthetischer Dünge- und Pflanzenschutzmittel. Dem Ökolandbau stehen solche Mittel nicht zu Verfügung, daher hat die Einhaltung bewährter Fruchtfolgeregeln eine weitaus größere Bedeutung. Die entwickelte Bewertungsmethodik kann dazu beitragen, dass Fehler in der Fruchtfolgegestaltung aufgedeckt werden können. Die Methodik sollte in Zukunft weiterentwickelt werden, damit sie in der Beratungspraxis des ökologischen Landbaus breitere Anwendung finden kann.

Die schlagweise Auswertung der Ergebnisse hat gegenüber der betriebsweisen Vorgehensweise den entscheidenden Vorteil, dass bei den Bewertungskriterien keine Mittelwertbildung erfolgt, wodurch gewöhnlich das wahre Ausmaß an Bewirtschaftungsfehlern nivelliert und somit nicht erkannt werden kann.

4.2 Nährstoff- und Humusmanagement der Betriebe

Bestandsaufnahmen zur Nährstoff- und Humusversorgung des Ökolandbaus wurden in der Vergangenheit immer wieder durchgeführt. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse und übergreifende Bewertung wurde von KOLBE (2015) veröffentlicht. Sie zeigten übereinstimmend Tendenzen zu abnehmenden Nährstoffgehalten und abnehmenden pH-Werten der Böden, während die Stickstoff- und Humusversorgung im Allgemeinen als ausreichend bezeichnet worden ist. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung ordnen sich in diesen allgemeinen Trend ein. Die Auswertung ergab, dass von 810 erfassten Ackerschlägen nur 45 % der Flächen alle der zur Beurteilung des Nährstoff- und Humusmanagements herangezogenen zehn Kriterien erfüllten. Für

rund die Hälfte der Schläge wurden jedoch Mängel in mindestens einem Kriterium, für knapp 7 % sogar für drei oder mehr Kriterien festgestellt.

Auf Grund der genauen schlagweisen Auswertung kann nach diesen Untersuchungen zunächst als wesentliches Ergebnis festgestellt werden, dass durch Mängel im Nährstoffmanagement annähernd auf jeder zweiten Ackerfläche das potenziell mögliche Ertragsniveau im Ökolandbau nicht erreicht wird. Diese Aussage kann mit hoher Wahrscheinlichkeit getroffen werden, da die zugrunde liegenden Bewertungskriterien der Bodenfruchtbarkeit eine vielfältige experimentell abgesicherte Prüfung erfahren haben. Für die Grünlandflächen sind solche Mangelzustände bisher die Ausnahme.

Als wichtige Ursache sind Defizite bei der Kalkversorgung (pH-Wert) der Schläge zu sehen, die mit Abstand überwogen haben. Die Sicherstellung eines ausreichenden Kalkangebotes ist Voraussetzung für den Erhalt der Bodenstruktur und vermeidet Bodenerosion. Bei niedrigen pH-Werten ist die mikrobielle Aktivität gehemmt, was sich in einem geringeren Humusumsatz und Mängeln in der Nährstoffbereitstellung äußern kann. Der optimale pH-Wert für die meisten Böden und Fruchtarten liegt zwischen 6,0 und 7,0.

Leguminosen reagieren besonders empfindlich auf niedrige pH-Werte, während Kartoffeln in leicht sauren Böden sehr gut gedeihen (STEIN-BACHINGER, 2013). Liegt der pH-Wert niedriger als die unteren Werte des anzustrebenden pH-Bereiches (Gehaltsklasse C, siehe Tabelle 3), ist eine Gesundungskalkung angebracht. In Sachsen betrifft dies nach der vorliegenden Untersuchung auf rund 25 % der ökologisch bewirtschafteten Ackerfläche bzw. 33 % der Ackerschläge zu. Die über das Programm BEFU ermittelten Empfehlungen für eine solche Gesundungskalkung reichen bis zu 82 dt/ha, im Durchschnitt waren knapp 20 dt/ha erforderlich.

Für eine Aufkalkung sind verschiedene karbonatische (kohlen-saure) Kalke auch im ökologischen Landbau zugelassen. Immerhin 18 der hier untersuchten Betriebe haben solche Kalke im Untersuchungszeitraum bereits auf Teilen ihrer Schläge eingesetzt. Eine Gesundungskalkung sollte auf sandigen Böden nicht mehr als 15 dt CaO/ha und Jahr und auf lehmigen Böden nicht mehr als 25 dt CaO/ha und Jahr betragen. Sind höhere Mengen erforderlich, so ist eine Aufteilung über mehrere Jahre oder einen Fruchtfolgedurchlauf günstig.

Als weitere interessante Ergebnisse wurden durch die schlagweise Auswertung oft in ein und denselben Betrieben sowohl zu geringe als auch zu hohe Humus- und Stickstoffsalden festgestellt. Das flächengemittelte N-Bilanzsaldo lag im Durchschnitt der 32 Betriebe bei 31,5 kg N/ha*a, was zunächst als optimales Ergebnis angesehen werden kann. Damit bestand für Stickstoff insgesamt eine ausreichende bis gute Versorgungslage. Dies korrespondiert mit einer Reihe ähnlicher Untersuchungen aus anderen Bundesländern (KOLBE, 2015). Auch die Spanne der N-Salden zwischen den Betrieben, von -10 kg N/ha*a bis mehr als 85 kg N/ha*a entsprach in der Größenordnung den Resultaten vergleichbarer Untersuchungen.

Der Stickstoff gelangte im Mittel der Betriebe zu etwa einem Viertel (27,5 %) über die organische Düngung und zu drei Vierteln (72,5 %) über die symbiotische N₂-Fixierung der Leguminosen auf die Schläge. Bei genauerer Analyse bestanden jedoch große Ungleichgewichte zwischen den Betrieben, die überwiegend durch Unterschiede in den Betriebsstrukturen (z .B. mit Viehhaltung oder reiner Markfruchtbetrieb) verursacht worden sind. Erhebliche Ungleichgewichte bestanden aber auch im Vergleich zwischen den Schlägen eines Betriebes. So sind im gleichen Betrieb im 6-jährigen Durchschnitt sowohl deutlich negative N-Bilanzsalden von < -50 kg N/ha*a als auch stark positive Salden von > 50 kg N/ha*a feststellbar (siehe Abbildung 1).

Während für manche Schläge eines Betriebes demnach eine Ertragsgefährdung durch N-Mangel nicht auszuschließen war, könnte für andere Flächen bereits eine Umweltgefährdung durch N-Überschüsse vermutet werden. Offenbar wird einigen Ackerschlägen innerbetrieblich eine stärkere Präferenz bei der Düngung und

Bewirtschaftung zuteil, während andere Schläge unterversorgt bleiben. Oft sind es beispielsweise die hofnahen Flächen, die überdurchschnittlich von Wirtschaftsdüngern profitieren (THÜNENSCHKE Kreise). In der Vermeidung solcher Ungleichgewichte, sowohl zwischen den Betrieben als auch zwischen den Schlägen eines Betriebes, bestehen noch erhebliche Potenziale zur Verbesserung der Verwertungseffizienz der insgesamt nur begrenzt verfügbaren Nährstoffe. Ein optimales Management der Nährstoffflüsse trägt wesentlich zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit bei und ist damit eine wichtige Voraussetzung für eine ausreichende Wertschöpfung im ökologischen Landbau (LUX & SCHMIDTKE, 2014). Hier bestehen in vielen Betrieben noch deutliche Defizite.

Um die N-Versorgung der Kulturen zu sichern verfolgen die Betriebe nach Auswertung der Datengrundlage bisher zwei grundsätzlich verschiedene Strategien:

- Erhöhung des Einsatzes durch (zugekaufte) organische Düngemittel wie z. B. Grüngut- oder Bioabfallkomposte und Wirtschaftsdüngemittel
- Steigerung der symbiotischen N_2 -Fixierleistung durch den vermehrten Anbau von Leguminosen.

So haben mit einer Ausnahme die hier untersuchten viehlos wirtschaftenden Betriebe auch organische Dünger angewendet. Vor allem Stallmist aus Zukauf wurde zur Verbesserung der Nährstoffversorgung der Böden und zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit eingesetzt. Mit diesen Maßnahmen wurde bereits ein erster Schritt zum Ausgleich der Bilanzsalden zwischen den Betrieben eingeleitet. Im nächsten Schritt wäre die Verteilung dieser Düngemittel zwischen den Schlägen zu optimieren.

Zur Steigerung der über die symbiotische N_2 -Fixierleistung der Leguminosen im Ackerbau zugeführten N-Mengen haben einige Betriebe den Leguminosenanteil ihrer Fruchtfolgen soweit ausgeweitet, dass auf vielen Schlägen Ertragsrisiken durch das Auftreten spezifischer Krankheitserreger und Schädlinge immer wahrscheinlicher werden. In einem Betrieb wurde eine Ertragsgefährdung durch deutlich zu geringe Anbaupausen bei Rotklee, Luzerne oder Lupine sogar für alle Ackerschläge ermittelt. Statt den Leguminosenanbau auszuweiten, sollte der Verbesserung der N_2 -Fixierleistung zukünftig größere Bedeutung beigemessen werden.

Durch einen zu häufigen Anbau von Leguminosen wird auch deren N_2 -Fixierleistung z. T. deutlich verringert, da bei höheren N_{min} -Mengen im Boden die Leguminosen zunächst diesen verfügbaren Bodenstickstoff abschöpfen, bevor sie den Stickstoff aus der Atmosphäre nutzen (Selbstregulierung der Leguminosen). Es ist daher wichtig, in den Fruchtfolgen zwischen drei Phasen zu unterscheiden (KOLBE, 2006, 2008). Nach der Stickstoff- und Bodenfruchtbarkeit aufbauenden Phase durch Leguminosenanbau von ein bis zwei Jahren sollten zunächst immer Anbauglieder mit stark zehrenden und danach eine ein- bis zwei-jährige Phase mit schwach zehrenden Nichtleguminosen folgen. Hierdurch erreichen die Bodenreserven an Stickstoff wieder niedrige Werte, so dass durch den erneuten Anbau von Leguminosen eine hohe N_2 -Fixierleistung erreicht wird und ein neuer erfolgreicher Fruchtfolgezyklus in Gang gesetzt wird. Diese allgemeine Regel wird nur auf gut der Hälfte der Ackerschläge befolgt (siehe Tabelle 23).

Statt den Leguminosenanteil übermäßig auszuweiten, sollten deshalb zunächst die standortspezifischen Voraussetzungen für hohe N_2 -Fixierungsraten verbessert werden. Zur Erhöhung der Fixierungsleistung würde beispielsweise auch eine Kalkung und damit Anhebung des pH-Wertes auf das bodenspezifische Optimum (KOLBE et al., 2002) beitragen können. Mit steigendem pH-Wert verbessert sich zudem die Verfügbarkeit des für die N_2 -Fixierung durch Knöllchenbakterien essentiellen Mikronährstoffs Molybdän (GUPTA et al., 1978).

Eine dritte, bisher kaum verfolgte Strategie besteht in der Umverteilung des über Leguminosen gesammelten Stickstoffs innerhalb des Betriebes oder zwischen verschiedenen Betrieben über so genannte „Cut & Carry“-

Systeme. Dabei wird der Aufwuchs von Futterleguminosen wie Klee gras oder Luzerne, auf einem "Geberfeld" gemäht und auf ein "Nehmerfeld" als Gründünger oder als oberflächliche Mulchauflage verbracht. Mit diesem Ansatz kann auch im viehlosen Betrieb eine Verbesserung des Nährstoffmanagements erreicht werden. Die N-Aufnahme aus solchen Düngern und seine Ertragswirkung ist der des Stickstoffs aus organischen Zukaufdüngern durchaus vergleichbar (STUMM & KÖPKE, 2015). Die Kosten werden von den Autoren auf zwei bis vier Euro je kg Stickstoff geschätzt.

Die Versorgung mit organischer Substanz bzw. mit Humus ist ein weiterer wichtiger Indikator der Bodenfruchtbarkeit, da hier sowohl biologische, physikalische und chemische Eigenschaften in quantitativ bedeutendem Umfang berührt werden. Die Ergebnisse zur Humusbilanz zeigen für die überwiegende Mehrzahl der Betriebe eine ausreichende bis gute Versorgung, allerdings ebenfalls mit einer enormen Streubreite zwischen den Betrieben wie auch zwischen den Schlägen eines Betriebes (siehe Abbildung 14). Die höchsten Humusbilanzen von bis über 1.000 $\text{häq/ha} \cdot \text{a}$ wurden in Betrieben mit intensivem Anbau von Futterleguminosen, aber geringer Viehhaltung festgestellt. Es ist zu beachten, dass die enorme Spannbreite insbesondere der Humus- und N-Salden zwischen den Flächen eines Betriebes auch auf einer ungenauen Erfassung jeweils kompletter Fruchtfolgen beruhen kann.

Die fortgesetzte Humusanreicherung birgt die Gefahr einer unkontrollierbaren N-Freisetzung aus der organischen Substanz. Hier wären Cut & Carry-Systeme gut geeignet, um die Humusbilanzen zwischen den Flächen etwas auszugleichen, ohne auf die unkrautunterdrückende Wirkung des Futterleguminosenanbaus und seiner positiven Effekte für die Bodenfruchtbarkeit zu verzichten. Der flächenbereinigte Gesamtmittelwert von 150 $\text{häq/ha} \cdot \text{a}$ entspricht Ergebnissen ähnlicher Untersuchungen (KOLBE, 2015).

Die Hauptnährstoffe Phosphor und Kalium mussten in ökologisch wirtschaftenden Betrieben bisher kaum von außen zugeführt werden, da die meisten Böden infolge der vormaligen konventionellen Aufdüngungsphase soweit mit diesen Nährstoffen angereichert waren, dass die Versorgung der Kulturen aus dem Bodenvorrat problemlos möglich war. Die Strategie der langsamen Abreicherung der Bodenvorräte wird auch von der Mehrzahl der hier untersuchten Ökobetriebe Sachsens weiterverfolgt.

Für Phosphor lagen die Salden im flächenbereinigten Durchschnitt bei $-10,4 \text{ kg P/ha} \cdot \text{a}$. Mit einem Absinken der pflanzenverfügbaren P-Bodengehalte ist nach KOLBE (2010) bereits bei P-Bilanzsalden von $<-1,6 \text{ kg P/ha} \cdot \text{a}$ zu rechnen. Wie aus Dauerversuchen abgeleitet werden konnte, stammen Werte um 2 kg P/ha und Jahr aus dem Untergrund oder aus der Atmosphäre. Daran angelehnt wurde hier eine Untergrenze von $-2 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}$ für optimale P-Salden definiert. P-Salden oberhalb von diesem Wert wurden jedoch nur von drei Betrieben erreicht. Die P-Salden der meisten Betriebe lagen z.T. deutlich darunter, so dass mittelfristig ein weiteres Absinken der Bodengehalte zu erwarten ist.

Für Kalium lagen die Salden im flächenbereinigten Mittel bei $-62,5 \text{ kg K/ha} \cdot \text{a}$. Die hier in Anlehnung an KOLBE & SCHUSTER (2011) definierten Untergrenzen für optimale K-Salden von $0 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}$ für leichte bzw. $-40 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}$ für mittlere bis schwere Böden wurden nur von 7 Betrieben erreicht. Auch für Kalium ist für die Mehrzahl der Flächen somit ein weiteres Absinken der Bodengehalte zu vermuten.

Negative P- und K-Salden sind gerechtfertigt und Empfehlung der Beratung, solange die Bodenvorräte einen kritischen Wert, der im Allgemeinen mit der Untergrenze der Versorgungsklasse B nach VDLUFA angenommen wird, nicht unterschreiten. Dies war für P bisher nur für rund 10 % und für K nur für rund 8 % der hier untersuchten Ackerfläche der Fall. Damit ist die durchschnittliche Versorgungslage mit pflanzenverfügbarem Phosphor und Kalium noch als relativ günstig anzusehen. In jüngster Zeit häufen sich aber Berichte über deutlich abnehmende Gehalte an Phosphor und Kalium im Boden ökologisch wirtschaftender Betriebe (z. B. GRU-

BER, 2009; ZORN & WAGNER, 2010), so dass Ertragsausfälle durch P- und/oder K-Mangel zukünftig wahrscheinlicher werden. Um sie zu vermeiden, müssen die Bodengehalte regelmäßig kontrolliert werden.

Ob bereits ein Düngebedarf besteht, um die Versorgungsklasse B zu sichern, kann jedoch nur festgestellt werden, wenn neben den Bodengehalten auch die aktuellen Nährstoffsalden der Fruchtfolgen in den Kalkulationen berücksichtigt werden. So steht nach den Berechnungen mit dem Programm BEFU fest, dass bereits in 9 Betrieben ein Bedarf zur Kaliumdüngung und sogar in 17 Betrieben ein zusätzlicher Bedarf zur Phosphordüngung besteht (siehe Tabelle 19).

Bisher werden die Nährstoffe P und K nahezu ausschließlich über organische Düngemittel zugeführt. Die BEFU-Berechnungen zeigen jedoch, dass dies nicht ausreichend war, so dass zukünftig verstärkt auf weitere P- und K-Importe zurückgegriffen werden muss. Gering aufgeschlossene mineralische Phosphate wie z. B. in Form von Dolophos oder Physalg wurde in der vorliegenden Untersuchung nur von zwei Betrieben eingesetzt, leicht lösliche Kaliumsalze (Patentkali) kamen nur in drei Betrieben zur Anwendung. Vor allem für Phosphor gilt, dass die Verfügbarkeit mineralischer Phosphate weltweit begrenzt ist und daher die Rückgewinnung des Phosphors aus der Nahrungskette, beispielsweise aus Klärschlämmen und Komposten an Bedeutung gewinnen wird (RÖMER, 2013). Die oft empfohlene Verwendung von Fruchtarten mit hohem P-Aneignungsvermögen oder von Kulturen mit tiefreichendem Wurzelsystem (SCHELLER 1991; GERKE 1995; ANDERSON et al. 1998), wie z. B. Rotklee, Luzerne oder Lupine, wird in der Praxis bereits schon oft befolgt. Durch die erforderlichen Anbaupausen sind für diese Arten jedoch phytosanitäre Grenzen gesetzt.

4.3 Fruchtfolgegestaltung der Betriebe

Die Fruchtfolge hat im ökologischen Landbau vielfältige Aufgaben. Eine sinnvoll gestaltete Fruchtfolge fördert die Bodenfruchtbarkeit, verhindert Fruchtfolgekrankheiten, unterdrückt die Verunkrautung und sichert die Versorgung wichtiger Nährstoffe. Die Fruchtfolge ist im ökologischen Landbau daher immer auch ein Element des Nährstoffmanagements. In viehhaltenden Betrieben muss über die angebauten Kulturarten zusätzlich der Futterbedarf gedeckt werden (PAULSEN et al., 2016). Die hier vorgenommene Bewertung der Fruchtfolgen orientiert sich an diesen Aufgaben.

Zur effektiven Kontrolle der Verunkrautung gelten der regelmäßige Wechsel von Blatt- bzw. Hackfrüchten und Halmfrüchten sowie zwischen Winterung und Sommerung allgemein als unverzichtbarer Grundsatz der Fruchtfolgegestaltung (KOLBE, 2008; PALLUT, 2000). Auch die meisten der hier untersuchten Betriebe haben dieses wichtige Mittel zur vorsorgenden Unkrautunterdrückung regelmäßig auf ihren Schlägen beachtet. Bezogen auf die Anzahl Schläge lag der Erfüllungsgrad für dieses Kriterium im flächenbereinigten Durchschnitt bei sehr guten 80 %, bezogen auf die absolute Fläche noch bei 75 %.

Weniger beachtet wurde von den untersuchten Betrieben, dass viele Fruchtarten mit sich selbst und anderen Arten der gleichen Pflanzenfamilie mehr oder weniger unverträglich sind. Ihr fortgesetzter Anbau auf dem gleichen Schlag führt zu Ertragsverlusten, die umso größer werden, je öfter die gleiche Kultur angebaut wird. Besonders gilt dies für zahlreiche Arten unter den Leguminosen, die im ökologischen Landbau aufgrund ihrer Bedeutung für die Stickstoffversorgung einen vergleichsweise hohen Anteil an der Fruchtfolge ausmachen. Fehler bei der Fruchtfolgegestaltung durch einen zu häufigen Anbau dieser Kulturen wurden bei fast einem Drittel der erfassten Schläge festgestellt.

Als Ursache potenzieller Ertragsverluste werden meistens ein einseitiger Nährstoffentzug und insbesondere die Vermehrung spezifischer Krankheitserreger und Schädlinge genannt. Diese Effekte werden vielfach unter dem Begriff der „Boden- bzw. Leguminosenmüdigkeit“ zusammengefasst (PAULSEN et al., 2016). Als besonders empfindlich gelten Erbsen, bei denen Mindererträge bereits zu beobachten waren, wenn sie lediglich mehr als 1-mal innerhalb von 25 Jahren auf dem gleichen Schlag angebaut wurden (SCHMIDT et al., 2014). Der Anbau anderer Leguminosen, wie Luzerne und Rotklee hat diese negative Wirkung sogar noch verstärkt.

Um diese Ertragsausfälle zu vermeiden, ist es unbedingt erforderlich, dass artspezifische Anbaupausen der Fruchtarten eingehalten werden. Für Körnerleguminosen im Hauptfruchtbau liegen diese Anbaupausen beispielsweise zwischen 4 – 5 Jahre für Ackerbohne und zwischen 6 – 9 Jahre für weißblühende Erbsen (SCHMIDTKE, 2016). Zu Futterleguminosen wie Rotklee und Luzerne in der gleichen Fruchtfolge sind nochmals Anbaupausen von 3 – 5 Jahren bei weißblühenden Erbsen bzw. von 2 – 4 Jahren bei anderen Körnerleguminosen zu beachten.

Die hier untersuchten Praxisbetriebe haben solche Anbaupausen vielfach nicht eingehalten. Besonders Gemüseerbsen wurden in einigen Betrieben deutlich zu häufig angebaut, wie das Beispiel des Betriebes 14 eindringlich zeigt. Hier wurden Erbsen im Untersuchungszeitraum auf 29 von 35 Schlägen angebaut, davon auf 17 Schlägen (59 %) mit Anbaupausen von <6 Jahren, auf 7 Schlägen sogar mit Anbaupausen von <3 Jahren.

Eine Verbesserung könnte durch eine stärkere Standardisierung der Fruchtfolgen nach festgelegten Grundsätzen erreicht werden, wie sie früher üblich war (BRINKMANN, 1950) und heute wieder von SCHMIDTKE (2016) für die Einbindung des Anbaus von Körnerleguminosen in Fruchtfolgen des Ökolandbaus vorgeschlagen wird. In ein solches System sollten möglichst alle Schläge des Betriebes und ggf. auch geeignete Flächen interessierter Nachbarbetriebe einbezogen werden, um den Erbsenanbau auf eine größere Fläche zu verteilen, damit schädliche Anbaukonzentrationen erst gar nicht entstehen können. Der Einsatz von Komposten und Stallmist kann bei Körnerleguminosen zusätzlich zur Minderung des Krankheitsdrucks durch bodenbürtige Schaderreger beitragen (BRUNS et al., 2014).

Ölsaaten hatten in den untersuchten Betrieben einen vergleichsweise geringen Anteil an den Fruchtfolgen. Fehler in der Fruchtfolgegestaltung durch den zu häufigen Anbau dieser Kulturen auf der gleichen Fläche waren daher weit weniger häufig. Hier bestehen offensichtlich noch erhebliche Reserven zur Auflockerung und Erweiterung der Fruchtfolgen (BÖHM, 2014). Bei der Einordnung der Ölsaaten in die Fruchtfolgen muss unterschieden werden in Fruchtarten mit einem hohen Anspruch an die Nährstoffversorgung, wie Winterraps, und Fruchtarten mit einem geringen Nährstoffanspruch, wie Öllein. Winterraps sollte daher bevorzugt direkt nach Leguminosen wie Klee gras stehen, während Sonnenblumen und Öllein besser in abtragender Stellung angebaut werden (ARP et al., 2010). Ölpflanzen werden ebenfalls von einer Vielzahl von Krankheiten und Schädlingen befallen, so dass auch hier entsprechende Anbaupausen von mindestens 4 Jahren einzuhalten sind. Dabei muss auch der Anteil von kruziferen Zwischenfrüchten wie Senf und Ölrettich beachtet werden, der in vielen der hier untersuchten Betriebe eine große Rolle spielt.

Insgesamt wurden Zwischenfrüchte auf immerhin rund 60 % der erfassten Schläge und Flächen, vielfach sogar mehrfach in 6 Jahren, angebaut. Werden noch Stoppel- oder Untersaaten von Feldgras, Luzerne, verschiedenen Klee gras- oder sonstigen Leguminosen- und Nichtleguminosen-Mischungen hinzugerechnet, die im Folgejahr als Hautfrucht dienen und daher nicht als klassische Zwischenfrucht zu bewerten waren, würden Zwischenfrüchte sogar auf knapp 80 % der Flächen und Schläge zum Anbau kommen. Die ständige Bodenbedeckung unterdrückt Unkräuter und Schaderreger, fördert die biologische Aktivität des Bodens und verbessert die Bodenstruktur (KOLBE et al., 2004). Besonders der Anbau legumer Zwischenfrüchte trägt zur Verbes-

serung der N-Versorgung bei und ist durch höhere Erträge der Folgefrucht vielfach auch ökonomisch rentabel (SCHLIEßER et al., 2010; URBATZKA et al., 2013).

Auf Schlägen mit deutlich positiven N-Salden von $>50 \text{ kg/ha}^* \text{a}$, von denen unter Umständen eine Gefährdung für die Umwelt durch N-Austrag ausgehen könnten, kann Zwischenfruchtbau helfen, Stickstoff über den Herbst und Winter im System zu konservieren und für die Folgekulturen verfügbar zu machen. Schnellwüchsige Kreuzblütler, wie beispielsweise Gelbsenf nehmen bei ausreichender Bodenfeuchte im Spätsommer und Herbst große N-Mengen auf und entziehen sie somit der Verlagerung in tiefere Bodenschichten. Eine potenzielle Umweltgefährdung durch hohe N-Salden wurde in der vorliegenden Untersuchung im flächenbereinigten Durchschnitt über alle Betriebe für ca. 25 % der Schläge festgestellt. In einigen Betrieben erreichten sie sogar einen Anteil von deutlich mehr als 50 %, was aber auch an Ungenauigkeiten bei der Datenerfassung liegen kann. In diesen Betrieben kommt es besonders darauf an, unproduktive Nährstoffverluste zu vermeiden und eine bessere Synchronisation zwischen N-Bedarf und N-Angebot zwischen den Schlägen zu erreichen. Neben der oben bereits angesprochenen Cut & Carry-Strategie kann hierzu auch der Anbau von Zwischenfrüchten beitragen.

Insgesamt haben die Untersuchungen gezeigt, dass das Ausmaß an Ertrags- und Bodenfruchtbarkeitsgefährdung durch Mängel im Nährstoff- und Fruchtfolgemanagement im Ökolandbau weiterverbreitet ist als bisher angenommen. Anstrengungen zum Aufbau und Umsetzung von verbesserten Systemen zur Düngung und Fruchtfolgegestaltung sind daher zur zukünftigen Sicherung der Nachhaltigkeit der Ökobetriebe von großer Wichtigkeit.

5 Zusammenfassung

In dieser Untersuchung wurden Daten zur Nährstoff- und Humusversorgung sowie zur Fruchtfolgegestaltung von 32 ökologisch wirtschaftenden Landwirtschaftsbetrieben im Freistaat Sachsen über einen Zeitraum von 6 Jahren gesammelt und ausgewertet. Insgesamt stand ein Datenmaterial von 810 ökologisch bewirtschafteten Schlägen und mehr als 4.800 Ernten zur Verfügung.

Die Beurteilung des Nährstoff- und Humusmanagement der Betriebe erfolgte anhand von meistens an die spezifischen Bedingungen des Ökolandbaus angepassten Verfahren des VDLUFA für den pH-Wert des Bodens, die Bodengehalte der Hauptnährstoffe und die Humusbilanzen. Ergänzend wurden Schlag-Bilanzen für die Hauptnährstoffe mit ihren Bruttobeträgen und der Düngebedarf mit dem Programm BEFU, Teil Ökolandbau, berechnet.

Für die Beurteilung des Fruchtfolge-Managements musste zunächst ein geeignetes Bewertungsverfahren entwickelt werden. Hierzu wurden die wesentlichen Aufgaben und Regeln der Fruchtfolgegestaltung im ökologischen Landbau definiert und anschließend leicht erfass- und überprüfbare Kriterien zur Abschätzung des Erfüllungsgrades der Regeln festgelegt. Hierzu zählen beispielsweise der Getreideanteil der Fruchtfolge, der Wechsel zwischen Winterung und Sommerung, das Einhalten ausreichender Anbaupausen im Kartoffel-, Körnerleguminosen- und Ölsaatenanbau, der Leguminosenanteil der Fruchtfolge und die Häufigkeit des Anbaus einzelner Leguminosenarten sowie Nutzung des Zwischenfruchtanbaus.

Die Ergebnisse der Untersuchung werden zunächst im Betriebsvergleich sowie im Vergleich der Betriebssysteme (Markfruchtbetriebe, Futterbaubetriebe) dargestellt und analysiert. Um eine hohe Aussagekraft zu erlangen, stand weiterhin eine schlagweise Erfassung und Auswertung der Ergebnisse im Mittelpunkt der Arbeiten. Sie hat gegenüber der betriebsweisen Vorgehensweise den Vorteil, dass bei den Bewertungskriterien keine Mittelwertbildung erfolgt, wodurch gewöhnlich das wahre Ausmaß an Bewirtschaftungsfehlern nivelliert und somit nicht erkannt werden kann.

Die schlagweise Bewertung erfolgte für das Nährstoff- und Humusmanagement mit einer 3-stufigen Skala (gering, optimal, hoch) bzw. für das Fruchtfolge-Management anhand einer zweistufigen Skala (günstig, ungünstig). Die Bewertungen für die oben genannten Kriterien wurden in Tabellen zusammengefasst. Die Tabellen erlauben einen schnellen Überblick über den Versorgungszustand der Schläge und über mögliche Defizite. Das Verfahren wird beispielhaft für zwei Futterbau- und einen Marktfruchtbetrieb vorgestellt. Es erscheint gut geeignet, die Beratungspraxis zum Nährstoffmanagement und zur Fruchtfolgegestaltung im ökologischen Landbau wirksam zu unterstützen.

Zusammenfassend wurden folgende Ergebnisse erzielt:

Humus und Stickstoff

- ausreichende bis gute Versorgungslage, Mangel und Überfluss nur in wenigen Betrieben
- durch große Unterschiede zwischen den Betrieben und zwischen den Schlägen des gleichen Betriebes wird Handlungsbedarf angezeigt
- insgesamt sind günstige Wirkungen auf Bodenfruchtbarkeit und Umweltschutz zu erwarten.

Phosphor und Kalium

- weit verbreitet sind negative P- und K-Salden bei zunächst noch ausreichender P- und K-Versorgung der Böden
- bei weiterer Abreicherung der Böden sind auch mittel- bis langfristig Ertragsausfälle zu erwarten
- regelmäßige Kontrolle der Bodengehalte und Ermittlung des Düngedarfs ist erforderlich.

Magnesium und Schwefel

- weit verbreitet sind negative Mg-Salden bei ausreichender Mg-Versorgung der Böden
- überwiegend positive bis schwach negative S-Salden, bisher kein Handlungsbedarf für eine S-Düngung.

pH-Wert und Kalkversorgung

- 34 % der Ackerschläge bzw. 25 % der Ackerflächen weisen zu niedrige pH-Werte auf
- dringender Handlungsbedarf zu einer Kalkung, auf vielen Schlägen besteht hoher Kalkbedarf.

Unkrautunterdrückende Wirkung der Fruchtfolge

- weit verbreitet ist ein regelmäßiger Wechsel zwischen Sommerung und Winterung
- der Getreideanteil der Fruchtfolge ist auf knapp 40 % der Schläge zu hoch oder zu gering
- Anteil des Feldfutterbaus, zumeist mit Leguminosen, ist auf knapp 40 % der Schläge zu hoch.

Krankheits- und schädlingsunterdrückende Wirkung der Fruchtfolge

- weit verbreitet erfolgt eine Einhaltung der erforderlichen Anbaupausen bei Kartoffeln und Ölsaaten
- bei Körnerleguminosen werden die empfohlenen Anbaupausen auf 26 % der Schläge nicht immer eingehalten, Probleme bereitet vor allem der zu häufige Anbau von Körnererbsen
- ein hoher Leguminosenanteil im Feldfutterbau mit Konzentration auf wenige Arten begünstigt ebenfalls spezifische Fruchtfolgekrankheiten (Leguminosenmüdigkeit).

Wirkung der Fruchtfolge auf die Bodenfruchtbarkeit

- der Zwischenfruchtanbau ist in den meisten Betrieben weit verbreitet, ein hoher Anteil des Feldfutterbaus hat ähnlich positive Wirkungen
- der Leguminosenanteil der Fruchtfolge ist aber bei der Mehrzahl der Betriebe insgesamt zu hoch
- auf knapp 50 % der Schläge erfolgt keine optimale Nutzung des von Leguminosen hinterlassenen Stickstoffs.

Insgesamt wurde ermittelt, dass in der Summenwirkung auf 44 % der untersuchten Ackerschläge potenziell ertragsbegrenzende Mängel in dem Nährstoffmanagement bestehen und auf fast 40 % der Schläge wichtige Anbaupausen der Fruchtarten in den Fruchtfolgen nicht eingehalten werden. Aus diesen Ergebnissen kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass in Zukunft verstärkte Anstrengungen in den Betrieben zur Verbesserung des Nährstoffmanagements und der Fruchtfolgegestaltung unternommen werden müssen, um die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten und Ertragseinbußen zu vermeiden.

6 Literaturverzeichnis

- ALBERT, A., FÖRSTER, F., ERNST, H., KOLBE, H., DITTRICH, B., LABER, H., HANDSCHACK, M., KRIEGHOFF, M., HEIDENREICH, T., RIEHL, G., HEINRICH, S. ZORN, W. (2007): Umsetzung der Düngeverordnung. Hinweise und Richtwerte für die Praxis. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), Dresden, S. 1-164.
- ANDERSON, G.C., FILLERY, I.R.P., DUNIN, F.X., DOLLING, P.J., ASSENG, S. (1998): Nitrogen and water flows under pasture-wheat and lupin-wheat rotations in deep sands in Western Australia. 2. Drainage and nitrate leaching. Aust. J. Agric. Res. 49, S. 345-361.
- ANONYM (1978): Chemische Bodenuntersuchung: Bestimmung des Molybdäns. TGL 25418/1511-1978, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften 11.
- ANONYM (1991): Bestimmung von pflanzenaufnehmbarem Bor (heißwasserlöslich). In: Die Untersuchung von Böden. VDLUFA-Methodenbuch I, A 7.1.1., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- ANONYM (2004): Bestimmung von Magnesium, Natrium und den Spurennährstoffen Kupfer, Mangan, Zink und Bor im Calciumchlorid/DTPA-Auszug. In: Die Untersuchung von Böden. VDLUFA-Methodenbuch Band I, A 6.4.1, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- ARP, B., HÄNSEL, M., KARALUS, W., KOLBE, H., SCHUSTER, M., JÄCKEL, U. (2010): Ölfrüchte im Ökologischen Landbau - Informationen für die Praxis. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
- BECKMANN, U., GRÜNBECK, A., HÄNSEL, M., KARALUS, W., KOLBE, H., SCHUSTER, M., ARP, B., BEESE, G., KRELLIG, B., PÖLITZ, B., AUERBACH, D. (2001): Getreide im Ökologischen Landbau - Informationen für Praxis und Beratung. Broschüre, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
- BENGTSSON, H., OBORN, I., JONSSON, S., NILSSON, I., ANDERSSON, A. (2003): Field balances of some mineral nutrients and trace elements in organic and conventional dairy farming - a case study at Ojebyn, Sweden. Europ. J. Agronomy 20, S. 101-116.
- BMEL (2017): Ökologischer Landbau in Deutschland, Stand: Januar 2017. Informationsschrift des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (http://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Nachhaltige-Landnutzung/Oekolandbau/_Texte/OekologischerLandbauDeutschland.html#doc377838bodyText6).
- BÖHM, H. (2014): Rapsanbau im Ökologischen Landbau – Probleme und Perspektiven. Raps Nr. 4, S. 2-6.
- BRINKMANN, T. (1950): Das Fruchtfolgebild des deutschen Ackerbaues. Bonner Universitätsdruckerei Gebr. Scheuer, Bonn.
- BRUNS, CH., BOHNE, B., FINCKH, M., GRONLE, A., HENSEL, O., WERREN, D. (2014): Wie kann die Pflanzengesundheit von Erbsen und Ackerbohnen beeinflusst werden. In: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.): Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit – Strategien für einen erfolgreichen Anbau. Bonn.
- EGNER, H., RIEHM, H. (1955): Die Doppellactatmethode. In: R. THUN et al.: Methodenbuch I. Neumann Verlag, Berlin.
- FINCKH, M., YLI-MATTILÄ, T., NYKÄNEN, A. KURKI, P., HANNUKULA, A. (2015): Organic temperate legume disease management. In: FINKGH, M., VAN BRUGGEN, A.H.C. und TAMM, L. (Hrsg): Plant Diseases and Their Management. The American Phytopathologica Society, S. 153-174. Zitiert in: FREYER, B. (Hrsg.): Ökologischer Landbau – Grundlagen, Wissensstand und Herausforderungen. UTB-Verlagsgruppe, Haupt-Verlag, Bern.
- FREYER, B., PIETSCH, G., HRBEK, R., WINTER, S. (2005): Futter- und Körnerleguminosen im biologischen Landbau. Österreichischer Agrarverlag, Wien.

- GERKE, J. (1995): Chemische Prozesse der Nährstoffmobilisierung in der Rhizosphäre und ihre Bedeutung für den Übergang vom Boden in die Pflanze. Habilitationsschrift, Cuvillier Verlag, Göttingen, S. 1-241.
- GRUBER, H. (2009): Entwicklung der Grundnährstoffgehalte in einem schwach lehmigen Sandboden Nordostdeutschlands nach langjähriger ökologischer Bewirtschaftung. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 21, S. 123-124.
- GUPTA, U. C., CHIPMAN, E. W., MACKAY, D. C. (1978): Effects of molybdenum and lime on the yield and molybdenum concentration of crops grown on acid sphagnum peat soil. Canadian Journal Plant Science, 58 (4), S. 983-992.
- HARZER, N. (2006): Humus- und Nährstoffhaushalt ökologischer Betriebe und Systemversuche im Land Sachsen-Anhalt. Diplomarbeit, Martin-Luther-Universität, Halle.
- HEGE, U., FISCHER, A., OFFENBERGER, K. (2003): Nährstoffsalden und Nitratgehalte des Sickerwassers in ökologisch und konventionell bewirtschafteten Ackerflächen. In: Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz (Hrsg.): Tagungsband: Forschung für den Ökologischen Landbau in Bayern. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 3, S. 7-13.
- HEROLD, L., HÖPFNER, E. (2010): N_{min}-Monitoring auf konventionell und ökologisch bewirtschafteten Flächen. Schriftenreihe Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen, Heft 8, S. 44-50.
- HEYLAND, K.-U., HANUS, H., KELLER, E.R. (2006): Ölfrüchte, Faserpflanzen, Arzneipflanzen und Sonderkulturen. Verlag Ulmer, Stuttgart.
- KLOSE, R., GRUNERT, M., KURZER, H.-J. (2015): Mikronährstoffstatus sächsischer Ackerböden 2013. Schriftenreihe des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 11, S. 1-31.
- KOLBE, H. (2006): Fruchtfolgegestaltung im ökologischen und extensiven Landbau: Bewertung von Vorfruchtwirkungen. Pflanzenbauwissenschaften 10 (2), S. 82-89.
- KOLBE, H. (2008): Fruchtfolgegrundsätze im Ökologischen Landbau. Merkblatt, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
- KOLBE, H. (2010): Phosphor und Kalium im ökologischen Landbau – aktuelle Probleme, Herausforderungen, Düngungsstrategien. In: Phosphor- und Kaliumdüngung – brauchen wir neue Düngekonzepte? Tagung des Verbandes der Landwirtschaftskammern e. V. (VLK) und des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD) am 20. und 21. April 2010 in Würzburg, Bundesarbeitskreis Düngung BAD (Hrsg.), Frankfurt/Main, S. 117-138.
- 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, S. 89-123.
- KOLBE, H. (2016): Nährstoff- und Humusversorgung im Ökolandbau – Über die unterschiedlichen Entwicklungstendenzen bei der Bodenfruchtbarkeit. Der kritische Agrarbericht 2016, S. 168-173.
- KOLBE, H., KÖHLER, K. (2008): BEFU – Teil Ökologischer Landbau. Erstellung und Beschreibung des PC-Programms BEFU, Teil Ökologischer Landbau. Verfahren der Grunddüngung, legumen N-Bindung, Nährstoff- und Humusbilanzierung. Schriftenreihe des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 36, S. 1-252.
- KOLBE, H., SCHUSTER, M. (2011): Bodenfruchtbarkeit im Ökobetrieb – Untersuchungsmethoden. Broschüre, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
- KOLBE, H., KARALUS, W., SCHUSTER, M., HÄNSEL, M., SCHAEFF, A., PÖLITZ, B. (2012): Kartoffeln im Ökolandbau – Informationen für Praxis und Beratung. Broschüre, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.

- KOLBE, H., KARALUS, W., HÄNSEL, M., GRÜNBECK, A., GRAMM, M., ARP, B., KRELLING, B. (2002): Körnerleguminosen im Ökolandbau – Informationen für Praxis und Beratung. Broschüre, Sächsisches Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
- KOLBE, H., SCHUSTER, M., HÄNSEL, M., SCHLIEßER, I., PÖHLITZ, B., STEFFEN, E., POMMER, E. (2006): Feldfutterbau und Gründüngung im Ökologischen Landbau – Informationen für Praxis und Beratung. Broschüre, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
- KOLBE, H., SCHUSTER, M., HÄNSEL, M., GRÜNBECK, A., SCHLIEßER, I., KÖHLER, A., KARALUS, W., KRELLIG, B., POMMER, R., ARP, B. (2004): Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau – Fachmaterial. Broschüre, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
- KÖNNECKE, G. (1967): Fruchtfolgen. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- KRAFT, J.M., PFLEGER, F.L. (2001): Compendium of Pea Diseases and Pests. APS-Press - The American Phytopathologica Society (2. Auflage). Zitiert in: FREYER, B. (Hrsg.): Ökologischer Landbau – Grundlagen, Wissensstand und Herausforderungen. UTB-Verlagsgruppe, Haupt-Verlag, Bern.
- LEISEN, E. (2013): Veränderung von Mineralstoffgehalten in Böden und Pflanzen von Öko-Milchviehbetrieben in den letzten 15 Jahren. Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn. Verlag Dr. Köster, Berlin, S. 150-153.
- LFL (2006): Sonnenblumen zur Kornnutzung (*Helianthus annuus* L.). LfL-Informationen, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Weihenstephan.
- LINDENTHAL, T. (2010): Phosphorvorräte in Böden, betriebliche Phosphorbilanzen, und Phosphorversorgung im Biologischen Landbau – Ausgangspunkte für die Bewertung einer großflächigen Umstellung ausgewählter Bundesländer Österreichs auf Biologischen Landbau hinsichtlich des P-Haushaltes. Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien, S. 1-290.
- LUX, G., SCHMIDTKE, K. (2014): Steigerung der Wertschöpfung ökologisch angebaute Marktfrüchte durch Optimierung des Managements der Bodenfruchtbarkeit. Abschlussbericht des BÖLN-Vorhabens 2811OE083, Teilprojekt HTW, Dresden.
- MAYER, J., MÄDER, P. (2016): Langzeitversuche – Eine Analyse der Ertragsentwicklung. In: FREYER, B.: Ökologischer Landbau – Grundlagen, Wissensstand und Herausforderungen. UTB, Stuttgart, S. 421-445.
- MITSCHERLICH, E.A. (2009): Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages. Landwirtsch. Jahrb. 38, S. 537-552.
- MÖLLER, K., FRIEDEL, J. K. (2016): Pflanzenernährung und Düngung. In: FREYER, B. (Hrsg.): Ökologischer Landbau – Grundlagen, Wissensstand und Herausforderungen. UTB-Verlagsgruppe, Haupt-Verlag, Bern.
- NEUHOFF, D. (2015): Ertragspotentiale ökologischer Anbausysteme aus pflanzenbaulicher Sicht. Beiträge zur 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau (<http://orgprints.org/view/projects/int-conf-wita-2015.html>).
- PALLUTT, B. (2000) Unkrautunterdrückung und -bekämpfung durch Fruchtfolgegestaltung, Bodenbearbeitung, Aussaatzeit, Saatmenge und Stickstoffversorgung. Beitrag präsentiert bei der Konferenz: Pflanzenschutz im ökologischen Landbau - Probleme und Lösungsansätze. Drittes Fachgespräch: "Unkrautregulierung im ökologischen Landbau", Kleinmachnow, 02.11.1999.
- PAULSEN, H.M., BÖHM, H., FREYER, B. (2016): Fruchtfolgen. In: FREYER, B. (Hrsg.): Ökologischer Landbau – Grundlagen, Wissensstand und Herausforderungen. UTB-Verlagsgruppe, Haupt-Verlag, Bern.
- PAULSEN, H.M., BÖHM, H., MOOS, M., FISCHER, J., SCHRADER, S., FUß, R. (2013): Fruchtbarer Boden – Welchen Einfluss die Landbewirtschaftung auf den Boden hat. Forschungsreport, Heft 2, S. 17-19.
- RÖMER, W. (2013): Phosphordüngewirkung neuer Phosphatrecyclingprodukte. Berichte über Landwirtschaft, Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft 91, Heft 1, S. 1-24.

- SCHACHTSCHABEL, P. (1956): Die Magnesiumversorgung nordwestdeutscher Böden und seine Beziehungen zum Auftreten von Mangelsymptomen an Kartoffeln. Z. Pflanzenern. Bodenkde. 74, S. 202-219.
- SHELLER, E. (1991): Wissenschaftliche Grundlagen zum Verständnis der Düngungspraxis im Ökologischen Landbau – Aktive Nährstoffmobilisierung und ihre Rahmenbedingungen. Selbstverlag, Zeitlofs, S. 1-48.
- SHELLER, E. (2013): Grundzüge einer Pflanzenernährung des ökologischen Landbaus. Verlag Lebendige Erde, Darmstadt.
- SCHLIEßER, I., SCHUSTER, M., KOLBE, H. (2010): Einfluss verschiedener Zwischenfrüchte als Vorfrüchte für die Ertrags- und Qualitätsleistung von Silomais und Kartoffeln. In: Zwischenfrüchte im Ökolandbau. Schriftenreihe des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 27, S. 1-69.
- SCHMIDT, H., FUCHS, J., MÖLLER, D., WOLF, D. (2014): Schlagauswahl. In: Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit – Strategien für einen erfolgreichen Anbau. Bonn.
- SCHMIDTKE, K. (2016): Neue Strategien der Fruchtfolgeplanung und Düngung bei Leguminosen. Vortrag anlässlich der Gaa-Wintertagung, 04. und 05.02.2016.
- SCHNEIDER, R., HEILES, E., SALZEDER, G., WIESINGER, K., SCHMIDT, M., URBATZKA, P. (2012): Auswirkungen unterschiedlicher Fruchtfolgen im ökologischen Landbau auf den Ertrag und die Produktivität. In: WIESINGER, K., CAIS, K. (Hrsg.): Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern. Ökolandbautag 2012, Tagungsband. Schriftenreihe der Landesanstalt f. Landwirtschaft 4, S. 87-93.
- SCHÜLLER, H. (1969): Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. Z. Pflanzenern. Bodenkde. 123, S. 48-63.
- SERIKSTAD, I. V., DE BOER, A., MAGNUSSON, C. (2013): Clover fatigue – a reason for precaution in organic farming. In: LOES, A.K. et al. (Hrsg.): Organic farming systems as a driver for change. Bredsten, Denmark.
- SMUL (2013): Agrarbericht in Zahlen 2012, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden.
- SMUL (2016): Agrarbericht in Zahlen 2015. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden.
- SMUL (2018): Agrarbericht 2018. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden.
- SPRENGEL, C. (1828): Von den Substanzen der Ackerkrume und des Untergrundes. Journal für technische und ökonomische Chemie 3, S. 93.
- STEIN-BACHINGER, K. (2013): Bodenfruchtbarkeit. In: STEIN-BACHINGER, K., RECKLING, M., HUFNAGEL, J., GRANSTEDT, A. (Hrsg): Kreislauforientierte ökologische Landwirtschaft – Handlungsempfehlungen für Landwirte und Berater, Bd. I – IV, Berlin.
- STUMM, C., KÖPKE, U. (2015): Optimierung des Futterleguminosenanbaus im viehlosen Acker- und Gemüsebau. Beiträge zur 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau (<http://orgprints.org/view/projects/int-conf-wita-2015.html>).
- TLL (2005): Merkblatt zur Molybdändüngung in der Pflanzenproduktion. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.
- URBATZKA, P., CAIS, K., REHM, A., SALZEDER, G., SCHÄTZL, R. (2013): Ökonomische Rentabilität legumer Zwischenfrüchte im Fruchtfolgeglied Getreide - Getreide. Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, S. 160-163.
- VDLUFA (1997): Standpunkt – Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Darmstadt.
- VDLUFA (1999): Standpunkt – Kaliumdüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Darmstadt.

- VDLUFA (2000): Standpunkt – Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Darmstadt.
- VDLUFA (2014): Standpunkt Humusbilanzierung – Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Bonn.
- VDLUFA (2015): Positionspapier – Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung – Anpassung der Richtwerte für die Gehaltsklassen ist geboten und notwendig. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Speyer.
- ZORN, W., WAGNER, S. (2010): Nährstoffversorgung ökologisch bewirtschafteter Ackerflächen sowie Konsequenzen für die Düngung. Schriftenreihe Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen, Heft 8, S. 38-49.
- ZORN, W., HEß, H., ALBERT, E., KOLBE, H., KERSCHBERGER, M., FRANKE, G. (2007): Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“. Schriftenreihe Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen, Heft 7, S. 1-186.

IMPRESSUM

Herausgeber:

Dr. Hartmut Kolbe
Altes Dorf 19
D-04435 Schkeuditz
E-Mail: hartmutkolbe@yahoo.de

Autoren:

Dr. Dietmar Meyer, Nicole Grandner,
G.U.B. Ingenieur AG, Dresden

Prof. Dr. Knut Schmidtke, Beate Wunderlich, Jana Lauter,
Yvonne Wendrock,
Fachgebiet Ökologischer Landbau, Hochschule für Technik und
Wirtschaft (HTW), Dresden

Dr. Hartmut Kolbe, Schkeuditz

Bildnachweis:

Titelfoto: Dr. Thomas Kreuter, LfULG

Redaktionsschluss:

März 2019

Hinweis:

Die Arbeit steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber
als PDF-Datei heruntergeladen werden.