

**UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN**

Department für Nachhaltige Agrarsysteme

Institut für Ökologischer Landbau (IFÖL)

Studiengang: M.Sc. Organic Agricultural Systems and Agroecology

1. Prüfer: Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Jürgen Kurt Friedel

2. Prüfer: Ao. Univ. Prof. Dr. Ahmad Manschadi

Abgabedatum: 13.11.2019

---



Masterarbeit zum Thema

**Kurzzeiteffekte von Zwischenfrucht und  
Düngung nach der *Soil Balancing Method* auf den  
Kartoffelanbau**

**NAME: LUCAS KOHL**

Matrikelnummer: 01635766

E-Mail: lucas\_kohl@web.de

Adresse: Am Weidehof 1, 34630 Gilserberg

Telefonnummer: 0049 1607475720

# INHALTSVERZEICHNIS

---

<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>I</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>II</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>IV</b>
<b>1 EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG .....</b>	<b>6</b>
<b>2 THEORETISCHER RAHMEN .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1    Offizialberatungsmethode .....</b>	<b>7</b>
2.1.1 Historischer Hintergrund .....	7
2.1.2 Stand der Forschung .....	9
2.1.2.1 Phosphor- und Kalium-Düngeempfehlungen .....	10
2.1.2.2 pH-Wert- und Kalk-Empfehlung .....	11
2.1.2.3 Magnesium-Empfehlungen .....	12
<b>2.2    Soil Balancing Method .....</b>	<b>12</b>
2.2.1 Historischer Hintergrund .....	12
2.2.2 Stand der Forschung .....	15
<b>2.3    Einfluss von Zwischenfrüchten und Nährstoffdüngungen auf Kartoffeln ..</b>	<b>18</b>
<b>3 ARBEITSHYPOTHESEN .....</b>	<b>20</b>
<b>4 METHODEN .....</b>	<b>21</b>
<b>4.1    Standort .....</b>	<b>21</b>
<b>4.2    Bodenbeschaffenheiten .....</b>	<b>21</b>
<b>4.3    Methodik der Düngebedarfsermittlung und -empfehlung.....</b>	<b>22</b>
4.3.1 Methodik der Offizialberatungsmethode.....	23
4.3.2 Methodik der <i>Soil Balancing Method</i> .....	24
4.3.2.1 Empfehlungen auf Basis der Mehlich-III-Analyse .....	25
4.3.2.2 Fraktionierte Analyse .....	28
<b>4.4    Zwischenfrucht und Hauptkultur.....</b>	<b>30</b>
4.4.1 Zwischenfrucht SolaRigol.....	30
4.4.2 Hauptkultur Kartoffel .....	30
<b>4.5    Versuchsaufbau .....</b>	<b>31</b>

4.6	Versuchsdurchführung.....	32
4.7	Datenerhebung.....	36
5	STATISTISCHE AUSWERTUNG.....	36
6	ERGEBNISSE .....	37
6.1	Witterungsverlauf.....	37
6.2	Nährstoffaufnahme Zwischenfrucht.....	38
6.3	Kartoffelerträge.....	39
6.4	Kartoffelknollenqualität.....	40
7	DISKUSSION .....	43
7.1	Effekte durch die <i>Soil Balancing Method</i> .....	43
7.2	Effekte durch die Zwischenfrucht .....	45
7.3	Effekte durch die <i>Soil Balancing Method</i> mit Zwischenfrucht.....	46
7.4	Fehlerquellen in dem Feldversuch.....	47
7.4.1	Fehlerquelle 1: Heterogene Versuchsfläche .....	47
7.4.2	Fehlerquelle 2: Intensive Bodenbearbeitung .....	47
7.4.3	Fehlerquelle 3: Mangelhafte Bonitur .....	48
7.4.4	Fehlerquelle 4: Späte und falsche Düngung.....	48
7.4.5	Fehlerquelle 5: Einjähriger Untersuchungszeitraum .....	48
8	SCHLUSSFOLGERUNG .....	49
9	ABSTRACT UND KURZZUSAMMENFASSUNG.....	51
9.1	Abstract.....	51
9.2	Kurzzusammenfassung .....	52
10	LITERATURVERZEICHNIS .....	53
11	ANHANG .....	63

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Kationenbelegung in meq kg <sup>-1</sup> Boden und pH-CaCl <sub>2</sub> des Bodens im Dauerversuch Müncheberg (Quelle: Rogasik et al. 2005) .....	12
Tabelle 2: Gehaltsklassen für die Menge an verfügbaren Hauptnährelementen (P, K, Mg) von Acker- und Grünlandböden (VDLUFA 1991) und erforderlicher Düngemaßnahmen.....	24
Tabelle 3: Extraktionsmethoden der Fraktionierten Analyse. (Quelle: Unterfrauner 2010) .....	29
Tabelle 4: Angewandte Düngermengen in den Parzellen SBM und SBM + ZF zu der Kartoffelkultur auf der Versuchsfläche Visselhövede im Jahr 2017/18 .....	34
Tabelle 5: Angewandte Dünger in den Parzellen OBM und OBM + ZF zu der Kartoffelkultur auf der Versuchsfläche Visselhövede im Jahr 2017/18 .....	35
Tabelle 6: Einfaktorielle Darstellung der Nährstoffgehalte in der Trockensubstanz der am 08.11.2017 bonitierten oberirdischen Biomasse der ZF mit den jeweiligen Mittelwerten der Variante OBM + ZF und SBM +ZF .....	38
Tabelle 7: Zweifaktorielle statistische Auswertung mit den Mittelwerten der Kartoffelfrischmasseerträge in dt/ha in Bezug auf die Faktoren ZF (ohne ZF (oZF), mit ZF (mZF)), sowie Düngung (OBM und SBM) (Die Signifikanz (Sig) (p<0,05) zeigt die Irrtumswahrscheinlichkeit hinsichtlich der Aussagekraft auf den Ertrag und den Interaktionseffekt zwischen ZF und Düngung.) .....	39
Tabelle 8: Einfaktorielle statistische Auswertung der erfassten Mängel (Dry Core; grüne Knollen; missgestaltete Knollen; schwere Beschädigung; Rhizoctonia; Eisenfleckigkeit TRV; Kartoffelschorf) sowie der Mittelwerte aller Mängel in Prozent [%], die an den Kartoffelknollen bonitiert werden konnten .....	40
Tabelle 9: Zweifaktorielle statistische Auswertung mit den Mittelwerten der erfassten Mängel (Dry Core; grüne Knollen; missgestaltete Knollen; schwere Beschädigung; Rhizoctonia; Eisenfleckigkeit TRV; Kartoffelschorf) sowie den Mittelwerten aller Mängel in Prozent [%], die an den Kartoffelknollen bonitiert werden konnten; in Bezug auf die Faktoren ZF (ohne ZF (oZF), mit ZF (mZF)) und Düngung (OBM und SBM). (Die Signifikanz (Sig) (p<0,05) zeigt die Irrtumswahrscheinlichkeit hinsichtlich der Aussagekraft über Ertrag und Interaktionseffekt zwischen ZF und Düngung.) .....	41

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Minimumtonne nach Justus von Liebig (Quelle: Voisin 1966).....	8
Abbildung 2: Schematische Darstellung der <i>Sufficiency Level of Available Nutrients</i> -Methode, sowie der <i>buildup and maintenance</i> -Methode. (Quelle: modifiziert nach Gurme 2017).....	9
Abbildung 3: Wechselwirkungen zwischen Nährstoffen im Prozess der Nährstoffaufnahme durch Pflanzen (Quelle: Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit 2003 (SGD Weinbau), ergänzt durch Unterfrauner 2015).....	13
Abbildung 4: Schematische Darstellung des Ganzheitlichen Systems nach Albrecht (1975) .....	14
Abbildung 5: Mögliche Effekte von Calcium und Magnesium auf die Aggregatbildung im Boden. (Quelle: Chaganti und Culman 2017, modifiziert).....	17
Abbildung 6: Prozentualer Anteil der Kationen am aktuellen Sorptionskomplex (Quelle: modifiziert nach Unterfrauner 2015).....	22
Abbildung 7: Prozentualer Anteil der Kationen, der potentiellen Säure (Pot. S.) und der Basensättigung (BS) am potentiellen Sorptionskomplex, sowie die potentielle KAK (KAK pot) und aktuellen KAK (KAK akt) in $\text{cmol}_c/\text{kg}$ (Quelle: modifiziert nach Unterfrauner 2015).....	22
Abbildung 8: Nährstoffwechselwirkungen im Boden (rot = Antagonismus, grün = Synergismus) .....	28
Abbildung 9: Feldversuchsaufbau Visselhövede .....	32
Abbildung 10: Wetterdaten vom Versuchsstandort Visselhövede: Temperatur (C) und Niederschlag (mm) von August 2017 bis Oktober 2018 im Vergleich mit dem langjährigen Mittel. (Quelle: eigene Darstellung nach Deutscher Wetterdienst 2018) .....	37
Abbildung 11: Einfaktorielle Darstellung der Kartoffelfrischmasseerträge in dt/ha der vier Varianten OBM, SBM, OBM + ZF und SBM + ZF (Die Ergebnisse sind als Mittelwerte angegeben. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung. Varianten mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % nicht signifikant voneinander.).....	39
Abbildung 12: Kartoffelfrischmasseerträge und vermarktbare Kartoffelfrischmasseerträge (Kartoffelfrischmasseerträge abzüglich der prozentualen Mängel) in dt/ha der vier Varianten OBM, SBM, OBM + ZF und SBM + ZF (Die Ergebnisse sind als Mittelwerte angegeben. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung. Varianten mit gleichen Großbuchstaben unterscheiden sich bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % nicht signifikant voneinander und Varianten mit gleichen Kleinbuchstaben unterscheiden sich ebenfalls bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % nicht signifikant voneinander.) .....	42

Abbildung 14: VDLUFA Nord-West Bodenanalyse von der DSV-Versuchsfläche Visselhövede vom 23.10.2017 nach der Oficialberatungsmethode (OBM) .....	63
Abbildung 15: VDLUFA Düngungsempfehlung für die Deutschen Saatveredelung AG-Versuchsfläche Visselhövede vom 18.12.2017 nach der Oficialberatungsmethode (OBM) .....	64
Abbildung 16: BP Unterfrauner Bodenanalyse der Deutschen Saatveredelung AG-Versuchsfläche Visselhövede vom 07.08.2015 nach der <i>Soil Balancing Method</i> (SBM) .....	65
Abbildung 17: Kohls GbR Bodenanalyse von den Parzellen der Variante 1 (OBM) der DSV-Versuchsfläche Visselhövede vom 15.03.2015 nach der <i>Soil Balancing Method</i> (SBM) .....	66
Abbildung 18: Kohls GbR Bodenanalyse von den Parzellen der Variante 1 b (SBM) der DSV-Versuchsfläche Visselhövede vom 15.03.2015 nach der <i>Soil Balancing Method</i> (SBM) .....	67
Abbildung 19: Kohls GbR Bodenanalyse von den Parzellen der Variante 4 (OBM + ZF) der DSV-Versuchsfläche Visselhövede vom 15.03.2015 nach der <i>Soil Balancing Method</i> (SBM) .....	68
Abbildung 20: Kohls GbR Bodenanalyse von den Parzellen der Variante 4 b (SBM + ZF) der DSV-Versuchsfläche Visselhövede vom 15.03.2015 nach der <i>Soil Balancing Method</i> (SBM) .....	69
Abbildung 21: Fräsen der Varianten 1 (OBM) und 3 (SBM) .....	70
Abbildung 22: Bonitierung der auf Schwad gelegten Kartoffelknollen auf Mängel am 09.10.2018 ....	71

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb.	Abbildung
C	Celsius
Ca	Calcium
CAL	Calcium-Acetat-Lactat
Dgg	Düngung
d.h.	das heißt
dt	Dezitonne
ebd.	ebenda
eff.	effektiv
g	Gramm
ha	Hektar
K	Kalium
KAK	Kationenaustauschkapazität
<i>m</i>	Atommasse
max.	maximal
mg	Milligramm
Mg	Magnesium
min.	minimal
mm	Millimeter
mM	Millimol
N	Stickstoff
Na	Natrium
Nds	Niederschlag
OBM	Offizialberatungsmethode
P	Phosphor

pot.	potentiell
S.	Seite
SBM	Soil Balancing Method
Sig.	Signifikanz
Stabw	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
Temp.	Temperatur
TM	Trockenmasse
TRV	Tabak-Rattle-Viren
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
vgl.	vergleiche
$\bar{x}$	Mittelwert
$z$	Ionenladung
z.B.	zum Beispiel

# 1 EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Der Verlust fruchtbarer Böden durch intensive und fehlgeleitete Landwirtschaft und deren Auswirkungen auf die Umwelt sind in den letzten Jahrzehnten zu einem ernsthaften Problem geworden. Neben vielen weiteren Ursachen dieser Fehlleitungen geraten die Officialberatungsmethode (OBM) zur Düngebedarfsermittlung und die damit einhergehende Düngepraxis in Deutschland zunehmend in den Fokus (Köster und Nieder 2007) – und zwar nicht nur in Bezug auf deren Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit, sondern auch hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Lebensmittel- und Gewässerqualität (Thomas 2003, 2007; Unterfrauner 25.01.18).

Die OBM für Landwirte<sup>1</sup> in Deutschland, auch „Standardanalyse“ genannt, beruht darauf, lediglich den pH-Wert und drei der sechzehn essentiellen Pflanzennährstoffe durch eine Bodenanalyse zu ermitteln, diese in Gehaltklassen einzuteilen und daraus Düngeempfehlungen abzuleiten (VDLUFA-Schriftenreihe). Wissenschaftlich ist diese Methode nur kritisch zu beurteilen, denn Nährstoffwechselwirkungen, Nährstoffverfügbarkeit und organisch gebundene Nährstoffe werden meist außer Acht gelassen.

Durch diese stark vereinfachten Empfehlungen kam es in den letzten sechzig Jahren zu teils exzessiven Düngungen von Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K). Dies führte einerseits zur Auswaschung und Eutrophierung von Gewässern und andererseits zur Anreicherung und Festlegung dieser Nährstoffe in der Ackerkrume (Köster und Nieder 2007). Unterfrauner (2018) warnt vor dieser einseitigen N-, P- und K-Düngung, da diese zur Verschiebung von Stoffverhältnissen im Boden und zur Abnahme der Bodenfruchtbarkeit führen kann. In den USA und dem Vereinigten Königreich, wo vergleichbare OBM praktiziert werden, konnten in Lebensmitteln zwischen 1940 und 2002 sinkende Mineralstoffgehalte von bis zu 50 % mit dem fehlerhaften Düngesystem und der intensiven Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen in Verbindung gebracht werden (Thomas 2003, 2007).

Immer mehr Landwirte erkennen diese negativen Auswirkungen und wenden Maßnahmen an, um die Bodenfruchtbarkeit wiederaufzubauen. Diese Maßnahmen beinhalten oft die Applikation einer alternativen Methode zur Düngebedarfsermittlung, auch *Soil Balancing Method* (SBM) genannt. Dabei ist es das Ziel, ein „ideales“ Verhältnis von Nährstoffen im Boden zu erreichen (Zwickle et al. 2014; Chaganti und Culman 2017).

Wissenschaftlich gilt die SBM als sehr umstritten. Die durchweg positiven Berichte der Praktiker hinsichtlich der Auswirkungen auf Bodenfruchtbarkeit sowie Pflanzengesundheit und -qualität werden

---

<sup>1</sup> Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit die männliche Form gewählt, nichtsdestoweniger beziehen sich die Angaben stets auf Angehörige beider Geschlechter.

von Wissenschaftlern oft auf eine mit der Methode einhergehende, nachhaltigere Anbauweise, beispielsweise durch Zwischenfrüchte, zurückgeführt (Kopittke und Menzies 2007). Jedoch wurde diese These wissenschaftlich noch nicht überprüft. Daher ist es das Ziel dieser Forschungsarbeit, den Zusammenhang zwischen einer nachhaltigeren Anbauweise mit Zwischenfrüchten und der Düngung nach der SBM anhand einer Kultur zu überprüfen. Daraus ergibt sich die folgende Forschungsfrage: *Können die Erträge, die Inhaltsstoffe und die Gesundheit einer Kartoffelkultur durch eine vorhergehende Zwischenfrucht mit einer Düngung nach der SBM positiv beeinflusst werden?*

## 2 THEORETISCHER RAHMEN

Um eine Basis für die Forschungsarbeit zu schaffen, muss zunächst ein theoretischer Rahmen ausgearbeitet werden. Dies geschieht im nachfolgenden Kapitel, in dem der historische Hintergrund sowie der Stand der Forschung in Bezug auf die in dieser Forschungsarbeit untersuchten Faktoren *Offizialberatungsmethode (OBM)*, *Soil Balancing Method (SBM)* und *Zwischenfrucht (ZF)* dargestellt werden. Die OBM und die SBM haben einen langen historischen Hintergrund, der bis heute einen großen Einfluss auf die Systematik der Methoden hat. Daher werden im Folgenden jeweils zuerst die Hintergründe der Entstehung beschrieben, bevor der aktuelle Stand der Forschung dargelegt wird.

### 2.1 Offizialberatungsmethode

#### 2.1.1 Historischer Hintergrund

Die Methoden der heutigen Düngeempfehlungen basieren größtenteils auf Düngegesetzen des 18. und 19. Jahrhunderts. Den Anfang machten die Franzosen Boussingault (1802 – 1887) und Deherain (1830 – 1902), die das *Gesetz der Ergänzung* formulierten, welches wie folgt ausgedrückt werden kann: „Um eine Erschöpfung zu vermeiden, müssen dem Boden alle Nährstoffe, die ihm durch die Ernten entzogen worden sind, wieder zugeführt werden“ (Voisin 1966, S. 15). Carl Sprengel (1787 -1859) und später Justus von Liebig (1803 – 1873) gelten als Erfinder der Mineralstofftheorie, die unter anderem den Bedarf der Pflanzen an Mineralstoffen in unterschiedlichen Mengen, ihren Mangel an Nährstoffen in manchen Böden und die Behebung durch Düngung darstellt (Liebig 1840). Durch weitere Düngeversuche konnte Liebig Wechselwirkungen zwischen Pflanzennährstoffen feststellen; daraufhin formulierte er das Gesetz des Minimums, was bis heute noch als das *Liebigsche Gesetz* bekannt ist und durch eine „Minimumtonne“ mit hölzernen Dauben als Symbol der Wachstumsfaktoren veranschaulicht wurde (vgl. Abb. 1).

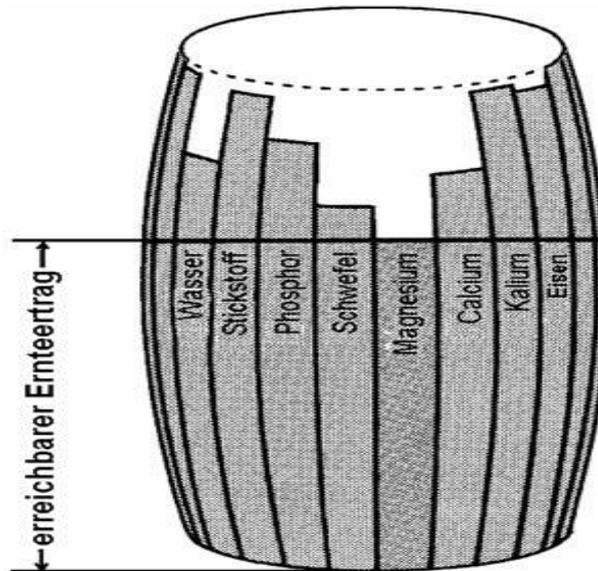


Abbildung 1: Minimumtonne nach Justus von Liebig (Quelle: Voisin 1966)

Dieses Gesetz wurde im Jahr 1855 von Liebig wie folgt formuliert „Der Ertrag wird durch den im Verhältnis zum Bedürfnis der Pflanze in geringster Menge (Minimum) vorhandenen Nährstoff bestimmt“ (Finck 2007, S. 209–210). Damit deutet das Gesetz von Liebig schon an, dass dem Ertrag beim Mangel eines Nährstoffes Grenzen gesetzt sind. Aber das Gesetz sagt nichts Genaues über den Ertragszuwachs bis zu dieser Grenze aus, wenn man den Mangel des einen Nährstoffs behebt. Aus diesem Grund erweiterte es Mitscherlich (1874-1956) um das *Gesetz des abnehmenden Ertragszuwachses*, welches wie folgt ausformuliert werden kann: „Bringt man wachsende Gaben eines Nährstoffes in den Boden, so werden die Ertragssteigerungen immer schwächer, je mehr man die Gabe steigert“ (Voisin 1966, S. 27). Dieser abnehmende Ertragszuwachs ist in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** als *Deficiency range* dargestellt. 1966 ergänzte André Voisin noch das *Gesetz des Maximums*, welches besagt, dass das Übermaß eines assimilierbaren Nährstoffes im Boden die Wirksamkeit der anderen und damit auch den Ertrag mindert (Voisin 1966, S. 28–44). Jedoch fand dieses Gesetz, welches in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** als *Toxicity range* dargestellt wird, weniger Berücksichtigung bei der Entwicklung der OBM. Vielmehr baute diese auf das Gesetz der Ergänzung, des Minimums und des abnehmenden Ertragszuwachses auf. Es entwickelten sich die sogenannte *SLAN-Methode* (*Sufficiency Level of Available Nutrients*) sowie die *buildup and maintenance-Methode* (Black 1993). Die *SLAN-Methode* basiert auf dem Prinzip kritischer Gehaltsklassen einzelner Nährstoffe. Wenn ein Nährstoff über der anzustrebenden Gehaltsklasse liegt (*Toxicity range*), wird eine Pflanze nicht auf die Düngung jenes Nährstoffs reagieren. Wenn ein Nährstoff in einer Bodenuntersuchung unter der anzustrebenden Gehaltsklasse liegt (*Deficiency range*), wird eine Pflanze auf eine Düngung reagieren (Eckert 1987) (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die *buildup and maintenance-Methode* beruht auf der Düngung von

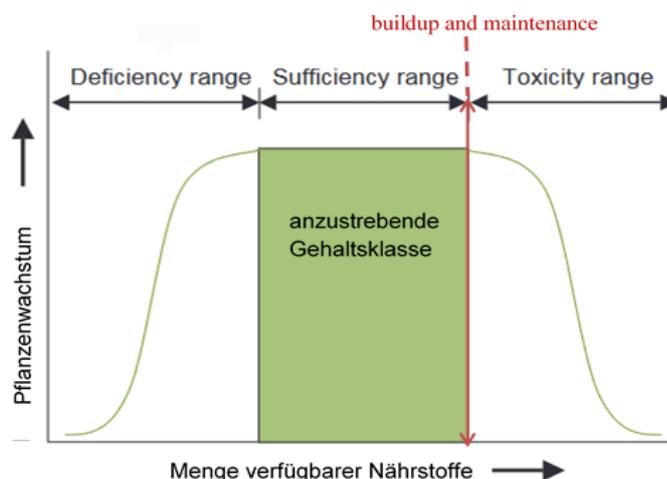
Nährstoffen bis zu einem kritischen Level und der Erhaltung dieses Levels durch Rückführung der Nährstoffe, die mit der Ernte abgeführt werden (Voss 1998; Olson et al. 1987; Eckert 1987) (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

In Deutschland sind diese Methoden allgemein als VDLUFA-Methode bekannt. Der VDLUFA spezifiziert die Methoden noch, indem er die Hauptnährelemente P, K und Mg sowie den pH-Wert für Acker- und Grünlandböden in fünf Gehaltsklassen unterteilt - anstatt nur in drei.

In anderen europäischen Ländern werden durch die Officialberatung in der Regel ähnliche Gehaltsklassen-Methoden zur Düngebedarfsermittlung verwendet wie die des VDLUFA (Spiegel et al. 2014). In Österreich verwendet man sogar die gleichen Extrakte für die Ermittlung der Nährstoffe (Baumgarten A. 2006; VDLUFA 1991).

## 2.1.2 Stand der Forschung

In Deutschland wird von den Landeskammern der Bundesländer und dem VDLUFA die „Standardanalyse“ empfohlen, um den Düngebedarf zu ermitteln. Bei dieser Analyse werden lediglich Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg) und der pH-Wert untersucht. Zwar ist die Methodik dieser Standardanalyse in allen Bundesländern und weiteren Teilen Europas identisch, jedoch unterscheiden



**Abbildung 2:** Schematische Darstellung der *Sufficiency Level of Available Nutrients*-Methode, sowie der *buildup and maintenance*-Methode. (Quelle: modifiziert nach Gurme 2017)

sich diese teils sehr deutlich hinsichtlich der Einteilungen der genannten Parameter in die Gehaltsklassen (Köster und Nieder 2007; Spiegel et al. 2014). Üblicherweise wird die Einteilung anhand von Feldversuchen kalibriert, d.h. die Bodenuntersuchungs-Ergebnisse und die Ertragsparameter werden in Beziehung zueinander gesetzt. Allerdings sind die dafür verwendeten Resultate oft in nationaler, „grauer“ Literatur enthalten und daher schwer zugänglich (Spiegel et al. 2014).

### 2.1.2.1 Phosphor- und Kalium-Düngeempfehlungen

Als Grundlage für die Methode der P- und K-Düngeempfehlung in Deutschland beruft sich der VDLUFA auf Standpunkte von Baumgärtel et al. (1999) und Kerschberger et al. (1997). Bei diesen Standpunkten gibt der VDLUFA bundesweit empfohlene Richtwerte für die Gehaltseinstufungen von P und K an. Die P-Gehaltsklassen stuften Kerschberger et al. (1997) für die Gehaltsklasse C bei 10 – 20 mg/kg  $P_2O_5$  ein und verweisen dabei auf Ergebnisse bundesweiter P-Düngeversuche aus dem Jahr 1996. Bei den 10-jährigen Versuchen unterschieden sich jedoch die Ergebnisse hinsichtlich eines Mehrertrags durch P-Düngung bei unterschiedlichen Gehaltsklassen teils erheblich (VDLUFA 1996). So berichteten beispielsweise Baumgärtel (VDLUFA 1996, S. 94–110) von einer ausbleibenden P-Düngewirkung auf den Ertrag bei einem P-Bodengehalt von 10-12 mg/kg  $P_2O_5$  und Fruchtenicht (VDLUFA 1996, S. 80–93) von P-Düngewirkungen bei P-Bodengehalten > 20 mg/kg  $P_2O_5$ . Daher räumen Kerschberger et al. (1997) ein, dass der P-Bodengehalt aus dem CAL-Extrakt nur einen Schätzwert für den pflanzenverfügbaren P liefere und genauere Informationen nur durch Feldversuche an Ort und Stelle zu erlangen seien. Diese seien jedoch nicht flächendeckend durchführbar.

Ähnliches gilt für den Pflanzennährstoff K. Baumgärtel et al. (1999) legten als Richtwert für die Gehaltsklasse C bei mittleren Böden 10 – 20 mg/100 g  $K_2O$  fest und beriefen sich dabei auf K-Dauerdüngungsversuche, die sowohl von dem Düngemittelhersteller *Kali und Salz GmbH* als auch von der Officialberatung der Länder durchgeführt wurden. Diese zeigten jedoch ebenso kontroverse Ergebnisse wie die Versuche mit P (Verband der Landwirtschaftskammern 1998). So konnten, beispielsweise nach Versuchen in Bayern, K-Düngungen in Höhe des Ernteentzugs erst ab Bodengehalten von < 5 mg/100 g  $K_2O$  als rentabel eingestuft werden (Verband der Landwirtschaftskammern 1998, S. 65–83), während in Rheinland-Pfalz bei Bodengehalten von 10 – 18 mg/100 g  $K_2O$  eine K-Düngung in Höhe des Ernteentzugs als rentabel empfunden wurde (Verband der Landwirtschaftskammern 1998, S. 33–48). Baumgärtel et al. (1999) begründeten die unterschiedlichen Versuchsergebnisse damit, dass je nach Bodenart Prozesse der K-Auswaschung, K-Fixierung und K-Nachlieferung durch Tonminerale unterschiedliche Einflüsse auf die K-Ernährung der Pflanze hätten. Aus diesem Grund merken Baumgärtel et al. (1999) an, dass sich im Falle einer falschen Einschätzung der Düngeempfehlung für die Gehaltsklasse C mittelfristig ein Korrektiv dadurch ergebe, dass bei einem Absinken des Bodengehalts nach Klasse B höhere und bei einem Ansteigen nach Klasse D niedrigere Düngegaben empfohlen würden.

Köster und Nieder (2007) kritisierten die Gehaltseinteilung, besonders von P und K, zuletzt scharf. Denn aus Bilanzen der Ein- und Austräge von P und K in der Landwirtschaft gehe hervor, dass durch die überhöhte Düngeempfehlung von 1950 bis 2000 kumulative Überschüsse entstanden seien (ebd.). Diese betragen für die alten Bundesländer ca. 1400 kg P  $ha^{-1}$  und 2500 kg K  $ha^{-1}$  und für die

neuen Bundesländer ca. 800 kg P ha<sup>-1</sup> und 2400 kg K ha<sup>-1</sup> (Köster 1988; Harenz et al. 1992; Köster und Nieder 2007).

Abgesehen von leichten, sandigen Böden ist davon auszugehen, dass die Überschüsse an K und P größtenteils nicht ausgewaschen wurden, sondern dass sich K in den Zwischenschichten von Tonmineralen fixiert hat (Scheffer et al. 2010, S. 423–426) und P sich in nicht pflanzenverfügbarer Form im Boden festgelegt hat (Scheffer et al. 2010, S. 413–421). Darum empfehlen Köster und Nieder (2007) die gezielte Abreicherung der P- und K-Überschüsse durch eine bundesweite Senkung der Werte in den empfohlenen Gehaltsklassen von den Nährstoffen.

Damit sind Köster und Nieder nicht die ersten, die empfehlen, niedrigere Werte für die Gehaltsklassen anzusetzen. Bereits in den 1950er Jahren wurde darauf hingewiesen, dass die Gehaltsklassen zu hoch angesetzt seien und Pflanzen bereits in der Klasse B (ehemals II) nicht mehr auf P- und K-Düngung reagierten (Köhnlein 1957). Eine Kommission aus Wissenschaft und Beratung hat Anfang der 1960er Jahre auf Grundlage der vorliegenden Feldversuche verbindliche Vorschläge für eine Senkung der Gehaltsklassen ausgearbeitet (Schachtschabel 1963). Diese wurden jedoch unter anderem abgelehnt, da aufgrund der günstigen wirtschaftlichen Lage kein Anlass zur Senkung der Produktionskosten bestand. Es wurde im Gegenteil sogar empfohlen, unter der günstigen finanziellen Situation so viel wie möglich zu düngen, um Vorräte für zukünftige, schlechtere Zeiten anzulegen (Köster und Nieder 2007).

#### 2.1.2.2 pH-Wert- und Kalk-Empfehlung

Anders als bei den Nährstoffen P und K verweist der VDLUFA bei der pH-Wert- und Kalk-Empfehlung nicht auf bundesweite Feldversuche, sondern begründet lediglich sein Vorgehen anhand von Erfahrungswerten. Da nach der Wende in Deutschland sehr unterschiedliche pH- und Kalkempfehlungen ausgegeben wurden, beschloss der VDLUFA deutschlandweit einheitliche Methoden zur Kalkbedarfsermittlung festzulegen, indem er die der ehemaligen DDR bundesweit etablierte (Kerschberger et al. 2000).

Diese stellten eine Vereinfachung der Methode von Schachtschabel (1951) dar. Bei der Methode von Schachtschabel wird zuerst der pH-Wert des Bodens (Ausgangs-pH-Wert) in CaCl<sub>2</sub>-Lösung festgestellt. Besteht zwischen Ausgangs-pH-Wert des Bodens und dem durch Kalkung angestrebten Ziel-pH-Wert des Bodens eine größere Differenz, so wird zusätzlich eine pH-Messung in einer gepufferten Calcium-Acetat-Suspension (pH-Acetat) notwendig (Schachtschabel 1951). Die Vereinfachung in der ehemaligen DDR bestand darin, unabhängig von der Differenz zwischen Ausgangs- und Ziel-pH-Wert keine pH-Acetat-Messung durchzuführen, und direkt mit dem pH-CaCl<sub>2</sub> des Bodens eine Kalkempfehlung aus Tabellen abzulesen. Diese Methode übernahmen Kerschberger et al. (2000) mit der Begründung, dass die Methode von Schachtschabel nicht ausreichend in Feldversuchen untersucht wurde und die pH-Acetat-Messung einen zu hohen Aufwand im Bodenuntersuchungslabor darstelle

(Kerschberger et al. 2000). Rogasik et al. (2005) untersuchten diese Methode hinsichtlich ihrer Aussagekraft über den Calciumgehalt des Bodens und den damit einhergehenden Kalkbedarf des Bodens und kamen zu dem Entschluss, dass diese Methode allein nicht ausreichend sei, um fundierte Aussagen zu treffen. Diese Erkenntnis wird durch die Ergebnisse eines Dauerversuchs in Müncheberg belegt, bei dem der pH-CaCl<sub>2</sub> sichtlich nur eine sehr geringe Korrelation mit der Calciumbelegung des Sorptionskomplexes des Bodens zeigt (vgl. Tab. 1). Daher empfehlen die Autoren, Kationen-Nährstoffbilanzen durchzuführen und somit die Basensättigung zu ermitteln (ebd.). Dies führe ihnen zufolge zu einer genaueren Aussagekraft des Kalkbedarfs eines Bodens (Rogasik et al. 2005).

**Tabelle 1:** Kationenbelegung in meq kg<sup>-1</sup> Boden und pH-CaCl<sub>2</sub> des Bodens im Dauerversuch Müncheberg (Quelle: Rogasik et al. 2005)

Probe	H <sup>+</sup> [meq kg <sup>-1</sup> Boden]	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	pH
1	0,1	32,4	3,1	3,5	1,3	6,0
2	0,1	22,9	2,6	3,2	9,3	5,6
3	0,1	44,8	4,8	4,6	0,1	5,8
4	14,0	26,2	2,9	3,8	0,1	5,7
5	0,1	25,7	3,1	3,4	0,1	6,0

### 2.1.2.3 Magnesium-Empfehlungen

Für den Pflanzennährstoff Mg hat die VDLUFA keinen Standpunkt veröffentlicht. Die Landeskammern der Bundesländer geben zwar empfohlene Gehaltklassen für Mg an, verweisen aber auf keine Feldversuche. Es bleibt anzunehmen, dass die Gehaltklassen ähnlich wie bei dem pH-Wert aus Erfahrungswerten resultieren oder sich die Feldversuche zur Kalibrierung in grauer Literatur befinden.

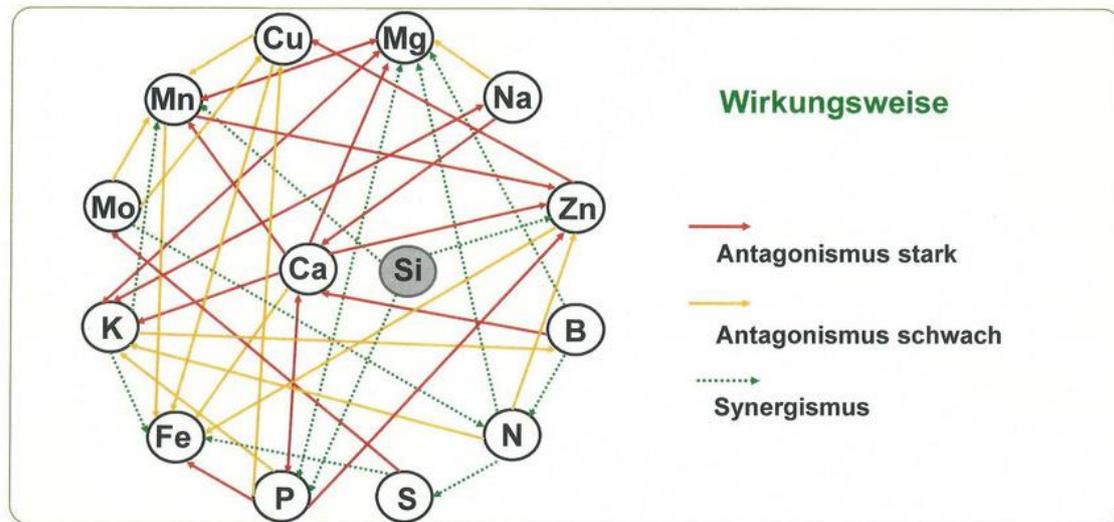
## 2.2 Soil Balancing Method

### 2.2.1 Historischer Hintergrund

Alternativ zu der OBM entwickelte sich eine Methodik, die das Ziel hat, Nährstoffe im Boden in ein definiertes Verhältnis zu setzen, um antagonistische Wirkungen von Nährstoffen zu vermeiden. Erstmals in der Literatur erwähnt wurde ein solches Prinzip Anfang des 20. Jahrhunderts von dem deutschen Forscher Oscar Loew. Loew fand heraus, dass ein Calcium-Magnesium-Verhältnis von 2:1

bei Getreide und 3:1 bei Leguminosen zu den höchsten Pflanzenerträgen führt und nannte dies den *Kalkfaktor*. (Loew 1909)

Eine Weiterentwicklung dieser Methodik erfolgte durch die US-Amerikaner William A. Albrecht, Firman Bear und weitere Mitarbeiter aus New Jersey.

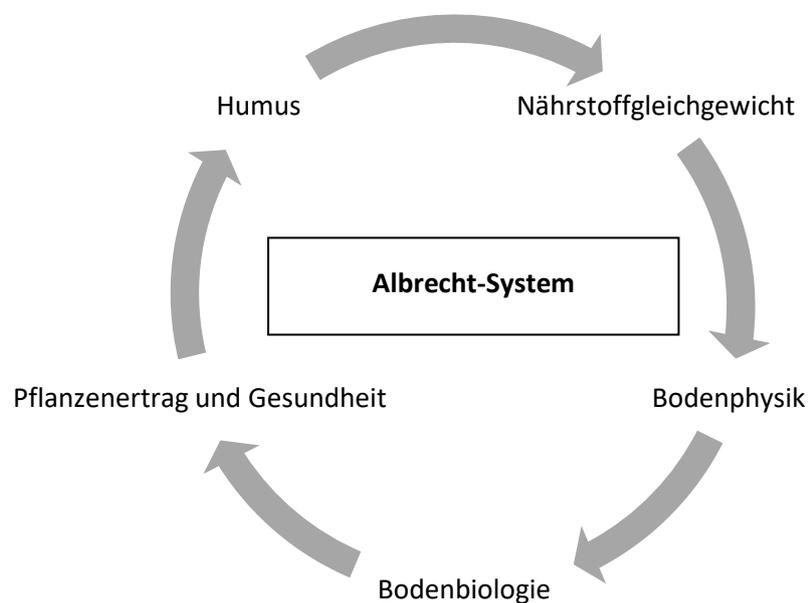


**Abbildung 3:** Wechselwirkungen zwischen Nährstoffen im Prozess der Nährstoffaufnahme durch Pflanzen (Quelle: Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit 2003 (SGD Weinbau), ergänzt durch Unterfrauer 2015)

Durch Untersuchungen von menschlichen Erkrankungen, Pflanzen- und Tierkrankheiten glaubte Albrecht einen Zusammenhang dieser mit einem Ungleichgewicht an Mineralstoffen im Boden zu erkennen. Daher untersuchte er die in Abbildung 3 zu sehenden synergistischen und antagonistischen Wechselwirkungen von Nährstoffen im Boden. Gemeinsam mit Bear und seinen Mitarbeitern nahm er in einer Reihe von Feldversuchen Einfluss auf die Nährstoffanteile und leitete letztlich Aussagen zu den Nährstoffverhältnissen eines idealen Bodens (*Ideal Soil*) ab (Bear et al. 1945). Jene anzustrebenden Nährstoffverhältnisse beschränkte er auf den Sorptionskomplex des Bodens, auch als Kationenaustauschkapazität (KAK) des Bodens bekannt. Als Sorptionskomplex bezeichnet man in der Bodenchemie negativ geladene Oberflächen, an denen Kationen sorbiert und ausgetauscht werden können. Diese setzen sich im Regelfall aus Tonmineralen und der organischen Bodensubstanz (OBS) zusammen (Amelung et al. 2018a). Nach mehreren Modifizierungen leitete Albrecht (1975) folgende Verhältnisse von basisch wirkenden Kationen am Sorptionskomplex ab: 60 - 75 % Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), 10 – 20 % Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), 2 - 5 % Kalium ( $\text{K}^+$ ), 2 – 4 % Natrium ( $\text{Na}^+$ ), 10 % Protonen ( $\text{H}^+$ ) und 5 % andere Kationen. Das Wichtigste ist nach Albrechts Aussagen dabei das Verhältnis von den bivalenten Kationen Calcium zu Magnesium, denn Magnesium hat durch den kleinen Ionenradius eine besonders große Hydrationsenergie und kann somit Wasser im Boden halten, was vor allem in trockenen Jahreszeiten wichtig ist. Calcium kann währenddessen durch den größeren Ionenradius die Infiltration von Wasser und Sauerstoff in den Boden verbessern (Tan 2010, S. 205–2010). Durch diese positiven Eigenschaften kann mit dem besagten Verhältnis der bivalenten Kationen der gewünschte Anteil von

25 % Wasser und 25 % Sauerstoff im Boden gewährleistet werden, so Albrecht (1975). Kalium und Natrium wiederum sieht Albrecht zwar als wichtig für die Pflanzenernährung an, aber er warnt vor Verhältnissen höher 5 bzw. 4 %, da es sonst zu einer Verschlechterung der Bodenstruktur kommen könne (ebd.). In Bezug auf Kalium kann es bei zu hohen Verhältnissen auch zur unzureichenden Aufnahme von Magnesium durch die Pflanze kommen (Bergmann 1993; Albrecht 1975).

Später erkannte Albrecht auch die Wichtigkeit des Vorhandenseins und des Verhältnisses von anderen Nährstoffen für die Gesundheit und Qualität von Pflanzen, wie z.B. des im Boden als Anion vorliegenden Schwefels oder der Spurenelemente Bor und Mangan. Grundsätzlich empfahl er, regelmäßig Bodenanalysen durchzuführen, um zu überprüfen, ob alle essentiellen Pflanzennährstoffe in einem ausgewogenen Verhältnis im Boden vorhanden sind (Albrecht 1967).



**Abbildung 4:** Schematische Darstellung des Ganzheitlichen Systems nach Albrecht (1975)

Letztendlich verfolgte Albrecht mit der SBM eine ganzheitliche Herangehensweise zur Düngeberatung, welche wie folgt, auf Grundlage von Veröffentlichungen der *Albrecht Papers*, zusammengefasst werden kann: Das wichtigste im Boden ist der Humus, welcher als Nährstoffquelle und -puffer für Organismen und Pflanzen im Boden dient. Um diese Eigenschaften des Humus zu gewährleisten, müssen durch Düngung die basischen Kationen ins genannte Verhältnis gebracht werden. Dank der spezifischen Eigenschaften der einzelnen Kationen und ihrer bodenchemischen Einflussnahme werden Bodenstruktur und damit Bodenphysik verbessert. Die bessere Bodenstruktur gewährleistet die Verfügbarkeit von Sauerstoff und Wasser für die Bodenorganismen und ein besseres Wurzelwachstum. Durch die Verbesserung dieser bodenbiologischen Indikatoren sind Nährstoffe im richtigen Verhältnis für das Bodenleben und die Pflanze verfügbar. Dies gewährleistet gesunde und qualitative Pflanzen, hohe Pflanzenerträge und weniger Unkräuter. Die hohen Biomasseerträge und

die Anreicherung des Bodenlebens führen wiederum zur Anreicherung des Humus. Böden, die ein solches „ideales“ Verhältnis aufweisen (*Ideal Soil*), sind definitionsgemäß im Gleichgewicht, und der Versuch, einen Boden in dieses Verhältnis zu bringen, wird *soil balancing* genannt. Beim *soil balancing* werden zuerst die Verhältnisse der Kationen am Sorptionskomplex des Bodens bestimmt, daraus resultieren dann Düngungsempfehlungen, mit denen die basischen Kationen in das beschriebene Verhältnis gebracht werden können. Ist dieses Verhältnis erreicht, ist der Boden im Gleichgewicht und gewährleistet ein optimales Verhältnis von Wasser, Luft, Mineralien und Humus im Boden. Dadurch wird den Bodenorganismen und der Pflanzenwurzel ein Habitat geboten, in dem Nährstoffe nach Bedarf freigesetzt und aufgenommen werden können. (Marshall 1977; Albrecht 1975)

Private Beratungseinrichtungen, die die SBM praktizieren, erweitern diese häufig, indem sie nicht nur empfehlen, die basischen Kationen in ein definiertes Verhältnis zu setzen, sondern auch sämtliche essentielle Pflanzennährstoffe. Dieses Verfahren wird im Folgendem als *erweiterte SBM* bezeichnet. Die definierten Verhältnisse in diesem Verfahren unterscheiden sich zwischen den Beratungseinrichtungen häufig, da diese meist auf Erfahrungswerten und unterschiedlichen Anbauversuchen beruhen.

### **2.2.2 Stand der Forschung**

Chaganti und Culman (2017) sowie Kopittke und Menzies (2007) veröffentlichten bereits eine zusammenführende Evaluierung auf Basis vorhandener Studien über die SBM. Ein Großteil der Forschung beschränkte sich dabei auf die Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Verhältnisse basischer Kationen auf den Pflanzenertrag und resultierte in keinem signifikanten Zusammenhang (McLean et al. 1983; Reid 2008; Rehm und Sorensen 1985; Fox und Piekielek 2008; Simson et al. 2008; McLean und Carbonell 1972; KEY et al. 1962; Giddens und Toth 1951; Moser 1933; Eckert und McLean 1981). Die Untersuchungen wurden meist an gängigen Kulturen der gemäßigten Zonen in Gewächshäusern durchgeführt, wie z.B. die von Eckert und McLean (1981), die an der Ohio State University über fünf Jahre Anbauversuche mit Mais (*Zea mays* L.), Soja (*Glycine max* L.), Weizen (*Triticum aestivum* L.) und Luzerne (*Medicago sativa* L.) durchführten. Sie folgerten, dass es kein ideales Kationenverhältnis gebe, bei dem höhere Pflanzenerträge erzielt werden könnten. Kontrovers zu diesen Ergebnissen konnten Zalewska et al. (2018) mit Topfversuchen einen signifikant höheren TM-Ertrag von Welschem Weidelgras (*Lolium multiflorum* L.) bei einem günstigeren Verhältnis von Ca, Mg und K feststellen. Sie empfehlen ein Verhältnis von 50–60 % Ca, 8-12 % Mg und 4-5 % K für maximale Weidelgraserträge (Zalewska et al. 2018).

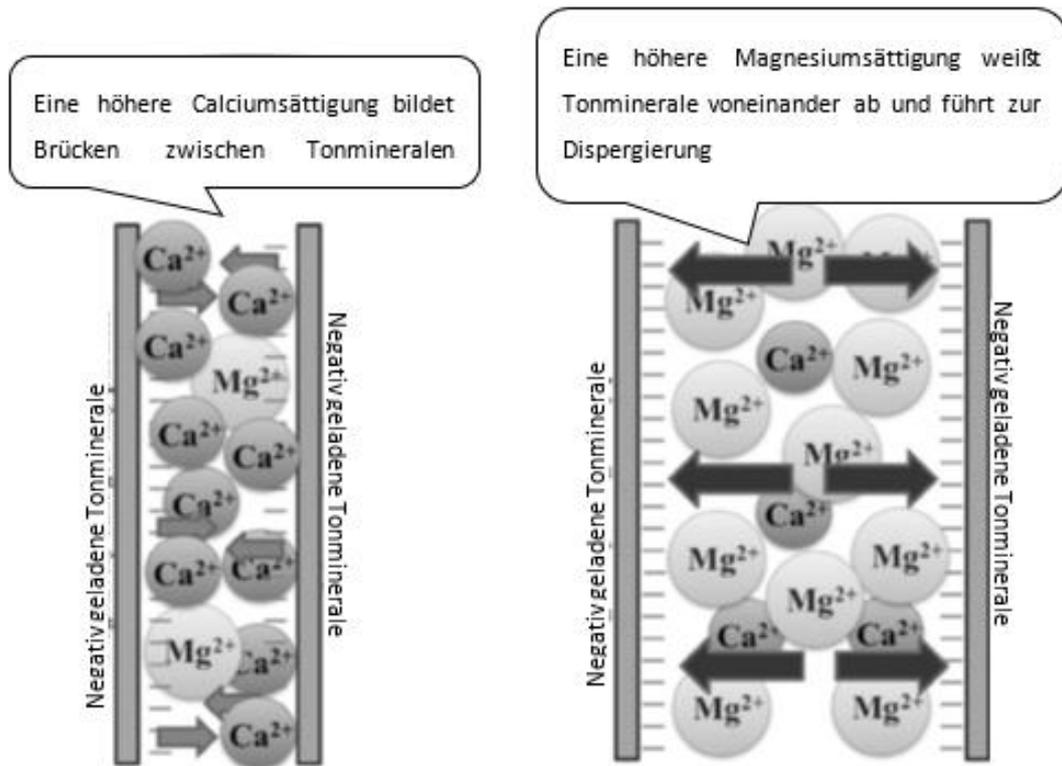
Die meisten Freilandversuche hingegen widersprechen der SBM, z.B. Stevens et al. (2005), bei denen Baumwollerträge und Qualitätsmerkmale der Baumwolle durch verschiedene Calcium-Magnesium-

Verhältnisse nicht beeinflusst wurden. Einzig von van Biljon et al. (2007) konnten bei Versuchen in Südafrika höhere Maiserträge nach Anwendung der SBM festgestellt werden.

Gegen die SBM sprechen auch die Untersuchungen von Olson et al. (1982) hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit bei der Düngeempfehlung nach der SBM anstelle der Düngeempfehlung nach der OBM. Dabei wurden durchschnittliche Maiserträge, durchschnittlich gedüngte Nährstoffe und durchschnittliche Düngerkosten über 8 Jahre evaluiert und zwischen den beiden Methoden verglichen. Die Autoren berichteten anschließend, dass die Düngung nach der OBM weitaus wirtschaftlicher war als die der SBM. Gleiches berichteten auch McLean et al. (1983).

Es ist also ersichtlich, dass die Effekte der SBM auf den Pflanzenertrag und damit einhergehend ihre Wirtschaftlichkeit schon mehrfach untersucht wurden. Doch wurden andere, in den *Albrecht Papers* beschriebene Effekte der SBM nur wenig oder in keiner Weise untersucht. So wurden beispielsweise die von Albrecht (1975) mehrfach beschriebenen positiven Effekte auf die Pflanzengesundheit, Tiergesundheit und Menschengesundheit nie untersucht. Einzig Schonbeck (2000) untersuchte im Rahmen der SBM die Auswirkung einer Magnesiumreduktion am Sorptionskomplex von 18-28 % auf 11-21 % auf den Befall von Pflanzenkrankheiten und Schädlingen und konnte dabei keinen signifikanten Effekt feststellen.

Anders als bei dem Einfluss der basischen Kationenverhältnisse auf den Pflanzenertrag konnten positive Effekte auf die Bodenstruktur und Aggregatstabilität mehrfach festgestellt werden, welche zu einer verbesserten Durchlüftung, Wasserinfiltration und Wurzelwachstum führen können (Bronick und Lal 2005). Amézketa (1999) und Amelung et al. (2018b) begründen diese positiven Effekte insbesondere mit hohen Calciumsättigungen am Sorptionskomplex, da Calcium als multivalentes Kation stabilisierende Brücken zwischen Tonmineralen und Humuspartikeln bilden kann. Magnesium hingegen ist nur bedingt dazu in der Lage, da es durch den großen Hydratradius Tonminerale und Humuspartikel weniger fest binden kann (vgl. Abb. 5).



**Abbildung 5:** Mögliche Effekte von Calcium und Magnesium auf die Aggregatbildung im Boden. (Quelle: Chaganti und Culman 2017, modifiziert)

Da die SBM eine höhere Calcium- als Magnesiumsättigung vorgibt (Albrecht 1975), ist es durchaus möglich, dass ein Boden mit den vorgegebenen Nährstoffverhältnissen nach Albrecht gute physikalische Eigenschaften besitzt, jedoch wurde dies bis zum jetzigen Zeitpunkt wissenschaftlich noch nicht belegt. Allerdings sind Böden mit einer von Natur aus höheren Magnesium- als Calciumsättigung selten.

Betrachtet man den aktuellen Stand der Forschung, wird zusammenfassend also deutlich, dass Sinnhaftigkeit und Nutzen von Albrechts SBM in verschiedenen Studien explizit widerlegt wurden. Dennoch sollte man die Tatsache nicht außer Acht lassen, dass wissenschaftliche Untersuchungen (z.B. von Bergmann 1993; Voisin 1966; Baumeister und Ernst 1978) mehrfach mit der grundsätzlichen Betrachtung Albrechts korrespondieren. Kurzum: Albrechts SBM steht zwar teils massiv unter Kritik, aber die grundlegende Tatsache, dass Nährstoffe im Boden miteinander interagieren und sich antagonistisch oder synergistisch beeinflussen können, wurde mehrfach bestätigt (Baumeister und Ernst 1978; Voisin 1966; Bergmann 1993).

Hinzu kommt, dass immer mehr Landwirte und Berater die SBM zur Düngebedarfsermittlung von privaten Bodenuntersuchungslaboren in Anspruch nehmen und von ihrer positiven Wirkung auf Pflanzengesundheit, Pflanzenertrag und Unkrautkontrolle überzeugt sind. So bestätigten Umfragen in den US-Bundestaaten Ohio und Indiana, dass in etwa 60 % der Landwirte die SBM in Anspruch nehmen (Zwickle et al. 2014). Liebhardt (1981) geht in Bezug auf den Bundesstaat Delaware sogar von 80 bis

90 % aus. Auch Unterfrauner, der in Österreich Bodenproben unter anderen nach dieser Methodik analysiert, berichtet von einer Verzehnfachung der Kunden innerhalb der letzten 10 Jahre (Unterfrauner 25.01.18). Wissenschaftler vermuten allerdings, dass die von Praktikern berichtete positive Wirkung der SBM eher auf eine nachhaltigere Bewirtschaftungsweise der Landwirte zurückzuführen ist, da Landwirte, die mit der SBM praktizieren, nach ihren Aussagen häufig auch bodenverbessernde Maßnahmen, wie z.B. Zwischenfruchtanbau, durchführen. Ein vermehrter Zwischenfrucht

anbau von denen, die die SBM anwenden, kann durch Umfragen bestätigt werden (Zwickle et al. 2014). Allerdings stellt sich die Frage, ob der Anbau von Zwischenfrüchten nicht vielmehr ein Hilfsmittel neben der Düngung von Nährstoffen ist, um ein Gleichgewicht der Nährstoffe schneller zu erreichen. Denn viele Autoren berichten von Fähigkeiten der Zwischenfrüchte, Nährstoffe wie Stickstoff, Kalium, Calcium, Magnesium, Bor und Phosphor zu konservieren und Nährstoffe wie Phosphor, die durch Ungleichgewichte im Boden festgelegt sind, verfügbar zu machen (Obenauf 1980; Hargrove 1986; Tonitto et al. 2006; McVay et al. 1989; Smukalski und Rogasik 1990; Lal et al. 1991; Meisinger et al. 1991; Schröder und Woll 1986; Fricke et al. 1996; Eichler 1997; Luna 1998).

## **2.3 Einfluss von Zwischenfrüchten und Nährstoffdüngungen auf Kartoffeln**

Auf der Versuchsfläche dieser Forschungsarbeit werden innerhalb des Untersuchungszeitraums Kartoffeln angebaut. Daher werden die Auswirkungen des Zwischenfruchtanbaus sowie der Düngung nach der SBM und OBM anhand von Kartoffelerträgen und der Kartoffelgesundheit analysiert. Aus diesem Grund wird im Folgendem speziell der Stand der Forschung in Bezug auf die Auswirkungen dieser Faktoren auf die Kartoffel beschrieben.

Durch die Forschungsarbeit von Essah et al. (2012) konnte bewiesen werden, dass ZF das Potential haben, Kartoffelknollenerträge zu verbessern. Diese Erkenntnis deckt sich mit denen von Davis et al. (2010), Larkin et al. (2010) und Sincik et al. (2008) .

Larkin et al. (2010) konnte des Weiteren durch den Einsatz von ZF eine Verbesserung der Knollengesundheit feststellen, die sich durch einen geringeren Befall des Pilzes *Rhizoctonia solani* und einen geringeren Befall von Schorf an den Knollen äußerte. Außerdem konnten Davis et al. (2010) einen verminderten Verticillium-Befall der Kartoffelpflanze durch ZF feststellen und Essah et al. (2012) konnten durch ZF eine Verbesserung des äußeren Erscheinungsbildes der Kartoffelknollen (weniger missgestaltete Kartoffelknollen) verzeichnen.

Hinsichtlich der Ursache für diese positiven Wirkungen von ZF auf die Kartoffelknollenerträge und -gesundheit stellen Davis et al. (2010) die Hypothese, dass ZF durch die Förderung bestimmter

Mikroben im Boden die Konkurrenz gegenüber bodenbürtigen Schadorganismen erhöhen, die andernfalls zu vermehrten Knollenkrankheiten und geringeren Knollenerträgen führen würden. Zu dieser Schlussfolgerung kam McGuire (2002) ebenfalls. Dennoch gibt es auch gegensätzliche Studien, in denen die organische Masse von ZF eine Nahrungsquelle für bodenbürtige Pathogene darstellte und diese somit förderte (Phillips et al. 1971) oder in denen organische Verbindungen der ZF die Wurzeln von Hauptfrüchten zu einer Infektion durch Pathogene prädisponierte (Patrick 1963). Bei Gardner und Caswell-Chen (1994) führte eine ZF zu noch komplexeren Interaktionen, indem sie ein bodenbürtiges Pathogen förderte und ein anderes unterdrückte. Diese komplexen Interaktionen lassen sich vermutlich darauf zurückführen, dass bestimmte Pathogene (wie im Falle von Phillips et al. (1971) die Pilzart *Phytium spp.*) durch die vermehrte organische Masse aus der ZF gefördert werden, während andere Pathogene (wie im Falle von Larkin et al. (2010) die Bakterienart *Streptomyces scabiei* und die Pilzart *Rhizoctonia Solani*) durch die Förderung der bodenbiologischen Aktivität gehemmt werden. Trotz einiger gegensätzlicher Studien hat sich in der Wissenschaft ein Konsens etabliert: Es wird davon ausgegangen, dass ZF mit mehreren Mischungspartnern die mikrobielle Aktivität und Biodiversität insgesamt fördern und somit zur Gesundheit und Vitalität des Bodens beitragen (Eisenhauer et al. 2010; Lithourgidis et al. 2011), d.h. die landwirtschaftliche Produktion unterstützen (Lehman et al. 2015).

Müller (2016) untersuchte bereits auf dem Versuchsstandort dieser Forschungsarbeit die Effekte verschiedener ZF-Mischungen auf die Mikroorganismen im Boden. Dabei fand sie heraus, dass sich sowohl die mikrobielle Biomasse als auch die Gemeinschaft der Mikroorganismen bereits über einen kurzen Zeitraum signifikant verändern können. Außerdem zeigte sich, dass vielfältige ZF-Mischungen, mit mehr als 7 Mischungspartnern, auch zu einer vielfältigeren Struktur von Mikroorganismen führen können (Müller 2016).

Neben den Zwischenfrüchten kann auch eine gezielte Nährstoffdüngung der Kartoffeln zu höheren Erträgen und einer verbesserten Knollengesundheit führen (Harris 1992, S. 162–213). Die OBM beschränkt sich bei ihren Empfehlungen für Kartoffeln auf die Nährstoffe Phosphor ( $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ ), Kalium ( $290 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ ) und Magnesium ( $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ MgO}$ ) (vgl. Anhang 2) – wobei die angegebenen Mengen unabhängig von den Bodengehalten der Nährstoffe empfohlen werden. Besonders die hohe Kaliumdüngung verspricht eine positive Auswirkung auf den Knollenertrag. Kavvadias et al. (2012) warnen jedoch davor, zu viel Kalium zu düngen, da sie in Versuchen auf leichten Böden beweisen konnten, dass Kaliumgaben  $>250 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$  zu Mindererträgen von Kartoffelknollen führen. Selbiges konnten Kavvadias et al. (2012) und Jahanzad et al. (2017) auch bezüglich hoher Stickstoffgaben feststellen.

Anders als bei der OBM gibt es bei der SBM keine kulturspezifischen Empfehlungen, da bei dieser Methode der Boden und nicht die Pflanze gedüngt wird. Ein Kartoffelanbau auf einem nach der SBM gedüngten Boden wurde bisher noch nicht wissenschaftlich untersucht. Es existieren lediglich wissenschaftliche Untersuchungen, bei denen ein einzelner Nährstoff mit einem anderen in verschiedene Verhältnisse gebracht wurde, um zu sehen, welche Auswirkungen dies auf den Kartoffelanbau hat. So konnten beispielsweise Moinuddin und Umar (2004) den höchsten Kartoffelknollenertrag bei einem im Boden vorliegenden Kalium-Schwefel-Verhältnis von 1,2 : 1 feststellen. Angesichts dessen, dass bei der *erweiterten SBM* nicht nur Natrium, Phosphor, Kalium und Magnesium gemessen und gegebenenfalls gedüngt werden, sondern prinzipiell jeder essentielle Pflanzennährstoff, sprechen auch die Studien von Judel und Kürten (1962) sowie von Haeder (1975) über positive Wirkungen von Schwefel und Bor auf die Kartoffel. Unter anderem wurde hier herausgefunden, dass eine ausgewogene Ernährung der Kartoffelpflanze mit Bor zu einem geringeren Befallsrisiko von Kartoffelschorf und Knollenfäule führen kann (Judel und Kürten 1962).

Jedoch ändern diese Studien nichts an der Tatsache, dass die in dieser Forschungsarbeit beschriebene *erweiterte SBM* weder in Bezug auf den Kartoffelanbau noch in Bezug auf etwaige andere Kulturen wissenschaftlich untersucht wurde. Ebenso wenig wurde diese *erweiterte SBM* im Zusammenhang mit ZF untersucht.

### 3 ARBEITSHYPOTHESEN

Vor dem Hintergrund der bisherigen Betrachtungen wird deutlich, dass die in Deutschland praktizierte OBM nur eingeschränkt wissenschaftlich fundiert ist. Jedoch stellt auch die SBM zum jetzigen Stand der Forschung noch keine Alternative dar. Dennoch wenden sich immer mehr Praktiker von der OBM ab und berichten von positiven Ergebnissen bei der Durchführung der SBM.

Um diese Diskrepanz zwischen Wissenschaft und Praxis abzubauen, wurde aus der Thematik die folgende Forschungsfrage für diese Arbeit formuliert:

*Können die Erträge, die Inhaltsstoffe und die Gesundheit einer Kartoffelkultur durch eine vorhergehende Zwischenfrucht mit einer Düngung nach der SBM positiv beeinflusst werden?*

Daraus resultieren die folgenden Hypothesen:

1. Die Düngung nach der SBM führt zu höheren FM-Erträgen, höheren Mineralstoffgehalten und einem geringeren Krankheitsbefall von Kartoffeln als die Düngung nach der OBM.
2. Der Anbau einer Zwischenfrucht vor den Kartoffeln führt zu einem geringeren Krankheitsbefall der Kartoffelkultur als dies ohne den Anbau einer Zwischenfrucht der Fall wäre.

3. Eine Kombination aus einer Düngung nach der SBM und dem Anbau einer Zwischenfrucht vor den Kartoffeln führt zu einer nochmaligen Verbesserung der in Hypothese 1. genannten Parameter.

## 4 METHODEN

Um die genannten Hypothesen unter Praxisbedingungen in Deutschland zu überprüfen, wurde eine *on farm* Untersuchung im Zeitraum August 2017 bis Oktober 2018 durchgeführt. Im Nachfolgenden werden der Standort und das Vorgehen genauer beschrieben.

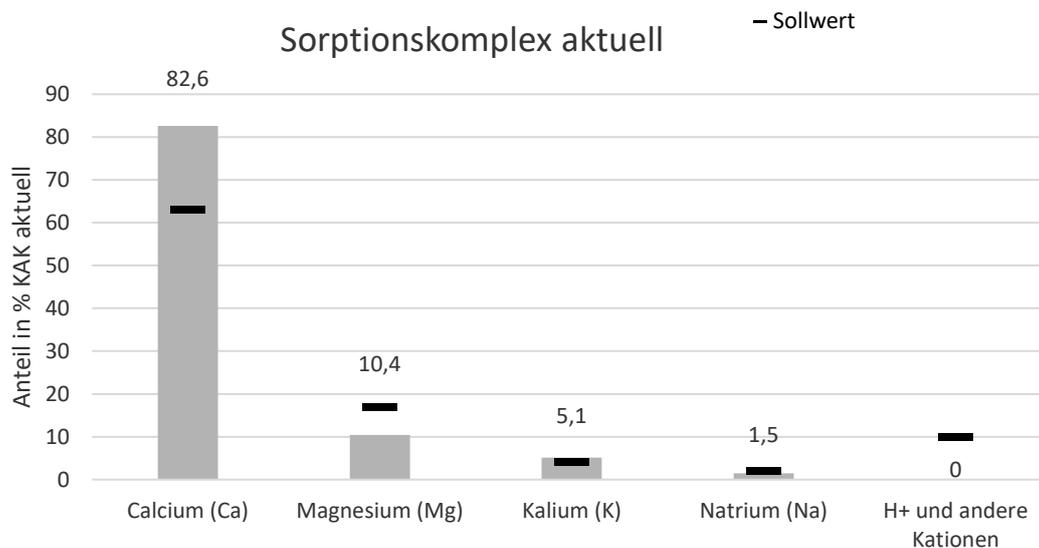
### 4.1 Standort

In Kooperation mit der Deutschen Saatveredlung AG (DSV), einem deutschen Pflanzenzüchtungsunternehmen, wurde der Feldversuch 2015 in Niedersachsen, nahe Visselhövede (53°00' N, 09°36' O), begonnen. Der Standort befindet sich 52 m über dem Meeresspiegel, südwestlich der Lüneburger Heide, in einem großen, leicht hügeligen Gebiet mit Heiden- und Waldvegetationen. Ein gemäßigttes Meeresklima durch den Atlantik sorgt für einen charakteristisch kühlen Sommer und warmen Winter mit einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 9 °C und hohen Niederschlagsmengen von 799 mm, die gut über das Jahr verteilt sind.

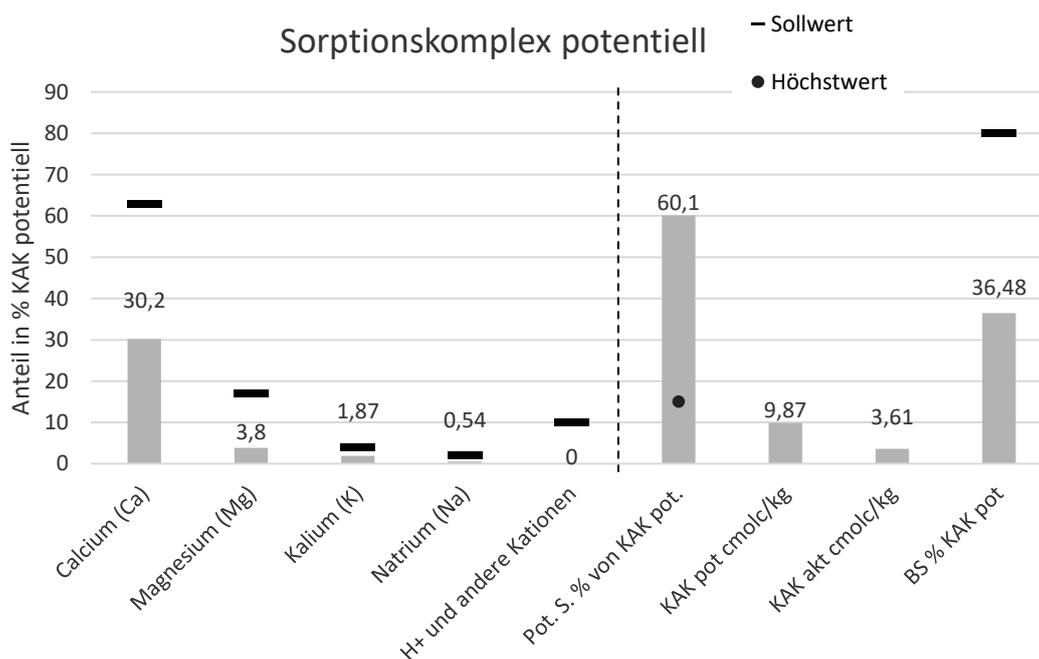
### 4.2 Bodenbeschaffenheiten

Laut dem *World Reference Base for Soil Resources* kann der Boden als podsolierte Stagnasol-Braunerde mit einer Korngrößenverteilung, die als Lehm klassifiziert werden kann (45 % Sand, 38 % Schluff, 17 % Ton), beschrieben werden (Schad 2008). Vor dem Versuchsbeginn wurde der Boden von Unterfrauner in Wien analysiert und bewertet. Er beschreibt den Boden als leicht und schwach sauer mit einer sehr schlechten Aggregatstabilität. Des Weiteren zeigt die Analyse einen sehr hohen Gehalt an organischer Substanz von 4,3 % (= Corg \* 1,724). Spätere Analysen zeigten allerdings einen Gehalt an organischer Substanz von 3,5 %, was vermuten lässt, dass in der ersten Analyse von Unterfrauner ein Messfehler aufgetreten ist, oder zuvor schon ein Fehler bei der Probenentnahme aufgetreten ist. Ungeachtet dessen beschreibt er die organische Substanz als hoch im Verhältnis zu Stickstoff (CN = 20,3 : 1), wodurch Um- und Abbauprozesse gestört sind und der Boden zur N-Fixierung neigt. Weiter stufte er den Boden aufgrund einer sehr geringen Basensättigung von 39,49 % des Sorptionskomplexes als

sorptionsschwach ein (vgl. Abb. 7). Dies hinterlegte er mit dem in seiner Analyse gemessenen, hohen potentiellen Säureanteil.



**Abbildung 6:** Prozentualer Anteil der Kationen am aktuellen Sorptionskomplex (Quelle: modifiziert nach Unterfrauner 2015)



**Abbildung 7:** Prozentualer Anteil der Kationen, der potentiellen Säure (Pot. S.) und der Basensättigung (BS) am potentiellen Sorptionskomplex, sowie die potentielle KAK (KAK pot) und aktuellen KAK (KAK akt) in cmolc/kg (Quelle: modifiziert nach Unterfrauner 2015)

### 4.3 Methodik der Düngbedarfsermittlung und -empfehlung

Im Folgenden wird die Methodik der zwei Systeme zur Düngbedarfsermittlung und -empfehlung, die in dieser Arbeit untersucht werden (OBM und SBM), erläutert.

### 4.3.1 Methodik der Officialberatungsmethode

Für die OBM, auch Standardanalyse genannt, werden auf Flächen unter 3 ha mindestens 20 Proben mit einem Bohrstock bis jeweils 30 cm Tiefe, bzw. bis zur Bearbeitungstiefe, entnommen. Dabei müssen die Einstichstellen gleichmäßig auf der Fläche verteilt sein. Anschließend werden die Proben gemischt und ca. 500 g werden zum Untersuchungslabor versandt (LUFÄ NORD-WEST). Im Labor werden die Proben luftgetrocknet und gesiebt. Anschließend werden Kalium und Phosphor im Calcium-Acetat-Lactat-Auszug (CAL-Auszug) gemessen. Dazu wird ein Teil der Probe mit einem Extraktionsmittel versetzt und geschüttelt. Dieses Extraktionsmittel ist eine auf pH 3,7 bis 4,1 gepufferte Lösung aus 10,64 g/L Calciumacetat, 5,46 g/L Calciumlactat, 12,37 g/L Essigsäure und 829,19 g/L Wasser. Danach wird aus der abfiltrierten Lösung Phosphor mittels Photometrie und Kalium mittels Atomabsorptionsspektroskopie ermittelt (Blume 2000). Der pH-Wert wird in einer Bodensuspension von der getrockneten Bodenprobe in pH-neutraler 0,01 molarer Calciumchlorid-Lösung ( $\text{CaCl}_2$ ) mit einem pH-Meter gemessen. Die  $\text{CaCl}_2$ -Ionen verdrängen in der Suspension einen Teil der am Austauscher haftenden  $\text{H}^+$ -Ionen. Je nach Größe und Zusammensetzung des Sorptionskomplexes führt dies zu einem pH-Wert, der etwa 0,1 – 1,5 Einheiten unter dem pH-Wert in einer wässrigen Suspension liegt. Nach der Messung des pH-Werts wird der Magnesiumgehalt in derselben  $\text{CaCl}_2$ -Suspension mithilfe der Atomabsorptionsspektroskopie gemessen. Zur Düngeempfehlung werden die Messwerte anschließend den Gehaltsklassen A bis E zugeteilt. Nach Aussagen des VDLUFA (1991) führen Nährelementgehalte in den Gehaltsklassen A und B zu unzureichender bis suboptimaler Versorgung der Pflanzenbestände und damit in der Regel zu Mindererträgen. In der Gehaltsklasse C sind eine optimale Versorgung der Pflanzenbestände und optimale Ernteerträge zu erwarten. Diese Gehaltsklasse ist deshalb durch eine entsprechend dosierte Düngung anzustreben. In den Gehaltsklassen D und E sind die Pflanzenbestände zwar reichlich mit Nährelementen versorgt, aber es können Umweltbelastungen, insbesondere Gewässerbelastungen, auftreten. Die Düngung ist zu reduzieren (D) bzw. auszusetzen (E) (vgl. Tabelle 2).

Der gemessene pH-Wert des Bodens wird ebenfalls Gehaltsklassen zugeteilt. Die jeweiligen Gehaltsklassen geben dann Aussage über den Ca-Bedarf des Bodens (VDLUFA 1991). Für die Einteilung der Nährstoffe in die Gehaltsklassen gibt die Deutsche Düngeverordnung zwar einen Rahmen vor, die Umsetzung erfolgt aber ebenso nach den unterschiedlichen Düngeungsrichtlinien der Bundesländer und ihren akkreditierten Dienstleistungslaboren (Spiegel et al. 2014).

**Tabelle 2:** Gehaltsklassen für die Menge an verfügbaren Hauptnährelementen (P, K, Mg) von Acker- und Grünlandböden (VDLUFA 1991) und erforderlicher Düngemaßnahmen

<b>Gehaltsklasse</b>	<b>Erforderliche Düngungsmaßnahme</b>
A - sehr niedriger Gehalt	Stark erhöhte Düngung
B - niedriger Gehalt	Erhöhte Düngung
C - anzustrebender Gehalt	Erhaltungsdüngung
D - hoher Gehalt	Verminderte Düngung
E - sehr hoher Gehalt	Keine Düngung

Des Weiteren werden in den meisten akkreditierten Dienstleistungslaboren die Gehaltsklassen Korrekturfaktoren unterzogen, wie z.B. in Abhängigkeit von der Bodenart und/oder dem Standortertragsniveau. Dabei werden die P- und K-Messwerte von tonigeren Böden mit einem höheren Standortertragsniveau tendenziell höheren Gehaltsklassen zugeteilt, da man davon ausgeht, dass die Nährstoffnachlieferung aus den Tonmineralen höher ist als in leichteren, sandigeren Böden mit einem geringeren Tonmineralgehalt. Bei den gemessenen pH-Werten ist es umgekehrt – hier werden pH-Werte von tonigeren, schwereren Böden in tendenziell niedrigere Gehaltsklassen eingeteilt. Grund dafür ist; dass die KAK in schweren Böden so groß ist, dass die 0,1 molare CaCl<sub>2</sub>-Lösung nicht stark genug ist; um alle H<sup>+</sup>-Ionen auszutauschen. Deshalb befinden sich bei der Messung nicht alle H<sup>+</sup>-Ionen in der Lösung, was den pH-Wert im Verhältnis zu leichteren Böden weniger senkt. In Kombination mit der Einstufung der Messwerte in die korrigierten Gehaltsklassen werden für die jeweilige Kultur, mit Hilfe von Richtwerten, Nährstoffentzügen und Auswaschung durch verschiedene Kulturen, kulturspezifische Düngebedarfsempfehlungen ausgegeben. Die Richtwerte sind in Deutschland von den Officialberatungen der Bundesländer definiert. Aus dem eingestuften pH-Wert wird der Calciumbedarf mithilfe von Richtwerten abgeleitet (VDLUFA 1991; Spiegel et al. 2014; Blume 2000).

#### **4.3.2 Methodik der *Soil Balancing Method***

In der Darstellung des theoretischen Rahmens wurde bereits klar: Die SBM wird zwar international angewandt, unterliegt allerdings keiner international festgelegten Norm. Dies liegt unter anderem daran, dass die von William A. Albrecht erfundene Methode zur Ermittlung der Verhältnisse basischer Kationen, die am Sorptionskomplex haften, von privaten landwirtschaftlichen Beratern und Dienstleistungslaboren durch weitere anzustrebende Verhältnisse von Nährstoffen erweitert wurde zur *erweiterten SBM*. Deshalb unterscheiden sich die von den privaten Dienstleistungslaboren weltweit angewandten Extraktionsmethoden und Auswertungen des Nährstoffbedarfs oft voneinander. Im

Folgenden werden zwei wichtige Arten der Analyse vorgestellt, die auch in dieser Arbeit Anwendung gefunden haben.

#### 4.3.2.1 Empfehlungen auf Basis der Mehlich-III-Analyse

Die Mehlich-III-Analyse nach Mehlich (1984) ist in der DIN ISO 11 260 sowie der ÖNORM L 1086 als offizielle Methode zur Bestimmung der effektiven KAK und von Nährstoffverhältnissen vermerkt (VDLUFA 1991, A 9.). Bei dieser Analyse wird eine Extraktionslösung aus folgenden Bestandteilen erstellt:

- 0,2N CH<sub>3</sub>COOH
- 0,25N NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>
- 0,015N NH<sub>4</sub>F
- 0,013N HNO<sub>3</sub>
- 0,001M EDTA

Die Endlösung hat einen pH-Wert von 2,5. Anschließend werden 25 ml der Extraktionslösung mit 2,5 cm<sup>3</sup> Bodenprobe versetzt und geschüttelt. Der Gehalt an Phosphor, Mangan, Zink, Bor, Kupfer, Aluminium, Schwefel, Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium wird dann meist mittels eines induktiv gekoppelten Plasmas gemessen.

Die SBM erfordert anschließend noch die Messung der KAK. Diese wird in den meisten landwirtschaftlichen Dienstleistungslaboren nicht direkt gemessen, sondern durch eine Aufsummierung der basischen Kationen ermittelt, dabei werden die jeweiligen basischen Kationen durch den folgenden Nenner dividiert (Astera und Agricola 2015).

Formel:

$$KAK_{eff} [cmol_c kg^{-1}] = \frac{Ca [ppm] \text{ im Boden}}{10 \frac{mCa}{zCa}} + \frac{Mg [ppm] \text{ im Boden}}{10 \frac{mMg}{zMg}} + \frac{K [ppm] \text{ im Boden}}{10 \frac{mK}{zK}} + \frac{Na [ppm] \text{ im Boden}}{10 \frac{mNa}{zNa}}$$

Es wird damit, wie schon in der Formel vermerkt, die effektive KAK ( $KAK_{eff}$ ), oder auch aktuelle KAK, errechnet. Mithilfe dieser kann nun der Prozentanteil der basischen Kationen am Sorptionskomplex errechnet werden. Um die potentielle KAK zu berechnen, muss die potentielle Säure, bzw. die sauer wirkenden Kationen, die an dem Austauschere haften, hinzuaddiert werden. Dazu gibt es ebenfalls unterschiedliche Ansätze. In den führenden US-Dienstleistungslaboren für die SBM wird die potentielle Säure mithilfe des SMP/Sikora Puffer-pH-Werts errechnet (Astera und Agricola 2015). Dieser Puffer-pH-Wert wird ermittelt, indem die Bodenprobe mit einer alkalischen Lösung aus folgenden Bestandteilen versetzt wird:

- 69,6 mM Triethanolamin
- 13,7 mM Imidazol
- 31,4 mM MES Monohydrat

- 89,3 mM Essigsäure
- 2000 mM KCl

Diese Lösung besitzt einen pH-Wert von 7,7. Gemischt mit dem Boden zu einer Suspension reagiert sie mit der potentiellen Säure des Bodens. Anschließend wird dann der pH-Wert der Suspension gemessen. Der gemessene Wert ist der Puffer-pH-Wert und gibt Aufschluss über die potentielle Säure des Bodens und den Kalk-Bedarf, um den pH-Wert anzuheben. Dabei gilt: Umso weiter der gemessene pH-Wert unter 7,7 liegt, desto mehr Säurepotential besitzt der Boden und umso mehr muss gekalkt werden, um den pH-Wert anzuheben. (Shoemaker et al. 1961)

Um nun mithilfe dieses Puffer-pH-Werts die  $KAK_{pot}$  zu ermitteln, wurde für diese Forschungsarbeit eine Formel konzipiert, die wie folgt lautet:

$$KAK_{pot} = KAK_{eff} + 8 * (7,7 - Puffer-pH)$$

Diese Formel wurde nicht auf Grundlage wissenschaftlicher Untersuchungen erstellt, sondern auf Basis von Erfahrungswerten aus Vergleichen von Proben aus demselben Boden, die jedoch mit unterschiedlichen Analysemethoden in Bezug auf die  $KAK_{pot}$  untersucht wurden. Diese Analysemethoden beinhalteten einerseits die Messung der potentiellen Säure mit Titration und andererseits die Messung des Gehaltes an austauschbarem Aluminium, was der potentiellen Säure weitestgehend entspricht. Dieses austauschbare Aluminium kann durch eine weitere Extraktion mit 1 M KCl ermittelt werden.

Bei karbonathaltigen Böden ( $pH > 7$ ) kann es hier zu einer Überschätzung der KAK kommen, da auch das Calcium und Magnesium der Karbonate im Extrakt gelöst wird. Daher wird empfohlen, die basischen Kationen bei Böden mit pH-Werten  $> 7$  mit einem Ammonium Acetat Extrakt, das einen pH-Wert von 8,1 hat, zu ermitteln. Durch das alkalische Extrakt werden die Karbonate nicht gelöst und es führt zu keiner Überschätzung der  $KAK_{eff}$ . (Suarez 1996; Astera und Agricola 2015)

Aus den gesammelten Werten der Mehlich-III-Analyse kann nun eine Düngeempfehlung erstellt werden. Die im Folgenden erläuterte Methodik dazu wurde vom Autor dieser Arbeit speziell für die Forschungsfrage dieser Arbeit entwickelt und basiert aus einer Zusammenführung der Forschungen und Empfehlungen von Bergmann (1993), Sait (2015), Astera und Agricola (2015) und Brunetti (2014). Man beginnt bei dieser Methodik mit dem Ziel, den gewünschten Anteil der basischen Kationen am effektiven Sorptionskomplex zu erreichen. Angefangen mit Ca und Mg wird – je nachdem, welcher von diesen Nährstoffen unter dem gewünschten Anteil liegt – jener als Düngeempfehlung angegeben. Die empfohlene Düngemenge der basischen Kationen ist die Differenz aus dem gewünschten Anteil des jeweiligen Nährstoffs an der  $KAK_{pot}$  und des tatsächlichen Nährstoffgehalts im Boden. Liegt gleichzeitig der pH-Wert ( $H_2O$ ) unter 6,5 oder der potentielle Säureanteil des Sorptionskomplexes über 10 %, wird bei Ca-Mangel  $CaCO_3$ -haltiger Dünger (Kalk) und bei Mg-Mangel  $MgCO_3$ -haltiger Dünger (Dolomit)

empfohlen. Ist dies nicht der Fall, wird entweder Ca- oder  $MgSO_4$  als Dünger empfohlen, um den gewünschten Anteil zu erreichen, da diese im Gegensatz zum Karbonat-Dünger eine pH-neutrale Wirkung hat. Ist das Verhältnis von Kalium zu niedrig, so wird im Regelfall Kaliumsulfat oder Zufuhr von kaliumhaltigem, organischem Dünger empfohlen, z.B. Rindergülle. Die Menge des jeweiligen Düngers ist die Differenz zu dem gewünschten Anteil des jeweiligen Nährstoffs von der  $KAK_{pot}$ . Im Falle von sehr großen Differenzen werden die Düngeempfehlungen auf mehrere Jahre aufgeteilt, um kurzfristige Ungleichgewichte durch hohe Düngermengen zu vermeiden. Bei einem zu geringen Natrium-Anteil wird meist Steinsalz als Dünger empfohlen.

Weitere anzustrebende Nährstoffverhältnisse auf Grundlage der *erweiterten SBM* sind:

Eisen/Mangan = 2 : 1\* (Eisen min.: 50ppm\* max.: 200ppm\*)

Calcium/Bor = 1000 : 1\* (Calcium 60 – 75 % von  $KAK_{pot}$ )

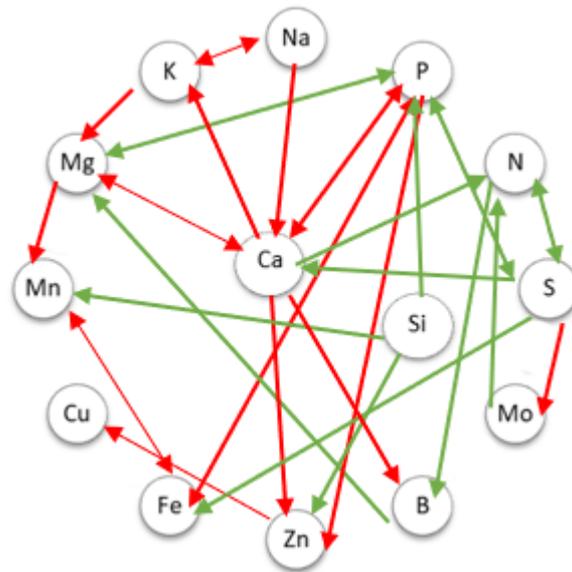
Phosphor/Schwefel = 1 : 1\* (Phosphor min.: 75ppm\* max.: 150ppm\*)

Phosphor/Zink = 10 : 1\*

*\*Die angegebenen Verhältnisse beziehen sich ausschließlich auf Nährstoffe aus der Mehlich-III-Analyse.*

Die Düngemittel, die zur Ausgleichung von den Missverhältnissen dieser Nährstoffe empfohlen werden, variieren je nach Betriebssituation und örtlicher Verfügbarkeit. Letzteres wird auch für die Düngung bestimmter Nährstoffe empfohlen, die keinen gravierenden Mangel aufweisen, aber die wegen des Überschusses eines anderen Nährstoffs für die Pflanze nicht verfügbar sind und deren Düngung nicht nur die eigene, sondern auch die des im Überschuss vorliegenden Nährstoffs verbessert. Mögliche Düngemittel sind z.B. Kieselsäure, Schwefel oder Magnesium bei Phosphorüberschuss und Bor bei Calciumüberschuss.

Zur Visualisierung dieser Beziehungen zwischen Nährstoffen wurde die nachstehende Grafik erstellt, die mit den grünen Pfeilen Möglichkeiten zur Verbesserung von Nährstoffungleichgewichten (rote Pfeile) zeigt (vgl. Abb. 8).



**Abbildung 8:** Nährstoffwechselwirkungen im Boden (rot = Antagonismus, grün = Synergismus)

#### 4.3.2.2 Fraktionierte Analyse

Die Fraktionierte Analyse nach Husz (1974) stellt eine sehr viel umfangreichere und komplexere Analyse als die Mehlich-III-Analyse dar. Dennoch ist das Prinzip in Bezug auf die KAK und die basischen Kationenverhältnisse identisch.

Der Unterschied besteht darin, dass bei der Fraktionierten Analyse gleiche Nährstoffe mit unterschiedlichen Extrakten extrahiert und gemessen werden (vgl. Tab. 3). Die gemessenen Werte werden dann je nach Extrakt einer von vier Fraktionen zugeteilt. Es gibt folgende Fraktionen:

- Wasserlösliche Elemente: Elemente aus der Bodenlösung, die der Pflanzenernährung direkt zur Verfügung stehen
- Austauschbare Elemente: Elemente, die am Sorptionskomplex haften und die KAK bestimmen
- Pflanzenverfügbare Elemente: Summe aus den wasserlöslichen und den austauschbaren Elementen
- Nachlieferbare Elemente: Elemente die durch natürliche Verwitterungsprozesse innerhalb von 10 bis 15 Jahren in eine pflanzenverfügbare Form überführt werden

**Tabelle 3:** Extraktionsmethoden der Fraktionierten Analyse. (Quelle: Unterfrauner 2010)

Parameter	Methode	Beschreibung
<b>KH-Wert</b>	Bodenwassersättigungsextrakt	Extraktionsverhältnis
<b>pH-KCl</b>	1 molare KCl-Lösung	pH-Wert im Neutralsalz
<b>pH-Wasser</b>	Bodenwassersättigungsextrakt	pH-Wert im Wasser
<b>Elektrische Leitfähigkeit (eL)</b>	Bodenwassersättigungsextrakt	Salzgehalt, gelöste Ionen
<b>C<sub>t</sub>, N<sub>t</sub>, S<sub>t</sub></b>	Trockene Verbrennung	Totalgehalte an C, N, S
<b>„Humusgehalt“</b>	C <sub>t</sub> minus C <sub>min</sub> (C <sub>min</sub> aus Carbonat)	C <sub>org</sub> multipliziert mit dem Faktor 1,72
<b>Kalkgehalt</b>	Methode Scheibler	CO <sub>2</sub> ; Berechnung als CaCO <sub>3</sub>
<b>Ca, Mg, K, Na, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, Al, Ba, P, Si, SO<sub>4</sub>, Cl, Fe, Mn, Cu, Zn, Co, Mo, B, As, Ni, Cr, Pb, Cd, Ti, V</b>	Bodenwassersättigungsextrakt	Wasserlösliche Elemente
<b>Ca, Mg, K, Na, NH<sub>4</sub>-N, Al, Ba, P, Si, Fe, Mn, Cu, Zn, Co, Mo, B, As, Ni, Cr, Pb, Cd, Ti, V</b>	LiCl Extrakt	Austauschbare Elemente
<b>Ca, Mg, K, Na, Al, Ba, P, Si, Fe, Mn, Cu, Zn, Co, Mo, B, As, Ni, Cr, Pb, Cd, Ti, V</b>	HCl Extrakt	Nachlieferbare Elemente (Reservefraktion)

Die KAK<sub>eff</sub> wird durch die Aufsummierung der im LiCl-Extrakt extrahierten basischen Kationen ermittelt. Um die KAK<sub>pot</sub> zu ermitteln, wird die potentielle Säure zur KAK<sub>eff</sub> hinzuaddiert, die mittels einer Titration der Bodenprobe gemessen wird.

Praktiziert wird diese Methode einzig von dem privaten Dienstleistungslabor „BoWaSan“ in Graz, die jedoch nur die chemische Analytik der Bodenprobe vornehmen. Die Bodenzustandsbewertung und Düngebedarfsermittlung erfolgt von der TB Unterfrauner GmbH in Wien.

Anders als bei der vorhergehenden Methodik, die mithilfe der Mehlich-III-Analyse stattfand, setzt Unterfrauner mithilfe der Fraktionierten Analyse die Nährstoffe nur ins Verhältnis zum Sorptionskomplex und nicht in ein Verhältnis zu anderen Nährstoffen bei der Düngebedarfsermittlung. Allerdings werden Nährstoffe aus dem Extrakt der nachlieferbaren Elemente bei der Düngeempfehlung berücksichtigt, indem die empfohlene Düngermenge je nach Nachlieferbarkeit eines Nährstoffs über einen gewissen Zeitraum reduziert wird. Es wird also davon ausgegangen, dass unter den ortsspezifischen Bedingungen eine gewisse Menge der nachlieferbaren Elemente durch Verwitterungsprozesse in eine pflanzenverfügbare Form überführt wird. Es resultieren daraus zwei Segmente der Düngeempfehlung: erstens eine kulturspezifische Düngeempfehlung auf Grundlage der pflanzenverfügbaren Elemente, zweitens eine Meliorationsdüngung. Durch letztere sollen über Jahre hinweg mögliche Nährstoffmängel aus der Fraktion der nachlieferbaren Elemente wieder ausgeglichen und gegebenenfalls ein zu hoher Gehalt an potentieller Säure verringert werden.

## 4.4 Zwischenfrucht und Hauptkultur

Im Folgenden werden die agronomischen Eigenschaften der vorhergehenden Zwischenfrucht SolaRigol sowie die der untersuchten Hauptkultur Kartoffel im Detail beschrieben.

### 4.4.1 Zwischenfrucht SolaRigol

Da als Hauptkultur die Kartoffel folgen sollte, wurde die speziell auf den Kartoffelanbau abgestimmte ZF-Mischung SolaRigol der DSV als zu untersuchende ZF gewählt. Die Mischung setzt sich wie folgt zusammen: 48 % Bitterlupine (*Lupinus angustifolius*), 18 % Sommerwicke (*Vicia sativa*), 10 % Rauhafer (*Avena strigosa*), 9 % Ramtillkraut (*Guizotia abyssinica*), 6 % Öllein (*Linum usitatissimum*), 5 % Serradella (*Ornithopus sativus*), 4 % Perserklee (*Trifolium alexandrinum*) (Deutsche Saatveredelung AG 2019).

Die Tiefwurzler Öllein und Bitterlupinen haben in der Mischung die Aufgabe, tiefreichende Wurzelkanäle zu schaffen, die von den Kartoffeln verwendet werden können. Durch die ausgewogene Mischung von Arten mit unterschiedlichen Wurzeltypen soll die Bodenstruktur gut auf die Dammkultur vorbereitet werden, wodurch Erosionen innerhalb der Dämme vermindert werden sollen. Neben der positiven Wirkung auf die physikalische Bodenbeschaffenheit verspricht SolaRigol auch krankheitsreduzierende Wirkungen auf die Folgefrucht Kartoffel. Gemeinsam mit der nematodenreduzierenden Wirkung von Rauhafer sollen speziell die Bitterlupinen zu einer befallmindernden Wirkung der Tabak-Rattle-Viren bei Kartoffeln führen (Deutsche Saatveredelung AG 2019, Asmus et al. 2008). Die Sommerwicken sollen hingegen die Bakterienart *Bacillus subtilis* fördern, die die Pflanze vor Kartoffelschorf verursachenden Pathogenen wie den *Streptomyces scabiei* Bakterien schützt (Deutsche Saatveredelung AG 2018). Außerdem besitzt die Mischung mit den Bitterlupinen, den Sommerwicken, der Serradella und dem Persischen Klee einen hohen Leguminosenanteil, durch dessen Symbiose mit Rhizobien Stickstoff (N) für die Folgekultur fixiert werden kann (Lambert und Loria 1989; Schmiedeknecht et al. 1998; Lütke Entrup 2001; Deutsche Saatveredelung AG 2019; Tonitto et al. 2006).

### 4.4.2 Hauptkultur Kartoffel

Botanisch gehört die Kartoffel zu den Nachtschattengewächsen. Die Kartoffelknollen wachsen unter der Erde, während sich oberirdisch lediglich Kraut mit weißen oder lilafarbenen Blüten bildet. Aus einer Mutterknolle wachsen Ausläufer, die botanisch gesehen Sprossen sind. Aus der Knolle, die als Speicherorgan der Pflanze gilt, wachsen Keime, die sich von der Stärke in den Knollen ernähren. Gesetzt werden die Kartoffeln in der kühlgemäßigten Klimazone Deutschlands im April oder Mai, nach

dem Erreichen einer Bodentemperatur von 8 – 10 °C. Bei der Kartoffel handelt es sich um eine wärmeliebende Kultur. Daher werden die Kartoffeln in Beet- oder Dammkulturen angebaut, in denen sich die Erde schneller erwärmen kann.

Geerntet wird die Kartoffel, wenn die Knolle ausgereift und schalenfest ist. Je nach Kartoffelsorte, Standort und Witterung ist das nach 100 bis 160 Tagen der Fall. Bezüglich des Verwendungszwecks können Kartoffeln in zwei Kategorien eingeteilt werden: Speisekartoffeln und Kartoffeln für die Industrie. Während bei Speisekartoffeln das visuelle Erscheinungsbild und der Kochtyp für den Verbraucher entscheidend sind, sind bei Industriekartoffeln hohe Stärkegehalte und eine Glatte Oberfläche für die industrielle Schälung von Bedeutung.

Die Kartoffeln der Versuchsfläche waren für die Industrie bestimmt, daher lag der Fokus auf der Erzeugung von Kartoffeln mit hohen Stärkegehalten. Durch den humosen Sand und die großstrukturierten Flächen gilt das Gebiet, in dem der Versuchsstandort liegt, als gut geeignet für den Kartoffelanbau (Frahm und Benne 1991, S. 459).

## 4.5 Versuchsaufbau

Der durchgeführte Versuch sollte die Ertragsleistung und Qualitätsmängel von Kartoffeln unter verschiedenen Bedingungen am Versuchsstandort Visselhövede vergleichbar machen. Die Ergebnisse aus Parzellen unterschiedlicher Düngesysteme sowie die Ergebnisse dieser Düngesysteme mit und ohne die vorherige Zwischenfrucht SolaRigol sollten gegenübergestellt werden.

Der Feldversuch wurde als zweifaktorielle, vollständig randomisierte Split-Plot-Anlage mit vier Wiederholungen angelegt (vgl. Abb. 9). Es ergaben sich, wie in der Tabelle in Abbildung 9 zu sehen, vier Varianten mit dem jeweiligen Großparzellenfaktor Zwischenfrucht und dem Kleinparzellenfaktor Düngung. Jede der vier Varianten wurde mit vier Wiederholungen in jeweils 108 m<sup>2</sup> großen Parzellen angebaut.

### Varianten<sup>2</sup>:

- 1 OBM (Düngung nach der OBM ohne vorherige ZF)
- 1b SBM (Düngung nach der SBM ohne vorherige ZF)
- 4 OBM + ZF (Düngung nach der OBM mit vorheriger ZF)
- 4b SBM + ZF (Düngung nach der SBM mit vorheriger ZF)

---

<sup>2</sup> Die hier aufgeführten Varianten stellen lediglich die von dem Autor untersuchten Varianten in einem bereits bestehenden Versuch dar. Von allen weiteren Varianten wurden zwar die Daten miterhoben, aber nicht in dieser Arbeit aufgeführt.

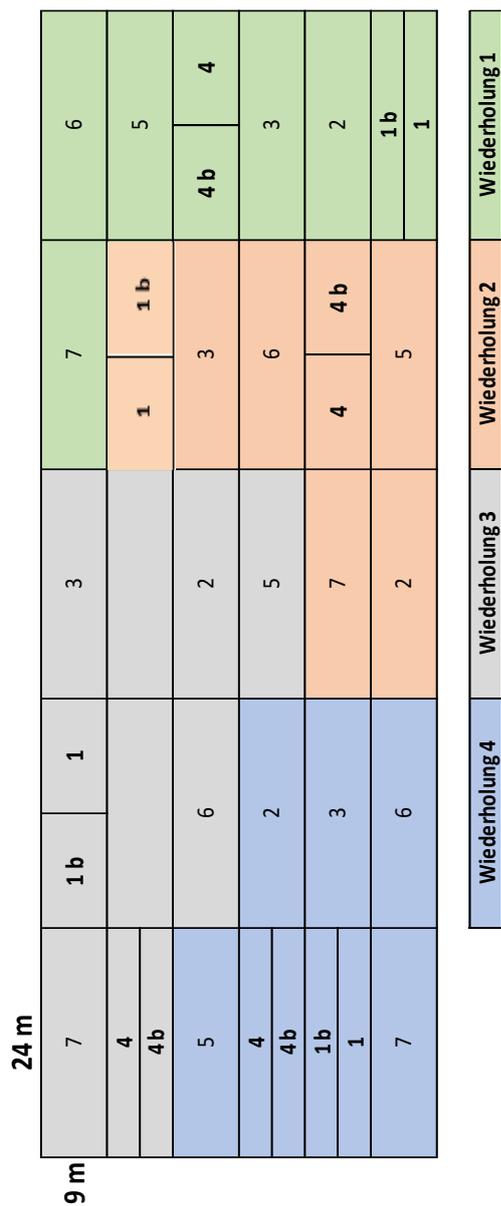


Abbildung 9: Feldversuchsaufbau Visselhövede

## 4.6 Versuchsdurchführung

Vor der ZF 2017 wurde Triticale angebaut. Nach der Ernte erfolgte der Stoppelumbruch mit einem Grubber auf 15 cm Tiefe. Am 21.08.2017 wurde die ZF mit einer Direktsaatdrille in den Parzellen OBM + ZF und SBM + ZF ausgesät. In den Parzellen SBM und OBM wurde keine ZF ausgesät. Es erfolgte lediglich eine Bodenbearbeitung mit einer Gartenfräse im Oktober 2017, um eine Begrünung der Parzellen mit Unkraut zu verhindern (vgl. Anhang 8). Am 24. April 2018 erfolgte das Legen der Kartoffeln der Sorte Benina, die zur Rohvermarktung vorgesehen war.

Die erste Düngung nach der SBM fand am 28.08.2017 (in den Parzellen SBM und SBM + ZF) ab mit 90 kg ha<sup>-1</sup> elementarem Schwefel statt. Dies geschah einerseits auf Grundlage des in der Bodenanalyse

von BP Unterfrauner festgestellten, extremen Schwefelmangels und andererseits aufgrund der Tatsache, dass elementarer Schwefel erst von Schwefelbakterien (*Thiobacillus*) zu der pflanzenverfügbaren Sulfat-Form umgewandelt werden muss und dieser Prozess nur bei Temperaturen über 10 °C stattfindet. Nachdem die ZF eine Wuchshöhe von etwa 10 cm erreicht hatte, erfolgte am 23.10.2017 erneut eine Düngung in den SBM und SBM + ZF Parzellen auf Grundlage von den BP Unterfrauner-Analysen. Wegen des sehr hohen Säureanteils am Austauscher und des zu hohen Calcium-Magnesium-Verhältnisses (vgl. Abb. 6 und 7), wurden 3 t/ha Dolomit-Kalk (60 % Ca / 30 % Mg) und 2 t/ha Dolomit-Kalk (88 % Ca / 5 % Mg) gedüngt. Außerdem wurden aufgrund des niedrigen Schwefel- und Bor-Anteils 680 kg ha<sup>-1</sup> direkt verfügbares Calciumsulfat und 13 kg ha<sup>-1</sup> Borsäure (17,4 % Bor) gedüngt (vgl. Tab. 4).

Die erste Düngung nach der OBM erfolgte im September 2017 in die Zwischenfrucht mit Biogasgülle. Die zweite per Unterfußdüngung beim Legen der Kartoffeln am 24. April und drei weitere während der Vegetation im Juni. Insgesamt entsprechen die gedüngten Mengen weitestgehend den empfohlenen Mengen der Officialberatung. Mit Ausnahme von der Phosphordüngung, bei der vom Landwirt ohne Absprache mit den Versuchsleitern mehr gedüngt wurde als von der Officialberatung empfohlen und der Schwefeldüngung, die von der Officialberatung nicht empfohlen wurde (vgl. Tab. 5 und Anhang 2). Die Dünger nach der OBM wurden auf allen Parzellen ausgebracht, da es Fehler in der Versuchsdurchführung gab. Diese resultierten vorrangig aus der technischen Schwierigkeit, die Parzellen der SBM auszusparen, sowie aus Kommunikationsschwierigkeiten zwischen Versuchsleitern und Landwirten. Daher sind in Tabelle 4 sowohl die Düngungen nach der SBM als auch jene nach der OBM aufgelistet.

**Tabelle 4:** Angewandte Düngermengen in den Parzellen SBM und SBM + ZF zu der Kartoffelkultur auf der Versuchsfläche Visselhövede im Jahr 2017/18

Datum	Dünger	Menge pro ha	Nährstoffe pro Maßnahme in kg ha <sup>-1</sup>									
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Si	MgO	CaO	S	B	Fe	Na
11.08.17	Kalkmergel Söka I	15 dt						714				
22.09.19	Biogasgülle	16,3 m <sup>3</sup>	12,0	41,45	75,12							
29.08.17	Elementar Schwefel	60 kg							54,00			
23.10.17	Dolomit-Kalk (60/30)	30 dt					430	1008				
23.10.17	Dolomit-Kalk (88/5)	1,00 dt					24	492,8				
23.10.17	Calciumsulfat	6,8 dt						224,4	122,4			
23.10.17	Borsäure (17,4)	13 kg								2,3		
24.04.18	40er Kali	1,00dt			39,84							
24.04.18	Kalimagnesia grob	2,50 dt			74,64		25		42,5			
24.04.18	Diammonphosphat	1,00 dt	18,0	105,3								
24.04.18	Schwefels. Ammoniak	1,00 dt	21,0						24			
24.04.18	Kalkstickstoff	2,50 dt	51,2					97,5				
24.04.18	Kornkali + 6 MgO	1,50 dt			72,0		15					
03.05.18	Kieserit	90 kg					22,5		18,00			
03.05.18	Kamer Akra-Kombi*	300 kg				90	51,2	43,65		0,5	14,25	5,4
21.06.18	Kalkammonsalpeter	1,30 dt	35,1									
23.06.18	Bor flüssig (150g/l)	1,00 l								0,15		
23.06.18	Lebosol-Mangan-Nitrat (235 g Mangan pro l)	1,00 l										
<b>Nährstoffe gesamt pro ha</b>			<b>138,9</b>	<b>146,8</b>	<b>261,6</b>	<b>90</b>	<b>568</b>	<b>2580</b>	<b>260,9</b>	<b>2,95</b>	<b>14,25</b>	<b>5,4</b>

\*Zusätzlich zu den genannten Nährstoffen, beinhaltet der Akra-Kombi-Dünger noch weitere Nährstoffe (Kalium, Zink, Kupfer, Mangan, Molybdän, Kobalt, Selen und Chrom) in jeweiligen Konzentrationen < 1 %.

**Tabelle 5:** Angewandte Dünger in den Parzellen OBM und OBM + ZF zu der Kartoffelkultur auf der Versuchsfläche Visselhövede im Jahr 2017/18

Datum	Dünger	Menge pro ha	Nährstoffe pro Maßnahme in kg ha <sup>-1</sup>					
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	S
11.08.17	Kalkmergel Söka I	15,00 dt					714,0	
22.09.17	Biogasgülle	16,3 cbm	12,00	41,45	75,12			
24.04.18	40er Kali	1,00 dt			39,84			
24.04.18	Kalimagnesia grob	2,50 dt			74,64	25,00		42,50
24.04.18	Diammonphosphat	1,00 dt	18,00	105,3				
24.04.18	Schwefels. Ammoniak	1,00 dt	21,00					24,00
24.08.18	Kalkstickstoff	2,50 dt	51,20				97,50	
	Kornkali + 6 MgO	1,50 dt			72,00	15,00		
21.06.18	Kalkammonsalpeter	1,30 dt	35,10					
23.06.18	Bor flüssig (150 g/l)	1,00 l						
23.06.18	Lebosol-Mangan-Nitrat (235 g Mangan pro Liter)	1,00 l						
<b>Nährstoffe gesamt pro ha</b>			<b>138,9</b>	<b>146,8</b>	<b>261,6</b>	<b>40,00</b>	<b>811,5</b>	<b>66,50</b>

Auf Grundlage dessen (der ganzflächigen Düngung nach der OBM) und der Bodenanalysen nach der SBM vom 15.03.2018 fand eine weitere Düngung auf den Kartoffelbeeten der SBM und SBM + ZF Varianten statt. Zum einen wurden hier 90 kg ha<sup>-1</sup> Magnesiumsulfat ausgebracht, um das Calcium-Magnesium-Verhältnis weiter auszubessern, zum anderen wurden 300 kg ha<sup>-1</sup> Karner Akra Kombi ausgebracht (vgl. Tab. 4). Dies ist ein Granulat-Dünger auf Zeolith-Basis, der alle essenziellen Pflanzennährstoffe im gewünschten Verhältnis der SBM bereits beinhaltet. Ziel war es, durch den Dünger die vorhergehende intensive Düngung mit Einzelnährstoffen abzupuffern und das Gleichgewicht schneller zu erreichen. Außerdem beinhaltet der Kombi-Dünger größere Mengen Kieselsäure, die durch Anionenkonkurrenz festgelegten Phosphor wieder verfügbar machen kann (vgl. Tab. 4) (Neu et al. 2017).

Die Ernte der Kartoffelknollen für die Ertragsauswertung erfolgte am 25.09.2018, die verbleibenden Kartoffelknollen wurden am 09.10.2018 geerntet. Näheres zur Vorgehensweise folgt im nächsten Kapitel.

## 4.7 Datenerhebung

Bei der Ernte wurden pro Parzelle 2 x 5 m Proben (jeweils 3,75 m<sup>2</sup>) der beiden inneren Reihen abgeerntet. Um den Randeffect zu minimieren, wurde immer ein Abstand von mindestens 1,5 m vor und hinter den Reihen der Parzelle eingehalten. Anschließend wurde die Frischmasse der Kartoffelproben bestimmt.

Am 09.10.18 wurden die verbleibenden Kartoffeln der jeweiligen Parzellen maschinell auf Schwade gelegt. Anschließend wurden pro Parzelle zwischen 12 und 15 kg abgewogen. Von diesen Proben wurde bonitiert, wieviel Prozent der Kartoffeln eine durch Mängel für die Vermarktung unzureichende Qualität aufwies. Dabei wurde zwischen folgenden Mängelparametern unterschieden:

- grüne Knollen
- missgestaltete Knollen
- schwere Beschädigungen
- Pflanzenkrankheit „Dry Core“
- Wurmfraß / Rhizoctonia
- Eisenfleckigkeit
- starke Pfropfenbildung
- Schwarzbeinigkeit
- Kartoffelschorf

## 5 STATISTISCHE AUSWERTUNG

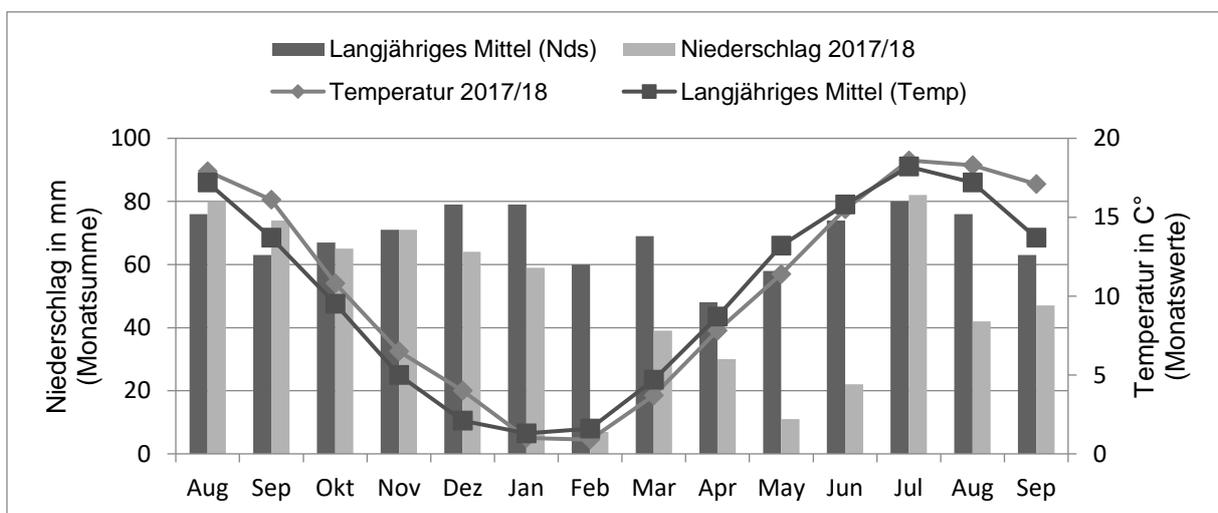
Die Nährstoffgehalte der ZF, die Erträge der Kartoffel sowie ihre Mängelparameter wurden mittels einer quantitativen Inhaltsanalyse bewertet. Dabei wurden die Daten in Bezug auf die Forschungsfrage und die Hypothesen statistisch untersucht, um signifikante Unterschiede zwischen den Nährstoffgehalten der ZF, den Erträgen sowie den Mängelparametern zu ermitteln. Da es sich bei dem Versuch um eine zweifaktorielle Split-Plot-Versuchsanlage handelte, wurde die ZF (mit/ohne) als Großparzellenfaktor und die Düngung (OBM/SBM) als Kleinparzellenfaktor ausgewertet. Mithilfe der mit der Statistik-Software SPSS durchgeführten Varianzanalyse (ANOVA) wurden Ergebnisse ab einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % als signifikant angesehen. Durch die zweifaktorielle ANOVA konnte des Weiteren festgestellt werden, ob signifikante Interaktionseffekte zwischen den Groß- und Kleinparzellenfaktoren vorlagen. Im Falle einer Signifikanz wurde im Anschluss noch ein Post-Hoc-Mehrfachvergleich mit Bonferroni-Varianzgleichheit durchgeführt, um herauszufinden, zwischen

welchen Varianten der signifikante Unterschied besteht (einfaktorieller Vergleich). Die als konservativ geltende Bonferroni-Korrektur wurde angewandt, da es bei multiplen Vergleichen zu einer Alphafehlerkumulierung kommen kann, und diese bei wenigen Paarvergleichen eine sehr hohe Teststärke aufweist. Die gewonnenen Erkenntnisse sind mittels deskriptiver Statistik im nachfolgenden Kapitel dargestellt.

## 6 ERGEBNISSE

### 6.1 Witterungsverlauf

Innerhalb des Untersuchungszeitraums wichen die Witterungsbedingungen teils drastisch von denen des langjährigen Mittels ab. So folgte nach einem niederschlagsreichen Spätsommer 2017 ein sehr niederschlagsarmes Jahr 2018 mit 44 % weniger Niederschlag bis zum Oktober (vgl. Abb. 10). Die Temperaturen waren im Herbst 2017 etwas milder als im langjährigen Mittel. Das Frühjahr 2018 zeigte sich hingegen mit etwas kühleren Temperaturen, die dann im Sommer wieder anstiegen und zu überdurchschnittlich hohen Temperaturen im August und September 2018 führten (vgl. Abb. 10).



**Abbildung 10:** Wetterdaten vom Versuchsstandort Visselhövede: Temperatur (C) und Niederschlag (mm) von August 2017 bis Oktober 2018 im Vergleich mit dem langjährigen Mittel. (Quelle: eigene Darstellung nach Deutscher Wetterdienst 2018)

## 6.2 Nährstoffaufnahme Zwischenfrucht

Nachstehend ist die Nährstoffanalyse der oberirdischen Biomasse der ZF aufgeführt, die im November 2017 bonitiert wurde. In der SBM + ZF Variante wurden zehn Wochen zuvor elementarer Schwefel und zweieinhalb Wochen zuvor Dolomit-Kalk, Calciumsulfat und Borsäure gedüngt. Bei der Bonitur der ZF wurden anschließend signifikant höhere Calcium- und Schwefelgehalte festgestellt. Die Gehalte der anderen untersuchten Elemente unterschieden sich nicht (Tabelle 6).

**Tabelle 6:** Einfaktorielle Darstellung der Nährstoffgehalte in der Trockensubstanz der am 08.11.2017 bonitierten oberirdischen Biomasse der ZF mit den jeweiligen Mittelwerten der Variante OBM + ZF und SBM + ZF

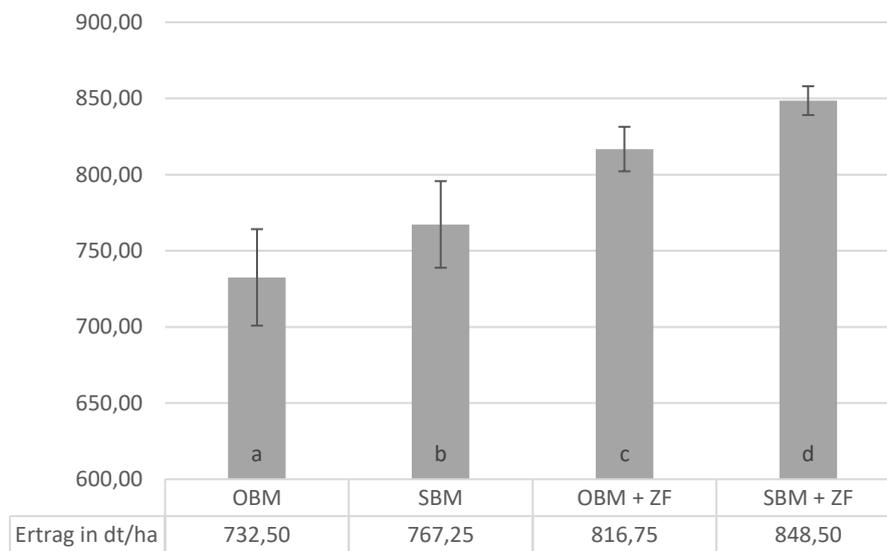
Nährstoff	Einheit	Variante			
		OBM + ZF		SBM + ZF	
		$\bar{x}$	Stabw	$\bar{x}$	Stabw
Stickstoff	mg g <sup>-1</sup>	37,40 a	± 3,00	36,00 a	± 5,70
Calcium	mg g <sup>-1</sup>	9,10 a	± 2,90	13,10 b	± 3,10
Phosphor	mg g <sup>-1</sup>	4,90 a	± 0,60	4,50 a	± 7,30
Kalium	mg g <sup>-1</sup>	41,00 a	± 2,40	40,10 a	± 1,80
Magnesium	mg g <sup>-1</sup>	2,70 a	± 0,20	3,40 a	± 0,70
Natrium	mg g <sup>-1</sup>	1,30 a	± 0,20	1,30 a	± 0,20
Schwefel	mg g <sup>-1</sup>	2,60 a	± 0,30	4,00 b	± 0,50
Bor	µg g <sup>-1</sup>	16,62 a	± 4,75	29,3 a	± 11,32
Mangan	µg g <sup>-1</sup>	67,25 a	± 20,28	73,48 a	± 19,35
Kupfer	µg g <sup>-1</sup>	10,15 a	± 0,77	9,75 a	± 0,73
Zink	µg g <sup>-1</sup>	56,85 a	± 15,05	61,8 a	± 17,48
Eisen	µg g <sup>-1</sup>	192,9 a	± 74,81	242,8 a	± 135,31
Molybdän	µg g <sup>-1</sup>	1,00 a	± 0,42	0,80 a	± 0,28

---

Mittelwerte einer Zeile mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant P < 0,05.

### 6.3 Kartoffelerträge

Die statistische Auswertung in Abbildung 11 zeigt die Kartoffelerträge der verschiedenen Varianten. Diese unterschieden sich zwischen allen Varianten signifikant voneinander ( $p < 0,05$ ). Dabei erreichte die Variante SBM + ZF die höchsten Erträge und die Variante OBM die niedrigsten. Auffallend waren auch die Unterschiede zwischen den Standardabweichungen. Hier fiel auf: Je höher der Ertrag, desto geringer die Varianz.



**Abbildung 11:** Einfaktorielle Darstellung der Kartoffelfrischmasseerträge in dt/ha der vier Varianten OBM, SBM, OBM + ZF und SBM + ZF (Die Ergebnisse sind als Mittelwerte angegeben. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung. Varianten mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % nicht signifikant voneinander.)

Tabelle 7 zeigt die jeweiligen Auswirkungen der Zwischenfrucht und der Düngevarianten auf den Ertrag. Daraus wird ersichtlich, dass die ZF eine signifikante Wirkung ( $p < 0,05$ ) und die Düngung eine höchst signifikante Wirkung auf den Kartoffelertrag hatten ( $p < 0,001$ ). Allerdings zeigt sich kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen den Faktoren Zwischenfrucht und Ertrag ( $p > 0,05$ ).

**Tabelle 7:** Zweifaktorielle statistische Auswertung mit den Mittelwerten der Kartoffelfrischmasseerträge in dt/ha in Bezug auf die Faktoren ZF (ohne ZF (oZF), mit ZF (mZF)), sowie Düngung (OBM und SBM) (Die Signifikanz (Sig) ( $p < 0,05$ ) zeigt die Irrtumswahrscheinlichkeit hinsichtlich der Aussagekraft auf den Ertrag und den Interaktionseffekt zwischen ZF und Düngung.)

Parameter	Einheit	ZF				Düngung			
		oZF		mZF		OBM		SBM	
		$\bar{x}$	Stabw	$\bar{x}$	Stabw	$\bar{x}$	Stabw	$\bar{x}$	Stabw
Ertrag	dt/ha	749,88	58,74	832,63	28,41	774,63	64,14	807,88	58,52
Sig oZF*mZF / Sig OBM*SBM		0,045				0,000			
Sig ZF*Düngung		0,757							

## 6.4 Kartoffelknollenqualität

Im Feldversuch konnten Einflüsse auf die Qualität der Kartoffelknollen festgestellt werden. Jedoch konnten diese Einflüsse bzw. Mängel nach einer statistischen Auswertung keine Signifikanz aufweisen (vgl. Tab. 8). Auffallend waren ungeachtet dessen die teils hohen Mängel aufgrund von dem *Tabak-Rattle-Viren* (TRV), insbesondere bei der Variante SBM – wohingegen die Variante OBM keine hohen Mängel aufgrund von TRV aufwies.

**Tabelle 8:** Einfaktorielle statistische Auswertung der erfassten Mängel (Dry Core; grüne Knollen; missgestaltete Knollen; schwere Beschädigung; Rhizoctonia; Eisenfleckigkeit TRV; Kartoffelschorf) sowie der Mittelwerte aller Mängel in Prozent [%], die an den Kartoffelknollen bonitiert werden konnten

Mängel	Einheit	Variante							
		OBM		SBM		OBM + ZF		SBM + ZF	
		$\bar{x}$	Stabw	$\bar{x}$	Stabw	$\bar{x}$	Stabw	$\bar{x}$	Stabw
Dry Core	%	0,45 a	± 0,90	0 a	0	0 a	0	0 a	0
Grüne Knollen	%	0,45 a	± 0,90	0 a	0	0,76 a	± 0,71	0,48 a	± 0,95
Missgestaltete Knollen	%	1,23 a	± 2,45	1,98 a	± 2,29	2,88 a	± 2,2	3,65 a	± 2,39
Schwere Beschädigung	%	0 a	0	1,05 a	± 2,10	0,88 a	± 1,75	0,13 a	± 0,25
Rhizoctonia	%	2,75 a	± 2,48	4 a	± 1,49	1,4 a	± 1,02	2,28 a	± 3,56
Eisenfleckigkeit TRV	%	1,03 a	± 1,18	11,08 a	± 22,15	8,83 a	± 13,13	6,93 a	± 8,34
Kartoffelschorf	%	0,4 a	± 0,80	0,45 a	± 0,90	0,75 a	± 1,5	0,5 a	± 1,00
<b>Summe der Mängel</b>	%	<b>6,35 a</b>	<b>± 5,58</b>	<b>18,45 a</b>	<b>± 24,04</b>	<b>15,5 a</b>	<b>± 11,24</b>	<b>15,83 a</b>	<b>± 7,89</b>

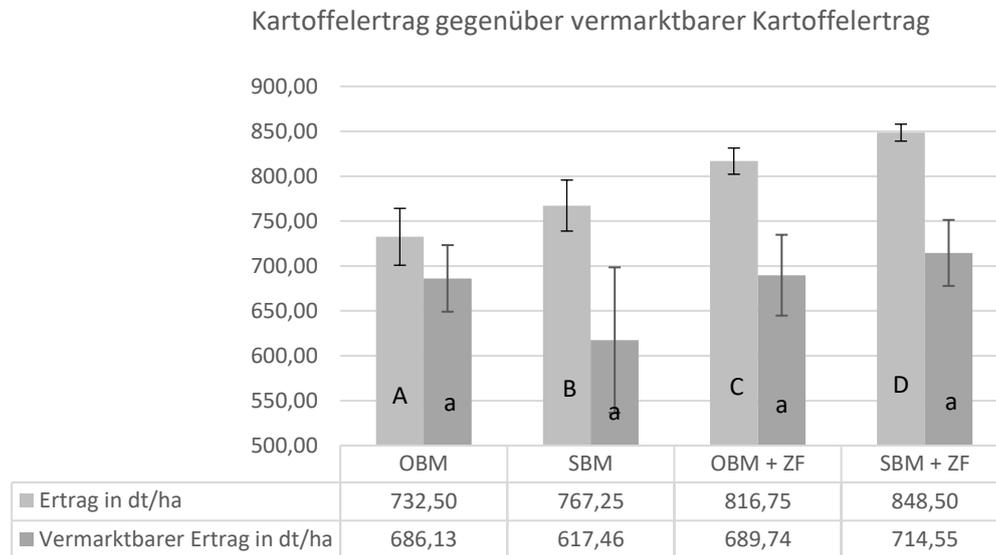
Mittelwerte einer Zeile mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant  $P < 0,05$

In Tabelle 9 sind die erfassten Kartoffelknollenmängel noch mal mit einer zweifaktoriellen Analyse dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass keine signifikanten Interaktionseffekte zwischen der Wirkung der ZF und der Düngung auf die Mängel vorliegen ( $p > 0,05$ ). Außerdem wird ersichtlich, dass weder der Großparzellenfaktor ZF noch der Kleinparzellenfaktor Düngung eine signifikante Auswirkung auf die Kartoffelknollenmängel hatte.

**Tabelle 9:** Zweifaktorielle statistische Auswertung mit den Mittelwerten der erfassten Mängel (Dry Core; grüne Knollen; missgestaltete Knollen; schwere Beschädigung; Rhizoctonia; Eisenfleckigkeit TRV; Kartoffelschorf) sowie den Mittelwerten aller Mängel in Prozent [%], die an den Kartoffelknollen bonitiert werden konnten; in Bezug auf die Faktoren ZF (ohne ZF (oZF), mit ZF (mZF)) und Düngung (OBM und SBM). (Die Signifikanz (Sig) ( $p < 0,05$ ) zeigt die Irrtumswahrscheinlichkeit hinsichtlich der Aussagekraft über Ertrag und Interaktionseffekt zwischen ZF und Düngung.)

Mängel	Einheit	ZF				Düngung			
		oZF $\bar{x}$	Stabw	mZF $\bar{x}$	Stabw	OBM $\bar{x}$	Stabw	SBM $\bar{x}$	Stabw
<b>Dry Core</b>	%	0,25	0,71	0	0	0,25	0,71	0	0
Sig oZF*mZF / Sig OBM*SBM		0,356				0,356			
Sig ZF*Düngung		0,356							
<b>Grüne Knollen</b>	%	0,23	0,64	0,63	0,79	0,61	0,77	0,24	0,67
Sig oZF*mZF / Sig OBM*SBM		0,272				0,396			
Sig ZF*Düngung		0,861							
<b>Missgestaltete Knollen</b>	%	1,6	2,23	3,26	2,39	2,05	2,33	2,81	2,55
Sig oZF*mZF / Sig OBM*SBM		0,161				0,604			
Sig ZF*Düngung		0,993							
<b>Schwere Beschädigung</b>	%	0,53	1,49	0,5	1,22	0,44	1,24	0,59	1,47
Sig oZF*mZF / Sig OBM*SBM		0,972				0,837			
Sig ZF*Düngung		0,246							
<b>Rhizoctonia</b>	%	3,38	2,01	1,84	2,47	2,08	1,9	3,14	2,69
Sig oZF*mZF / Sig OBM*SBM		0,292				0,328			
Sig ZF*Düngung		0,857							
<b>Eisenfleckigkeit TRV</b>	%	6,05	15,48	7,88	10,24	4,93	9,59	9	15,65
Sig oZF*mZF / Sig OBM*SBM		0,823				0,492			
Sig ZF*Düngung		0,325							
<b>Kartoffelschorf</b>	%	0,43	0,79	0,63	1,19	0,58	1,13	0,48	0,88
Sig oZF*mZF / Sig OBM*SBM		0,776				0,796			
Sig ZF*Düngung		0,699							
<b>Summe der Mängel</b>	%	12,4	17,41	15,8	8,99	10,93	9,56	17,14	16,63
Sig oZF*mZF / Sig OBM*SBM		0,665				0,405			
Sig ZF*Düngung		0,429							

Um einen besseren Überblick über die Menge vermarktbarer Kartoffeln zu gewinnen, sind in Abbildung 12 die Kartoffelerträge gegenüber den Kartoffelerträgen abzüglich der prozentual aufsummierten Mängel (= vermarktbarer Kartoffelertrag) dargestellt. Aufgrund der großen Varianz der Mängel weist unter den vermarktbaren Kartoffelerträgen keine der vier Varianten eine statistische Signifikanz auf ( $p > 0,05$ ).



**Abbildung 12:** Kartoffelfrischmasseerträge und vermarktbare Kartoffelfrischmasseerträge (Kartoffelfrischmasseerträge abzüglich der prozentualen Mängel) in dt/ha der vier Varianten OBM, SBM, OBM + ZF und SBM + ZF (Die Ergebnisse sind als Mittelwerte angegeben. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung. Varianten mit gleichen Großbuchstaben unterscheiden sich bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % nicht signifikant voneinander und Varianten mit gleichen Kleinbuchstaben unterscheiden sich ebenfalls bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % nicht signifikant voneinander.)

## 7 DISKUSSION

Ziel dieser Arbeit war es, durch den einjährigen Feldversuch in Visselhövede festzustellen, welche Kurzzeiteffekte eine Düngung nach der SBM und eine Zwischenfrucht auf eine Kultur haben. Festgestellt wurden diese Effekte an den Knollenerträgen und der Knollengesundheit von Kartoffeln. Eine Ermittlung der Knolleninhaltsstoffe blieb aus, da bei der Sortierung der Knollen Fehler begangen wurden, indem die Kartoffeln der einzelnen Varianten nach der Ermittlung der Kartoffelgesundheit teilweise miteinander vermischt wurden. Deshalb wird in der weiteren Diskussion nicht weiter auf die Knolleninhaltsstoffe eingegangen.

Dessen ungeachtet konnten signifikante Effekte auf die Knollenerträge durch die Düngung nach der SBM und eine vorhergehende ZF festgestellt werden (vgl. Abb. 11). Jedoch zeigten sich keine signifikanten Effekte auf die Knollengesundheit (vgl. Tab. 8 und 9). Genauere Ausführungen hinsichtlich der drei einzelnen Hypothesen folgen in den nächsten drei Unterkapiteln. Vorab sei jedoch bereits angemerkt, dass die Ergebnisse aufgrund der drastischen Anzahl von Fehlerquellen in der Versuchsdurchführung, die im vierten Unterkapitel ausgeführt werden, zu hinterfragen sind.

### 7.1 Effekte durch die *Soil Balancing Method*

Die erste Hypothese dieser Forschungsarbeit besagt, dass die Düngung nach der SBM zu höheren Erträgen und einem geringeren Krankheitsbefall von Kartoffelknollen führt als eine Düngung nach der OBM.

In Bezug auf den höheren Ertrag hat sich die Hypothese bewahrheitet, denn der Ertrag der Kartoffelknollen war in der SBM Variante etwa 5 % signifikant höher als in der OBM Variante. Dies bedeutet, dass die Düngung der SBM innerhalb eines Zeitraums von einem Jahr schon einen Mehrertrag einer Hauptkultur bewirken konnte. Damit widersprechen diese Ergebnisse den anderen Studien, in denen nach der SBM gedüngt wurde und keine signifikanten Effekte auf den Ertrag von Kulturen festgestellt werden konnten (Chaganti und Culman 2017; Kopittke und Menzies 2007). Auch die Aussagen von Eckert und McLean (1981) darüber, dass es kein ideales Verhältnis von Nährstoffen bzw. basischen Kationen gebe, sind somit in Frage zu stellen. Denn mit dem vorliegenden Versuch wurden nach SBM Nährstoffe wie Calcium und Magnesium gedüngt, um sie in das nach Eckert und McLean (1981) *nicht existierende* ideale Verhältnis am Sorptionskomplex zu bringen, und es konnten dadurch signifikante Effekte festgestellt werden. Jedoch muss hier beachtet werden, dass in allen vorhergehenden Studien, auf die sich Eckert und McLean (1981), aber auch Kopittke und Menzies (2007) sowie Chaganti und Culman (2017) beziehen, lediglich die Nährstoffe Calcium, Magnesium und in manchen Fällen auch Kalium nach der SBM gedüngt wurden bzw. in ein Gleichgewicht gebracht

wurden. Keine der genannten Studien hat wie in dieser Forschungsarbeit das Ziel gehabt, alle essenziellen Pflanzennährstoffe in ein Gleichgewicht zu bringen bzw. zu düngen, um jenes Gleichgewicht zu verbessern. Daher ist ein Vergleich mit anderen Studien über die SBM nur bedingt möglich. Vielmehr muss davon ausgegangen werden, dass nicht alleinig die Verbesserung der Calcium- und Magnesiumverhältnisse am Austausch zu den höheren Erträgen geführt haben, sondern auch die Schwefeldüngung und das dadurch verbesserte Kalium-Schwefel-Verhältnis, wie es auch schon Moinuddin und Umar (2004) feststellen konnten. Aber auch alle anderen Nährstoffe, die im Rahmen der SBM gedüngt wurden (Bor, Silizium, Phosphor, Eisen, Kupfer, Mangan, Zink, Kobalt), können zu diesem Effekt geführt haben. Wenn man nach der Theorie der SBM konkludiert, sind es die verbesserten Verhältnisse aller dieser Nährstoffe im Boden, die durch die Düngung zu einer verbesserten biologischen Aktivität und verbesserten physikalischen Eigenschaften des Bodens geführt haben. Diese Effekte trugen dann zu einer ausgewogeneren Pflanzenernährung und letztlich zum höheren Pflanzenertrag bei (Albrecht 1975). Um letztere These zu belegen, müssten allerdings zuerst die genannten Effekte überprüft werden, was in dem vorliegenden Feldversuch nicht geschah. Während die erste Hypothese dieser Forschungsarbeit hinsichtlich des höheren Pflanzenertrags verifiziert werden konnte, muss sie in Bezug auf einen geringeren Krankheitsbefall der Kultur mangels signifikanter Ergebnisse (vgl. Tab. 8 und 9) falsifiziert werden. Damit stimmen diese Erkenntnisse mit denen von Schonbeck (2000) überein, der auch keine Effekte auf den Krankheitsbefall einer Kultur feststellen konnte. Obwohl auch bei diesem Vergleich beachtet werden muss, dass Schonbeck (2000) lediglich eine Magnesiumdüngung durchführte, während man in dem vorliegenden Feldversuch anstrebte, alle essentiellen Nährstoffe in ein *Gleichgewicht* zu bringen. Die Annahme, dass durch Bestrebungen mit der SBM, alle essenziellen Nährstoffe in ein Gleichgewicht zu bringen, eine positive Wirkung auf die Pflanzengesundheit realisiert werden kann, entstand nicht nur durch die *Albrecht Papers*, sondern auch durch Forscher wie Werner Bergmann. Denn Bergmann weist in seiner Publikation *Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen* mehrfach darauf hin, dass eine zu einseitige NPK-Düngung in der Agrarindustrie einen Nährstoffantagonismus hervorrufe und dieser die Ursache vieler Pflanzenkrankheiten sei (Bergmann 1993, S. 13–44). Warum bei dem vorliegenden Feldversuch keine signifikanten Effekte auf einen verminderten Krankheitsbefall einer Kultur bzw. der Kartoffelknollen festgestellt wurden, bleibt ungeklärt. Es lässt sich lediglich vermuten, dass eine Reihe von Fehlerquellen, wie sie im Kapitel 7.4 aufgeführt sind, dafür verantwortlich sein könnten. Ohne diese Fehlerquellen liegt die Annahme der ersten Hypothese nahe, dass ein vermindertes Krankheitsaufkommen durch die SBM realisiert werden kann.

## 7.2 Effekte durch die Zwischenfrucht

Die zweite Hypothese besagt, dass der Anbau einer ZF vor der Hauptkultur (Kartoffel) zu höheren Erträgen bzw. Knollenerträgen und einem geringeren Krankheitsbefall der Kartoffelknollen führt als ohne den Anbau der ZF. Hinsichtlich des Effekts der ZF auf den höheren Knollenertrag kann die Hypothese verifiziert werden, denn der Anbau der ZF führte zu einem um 11,5 % signifikant höheren Ertrag als bei der OBM Variante (ohne ZF) und zu einem um 6,45 % signifikant höheren Ertrag als bei der SBM Variante (ohne ZF). Damit decken sich die Ergebnisse mit denen von Sincik et al. 2008; Larkin et al. 2010; Essah et al. 2012; Davis et al. 2010. Ursache für die positive Wirkung auf den Ertrag könnte eine erhöhte Stickstoffbereitstellung durch die ZF sein. Diese These wird durch die Meta-Studie von Tonitto et al. (2006) bestätigt. In ihrer Studie bewiesen sie, dass es bei ZF mit hohem Leguminosenanteil - wie auch in dem vorliegenden Feldversuch - zu einer Stickstofffixierung durch die mit den Leguminosen in Symbiose stehenden Rhizobien kommen kann und dadurch die Erträge der Folgekultur verbessert werden. Des Weiteren stellten Tonitto et al. (2006) fest, dass überschüssiger Stickstoff der Vorfrucht durch ZF vor Auswaschungen geschützt und konserviert werden kann, dies zu einer besseren N-Dynamik führt und dadurch zu höheren Erträgen der nachfolgenden Hauptkultur. Diese Erkenntnis von Tonitto et al. (2006) wird auch in diesem Feldversuch ersichtlich, denn auch hier haben die ZF mit 37,40 mg g<sup>-1</sup> größere Mengen Stickstoff aufgenommen (vgl. Tab. 6). Auch die signifikant höheren Calciumaufnahmen in der Variante SBM + ZF – im Hinblick darauf, dass Calcium erst zweieinhalb Wochen zuvor gedüngt wurde – bestätigen, dass ZF, trotz kühler Temperaturen, ein gutes Nährstoffanreicherungsvermögen haben (vgl. Tab. 6). Jedoch können hier keine abschließenden Erkenntnisse festgehalten werden, da die Biomasse der ZF pro Hektar, und somit die Stickstoffgehalte der ZF pro Hektar, nicht ermittelt wurden. Es kann hier lediglich eine Schätzformel von Freyer (2019) angewendet werden, bei der 1 t TS ha<sup>-1</sup> 10 cm Wuchshöhe entsprechen. Somit wurden bei einem Aufwuchs von etwa 30 cm und einem Stickstoffgehalt der ZF von 37,40 mg g<sup>-1</sup> 111,90 kg ha<sup>-1</sup> Stickstoff in der ZF gebunden. Die Hypothese, dass der Mehrertrag der Kartoffelvarianten mit ZF durch die Konservierung der ZF von Stickstoff verursacht wurde, ist somit durchaus berechtigt. Dennoch darf dies nur als Richtwert angesehen werden. Um genauere Schlüsse zu ziehen, sollten direkte Messungen durchgeführt werden, bei denen auch die Stickstofffixierleistung der ZF und die Nährstoffgehalte bzw. -aufnahme der Kartoffeln ermittelt werden.

Eine andere Theorie für den Mehrertrag von Kartoffelknollen durch ZF stellen Davis et al. (2010). Sie erkannten, dass die Verbesserung des Knollenertrags mit einer Suppression von Pflanzenpathogenen durch die ZF zu begründen ist, da sie auch eine verbesserte Knollengesundheit feststellen konnten. Diese Schlussfolgerung kann aus dem vorliegenden Feldversuch nicht getroffen werden, da keine signifikanten Effekte durch die ZF auf die Knollengesundheit bzw. Knollenmängel festgestellt werden

konnten (vgl. Tab. 8 und 9). Vielmehr sind die zu erkennenden Tendenzen hinsichtlich der Wirkung der ZF auf die Knollengesundheit nicht positiv. So führte die Variante OBM (ohne ZF) zu einer vergleichsweise geringeren Anzahl an Knollenmängeln mit einer verhältnismäßig geringen Varianz, was sich auch in dem vergleichsweise hohen Ertrag vermarktbarer Kartoffeln widerspiegelt (vgl. Tab. 8, Abb. 12). Ausschlaggebend hierfür ist der geringe Befall des von Nematoden übertragenen TRV (vgl. Tab. 8). Dies deutet darauf hin, dass einerseits die in der Variante OBM durchgeführte Schwarzbrache über den Winter wie bei Thomas (1978) eine nematodenreduzierende Wirkung hatte und andererseits auch die Düngung nach der OBM eine nematodenreduzierende Wirkung hervorgerufen hat bzw. die ZF oder die Düngung nach der SBM die Nematoden und damit den TRV gefördert haben. Jedoch sind dies lediglich Vermutungen, da die Ergebnisse nicht signifikant sind. Letztlich muss berücksichtigt werden, dass der gesamte Schaden an den Kartoffeln durchaus als gering einzustufen ist. Daher waren diesbezüglich von der ZF keine nennenswerten Effekte zu erwarten. Erfahrungsgemäß erreicht man durch den Anbau von ZF bei einem generell höheren Krankheitsniveau eine deutlich krankheitsmindernde Wirkung.

### **7.3 Effekte durch die *Soil Balancing Method* mit Zwischenfrucht**

Die dritte Hypothese besagt, dass die Erträge und die Gesundheit der Kartoffelknollen durch das Zusammenspiel von SBM und ZF nochmals verbessert werden (im Vergleich zu der ersten und zweiten Hypothese). Hinsichtlich des höheren Kartoffelknollenertrags bewahrheitet sich die Hypothese, denn dieser war mit einer auffallend geringen Varianz der Höchste der vier Varianten (vgl. Abb. 11). Ausschlaggebend hierfür könnte sein, dass die ZF den im Rahmen der SBM applizierten Dünger schneller in eine pflanzenverfügbare Form gebracht hat bzw., dass die gewünschten Veränderungen der Nährstoffverhältnisse dank einer Dynamisierung der Nährstoffe im Boden durch die ZF schneller erreicht wurden. Dabei stützt sich diese Annahme auf die im März 2018 analysierten Bodenproben, bei denen die SBM + ZF Variante mit 17,4 % den niedrigsten potentiellen Säureanteil am Sorptionskomplex aufzeigte, was bedeutet, dass das gedüngte Calcium und Magnesium bereits Säure vom Sorptionskomplex verdrängt haben (vgl. Anhang 3 bis 7). Dennoch müssen die Ergebnisse aufgrund der Fehlerquellen, die in Kapitel 7.4 aufgeführt sind, wie bereits angesprochen mit Vorsicht betrachtet werden.

Ungeachtet dessen fällt bei der Betrachtung der Ergebnisse aus Abbildung 11 sowie der hohen Irrtumswahrscheinlichkeit bezüglich möglicher Interaktionseffekte zwischen Düngung und ZF in Tabelle 7 auf, dass der Ertrag sich durch die SBM, weitestgehend unabhängig von Schwarzbrache und ZF, um etwa 4,5 % verbesserte. Auf der anderen Seite gilt dies auch für die Beeinflussung des Ertrags durch die ZF; hier steigerte sich der Ertrag durch die ZF weitestgehend unabhängig von der

Düngungsvariante um etwa 11 %. Dies bedeutet, dass für die Faktoren Düngung und ZF jeweils additive Effekte aufgetreten sind (vgl. Abb. 11, Tab. 7).

Dies zeigt zwar, dass die ZF objektiv einen größeren Effekt auf den Kartoffelknollenertrag hatte als die SBM – jedoch zeigt die statistische Analyse auch, dass die Auswirkung der Düngungsvariante der SBM eine geringere Irrtumswahrscheinlichkeit aufweist (vgl. Tab. 7).

## **7.4 Fehlerquellen in dem Feldversuch**

Innerhalb der Versuchsanlegung und -durchführung kam es immer wieder zu Fehlern, die erstens durchaus zu einer Beeinflussung und dementsprechend geringeren Belastbarkeit der gewonnenen Ergebnisse geführt haben können, zweitens die teils hohen Varianzen der Knollenmängel innerhalb der Varianten erklären können und drittens Kritik am ganzen Versuchsaufbau zulassen. Im Folgenden werden diese Fehlerquellen jeweils kurz erläutert.

### **7.4.1 Fehlerquelle 1: Heterogene Versuchsfläche**

Der Schlag, auf dem der Versuch durchgeführt wurde, wurde zwar vom Landwirt und Besitzer des Schlags als homogen eingeschätzt, jedoch konnten bei Probennahme und Ernte der Knollen sowohl zwischen als auch innerhalb der Wiederholungen visuelle und haptische Unterschiede in der Textur, Färbung und Feuchtigkeit festgestellt werden. Es lässt sich vermuten, dass die Unterschiede auf Jahre oder Jahrzehnte zurückliegenden, sich unterscheidenden Nutzungsarten innerhalb der Versuchsfläche (z.B. Grünland/Ackerland) beruhen. Gegen diese Hypothese der Heterogenität der Versuchsfläche sprechen allerdings die geringen Varianzen von den Ertragsergebnissen der Kartoffelknollen (vgl. Abb. 11). Dennoch schränkt dies die statistische Absicherbarkeit weiter ein.

### **7.4.2 Fehlerquelle 2: Intensive Bodenbearbeitung**

Bei der Variante OBM wurde keine ZF angebaut, sondern es erfolgte eine sogenannte *Schwarzbrache*. Es wurde also bis zum Setzen der Kartoffeln nichts angebaut. Da es im Vorjahr bei dieser Variante zu einem erhöhten Aufkommen von Unkraut kam, wurden die Parzellen ohne ZF im Winter 2018 mit einer Gartenfräse bearbeitet, um eine Verunkrautung bzw. eine Winterbegrünung zu verhindern (vgl. Anhang 8). Durch diese intensive Bodenbearbeitung könnte es jedoch zu einer erhöhten Mineralisierung gekommen sein, was die gewonnenen Ergebnisse zusätzlich verfälscht haben könnte (Kristensen et al. 2003).

Weiter erfolgte der Umbruch der ZF zur Hauptfrucht durch eine intensive Bodenbearbeitung mit Grubber, Separierer und Beetfräse (vgl. Kapitel 4.7). Daher kann davon ausgegangen werden, dass eine vermeintlich durch ZF entwickelte biologische Bodengare durch die intensive Bodenbearbeitung weitestgehend wieder zerstört wurde. Daher kamen positive Effekte der ZF auf die Folgekultur Kartoffel in diesem Feldversuch vermutlich weniger eklatant zur Geltung. Jedoch sind dies nur Vermutungen, da direkte Messwerte nicht vorhanden sind. Eine  $N_{\min}$ -Untersuchung wäre hier hilfreich gewesen, um die Intensität der Auswirkung von der Bodenbearbeitung auf die Mineralisierung besser beurteilen zu können.

### **7.4.3 Fehlerquelle 3: Mangelhafte Bonitur**

Um den Knollenertrag zu erfassen, wurden 2 x 5 Meter pro Parzelle der Kartoffelbeete per Handarbeit geerntet (vgl. Kapitel 4.6). Dabei ist es nicht ausgeschlossen, dass einige Knollen, die sehr tief in der Erde waren, nicht ausgegraben wurden. Auch bei der anschließenden Ernte, um die Mängel der Kartoffelknollen zu überprüfen, wurde teils suboptimal vorgegangen. Hier wurden pro Parzelle zwischen 12 und 15 kg Kartoffelknollen gelesen, nachdem diese mit einer Maschine auf einen Schwad gelegt wurden (vgl. Kapitel 4.6 und Anhang 9). Dadurch wurden auch die Kartoffelknollen der äußeren Beetreihen der Parzellen mitbonitiert, die aufgrund von Randeffekten zu fehlerhaften Ergebnissen geführt haben können.

### **7.4.4 Fehlerquelle 4: Späte und falsche Düngung**

Die ersten Düngungen für die SBM wurden erst Ende Oktober 2017 durchgeführt (vgl. Kapitel 4.6). Durch die späte Düngung ist davon auszugehen, dass die Effekte in den Folgejahren (2019/20) größer werden. Um schon im Jahr 2018 bessere Ergebnisse zu erlangen, wäre hier eine Düngung bereits im August, zur Aussaat der ZF, notwendig gewesen; dann hätte die ZF den Dünger besser aufnehmen und dynamisieren können.

Außerdem wurde die Düngung nach der OBM aufgrund von Fehlern im Versuchsablauf und einer erschwerten technischen Umsetzung auch in den Parzellen der SBM durchgeführt. Dies führte zu einer vermutlich geringeren und schlechteren Differenzierung der Düngung und der zu erwartenden Effekte.

### **7.4.5 Fehlerquelle 5: Einjähriger Untersuchungszeitraum**

Die Effekte der ZF und der SBM auf den Kartoffelknollenertrag und die Kartoffelknollenmängel wurden nur über einen Zeitraum von einem Jahr untersucht, wodurch spezielle Jahreseffekte, wie die extreme Trockenheit im Zeitraum Februar bis Juni 2018, die Aussagekraft der Ergebnisse mindern (vgl. Abb. 10).

Um die annualen und lokalen Effekte ausgleichen zu können, sollte eine Untersuchung dieser Art über mindestens drei Jahre an vier Standorten parallel durchgeführt werden.

## 8 SCHLUSSFOLGERUNG

Um einen Bogen zur Einleitung zu schlagen, sollte nun die Forschungsfrage dieser Arbeit noch einmal vor dem Hintergrund aller bisher ausgeführten Aspekte betrachtet und müsste bestenfalls abschließend beantwortet werden: *Können die TM-Erträge, die Inhaltsstoffe und die Gesundheit einer Kultur durch eine vorhergehende Zwischenfrucht mit einer Düngung nach der SBM positiv beeinflusst werden?*

Nach der Betrachtung des Versuchsablaufs, der Ergebnisse und der durchgeführten Diskussion wird jedoch klar: Eine vollständige Beantwortung ist auch abschließend nicht möglich. Über die Inhaltsstoffe kann aufgrund eines Sortierungsfehlers gar keine Aussage getroffen werden. Über die Gesundheit der Kultur – in diesem Fall der Kartoffel – kann aufgrund nicht-signifikanter Ergebnisse ebenso wenig ausgesagt werden. Lediglich hinsichtlich der Erträge wurden signifikante Ergebnisse verzeichnet: Zwischenfrucht und Düngung nach der SBM haben zu signifikant höheren Erträgen geführt. Doch auch diese Ergebnisse müssen hinsichtlich der erläuterten Fehlerquellen limitiert werden. Aufgrund der großen Anzahl an Fehlerquellen in Versuchsaufbau und -durchführung ist es also letztlich nicht möglich, fundierte Aussagen über die SBM bzw. über die SBM im Zusammenspiel mit der ZF zu treffen.

Dennoch sollte der Nutzen dieser Forschungsarbeit nicht negiert werden. Zum einen kann sie einem besseren Verständnis der Theorien und ihrer Praxisanwendungen dienen. Zum anderen kann sie für die Konzeption weiterer Forschungsarbeiten zu dieser Thematik von Nutzen sein. Denn trotz der vielen Fehlerquellen konnten dennoch die genannten positiven Tendenzen durch die SBM und die ZF, wie z.B. die signifikant höheren Nährstoffgehalte der ZF, die höheren Kartoffelknollenerträge und die (wenn auch nicht signifikant) höheren vermarktbareren Kartoffelerträge, erkannt werden. Es gilt, diese Tendenzen in künftigen Forschungsarbeiten zu untersuchen und durch die Vermeidung der hier geschehenen Fehler aussagekräftig zu belegen/widerlegen. Aus diesem Grund ist es aus wissenschaftlicher Sicht dringend erforderlich, weitere Forschungsarbeiten zu dieser Thematik zu konstituieren. Jedoch sollte dies dann über einen Zeitraum von mindestens vier Jahren und mit einem besseren Versuchsaufbau stattfinden, um Umweltfaktoren weitestgehend auszuschließen. Außerdem sollte die Versuchsdurchführung verbessert werden, indem man besonders auf die hier geschehenen Fehler achtet. Des Weiteren sollten möglichst viele Daten der Bodenbiologie, der Bodenphysiologie und der Phytopathologie erhoben werden, um komplexe Zusammenhänge aufzuzeigen. Darüber

hinaus sollten auch die Mineralstoffgehalte der erzeugten Lebensmittel sowie das Nitratauswaschungsrisiko untersucht werden, um Rückschlüsse auf die menschliche Ernährung und den Gewässerschutz zu ermöglichen.

Weitere Forschungsarbeiten sind aber nicht nur aus wissenschaftlicher Sicht von Nöten, sondern auch aus landwirtschaftlicher und gesellschaftlicher Sicht. Denn die Problemstellungen dieser Forschungsarbeit bleiben ebenso ungelöst wie die Forschungsfrage und die Hypothesen. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Problemstellung – also die Auswirkungen von intensiver Landwirtschaft und der damit einhergehenden fehlgeleiteten Düngepraxis auf Gewässerschutz, Pflanzenkrankheiten, Mineralstoffarmut von Lebensmitteln etc. – weiter verschärfen wird. Deshalb ist es unabdingbar, dass wissenschaftlich fundierte Alternativen zu der jetzigen allgemeinen Düngepraxis der OBM gefunden werden, die weniger negative Auswirkungen auf die Umwelt und die Gesellschaft haben, aber gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit für die Landwirte erhalten bleibt.

Letztlich sollte für weitere Forschungsarbeiten zu nachhaltigeren Anbau-, Bewirtschaftungs- und Düngungsmethoden vor allem der in dieser Arbeit dargelegte innovative Ansatz der *erweiterten SBM* richtungsweisend sein, d.h. Denkanstoß, Ausblick und Anreiz zur Weiterarbeit darstellen. Im Gegensatz zu früheren Arbeiten zur SBM, in denen lediglich einige wenige der essentiellen Pflanzennährstoffe betrachtet wurden, stellt die Erweiterung hin zur Erforschung des Verhältnisses **aller** essentiellen Pflanzennährstoffe eine Innovation dar. Die Umsetzung dieses innovativen, erweiterten Ansatzes kann ein **tatsächliches** Nährstoffgleichgewicht im Boden erzeugen, welches durch das Ignorieren eines Teils der Nährstoffe schlicht nicht erzielt werden kann.

## 9 ABSTRACT UND KURZZUSAMMENFASSUNG

### 9.1 Abstract

The common approach of providing fertilizer recommendations and fertilizing agricultural sites in Germany is based on the *Sufficiency Level of Available Nutrients* (SLAN). More and more experts believe that this approach is responsible for many negative environmental impacts. A contrary approach is therefore moving into the centre of interest among farmers and private consultants: the so-called *Basic Cation Saturation Ratio* (BCSR) approach. The BCSR approach postulates maintaining an ideal ratio of basic cation (Ca, Mg, K and Na) saturation on the soil exchange sites in order to maximize crop yields and health. Nevertheless, due to lacking and poor research this theory could not be validated so far. Many scientists therefore believe that the positive experience of farmers with the BCSR is only based on a more sustainable way of farming with cover crops.

In order to test this hypothesis, an *on farm* research experiment was conducted. The potato tuber yield and health have been investigated in four different variants: SLAN, SLAN with cover crops, BCSR, BCSR with cover crops. In addition, the BCSR approach in this experiment has been extended compared to other experiments. Instead of analysing only basic cations, all plant essential nutrients have been balanced.

The experiment started in August 2017 with the seeding of the cover crop and ended in October 2018 with the potato tuber harvest. Results showed a significant effect on higher potato tuber yield with increasing yields in the following order of variants: SLAN – BCSR – SLAN with cover crop – BCSR with cover crop. However, there was no significant effect on potato tuber health, which might be caused by a disputable research conduction. More research must to be done in order to make scientifically founded statements.

## 9.2 Kurzzusammenfassung

Die in Deutschland nach der Officialberatungsmethode durchgeführte Düngepraxis wird seit geraumer Zeit vermehrt kritisiert, da die Vermutung nahe liegt, dass diese an verheerenden Umwelteinflüssen und dem Verlust fruchtbarer Böden Mitschuld trägt. Grund für diese Kritik sind teils exzessive Düngungen von Nährstoffen wie Phosphor und Kalium sowie mutmaßliche Fehleinschätzungen bei der Düngebedarfsermittlung. Hingegen gewinnt eine alternative Dünge­methode unter Praktikern und Beratern einen stetig steigenden Zuspruch. Dabei handelt es sich um ein Düngebedarfsermittlungssystem, bei dem die basischen Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium ein definiertes Gleichgewicht erreichen müssen. Dieses System, auch *Soil Balancing Method* oder *BCSR* genannt, gilt in der Wissenschaft als sehr umstritten, da bislang nur wenig signifikante Effekte der Methode festgestellt werden konnten. Die von Praktikern berichteten positiven Effekte der *Soil Balancing Method* auf Pflanzengesundheit und Ertrag werden häufig mit einhergehenden bodenfruchtbarkeitsfördernden Maßnahmen der Landwirte begründet - wie zum Beispiel dem Anbau von Zwischenfrüchten.

Um diese Hypothese zu überprüfen, wurde ein *on farm* Feldversuch in Norddeutschland angelegt. Untersucht wurde die Beeinflussung von Kartoffelknollenerträgen und -gesundheit durch eine Düngung nach der Officialberatungsmethode im Gegensatz zu einer Düngung nach der *Soil Balancing Method*, jeweils mit und ohne Zwischenfruchtanbau. Anders als in bisherigen wissenschaftlichen Untersuchungen, in denen nur die basischen Kationen untersucht wurden, wurden bei der *Soil Balancing Method* in diesem Feldversuch alle essentiellen Nährstoffe in ein Verhältnis gebracht.

Der Feldversuch startete im August 2017 mit der Zwischenfruchtaussaat und endet im Oktober 2018 mit der Ernte der im Frühjahr angebauten Kartoffeln. Bei den Kartoffelknollenerträgen konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden, mit steigenden Erträgen in folgender Reihenfolge der Varianten: Officialberatungsmethode – *Soil Balancing Method* – Officialberatungsmethode mit Zwischenfrucht – *Soil Balancing Method* mit Zwischenfrucht. Hingegen konnten bei der statistischen Untersuchung der Kartoffelknollengesundheit keine signifikanten Effekte festgestellt werden. Letztlich kann eine wissenschaftlich fundierte Aussage über die Wirkung der *Soil Balancing Method* nicht getroffen werden, da die Versuchsdurchführung durch einige Fehlerquellen beeinflusst wurde. Um diese tätigen zu können, müssen weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

## 10 LITERATURVERZEICHNIS

Albrecht, W. A. (1975): The Albrecht Papers. Vol. I. Albrecht's Foundation Concepts. Kansas City, Missouri USA: Acres.

Albrecht, William A. (1967): More evidence of the importance of the element calcium in the soil in connection with (cationic) balanced plant nutrition, irrespective of humid or arid soils [by] Wm. A. Albrecht. Soil reaction (pH) and balanced plant nutrition. Unter Mitarbeit von F. of the A.O. UN. Online verfügbar unter <http://soilandhealth.org/wp-content/uploads/01aglibrary/010143albpap/pH.balanced%20nutrition/pH.bal.nut.htm>, zuletzt geprüft am 19.02.18.

Amelung, Wulf; Blume, Hans-Peter; Fleige, Heiner; Horn, Rainer; Kandeler, Ellen; Kögel-Knabner, Ingrid et al. (2018a): Chemische Eigenschaften und Prozesse. In: Wulf Amelung, Hans-Peter Blume, Heiner Fleige, Rainer Horn, Ellen Kandeler, Ingrid Kögel-Knabner et al. (Hg.): Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 151–211. Online verfügbar unter [https://doi.org/10.1007/978-3-662-55871-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-662-55871-3_5).

Amelung, Wulf; Blume, Hans-Peter; Fleige, Heiner; Horn, Rainer; Kandeler, Ellen; Kögel-Knabner, Ingrid et al. (2018b): Physikalische Eigenschaften und Prozesse. In: Wulf Amelung, Hans-Peter Blume, Heiner Fleige, Rainer Horn, Ellen Kandeler, Ingrid Kögel-Knabner et al. (Hg.): Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 213–340. Online verfügbar unter [https://doi.org/10.1007/978-3-662-55871-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-662-55871-3_6).

Amézketa, E. (1999): Soil Aggregate Stability. A Review. In: *Journal of Sustainable Agriculture* 14 (2-3), S. 83–151. DOI: 10.1300/J064v14n02\_08.

Asmus, Guilherme L.; Inomoto, Mário M.; Cargnin, Roseane A. (2008): Cover crops for reniform nematode suppression in cotton: greenhouse and field evaluations. In: *Trop. plant pathol.* 33 (2), S. 85–89. DOI: 10.1590/S1982-56762008000200001.

Astera, Michael; Agricola (2015): The ideal soil v2.0. A handbook for the new agriculture. [United States]: Soilminerals.com.

Baumeister, Walter; Ernst, Wilfried (1978): Mineralstoffe und Pflanzenwachstum. 3., neubearb. u. erw. Aufl. Stuttgart, New York: Fischer.

Baumgärtel, G.; Früchtenicht, K.; Hege, U.; Heyn, J.; Orlovius, K. (1999): Kalium-Düngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. VDLUFA-Standpunkt. Hg. v. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA). Darmstadt. Online verfügbar unter <http://www.vdlufa.de/Dokumente/Standpunkte/0-8-kalium.pdf>, zuletzt geprüft am 09.02.2018.

Baumgarten A. (2006): Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungen in der Landwirtschaft. 6. Auflage.

Bear, Firman E.; Prince, A. L.; Malcolm, John L. (1945): Potassium needs of New Jersey soils. Unter Mitarbeit von of the UN FAO.

Bergmann, Werner (Hg.) (1993): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Entstehung, visuelle und analytische Diagnose ; mit 128 Tabellen. 3., erw. Aufl. Jena: Fischer.

Black, C. A. (1993): Soil fertility evaluation and control. Unter Mitarbeit von F. of the A.O. UN (SSSA Special Publication).

Blume, Hans-Peter (Hg.) (2000): Handbuch der Bodenuntersuchung. Terminologie, Verfahrensvorschriften und Datenblätter ; physikalische, chemische, biologische Untersuchungsverfahren ; gesetzliche Regelwerke. P und K, CAL-löslich, A 6.2.1.1. Deutsches Institut für Normung. Weinheim, Berlin, Wien, Zürich: Wiley-VCH; Beuth.

Bronick, C. J.; Lal, R. (2005): Soil structure and management. A review. In: *Geoderma* 124 (1-2), S. 3–22. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.03.005.

Brunetti, Jerry (2014): The farm as ecosystem. Tapping nature's reservoir -- biology, geology, diversity. Greeley, Colorado: Acres U.S.A.

Chaganti, Vijayasatya N.; Culman, Steve W. (2017): Historical Perspective of Soil Balancing Theory and Identifying Knowledge Gaps. A Review. In: *cftm* 3 (1), S. 0. DOI: 10.2134/cftm2016.10.0072.

Davis, James R.; Huisman, Oen C.; Everson, Dale O.; Nolte, Philip; Sorensen, Leland H.; Schneider, Ann T. (2010): Ecological Relationships of Verticillium Wilt Suppression of Potato by Green Manures. In: *Am. J. Pot Res* 87 (4), S. 315–326. DOI: 10.1007/s12230-010-9135-6.

Deutsche Saatveredelung AG (2018): Sommer-/Futter-/Saatwicke (*Vicia sativa* L.). TerraLife Artenkompass. Hg. v. Deutsche Saatveredelung AG, zuletzt geprüft am 12.11.2018.

Deutsche Saatveredelung AG (2019): TerraLife - SolaRigol Produktblatt. Online verfügbar unter [https://www.dsv-saaten.de/pdflink/de/509d76c7-45b2-11e5-b356-d43d7eecef5e/0834d880-1970-11e4-8358-001d92f6d9d0.pdf/20190105\\_TerraLife\\_sup\\_%C2%AE\\_sup\\_-\\_SolaRigol.pdf](https://www.dsv-saaten.de/pdflink/de/509d76c7-45b2-11e5-b356-d43d7eecef5e/0834d880-1970-11e4-8358-001d92f6d9d0.pdf/20190105_TerraLife_sup_%C2%AE_sup_-_SolaRigol.pdf), zuletzt geprüft am 05.01.2019.

Deutscher Wetterdienst (2018): Niederschlag: langjährige Mittelwerte 1981-2010 (Bezugsstandort). Online verfügbar unter [www.dwd.de](http://www.dwd.de), zuletzt geprüft am 01.11.2018.

Eckert, D. J. (1987): Soil test interpretations. Basic cation saturation ratios and sufficiency levels. Unter Mitarbeit von F. of the A.O. UN (SSSA special publication series (USA)).

- Eckert, D. J.; McLean, E. O. (1981): Basic Cation Saturation Ratios as a Basis for Fertilizing and Liming Agronomic Crops. I. Growth Chamber Studies<sup>1</sup>. In: *Agronomy Journal* 73 (5), S. 795–799. DOI: 10.2134/agronj1981.00021962007300050012x.
- Eichler, Bettina (1997): Phosphataufnahme von Zwischenfrüchten und deren Beitrag zur Nutzung akkumulierter Phosphate im Boden unter Low-Input-Bedingungen.
- Eisenhauer, Nico; Beßler, Holger; Engels, Christof; Gleixner, Gerd; Habekost, Maike; Milcu, Alexandru et al. (2010): Plant diversity effects on soil microorganisms support the singular hypothesis. In: *Ecology* 91 (2), S. 485–496.
- Essah, Samuel Y.C.; Delgado, Jorge A.; Dillon, Merlin; Sparks, Richard (2012): Cover Crops Can Improve Potato Tuber Yield and Quality. In: *HortTechnology*, S. 185–190. DOI: 10.21273/HORTTECH.22.2.185.
- Finck, Arnold (2007): Pflanzenernährung und Düngung in Stichworten. 6. voll. überarb. Aufl. Berlin: Borntraeger (Hirt's Stichwortbücher).
- Fox, R. H.; Piekielek, W. P. (2008): Soil magnesium level, corn (*Zea mays* L.) yield, and magnesium uptake. In: *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 15 (2), S. 109–123. DOI: 10.1080/00103628409367459.
- Frahm, Bodo; Benne, Lüder (Hg.) (1991): BGJ-Agrarwirtschaft. 59 Tabellen. 4., Neubearb. Aufl. Stuttgart: Ulmer.
- Freyer, B. (2019): Schätzformel für den Biomasseaufwuchs und Stickstoffgehalt von Zwischenfrüchten. Wien, 03.06.2019. mündlich an L. Kohl.
- Fricke, E.; Baumgärtel, G.; Severin, K. (1996): N- und K-Düngung mit Kartoffelfruchtwasser: Erträge und Nährstoffausnutzung bei Zwischenfrüchten und Getreide. Darmstadt (VDLUFA-Schriftenreihe, 44).
- Gardner, J.; Caswell-Chen, E. P. (1994): *Raphanus sativus*, *Sinapis alba*, and *Fagopyrum esculentum* as hosts to *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne javanica*, and *Plasmodiophora brassicae*. In: *Journal of nematology* 26 (4S), S. 756.
- Giddens, Joel; Toth, Stephen J. (1951): Growth and Nutrient Uptake of Ladino Clover Grown on Red and Yellow and Grey-Brown Podzolic Soils Containing Varying Ratios of Cations<sup>1</sup>. In: *Agronomy Journal* 43 (5), S. 209. DOI: 10.2134/agronj1951.00021962004300050001x.
- Haeder, H. E. (1975): Einfluß chloridischer und sulfatiger Ernährung auf Assimilation und Assimilationsverteilung in Kartoffelpflanzen. In: *Landw. Forsch.* (32/1 Sonderh.), S. 122–131.

- Harenz, H.; Köster, W.; Merkel D. (1992): Phosphor-, Kalium-und Stickstoffbilanzender Landwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland und der ehemaligen DDR von 1950 bis 1986. In: *Agribiological Research* 45 (4), S. 285–293.
- Hargrove, W. L. (1986): Winter Legumes as a Nitrogen Source for No-Till Grain Sorghum<sup>1</sup>. In: *Agronomy Journal* 78 (1), S. 70–74.
- Harris, Paul M. (Hg.) (1992): The potato crop. The scientific basis for improvement. 2. ed. London: Chapman & Hall (World crop series).
- Husz, Georg (1974): Standortuntersuchung als Grundlage einer agrarökologischen Produktionsplanung.
- Jahanzad, Emad; Barker, Allen V.; Hashemi, Masoud; Sadeghpour, Amir; Eaton, Touria; Park, Yeonhwa (2017): Improving yield and mineral nutrient concentration of potato tubers through cover cropping. In: *Field Crops Research* 212, S. 45–51. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.06.023.
- Judel, G. K.; Kürten, P. W. (1962): Beeinflusst Bor Ertrag und Schorfbefall bei Kartoffeln? In: *Kartoffelbau* 13, S. 1–3.
- Kavvadias, V.; Paschalidis, C.; Akrivos, G.; Petropoulos, D. (2012): Nitrogen and Potassium Fertilization Responses of Potato (*Solanum tuberosum*) cv. Spunta. In: *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 43 (1-2), S. 176–189. DOI: 10.1080/00103624.2012.634711.
- Kerschberger, M.; Deller, B.; Hege, U.; Heyn, J.; Kape, H.-E.; Krause, O. et al. (2000): Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden. VDLUFA-Standpunkt. Hg. v. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA). Darmstadt. Online verfügbar unter <http://www.vdlufa.de/Dokumente/Standpunkt/0-9-kalk.pdf>, zuletzt geprüft am 09.02.2018.
- Kerschberger, M.; Hege, U.; Jungk, A. (1997): Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. VDLUFA-Standpunkt. Hg. v. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA). Darmstadt. Online verfügbar unter <http://www.vdlufa.de/Dokument/Standpunkte/0-4-phosphor.pdf>, zuletzt geprüft am 09.02.2018.
- KEY, J. L.; KURTZ, L. T.; TUCKER, B. B. (1962): Influence of ratio of exchangeable calcium-magnesium on yield and composition of soybeans and corn. In: *Soil Science* 93 (4), S. 265–270. DOI: 10.1097/00010694-196204000-00007.
- Köhnlein, Johannes (1957): Ertragssteigerung, Nährstoffbilanz und Bodenuntersuchungsergebnis in statischen Feldversuchen mit steigenden P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-und K<sub>2</sub>O-Gaben.

Kopittke, Peter M.; Menzies, Neal W. (2007): A Review of the Use of the Basic Cation Saturation Ratio and the "Ideal" Soil. In: *Soil Science Society of America Journal* 71 (2), S. 259. DOI: 10.2136/sssaj2006.0186.

Köster, W. (1988): Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumbilanzen landwirtschaftlich genutzter Böden der Bundesrepublik Deutschland von 1950-1986. Hameln: Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt.

Köster, W.; Nieder, R. (2007): Wann ist eine Grunddüngung mit Phosphor, Kalium und Magnesium wirtschaftlich vertretbar? Online verfügbar unter [http://www.beratung-mal-anders.de/pdf/Wann\\_ist\\_eine\\_Grundduengung\\_wirtschaftlich\\_DIN\\_A\\_4.pdf](http://www.beratung-mal-anders.de/pdf/Wann_ist_eine_Grundduengung_wirtschaftlich_DIN_A_4.pdf), zuletzt geprüft am 10.11.2017.

Kristensen, H.L.; Deboz, K.; McCarty, G.W (2003): Short-term effects of tillage on mineralization of nitrogen and carbon in soil. In: *Soil Biology and Biochemistry* 35 (7), S. 979–986. DOI: 10.1016/S0038-0717(03)00159-7.

Lal, Rattan; Regnier, E.; Eckert, D. J.; Edwards, W. M.; Hammond, R. (1991): Expectations of cover crops for sustainable agriculture. In: *cover crops for clean water. Hargrove WL Soil and water conservation society publication, Ankey, USA*, S. 1–11.

Lambert, D.; Loria, R. H. (1989): *Streptomyces scabies* sp. nov., nom. rev. In: *International Journal of Systematic Bacteriology* 39 (4), S. 387–392. DOI: 10.1099/00207713-39-4-387.

Larkin, Robert P.; Griffin, Timothy S.; Honeycutt, C. Wayne (2010): Rotation and Cover Crop Effects on Soilborne Potato Diseases, Tuber Yield, and Soil Microbial Communities. In: *Plant disease* 94 (12), S. 1491–1502. DOI: 10.1094/PDIS-03-10-0172.

Lehman, R.; Cambardella, Cynthia; Stott, Diane; Acosta-Martinez, Veronica; Manter, Daniel; Buyer, Jeffrey et al. (2015): Understanding and enhancing soil biological health: The solution for reversing soil degradation. In: *Sustainability* 7 (1), S. 988–1027.

Liebhart, William C. (1981): The Basic Cation Saturation Ratio Concept and Lime and Potassium Recommendations on Delaware's Coastal Plain Soils<sup>1</sup>. In: *Soil Science Society of America Journal* 45 (3), S. 544. DOI: 10.2136/sssaj1981.03615995004500030022x.

Liebig, Justus von (1840): Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. Braunschweig: Vieweg. Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:b4-200905193607>.

Lithourgidis, A. S.; Dordas, C. A.; Damalas, Christos A.; Vlachostergios, DN0 (2011): Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. In: *Australian journal of crop science* 5 (4), S. 396.

Loew, O. (1909): Grundsätze bei Düngung mit Kalk und Magnesia. In: *Praktische Blätter für Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Jahrg. VII (6)*, S. 77–80.

LUFÄ NORD-WEST: Hinweise zur Entnahme von Bodenproben auf Nährstoffe. Hg. v. LUFÄ NORD-WEST. Online verfügbar unter <https://www.lufa-nord-west.de/index.cfm/action/downloadcenter.html>, zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Luna, John (1998): Multiple impacts of cover crops in farming systems. In: *Department of Horticulture, Oregon State University, Corvallis, OR*.

Lütke Entrup, Norbert (Hg.) (2001): Zwischenfrüchte im umweltgerechten Pflanzenbau. Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Bonn: aid (aid, 1060).

Marshall, C. Edmund (1977): William A. Albrecht. In: *Plant and Soil* 48 (1), S. 1–4. DOI: 10.1007/BF00015154.

McGuire, A. M. (2002): Mustard green manures replace soil fumigant and improve infiltration in wheat-potato cropping systems. In: *In Annual Meetings Abstracts. ASA, CSSA & SSSA*.

McLean, E. O.; Carbonell, M. D. (1972): Calcium, Magnesium, and Potassium Saturation Ratios in Two Soils and Their Effects Upon Yields and Nutrient Contents of German Millet and Alfalfa<sup>1</sup>. In: *Soil Science Society of America Journal* 36 (6), S. 927. DOI: 10.2136/sssaj1972.03615995003600060027x.

McLean, E. O.; Hartwig, R. C.; Eckert, D. J.; Triplett, G. B. (1983): Basic Cation Saturation Ratios as a Basis for Fertilizing and Liming Agronomic Crops. II. Field Studies<sup>1</sup>. In: *Agronomy Journal* 75 (4), S. 635. DOI: 10.2134/agronj1983.00021962007500040014x.

McVay, K. A.; Radcliffe, D. E.; Hargrove, W. L. (1989): Winter legume effects on soil properties and nitrogen fertilizer requirements. In: *Soil Science Society of America Journal* 53 (6), S. 1856–1862.

Mehlich, A. (1984): Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. In: *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 15 (12), S. 1409–1416. DOI: 10.1080/00103628409367568.

Meisinger, J. J.; Hargrove, W. L.; Mikkelsen, R. L.; Williams, JR; Benson, V. W. (1991): Effects of cover crops on groundwater quality. In: *Cover crops for clean water*, S. 57–68.

Moinuddin; Umar, Shahid (2004): Influence of combined application of potassium and sulfur on yield, quality, and storage behavior of potato. In: *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 35 (7-8), S. 1047–1060.

Moser, Frank (1933): The Calcium-Magnesium Ratio in Soils and its Relation to Crop Growth<sup>1</sup>. In: *Agronomy Journal* 25 (6), S. 365. DOI: 10.2134/agronj1933.00021962002500060001x.

Müller, M. (2016): Short-term effects of cover cropping on soil microbial biomass and soil microbial community composition as assessed by phospholipid fatty acids analysis. Masterarbeit. Martin Luther University Halle-Wittenberg. Agricultural and Nutritional Sciences.

Neu, Silke; Schaller, Jörg; Dudel, E. Gert (2017): Silicon availability modifies nutrient use efficiency and content, C:N:P stoichiometry, and productivity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). In: *Scientific Reports* 7, 40829 EP -. DOI: 10.1038/srep40829.

Obenauf, Susanne (1980): Einfluss von Saatzeit und Stickstoffdüngung auf die Pflanzenentwicklung, die Ertragsleistung und die Inhaltsstoffe von ausgewählten Kruziferen und Sommerfutterroggen beim Anbau zur Gründüngung nach späträumenden Hauptfrüchten auf Standortgruppe 1, 2.

Olson, R. A.; Anderson, F. N.; Frank, K. D.; Grabouski, P. H.; Rehm, G. W.; Shapiro, C. A. (1987): Soil Testing Interpretations. Sufficiency vs. Build-up and Maintenance<sup>1</sup>. In: J. R. Brown (Hg.): Soil Testing: Sampling, Correlation, Calibration, and Interpretation. Madison, WI: Soil Science Society of America (SSSA Special Publication, 21), S. 41–52. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.2136/sssaspecpub21.c5>.

Olson, R. A.; Frank, K. D.; Grabouski, P. H.; Rehm, G. W. (1982): Economic and Agronomic Impacts of Varied Philosophies of Soil Testing<sup>1</sup>. In: *Agronomy Journal* 74 (3), S. 492. DOI: 10.2134/agronj1982.00021962007400030022x.

Patrick, Z. A. (1963): Phytotoxic substances in arable soils associated with decomposition of plant residues. In: *Phytopathology* 53, S. 152–161.

Phillips, D. J.; Watson, A. G.; Weinhold, A. R.; Snyder, W. C. (1971): Damage of lettuce seedlings related to crop residue decomposition. In: *Plant disease reporter*.

Rehm, G. W.; Sorensen, R. C. (1985): Effects of Potassium and Magnesium Applied for Corn Grown on an Irrigated Sandy Soil<sup>1</sup>. In: *Soil Science Society of America Journal* 49 (6), S. 1446. DOI: 10.2136/sssaj1985.03615995004900060023x.

Reid, W. Shaw (2008): Influence of lime and calcium:magnesium ratio on alfalfa and birdsfoot trefoil yields. In: *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 27 (5-8), S. 1885–1900. DOI: 10.1080/00103629609369676.

Rogasik, Jutta; Kurtinecz, Paul; Panten, Kerstin; Funder, Ute; Rogasik, Helmut; Schnug, Susanne Schroetter<sup>1</sup> und Ewald (2005): Kalkung und Bodenfruchtbarkeit. In: *Institute of Plant Nutrition and Soil Science*, S. 71.

Sait, Graeme (2015): Six Secrets to Soil Test Success. Hg. v. Nutri-Tech Solutions. Online verfügbar unter <https://blog.nutri-tech.com.au/six-secrets-to-soil-test-success-1/>, zuletzt geprüft am 16.01.2019.

Schachtschabel, P. (1951): Die Methoden zur Bestimmung des Kalkbedarfs im Boden. In: *Z. Pflanzenernaehr. Dueng. Bodenk.* 54 (2), S. 134–145. DOI: 10.1002/jpln.19510540205.

Schachtschabel, P. (1963): Der anzustrebende pH-Wert, Phosphor-und Kaliumgehalt von Ackerböden. In: *Landw. Forschung* 17, S. 60–82.

Schad, Peter (2008): World reference base for soil resources 2006. Ein Rahmen für internationale Klassifikation, Korrelation und Kommunikation. 1. Update 2007, dt. Ausg. Hannover: BGR.

Scheffer, Fritz; Schachtschabel, Paul; Blume, Hans-Peter; Brümmer, Gerhard W.; Horn, Rainer; Kandeler, Ellen et al. (2010): Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10359930>.

Schmiedeknecht, G.; Bochow, Helmut; Junge, Helmut (1998): Use of *Bacillus subtilis* as biocontrol agent. II. Biological control of potato diseases. In: *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 105.

Schonbeck, M. (2000): Balancing soil nutrients in organic vegetable production systems: Testing Albrecht's base saturation theory in southeastern soils. In: *Inf Bull* 10, S. 17.

Schröder, D.; Woll, M. (1986): Austrag von Nährstoffen aus hoch und gering versorgten Ap-Horizonten im Kleinlysimeter-Experiment. In: *VDLUFA-Schriftenreihe* (20), S. 441–453.

Shoemaker, H. E.; McLean, E. O.; Pratt, P. F. (1961): Buffer Methods for Determining Lime Requirement of Soils With Appreciable Amounts of Extractable Aluminum<sup>1</sup>. In: *Soil Science Society of America Journal* 25 (4), S. 274–277. DOI: 10.2136/sssaj1961.03615995002500040014x.

Simson, C. R.; Corey, R. B.; Sumner, M. E. (2008): Effect of varying Ca:Mg ratios on yield and composition of corn (*zea mays*) and alfalfa (*medicago sativa*). In: *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 10 (1-2), S. 153–162. DOI: 10.1080/00103627909366885.

Sincik, Mehmet; Turan, Z. Metin; Göksoy, A. Tanju (2008): Responses of Potato (*Solanum tuberosum* L.) to Green Manure Cover Crops and Nitrogen Fertilization Rates. In: *Am. J. Pot Res* 85 (5), S. 390–391. DOI: 10.1007/s12230-008-9043-1.

Smukalski, M.; Rogasik, J. (1990): Stoppelfruchtanbau ist Bestandteil ökologisch begründeter Landbewirtschaftung. In: *Feldwirtschaft* 31, S. 356–358.

Spiegel, H.; Cermak, P.; Haan, J. de; Fuleky, G.; Grignani, C.; D'Hose, T. et al. (2014): Düngeempfehlungen in Europa. Kongressband 2014 Hohenheim. Unter Mitarbeit von J. Danier. Darmstadt: VDLUFA (VDLUFA-Schriftenreihe, Bd. 70).

Stevens, G.; Gladbach, T.; Motavalli, P.; Dunn, D. (2005): Agronomy and soils. Soil Calcium: Magnesium Ratios and Lime Recommendations for Cotton. In: *The Journal of Cotton Science* (9), S. 65–71.

Suarez, D. L. (1996): Beryllium, magnesium, calcium, strontium and barium. In: *Methods of soil analysis, Part 3*, p. 575-602.

Tan, Kim H. (2010): Principles of Soil Chemistry, Fourth Edition. 4th ed. Hoboken: CRC Press (Books in Soils, Plants, and the Environment). Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1446769>.

Thomas, David (2003): A study on the mineral depletion of the foods available to us as a nation over the period 1940 to 1991. In: *Nutrition and Health* 17 (2), S. 85–115.

Thomas, David (2007): The Mineral Depletion of Foods Available to US as A Nation (1940–2002) – A Review of the 6th Edition of McCance and Widdowson. In: *Nutrition and Health* 19 (1-2), S. 21–55. DOI: 10.1177/026010600701900205.

Thomas, S. H. (1978): Population Densities of Nematodes Under Seven Tillage Regimes. In: *Journal of nematology* 10 (1), S. 24–27.

Tonitto, C.; David, M. B.; Drinkwater, L. E. (2006): Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: A meta-analysis of crop yield and N dynamics. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112 (1), S. 58–72. DOI: 10.1016/j.agee.2005.07.003.

Unterfrauner, H. (25.01.18): Interesse von Landwirten für alternative Düngebedarfsempfehlungen. Wien, 25.01.18. Gespräch an L. Kohl.

Unterfrauner, H. (2010): Ein ganzheitliches Konzept stellt sich vor. Nährstoffe im Boden anders bewertet. In: *LOP - Landwirtschaft ohne Pflug* (9/10), S. 40–43.

Unterfrauner, H. (Hg.) (2015): Ökologische Basischarakterisierung BD 5179. Bodenanalyse Betrieb Lüdemann (Probennahme: 07.08.2015). Wien.

van Biljon, J. J.; Fouche, D. S.; Botha, A. D.P. (2007): An evaluation of the basic cation saturation ratio concept in sandy soils of the Free State Province, South Africa. In: *South African Journal of Plant and Soil* 24 (4), S. 228–232. DOI: 10.1080/02571862.2007.10634814.

VDLUFA (1991): Methodenbuch Band 1. Die Untersuchung von Böden. In: *VDLUFA-Verlag, Darmstadt, Germany (in German)*.

VDLUFA (1996): Ergebnisse langjähriger, ortsfester Phosphatdüngungsversuche auf Acker und Grünland. Darmstadt: VDLUFA-Verl. (VDLUFA-Schriftenreihe, 42).

Verband der Landwirtschaftskammern (1998): Ergebnisse langjähriger, ortsfester Kalidüngungsversuche auf Acker- und Grünland. Darmstadt: VDLUFA-Verl. (VDLUFA-Schriftenreihe, 47).

Voisin, André (1966): Grundgesetze der Düngung. Statutes of manuring. Unter Mitarbeit von F. of theA.O. UN.

Voss, R. (1998): Fertility recommendations. Past and present. Unter Mitarbeit von F. of theA.O. UN (Communications in soil science and plant analysis (USA)).

Zalewska, Marta; Wierzbowska, Jadwiga; Nogalska, Anna (2018): Effect of basic cation saturation ratios in soil on yield of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* L.). In: *J. Elem.* (1/2018). DOI: 10.5601/jelem.2017.22.2.1360.

Zwickle, Sarah; Wilson, Robyn; Doohan, Doug (2014): Identifying the challenges of promoting ecological weed management (EWM) in organic agroecosystems through the lens of behavioral decision making. In: *Agriculture and human values* 31 (3), S. 355–370.

**Anhang 1**

**Institut für Boden und Umwelt**  
 Finkenborner Weg 1A  
 Dr. Christina Neuhaus  
 31787 Hameln  
 http://www.lufa-nord-west.de  
 Telefon: (0 51 51) 98 71 24  
 Telefax: (0 51 51) 98 71 11  
 christina.neuhaus@lufa-nord-west.de



**Prüfbericht**  
 Deutsche Saatveredelung AG  
 Steimker Weg 7  
 27330 Asendorf

Kunden-Nr.: 50004688  
 Auftrags-Nr.: 901397  
 Beginn der Prüfung: 26.10.2017  
 Ende der Prüfung: 18.12.2017  
 Probennehmer: Auftraggeber

Datum: 18.12.2017  
 Seite 1 von 1  
 Zahl der Proben: 1  
 Probenahme am: 23.10.2017

Berichts-Version: 1  
 Nutzungsarten:  
 A = Acker  
 W = Grünland  
 G = Garten  
 F = Forst  
 O = Obstbau  
 X = Sonstige

Gehaltsklassen:  
 A = sehr niedrig  
 B = niedrig  
 C = anzustreben  
 D = hoch  
 E = sehr hoch  
 F = extrem hoch

Proben-Nr.	Schlagbezeichnung	Nut-zung	Bodenart (Gruppe)	Kalk anzu-sie-bern	Kalk festge-steilt	Phosphor (P)	Kalium (K)	Magnesium (Mg)	Weitere Untersuchungen
17BB031125	1_Lüdemann	A	(h) IS	5,4-5,8 CaCl <sub>2</sub>	5,6 CaCl <sub>2</sub>	7 CAL	9 CAL	7 CAL	Kohlenstoff (C org) 1,53 % Gesamt-Stickstoff 0,12 % C/N-Verhältnis 13 Humusgehalt 2,6 % P-Freisetzungsrate 42 µg/100g*10min P-Nachlieferungsspot. niedrig Kupfer (Cu) CAT 1,2 mg/kg Mangan (Mn) CAT 34,7 mg/kg Bor (B) CAT 0,29 mg/kg Zink (Zn) CAT 3,5 mg/kg Natrium (Na) CAT 5,3 mg/kg Schwefel (S) CAT 5,4 mg/kg

Durchschrift an: Lucas Kohl, 34630 Gliserberg  
 Rechnungsempfänger: Deutsche Saatveredelung AG, 27330 Asendorf  
 Dr. Christina Neuhaus  
 Laborleiterin

Weitere Methoden: P-Freisetzungsrate, P-Nachlieferungspotential = Flossemann und Richter (#6).  
 #6 = unterliegt nicht der Akkreditierung

Abbildung 13: VDLUFA Nord-West Bodenanalyse von der Deutschen Saatveredelung AG-Versuchsfläche Visselhövede vom 23.10.2017 nach der Officialberatungsmethode (OBM)

# Institut für Boden und Umwelt

Dr. Christina Neuhaus  
 Finkenborner Weg 1A  
 31787 Hameln  
 http://www.lufa-nord-west.de  
 Telefon: (0 51 51) 98 71 24  
 Telefax: (0 51 51) 98 71 11  
 christina.neuhaus@lufa-nord-west.de



Deutsche Saatveredelung AG  
 Steimker Weg 7  
 27330 Asendorf

Seite 1 von 1

Anlage-Version: 1

## Düngungsempfehlung nach den Bodenuntersuchungsergebnissen

Kunden-Nr.: 50004688

Datum: 18.12.2017

Proben-Nr. 17BB	Schlagbezeichnung 1_Lüdemann	Nutzungsart A	Bodenart (Gruppe) (h) I'S	kg Nährstoff je Hektar und Jahr (soweit nicht anders angegeben)																								
				Phosphat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )			Kali (K <sub>2</sub> O)						MgO			Cu		Mn		B	Zn	Na						
Gesamtbedarf für 3 Jahre				10	90	80	80	80	10	10	200	290	360	290	200	180	150	130	110	40	60	80	3	0,5**	1	0	-	
A: Mais, Feldgras				W: Grünland, 4 Schnitte	A: Rüben, Kartoffeln	W: Grünland, 3 Schnitte	A: Getreide, Raps, Legum.	W: Grünland, 2 Schnitte	A: Zwischenfrüchte	W: Grünland, 1 Schnitt	W: Weide	A: Rüben, Feldgras	W: Grünland, 4 Schnitte	A: Kartoffeln	A: Mais	W: Grünland, 2 Schnitte	W: Grünland, 3 Schnitte	A: Stärkekartoffeln, Raps	W: Grünland, 1 Schnitt	A: Leguminosen	A: Wintergetreide	A: Sommergetreide, Futterzwischenfrüchte	Getreide, Grünland, Mais, Raps, Leguminosen	Kartoffeln, Feldgras	Rüben	alle Pflanzenarten *	alle Pflanzenarten *	Grünland

Auf leichten Böden (<5% Ton, Moor und Anmoor) gelten die Kali-Düngungsempfehlungen nur für 1 Jahr. In den Folgejahren gelten die höchsten in Klasse C genannten Gaben (siehe Anlage).

\* Wirkungsdauer 4 Jahre, bei Bor auf leichten Böden auf maximal 3 Jahre begrenzt.

\*\* bei Mangansulfat 1 kg/ha Mn, ansonsten Herstellerangaben berücksichtigen, ggf. mehrere Behandlungen durchführen.

Achtung: Nach der seit dem 02.06.2017 geltenden Düngerverordnung ist bei Bodengehalten von > 9 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g Boden eine P-Zufuhr höchstens bis in Höhe der voraussichtlichen Phosphatabfuhr zulässig.

Abbildung 14: VDLUFA Düngungsempfehlung für die Deutschen Saatveredelung AG-Versuchsfläche Visselhövede vom 18.12.2017 nach der Officialberatungsmethode (OBM)

## Anhang 3

### Bodeneigenschaften 5179



1

Tabelle 1: Zusammenfassung

Bodeneigenschaften, Tiefe 0 - 30 cm								
Parameter	Wert	sehr niedrig	niedrig	günstig	hoch	sehr hoch	Bemerkung	
Basissparameter	Bodenschwere (KH)	41					leichter Boden	
	pH Wert KCl [-log H <sup>+</sup> ]	5,5					mäßig sauer	
	pH Wert H <sub>2</sub> O [-log H <sup>+</sup> ]	6,6					schwach sauer	
	Kalkgehalt CaCO <sub>3</sub> [%]	0,0					nicht nachweisbar	
	gelöste Stoffe [eL, mS/cm]	0,5					günstig	
	Org. Substanz [%] = Corg * 1,724	4,3					humoser Sand	
	Qualität OS [C/N]	25,3					N Fixierung	
	Qualität OS [C/P]	198,4					sehr hoch	
Qualität OS [C/S]	978,0					sehr hoch		
Sorptionskomplex	CEC pot [mmolc/kg]	99					pot mittel sorptionsstark	
	CEC akt [mmolc/kg]	36					akt sorptionschwach	
	Basensättigung [BS % CECpot]	36					Gefahr Versauerung	
	Ca am Magnet [%CECpot]	30,2					sehr niedrig	
	Mg am Magnet [%CECpot]	3,8					sehr niedrig	
	K am Magnet [%CECpot]	1,9					niedrig	
	Na am Magnet [%CECpot]	0,5					günstig	
	Al am Magnet [%CECpot]	0,0					günstig	
	NH <sub>4</sub> N am Magnet [%CECpot]	0,1					günstig	
	Fe am Magnet [%CECpot]	0,0					günstig	
	Mn am Magnet [%CECpot]	0,0					günstig	
	H am Magnet [%CECpot]	0,0					aktuelle Säure gering	
pot.Säure am Magnet [%CECpot]	63,5					sehr hoch		
Melioration (Maßnahmen zur Verbesserung/Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit)								
org. min.	Kalk (CaCO <sub>3</sub> ) kg/ha	4750					Kalium (K) kg/ha organisch oder mineralisch	330
	Gips (CaSO <sub>4</sub> * 2 H <sub>2</sub> O) kg/ha	680						
	Aufbau von Dauerhumus kg/ha						Zwischenfrüchte	Gründüngungen

	Pflanzenernährung	Wert	sehr niedrig	niedrig	günstig	hoch	sehr hoch	Diff. 1) kg/ha	Bewertung zur Probenahme	Reserve kg/ha	
Mineralisierungs- Potential	C org [kg/ha]	1702							Akkumulation	113450	
	N org [kg/ha]	68							niedrige Reserven	4550	
	P org [kg/ha]	9							mittlere Reserven	572	
	S org [kg/ha]	2							sehr niedrige Reserven	116	
	Ca [kg/ha]	2320							Überschuss	4400	
Stoff pflanzenverfügbar zur Probenahme	Mg [kg/ha]	180							ausreichend	400	
	K [kg/ha]	315							Überschuss	100	
	P [kg/ha]	15						20	Mangel	1400	
	NH <sub>4</sub> -N [kg/ha]	4,6							Mangel		
	NO <sub>3</sub> -N [kg/ha]	9,3						( 130 )	starker Mangel		
	N min [kg/ha]	13,9						140	starker Mangel		
	SO <sub>4</sub> [kg/ha]	63,7							ausreichend		
	Fe [kg/ha]	0,2						2,00	starker Mangel	3500	
	Mn [kg/ha]	1,62							extremer Überschuss	635	
	Cu [kg/ha]	0,02						0,07	Mangel	20	
	Zn [kg/ha]	2,03							extremer Überschuss	70	
	Mo [kg/ha]	0,00						0,05	starker Mangel	0	
	B [kg/ha]	0,11						0,16	Mangel	0	
Aluminium									Kontaminationsgefahr		
pot. toxische Stoffe									keine Auffälligkeiten		
<b>Mobilisierung:</b>		<b>Phosphor, Eisen</b>									
<b>Zufuhr:</b>		<b>Stickstoff, Kupfer, Molybdän, Bor</b>									

1) Differenz des Pflanzenbedarfs während der gesamten Vegetationsperiode zum Zeitpunkt der Probenahme. Kultur: Triticale, Ertrag: 9 t/ha

Abbildung 15: BP Unterfrauner Bodenanalyse der Deutschen Saatveredlung AG-Versuchsfläche Visselhövede vom 07.08.2015 nach der Soil Balancing Method (SBM)

# Anhang 4

Schlagbezeichnung:	Visselhövede ZF-Versuchsfläche	Probenbezeichnung:	Variante 1 (OBM)	Datum:	15.03.2018
Untersuchungsmethode:	Mehlich 3				
Aktuelle Austauschkapazität [ME/100g]	7,33	Maß für die Wasser- und Nährstoffhaltefähigkeit des Bodens			
Potentielle Austauschkapazität [ME/100g]	10,53	Austauschkapazität, inklusive der an dem Austauscher haftenden Säure			
Potentielle Säure [%]	30,39	Prozentteil des Austauschers, der mit Säure belegt ist. Sollte nicht > 10 % sein			
Humusgehalt [%]	3,04	Anzustreben ist ein Humusgehalt von 5 %			
pH-Wert (H2O)	6,5	pH-Wert, der der Bodenbiologie vorliegt. Soll: 6,5			
Puffer pH-Wert	7,3	Maß für das Säurepotential und Kalkungsbedarf. Soll: ≥ 7,4			
ENR N [kg/ha]	80	Geschätzte N-Freisetzung während der Vegetation → Aktuellen Bedarf durch Düngung ergänzen			

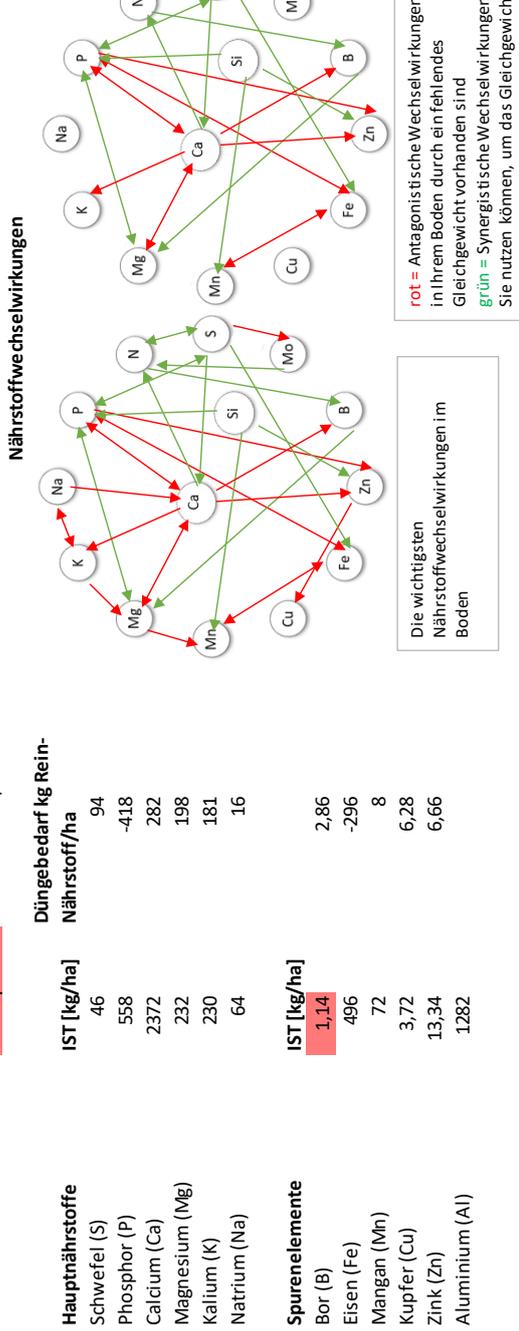
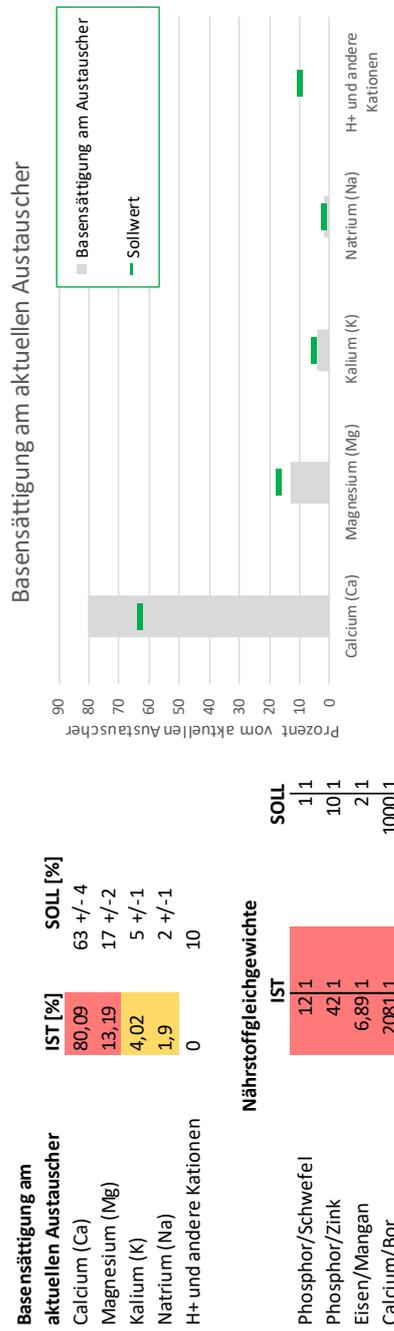


Abbildung 16: Kohls GbR Bodenanalyse von den Parzellen der Variante 1 (OBM) der Deutschen Saatveredelung AG-Versuchsfläche Visselhövede vom 15.03.2015 nach der Soil Balancing Method (SBM)

Nährstoffgleichgewichte	IST	SOLL
Phosphor/Schwefel	12   1	1   1
Phosphor/Zink	42   1	10   1
Eisen/Mangan	6,89   1	2   1
Calcium/Bor	208   1	1000   1

Hauptnährstoffe	IST [kg/ha]	Düngebedarf kg Rein-Nährstoff/ha
Schwefel (S)	46	94
Phosphor (P)	558	-418
Calcium (Ca)	2372	282
Magnesium (Mg)	232	198
Kalium (K)	230	181
Natrium (Na)	64	16

Spurenelemente	IST [kg/ha]	Düngebedarf kg Rein-Nährstoff/ha
Bor (B)	1,14	2,86
Eisen (Fe)	496	-296
Mangan (Mn)	72	8
Kupfer (Cu)	3,72	6,28
Zink (Zn)	13,34	6,66
Aluminium (Al)	1282	

# Anhang 5

15.03.2018

Datum:

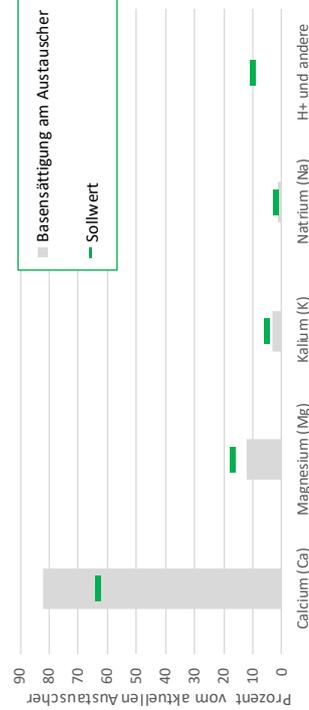
Probenbezeichnung: Variante 1 b (OBM+ Düngung)

Visselhövede ZF-Versuchsfläche

Schlagbezeichnung: Mehlich 3

Untersuchungsmethode:	Mehlich 3	Maß für die Wasser- und Nährstoffhaltbarkeit des Bodens	8,02
Aktuelle Austauschkapazität [ME/100g]	10,42	Austauschkapazität, inklusive der an dem Austauscher haftenden Säure	10,42
Potentielle Austauschkapazität [ME/100g]	23,03	Prozentteil des Austauschers, der mit Säure belegt ist. Sollte nicht > 10 % sein	23,03
Potentielle Säure [%]	3,05	Anzustreben ist ein Humusgehalt von 5 %	3,05
Humusgehalt [%]	6,5	pH-Wert, der der Bodenbiologie vorliegt. Soll: 6,5	6,5
pH-Wert (H2O)	7,4	Maß für das Säurepotential und Kalkungsbedarf. Soll: ≥ 7,4	7,4
Puffer pH-Wert	80	Geschätzte N-Freisetzungs während der Vegetation → Aktuellen Bedarf durch Düngung ergänzen	80
ENR N [kg/ha]			

## Basensättigung am aktuellen Austauscher



Basensättigung am aktuellen Austauscher	IST [%]	SOLL [%]
Calcium (Ca)	82,1	63 +/- 4
Magnesium (Mg)	12,22	17 +/- 2
Kalium (K)	3,36	5 +/- 1
Natrium (Na)	1,36	2 +/- 1
H+ und andere Kationen	0	10

## Nährstoffgleichgewichte

Nährstoffgleichgewichte	IST	SOLL
Phosphor/Schwefel	11,1	1,1
Phosphor/Zink	44,1	10,1
Eisen/Mangan	7,28,1	2,1
Calcium/Bor	1687,1	1000,1

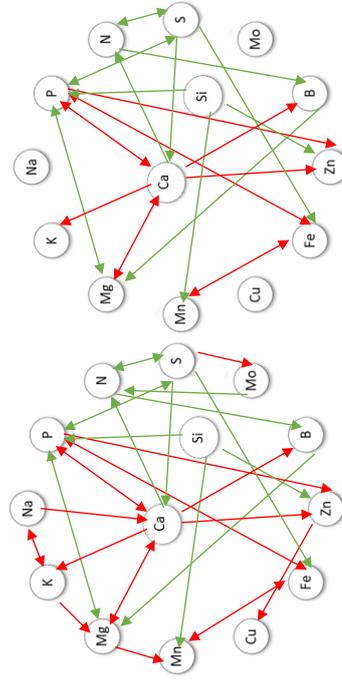
## Düngebedarf kg Rein-

Hauptnährstoffe	IST [kg/ha]	Nährstoff/ha
Schwefel (S)	60	80
Phosphor (P)	638	-498
Calcium (Ca)	2598	28
Magnesium (Mg)	222	203
Kalium (K)	210	196
Natrium (Na)	50	23

## Spurenelemente

Spurenelemente	IST [kg/ha]	Nährstoff/ha
Bor (B)	1,54	2,5
Eisen (Fe)	568	-368,0
Mangan (Mn)	78	2,0
Kupfer (Cu)	4,36	5,6
Zink (Zn)	14,58	5,4
Aluminium (Al)	1464	

## Nährstoffwechselwirkungen



rot = Antagonistische Wechselwirkungen, die in Ihrem Boden durch ein fehlendes Gleichgewicht vorhanden sind  
 grün = Synergistische Wechselwirkungen die Sie nutzen können, um das Gleichgewicht

Die wichtigsten Nährstoffwechselwirkungen im Boden

Abbildung 17: Kohls GbR Bodenanalyse von den Parzellen der Variante 1 b (SBM) der Deutschen Saatveredelung AG-Versuchsfläche Visselhövede vom 15.03.2015 nach der Soil Balancing Method (SBM)

# Anhang 6

15.03.2018

Datum:

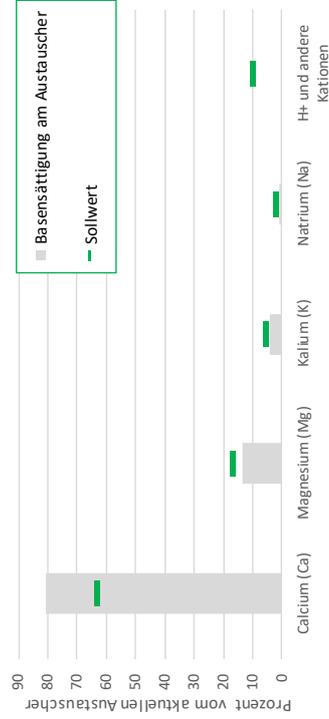
Probenbezeichnung: Variante 4 (OBM + ZF)

Visselhövede ZF-Versuchsfläche

Schlagbezeichnung:

Untersuchungsmethode:	Mehlich 3	Maß für die Wasser- und Nährstoffhaltbarkeit des Bodens
Aktuelle Austauschkapazität [ME/100g]	7,04	Austauschkapazität, inklusive der an dem Austauscher haftenden Säure
Potentielle Austauschkapazität [ME/100g]	10,24	Prozentteil des Austauschers, der mit Säure belegt ist. Sollte nicht > 10 % sein
Potentielle Säure [%]	31,25	Anzustreben ist ein Humusgehalt von 5 %
Humusgehalt [%]	2,95	pH-Wert, der der Bodenbiologie vorliegt. Soll: 6,5
pH-Wert (H2O)	6,3	Maß für das Säurepotential und Kalkungsbedarf. Soll: ≥ 7,4
Puffer pH-Wert	7,3	Geschätzte N-Freisetzungs während der Vegetation → Aktuellen Bedarf durch Düngung ergänzen
ENR N [kg/ha]	79	

## Basensättigung am aktuellen Austauscher



Basensättigung am aktuellen Austauscher	IST [%]	SOLL [%]
Calcium (Ca)	80,82	63 +/- 4
Magnesium (Mg)	13,73	17 +/- 2
Kalium (K)	4,33	5 +/- 1
Natrium (Na)	1,05	2 +/- 1
H+ und andere Kationen	0	10

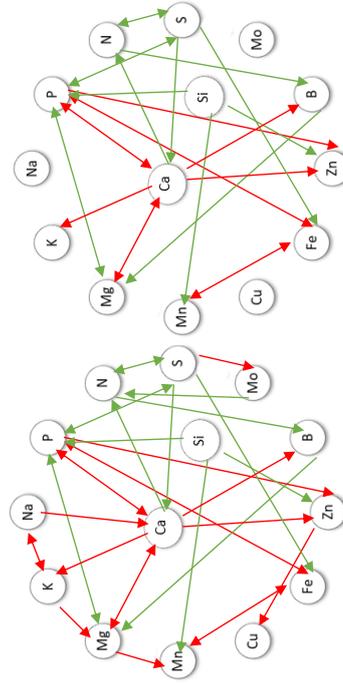
## Nährstoffgleichgewichte

Nährstoffgleichgewichte	IST	SOLL
Phosphor/Schwefel	11   1	1   1
Phosphor/Zink	42   1	10   1
Eisen/Mangan	6,48   1	2   1
Calcium/Bor	1929   1	1000   1

## Düngebedarf kg Rein-

Hauptnährstoffe	IST [kg/ha]	Düngebedarf [kg/ha]
Schwefel (S)	56	84
Phosphor (P)	608	-468
Calcium (Ca)	2276	304
Magnesium (Mg)	232	186
Kalium (K)	238	161
Natrium (Na)	34	30
<b>Spurenelemente</b>	<b>IST [kg/ha]</b>	
Bor (B)	1,18	2,82
Eisen (Fe)	596	-396
Mangan (Mn)	92	-12
Kupfer (Cu)	3,54	6,46
Zink (Zn)	14,56	5,44
Aluminium (Al)	1700	

## Nährstoffwechselwirkungen



rot = Antagonistische Wechselwirkungen, die in Ihrem Boden durch ein fehlendes Gleichgewicht vorhanden sind  
 grün = Synergetische Wechselwirkungen die Sie nutzen können, um das Gleichgewicht

Die wichtigsten Nährstoffwechselwirkungen im Boden

Abbildung 18: Kohls GbR Bodenanalyse von den Parzellen der Variante 4 (OBM + ZF) der Deutschen Saatveredelung AG-Versuchsfläche Visselhövede vom 15.03.2015 nach der Soil Balancing Method (SBM)

# Anhang 7

15.03.2018

Datum:

Variante 4.b (SBM + ZF)

Probenbezeichnung:

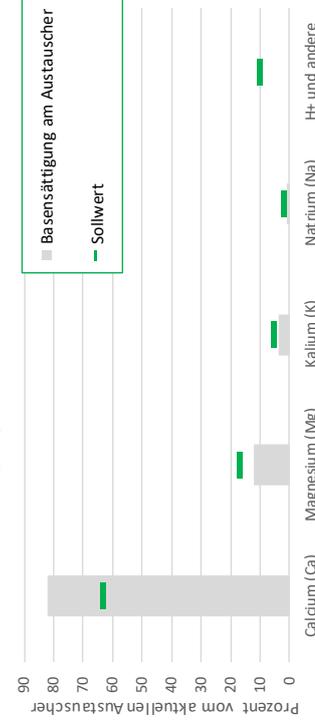
Visselhövede ZF-Versuchsfläche

Schlagbezeichnung:

Untersuchungsmethode:

Aktuelle Austauschkapazität [ME/100g]	7,61	Maß für die Wasser- und Nährstoffhaltefähigkeit des Bodens
Potentielle Austauschkapazität [ME/100g]	9,21	Austauschkapazität, inklusive der an dem Austauscher haftenden Säure
Potentielle Säure [%]	17,37	Prozentteil des Austauschers, der mit Säure belegt ist. Sollte nicht > 10 % sein
Humusgehalt [%]	3,36	Anzustreben ist ein Humusgehalt von 5 %
pH-Wert (H <sub>2</sub> O)	6,4	pH-Wert, der der Bodenbiologie vorliegt. Soll: 6,5
Puffer pH-Wert	7,5	Maß für das Säurepotential und Kalkungsbedarf. Soll: ≥ 7,4
ENR N [kg/ha]	84	Geschätzte N-Freisetzung während der Vegetation → Aktuellen Bedarf durch Düngung ergänzen

## Basensättigung am aktuellen Austauscher



Basensättigung am aktuellen Austauscher	IST [%]	SOLL [%]
Calcium (Ca)	82,31	63 +/- 4
Magnesium (Mg)	12,26	17 +/- 2
Kalium (K)	3,7	5 +/- 1
Natrium (Na)	0,86	2 +/- 1
H+ und andere Kationen	0	10

## Nährstoffgleichgewichte

	IST	SOLL
Phosphor/Schwefel	9 1	1 1
Phosphor/Zink	40 1	10 1
Eisen/Mangan	6,21 1	2 1
Calcium/Bor	1874 1	1000 1

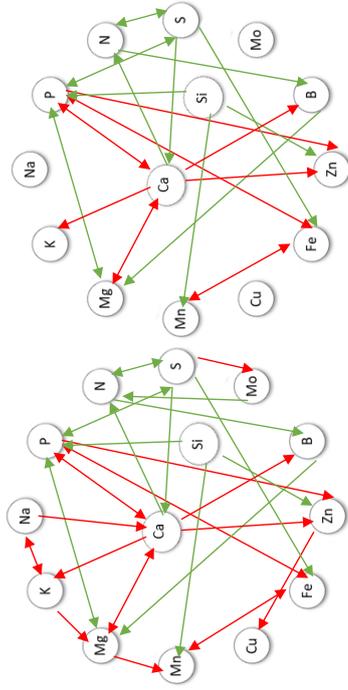
## Düngebedarf kg Rein-

Hauptnährstoffe	IST [kg/ha]	Nährstoff/ha
Schwefel (S)	64	76
Phosphor (P)	568	-428
Calcium (Ca)	2436	-115,08
Magnesium (Mg)	224	151,768
Kalium (K)	208	15,1,19
Natrium (Na)	30	27,366

## Spurenelemente

	IST [kg/ha]	
Bor (B)	1,3	2,7
Eisen (Fe)	534	-334
Mangan (Mn)	86	-6
Kupfer (Cu)	3,56	6,44
Zink (Zn)	14,14	5,86
Aluminium (Al)	1462	

## Nährstoffwechselwirkungen



**rot =** Antagonistische Wechselwirkungen, die in Ihrem Boden durch ein fehlendes Gleichgewicht vorhanden sind  
**grün =** Synergistische Wechselwirkungen die Sie nutzen können, um das Gleichgewicht

Die wichtigsten Nährstoffwechselwirkungen im Boden

Abbildung 19: Kohls GbR Bodenanalyse von den Parzellen der Variante 4.b (SBM + ZF) der Deutschen Saatveredelung AG-Versuchsfläche Visselhövede vom 15.03.2015 nach der Soil Balancing Method (SBM)

## Anhang 8



**Abbildung 20:** Fräsen der Varianten 1 (OBM) und 3 (SBM)

## Anhang 9



**Abbildung 21:** Bonitierung der auf Schwad gelegten Kartoffelknollen auf Mängel am 09.10.2018

## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle aus ungedruckten Quellen, gedruckter Literatur oder aus dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte gemäß den Richtlinien wissenschaftlicher Arbeiten zitiert, durch Fußnoten gekennzeichnet bzw. mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

---

Ort und Datum

Unterschrift