

# Bachelorarbeit

## Effekte agroforstlicher Nutzung auf den Ertrag verschiedener Hafersorten in Südbrandenburg

Effects of agroforestry on the yield of different oat varieties  
in South Brandenburg

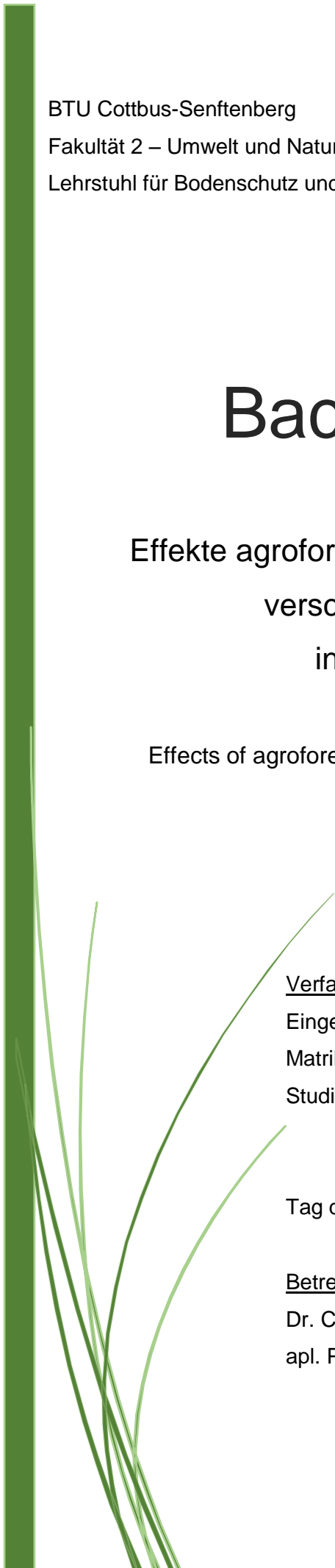
### Verfasser

Eingereicht von: Julia Rieken  
Matrikelnummer: 3244369  
Studiengang: Landnutzung &  
Wasserbewirtschaftung

Tag der Einreichung: 13.04.2017

### Betreuung durch:

Dr. Christian Böhm (Betreuer und Gutachter)  
apl. Prof. Dr. Dirk Freese (Gutachter)



## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	I
Tabellenverzeichnis .....	III
Formelverzeichnis.....	IV
Abkürzungsverzeichnis .....	IV
1 Zusammenfassung.....	1
2 Einleitung .....	2
3 Untersuchungsgebiet .....	5
4 Material und Methoden .....	8
4.1 Probenahme und Probenaufbereitung .....	8
4.1.1 Boden .....	8
4.1.2 Hafer .....	10
4.2 Felduntersuchungen .....	10
4.2.1 Erträge.....	10
4.2.2 BBCH-Code.....	10
4.2.3 Bedeckungsgrad.....	11
4.2.4 Windgeschwindigkeiten .....	11
4.3 Laboranalytische Untersuchungen.....	13
4.3.1 Humusanteil im Boden.....	13
4.3.2 Gravimetrischer Wassergehalt im Boden.....	14
4.3.3 pH-Wert im Boden .....	14
4.3.4 Mineralischer Stickstoff ( $N_{\min}$ ) im Boden.....	14
4.3.5 Kalium und Phosphor im Boden .....	16
4.3.6 CNS – Analyse der Haferkörner.....	17
4.3.7 Druckaufschluss der Haferkörner.....	17
4.4 Statistische Auswertung – Korrelationsanalyse nach Bravais-Pearson .....	18
5 Ergebnisse und Diskussion .....	20
5.1 Einfluss der Gehölzstreifen auf den Bedeckungsgrad.....	20
5.2 Einfluss der Gehölzstreifen auf die Windgeschwindigkeitsreduktion .....	24

5.3	Einordnung des Humusanteils im Boden .....	27
5.4	Gravimetrischer Wassergehalt im Boden.....	29
5.5	Einordnung des pH-Werts im Boden.....	31
5.6	Nährstoffgehalt und –vorrat im Boden.....	33
5.6.1	Mineralischer Stickstoff ( $N_{\min}$ ) .....	33
5.6.2	Phosphor .....	34
5.6.3	Kalium .....	35
5.6.4	Einordnung der Nährstoffgehalte und –vorräte im Boden .....	36
5.7	Nährstoffgehalt in den Haferkörnern .....	38
5.7.1	Kohlenstoffgehalt.....	38
5.7.2	Stickstoffgehalt .....	39
5.7.3	Phosphorgehalt .....	40
5.7.4	Kaliumgehalt.....	41
5.7.5	Einordnung der Nährstoffgehalte in den Haferkörnern .....	43
5.8	BBCH-Code.....	44
5.9	Einfluss der erhobenen Parameter auf den Haferertrag des KH und FH sowie die Hypothesendiskussion .....	45
5.10	Methodendiskussion .....	52
6	Schlussfolgerung.....	53
7	Literaturverzeichnis .....	54
	Anhang .....	56
	Inhaltsverzeichnis der DVD.....	63
	Danksagung .....	63
	Selbstständigkeitserklärung .....	64

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Beeinflussung mikroklimatischer Kenngrößen durch Heckenstreifen in der Agrarlandschaft (Quinkenstein et al., 2008), die Breite der Streifen gibt die Höhe der Beeinflussung an .....	3
Abbildung 2: Lage der Untersuchungsfläche (GoogleEarth 2016 – abgerufen am 03.07.2016) .....	5
Abbildung 3: Untersuchungsfeld mit den einzelnen Beprobungspunkten .....	7
Abbildung 4: Kennzeichnung der Bodenbeprobungspunkte mit den vorgesehenen Tiefenstufen.....	9
Abbildung 5: Skizze zur Position der Windmessgeräte .....	12
Abbildung 6: Bedeckungsgrade der Vegetation in Abhängigkeit des Abstandes zum Gehölzstreifen in dem Anbaustreifen des konventionellen Hafers.....	21
Abbildung 7: Bedeckungsgrade der Vegetation in Abhängigkeit des Abstandes zum Gehölzstreifen in dem Anbaustreifen des Fahnenhafers.....	22
Abbildung 8: Windgeschwindigkeiten auf dem Untersuchungsfeld.....	25
Abbildung 9: Auszug aus den Daten der Windgeschwindigkeiten auf dem Untersuchungsfeld.....	26
Abbildung 10: Gegenüberstellung des Humusanteils des Bodens, in den Anbaubereichen des konventionellen Hafers und Fahnenhafers, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen.....	28
Abbildung 11: Gegenüberstellung des gravimetrischen Wassergehalts, in den Anbaubereichen des konventionellen Hafers und Fahnenhafers, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen.....	30
Abbildung 12: Gegenüberstellung des gemittelten pH-Wertes des Bodens, in den Anbaubereichen des konventionellen Hafers und Fahnenhafers, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen.....	32
Abbildung 13: Gegenüberstellung vom mineralischen Stickstoffgehalt und -vorrat im Boden, in den Anbaubereichen des konventionellen Hafers und Fahnenhafers, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen .....	34
Abbildung 14: Gegenüberstellung vom Phosphorgehalt und -vorrat im Boden, in den Anbaubereichen des konventionellen Hafers und Fahnenhafers, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen.....	35
Abbildung 15: Gegenüberstellung vom Kaliumgehalt und -vorrat im Boden, in den Anbaubereichen des konventionellen Hafers und Fahnenhafers, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen.....	36
Abbildung 16: Gegenüberstellung des Kohlenstoffgehaltes im Korn, beim konventionellen Hafer und Fahnenhafer, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen .....	39

Abbildung 17: Gegenüberstellung des Stickstoffgehaltes im Korn, beim konventionellen Hafer und Fahnenhafer, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen .....	40
Abbildung 18: Gegenüberstellung des Phosphorgehaltes im Korn, beim konventionellen Hafer und Fahnenhafer, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen .....	41
Abbildung 19: Gegenüberstellung des Kaliumgehaltes im Korn, beim konventionellen Hafer und Fahnenhafer, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen .....	43
Abbildung 20: Gegenüberstellung der Erträge von Korn und Stroh beim konventionellen Hafer in Abhängigkeit der Entfernung zum Baumstreifen .....	47
Abbildung 21: Gegenüberstellung der Erträge von Korn und Stroh beim Fahnenhafer in Abhängigkeit der Entfernung zum Baumstreifen .....	47
Abbildung 22: Gegenüberstellung der Kornerträge vom konventionellen Hafer und Fahnenhafer in Abhängigkeit der Entfernung zum Baumstreifen .....	48
Abbildung A - 1: pH-Wirkung im Boden (Oehmichen et al., 1983).....	58
Abbildung A - 2: Ungenaue Ausbringung des Saatgutes (eigene Aufnahmen).....	62
Abbildung A - 3: Ungenaue Ausbringung von Saatgut an Punkt 32 (6 m West) (eigene Aufnahmen) .....	62

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Abstand der Beprobungspunkten auf dem Ackerstreifens zu den Gehölzstreifen .....	6
Tabelle 2: Schematische Darstellung der Entfernungen der Windmessstationen zum Gehölzstreifen.....	11
Tabelle 3: Wertebereiche zur Interpretation des Korrelationskoeffizienten (Kronthaler, 2014) .....	19
Tabelle 4: Kornertag des konventionellen Hafers in Abhängigkeit der Entfernung zum Gehölzstreifen.....	46
Tabelle 5: Kornertag des Fahnenhafers in Abhängigkeit der Entfernung zum Gehölzstreifen.....	46
Tabelle A - 1: Namen der festgestellten Pflanzenarten auf dem Ackerstreifen und in den Pappelstreifen.....	56
Tabelle A - 2: Einstufung des Humusgehaltes (organische Substanz) von Böden (Sponagel, 2005) .....	57
Tabelle A - 3: Einstufung und Bewertung des pH-Wertes (gemessen in CaCl <sub>2</sub> - Lösung) (Sponagel, 2005) .....	57
Tabelle A - 4: Anzustrebende pH - Bereiche in Ackerböden(Oehmichen et al., 1983).....	57
Tabelle A - 5: Definition der P-, K- und Mg-Gehaltsklassen für den leichtlöslichen (pflanzenverfügbaren) Nährelementgehalt im Boden und Düngungsempfehlungen (Wulffen et al., 2008).....	59
Tabelle A - 6: Bewertung der Phosphor-Gehalte im Boden für Ackerland nach der DL-Methode (Wulffen et al., 2008).....	59
Tabelle A - 7: Bewertung der Kalium-Gehalte im Boden für Ackerland nach der DL-Methode (Wulffen et al., 2008).....	59
Tabelle A - 8: Nährstoffgehalt [mg/g] im Erntegut von Hafer (Döhler, 2005).....	59
Tabelle A - 9: Makrostadien zur Beschreibung der phänologischen Entwicklung mono- und dikotyle Pflanzen(Meier, 2001).....	60
Tabelle A - 10: Einstufung der Hafersorten in den BBCH-Code für den Untersuchungszeitraumes .....	61

**Formelverzeichnis**

Formel 1: Berechnung des Humusanteils .....	13
Formel 2: Berechnung des gravimetrischen Wassergehaltes.....	14
Formel 3: Berechnung des Gehaltes von Nitratstickstoff, Ammoniumstickstoff und mineralischem Stickstoff im Boden .....	15
Formel 4: Berechnung des Vorrates an mineralischem Stickstoffe im Boden.....	15
Formel 5: Berechnung des Gehaltes an Kalium und Phosphor im Boden .....	16
Formel 6: Berechnung des Vorrates an Kalium und Phosphor im Boden.....	17
Formel 7: Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Bravais-Pearson (Kronthaler, 2014) .....	18

**Abkürzungsverzeichnis**

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
AFS	Agroforstsysteme
AUFWERTEN	Agroforstliche Umweltleistungen für Wertschöpfung und Energie
BBCH	<b>B</b> iologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, <b>B</b> undessor- tenamt und <b>C</b> hemische Industrie
BG	Bodengruppe
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
C	Kohlenstoff
FH	Fahnenhafer
K	Kalium
KA 5	Bodenkundliche Kartieranleitung KA 5
KH	konventioneller Hafer
KW	Kalenderwoche
MaS	Makrostadium
MiS	Mikrostadium
N	Stickstoff
N <sub>min</sub>	mineralischer Stickstoff
P	Phosphor
VE Wasser	vollentsalztes Wasser
WS	Windmessstation

## **1 Zusammenfassung**

Die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel „Effekte agroforstlicher Nutzung auf den Ertrag verschiedener Hafersorten in Südbrandenburg“ beschäftigt sich mit dem Einfluss von Gehölzstreifen auf den Ertrag zweier unterschiedlicher Haferkulturen auf einer agroforstlich genutzten landwirtschaftlichen Fläche in Südbrandenburg. Die gewonnenen Ergebnisse fließen in das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Verbundprojekt AUFWERTEN (Agroforstliche Umweltleistungen Für WERTschöpfung und ENergie; FKZ: 033L129AN) ein.

Ziel dieser Arbeit ist es, potentielle Einflussfaktoren durch Gehölzstreifen auf den Ertrag der Ackerkulturen zu charakterisieren und eine Bewertung bezüglich positiver und negativer Beeinflussung zu geben. Dazu fand eine Bestimmung charakteristischer Bodenparameter wie pH-Wert, Humusgehalt, gravimetrischer Wassergehalt und verschiedener Nährstoffgehalte statt. Des Weiteren erfolgte eine Analyse der Nährstoffversorgung der Hafersorten. Es wurden zudem der Bedeckungsgrad durch Beikräuter erhoben, um negative Einflüsse der Gehölzstreifen ausschließen zu können. Ferner wurden Winddaten ausgewertet. Die Ergebnisse geben einen Einblick dahingehend, wie und wodurch die Gehölzstreifen Einfluss auf die Erträge des Hafers nehmen. Die Auswertung der erhobenen Daten zeigt, dass kein vermehrter Beikrautdruck von den Gehölzstreifen ausgeht. Des Weiteren konnte eine deutliche Windreduktion, hervorgerufen durch die Baumstreifen, im Randbereich der Gehölzstreifen festgestellt werden. Die Untersuchungen zum Humusgehalt und gravimetrischen Wassergehalt ergaben einen Zusammenhang zwischen den beiden Parametern. Bei den Nährstoffparametern im Boden ist ein Zusammenhang mit der Entfernung zum Gehölzstreifen nachweisbar geworden, welcher dadurch einen indirekten Einfluss auf den Ertrag in Gehölzstreifennähe nahm. Zusammenfassend kann die Aussage getätigt werden, dass viele positive Effekte festgestellt wurden, diese aber nur bedingt oder indirekt sich auf den Hafer ausgewirkt haben.



## **2 Einleitung**

Eine Art der agroforstliche Nutzung eines Areals kombiniert den parallelen, streifenförmigen Anbau von schnellwachsenden Bäumen, wie Pappel oder Robine, mit einjährigen Feldfrüchten oder Grünland auf derselben landwirtschaftlich genutzten Fläche (Grünwald & Reeg, 2009; Kanzler et al., 2014; Lamerre et al., 2015; Quinkenstein, 2015). Dieser Systemverbund wird auch Agroforstsystem (AFS) genannt.

Durch den zeitgleichen Anbau von Gehölzen und Feldfrüchten kann eine parallele Produktion gewährleistet werden. Unterliegen die Baumstreifen einer Kurzumtriebsbewirtschaftung (Ernte der Gehölzstreifen im vier- bis sechsjährigen Turnus), können sie zur nachhaltigen Biomassenproduktion beitragen, indem die anfallenden Holzhackschnitzel der Baumernte zur energetischen Nutzung Verwendung finden (Quinkenstein et al., 2008). Es entsteht somit eine geringere Flächenkonkurrenz zwischen dem Anbau von Bioenergie und der Nahrungs- oder Futtermittelproduktion. Neben der entfallenden Flächenkonkurrenz wirken sich die Baumstreifen zudem positiv auf die Ackerkulturen aus. Sie schützen den Boden vor Winderosion, da sie als Windfang fungieren und die Geschwindigkeit des Windes reduzieren (Kanzler et al., 2014). Die Gehölzstreifen eines AFS nehmen allerdings nicht nur auf den Wind Einfluss, sondern auch auf andere mikroklimatische Größen, wie zum Beispiel die Beschattung, Verdunstung, Taubildung, Temperatur, etc. (Abbildung 1). Im nachfolgenden werden einige Beispiele näher erläutert. Durch die Gehölzstreifen erfolgt eine höhere Beschattung im Randbereich, welche die Umgebungstemperatur in Gehölzstreifennähe senkt und somit die Transpiration der Pflanze sowie die Evaporation des Bodens reduzieren. Diese hat Einfluss auf den Wasserhaushalt des Bodens. Die Baumstreifen können zudem als zusätzliche Nährstoffquelle dienen. Durch den Laubfall im Herbst wird dem Oberboden organische Biomasse zugeführt, die durch Zersetzung wiederum Nährstoffe an den Boden abgibt, die den Feldfrüchten im Frühjahr zur Verfügung stehen (Jung et al., 2013; Quinkenstein et al., 2008). Diese positiven Wirkungen können zu stabileren und höheren Ernteerträgen und -qualitäten führen (Jung et al., 2013). AFS fördern unter anderem auch die Biodiversität durch Erhöhung der Strukturvielfalt. Sie dienen als Rückzugs- und Brutgebiet für viele Tierarten und können unter anderem von Waldbewohnern als Wanderkorridore genutzt werden (Kanzler et al., 2015; Lamerre et al., 2015; Quinkenstein et al., 2008).

Bei der Anlegung eines AFS sollte darauf geachtet werden, dass die Pflanzung der Baumstreifen quer zur Hauptwindrichtung erfolgt, um eine maximale Windschutzwirkung zu gewährleisten. Zudem ist der Abstand zwischen den Gehölzstreifen wichtig. Bei zu dichter Pflanzung der Baumstreifen stehen die negativen Wirkungen den positiven Effekten unverhältnismäßig gegenüber. Die optimale Breite des Feldes zwischen den Baumstreifen begrenzt sich somit auf etwa das 12-fache der Heckenhöhe beziehungsweise

sollten Feldbreiten von 100 m nicht deutlich überschreiten werden, aufgrund des ansonsten nachlassenden Windschutzeffektes (Quinkenstein, 2015).

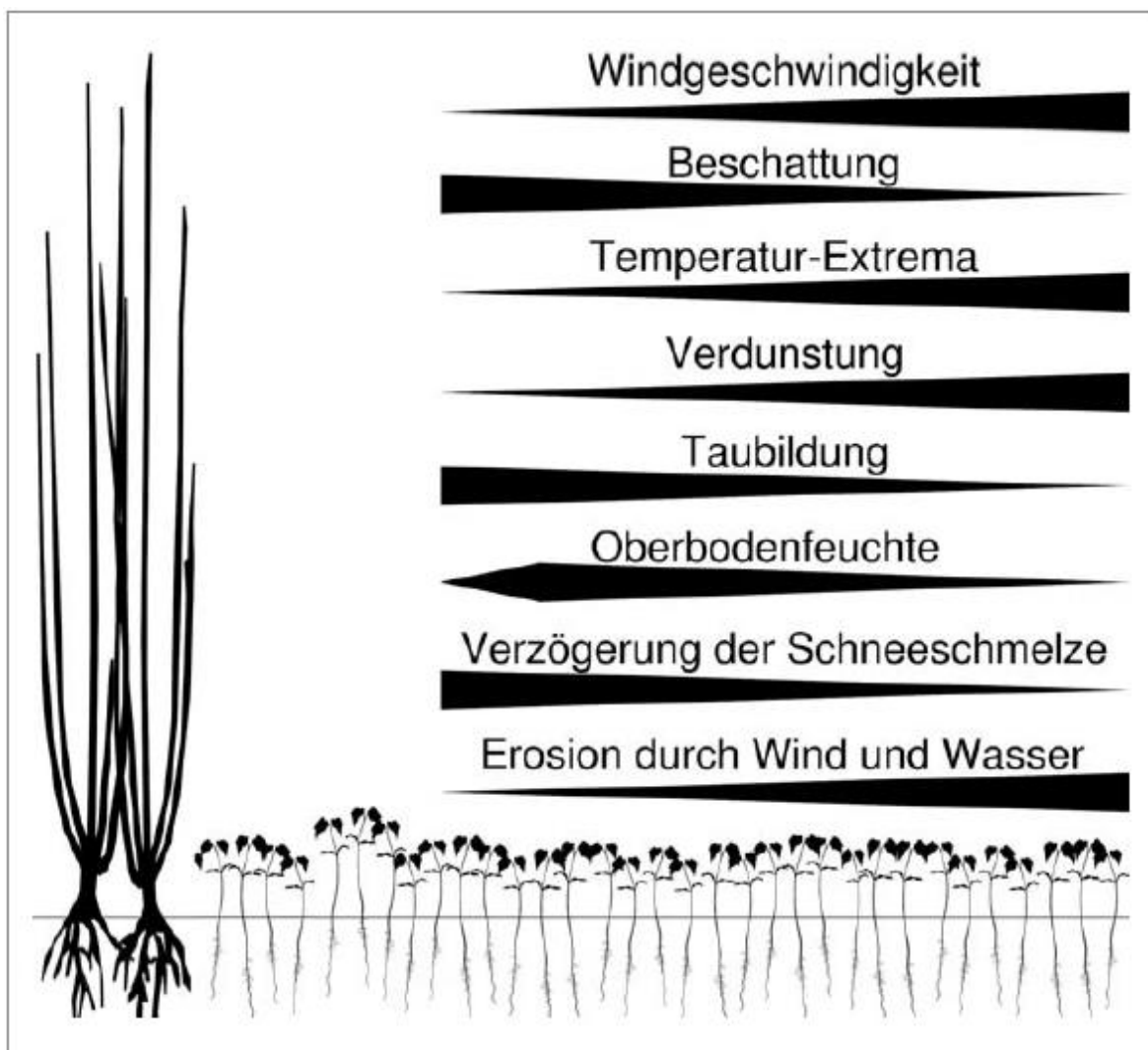


Abbildung 1: Beeinflussung mikroklimatischer Kenngrößen durch Heckenstreifen in der Agrarlandschaft (Quinkenstein et al., 2008), die Breite der Streifen gibt die Höhe der Beeinflussung an

In dieser Bachelorarbeit werden unterschiedliche Wechselwirkungen in einem agroforstlichen System untersucht. Ein Aspekt war, wie sich die Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Entfernung zum Gehölzstreifen verändert. Ein weiteres Augenmerk liegt auf der eventuellen vermehrten Verbreitung von Beikräutern. Zudem wird auch auf die Nährstoffversorgung des Bodens und der Pflanzen eingegangen, um negative Konkurrenzeffekte ausschließen zu können. Zum Schluss werden die gewonnenen Daten mit der Ertragerhebung der angebauten Hafersorten in Verbindung gesetzt. Die Ergebnisse geben einen Einblick dahingehend, wie und wodurch die Gehölzstreifen Einfluss auf die Erträge von Hafer nehmen. Die Bewertung des Einflusses auf den Ertrags durch die erhobenen

Parameter geschieht durch eine Hypothesendiskussion in Punkt 5.9. Die entwickelten Hypothesen sind nachfolgend aufgelistet.

1. Es geht kein erhöhter Beikrautdruck vom Gehölzstreifen aus, der sich negativ auf den Ertrag ausübt.
2. Die Reduktion der Windgeschwindigkeit nimmt positiven Einfluss auf den Ertrag.
3. Die Nährstoffverfügbarkeit im Boden variiert in Abhängigkeit des Abstandes zum Gehölzstreifen.
4. Es bestehen Konkurrenzeffekt zwischen den Baumstreifen und dem Randbereich des Untersuchungsfeldes im Bezug auf den Haferertrag.
5. Die Beeinflussung der Feldfruchte durch die Gehölzstreifen ist auf der Westseite höher als auf der Ostseite.

### 3 Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen fanden auf einer landwirtschaftlich genutzten Fläche des Landwirtschaftsbetriebes Domin statt, welche sich in Peickwitz, ca. 10 km südlich von Senftenberg und ca. 55 km süd-westlich von Cottbus (Abbildung 2) befindet.



Abbildung 2: Lage der Untersuchungsfläche (GoogleEarth 2016 – abgerufen am 03.07.2016)

Das Untersuchungsfeld (Abbildung 3) weist eine Breite von 150 m, eine Länge von 230 m und insgesamt eine Fläche von ca. 4,3 ha auf. Die angebauten und untersuchten Feldfrüchte waren konventioneller Hafer (*Avena sativa*, Sorte Max) (KH) und Fahnenhafer (*Avena sativa* subsp. *orientalis*) (FH). Der Grundwasserstand belief sich auf eine durchschnittliche Tiefe von 1,8 m. Die in den ersten 30 cm vorherrschende Bodenart wurde nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 5) (Sponagel, 2005) als Lehmsand identifiziert. In Kombination mit der Tabelle 1 in Wulffen et al. (2008) kann dem Boden die Bodengruppe (BG) 2 zugeordnet werden. Darunter befand sich in einer Tiefe von 30 cm bis 60 cm schwach schluffiger Sand und in der Tiefenstufe 60 cm bis 100 cm reiner Sand.

Für eine genaue Kartierung und Untersuchung wurde das Feld in acht Beprobungsstreifen mit jeweils elf Beprobungspunkten aufgeteilt. Daraus ergaben sich insgesamt 88 Beprobungspunkte (Abbildung 3). Der Abstand von den Baumstreifen zu dem jeweiligen Beprobungspunkt ist der Tabelle 1 zu entnehmen. Hierbei beziehen sich die Angaben West und Ost auf die entsprechenden Randbereiche der Ackerfläche.

Tabelle 1: Abstand der Beprobungspunkten auf dem Ackerstreifens zu den Gehölzstreifen

Entfernung	Gehölzstreifen West	3 m	6 m	12 m	24 m	48 m	75 m	48 m	24 m	12 m	6 m	3 m	Gehölzstreifen Ost
Ausrichtung		West	West	West	West	West	Mitte	Ost	Ost	Ost	Ost	Ost	

Zwischen der Ackerfläche und den Gehölzstreifen wurde eine ca. 2 m breite Pufferzone auf jeder Seite eingerichtet. Die ca. 20 m breiten Gehölzstreifen/Baumstreifen bestehen aus mehreren Baumreihen und säumen den untersuchten Ackerschlag an der West- sowie Ostseite. Der Abstand zwischen den Baumreihen beträgt 2,7 m. Der Abstand zwischen den einzelnen Bäumen innerhalb einer Reihe im östlichen Gehölzstreifen beläuft sich auf 0,5 m. Der westliche Gehölzstreifen weist unterschiedlichen Baumabstände innerhalb einer Reihe auf. Dort wurde im westlichen Teil (dem Haferabgewandte Seite) ein Abstand von 0,5 m zwischen den Bäumen gewählt, wohingegen im östlichen Teil (dem Hafer zugewandte Seite) der Abstand 1,0 m beträgt. Die Gehölzstreifen wurden mit Pappeln (*Populus spec.*), mithilfe von Steckhölzern, im Frühjahr 2014 bepflanzt. Zum Zeitpunkt der Erhebung wiesen die Bäume ein Alter von 1,5 Jahren und eine Höhe von 2 - 3 m auf. Die geplante Umtriebszeit für den östlichen Teil des westlichen Baumstreifens beläuft sich auf drei bis sechs Jahre, wohingegen der westliche Teil sowie der östliche Baumstreifen für drei bis vier Jahre angelegt sind.



Abbildung 3: Untersuchungsgebiet mit den einzelnen Beprobungspunkten

## **4 Material und Methoden**

### **4.1 Probenahme und Probenaufbereitung**

#### **4.1.1 Boden**

Die Probenahme für die Bodenproben erfolgte an den blau markierten Punkten (Abbildung 4) in der Tiefenstufe 0 – 30 cm. Die Bodenproben wurden mit einem Pürckhauer-Bohrstock entnommen und in Plastiktüten überführt. Die in der Abbildung 4 grün markierten Dreiecke kennzeichnen die Punkte, an denen eine weitere Probenahme in den Tiefenstufen 30 – 60 cm und 60 – 100 cm durchgeführt wurde. An den rot markierten Punkten fand keine Probenahme statt. Insgesamt beläuft sich die Probenanzahl auf 56 Proben für die Tiefenstufe 0 – 30 cm und auf jeweils acht Proben für die Tiefenstufen 30 – 60 cm und 60 – 100 cm. Dies ergibt eine Gesamtzahl von 72 Bodenproben. Die auf dem Feld genommenen und nicht weiter behandelten Proben, werden im weiteren Verlauf der Arbeit als feldfrische Proben bezeichnet.

Im Anschluss an die Geländearbeit fand eine Trocknung der Proben im Labor bei 40 °C (lufttrocken) im Trockenschrank statt. Danach folgte die Trennung in Grob- und Feinboden mithilfe eines 2 mm Siebes. Der gewonnene Feinboden der Proben aus der Bodentiefe von 0 – 30 cm bildet die Grundlage für die laboranalytischen Methoden und wird im weiteren Verlauf als aufbereitete Bodenproben bezeichnet.

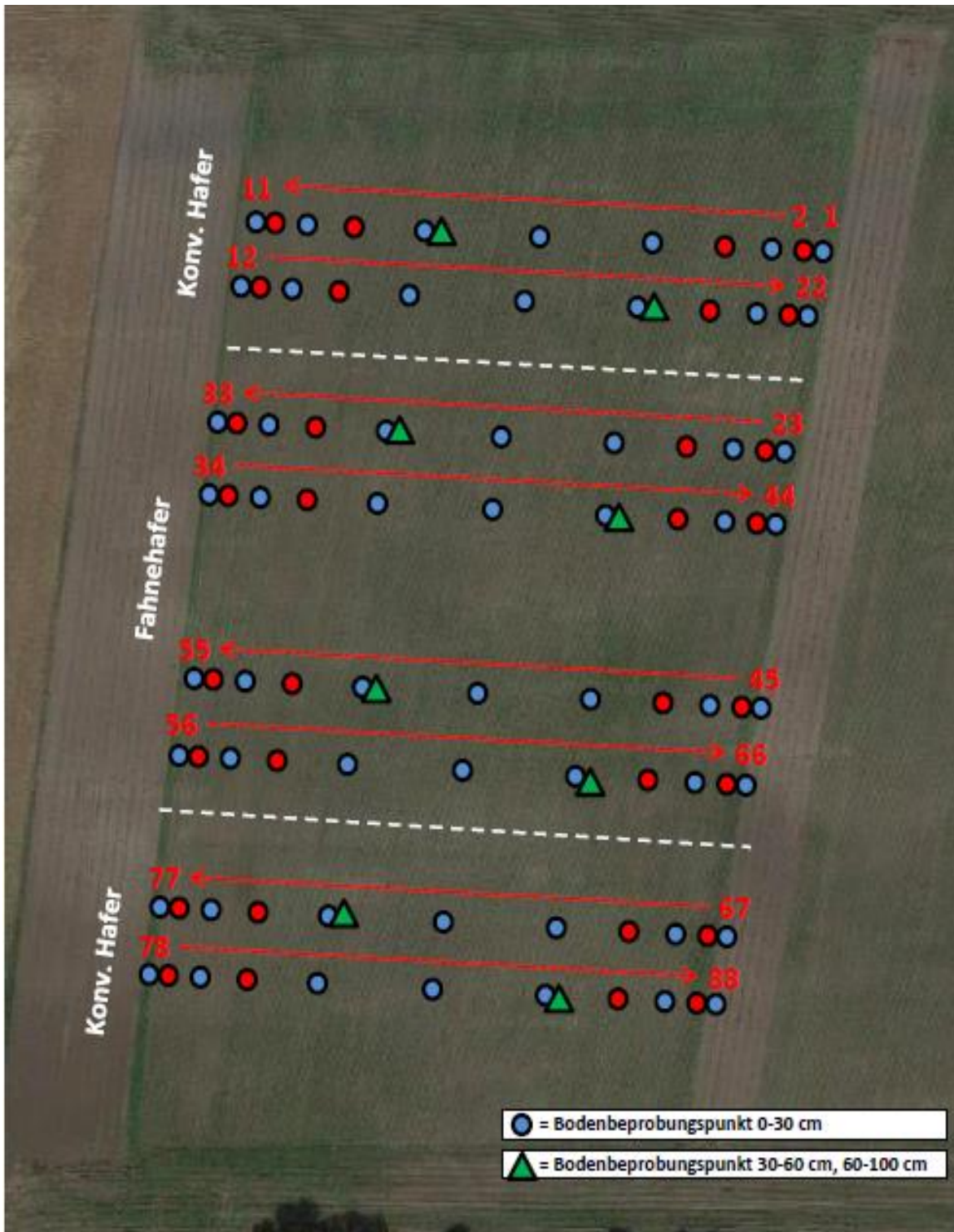


Abbildung 4: Kennzeichnung der Bodenbeprobungspunkte mit den vorgesehenen Tiefenstufen



#### 4.1.2 Hafer

Die Probenahme des Hafers erfolgte an allen 88 Beprobungspunkten (Abbildung 3). Dazu wurde an den Punkten ein Rahmen von 50 x 50 cm ausgelegt. In diesem  $\frac{1}{4}$  m<sup>2</sup> fand eine Ernte aller darin befindlichen Haferhalme statt. Im Labor trocknete der Hafer bei 60 °C bis zur Gewichtskonstanz im Trockenschrank. Im Anschluss an den Trocknungsvorgang fand ein Drusch des Hafers per Hand statt, was ein separates Auffangen der Körner nach der Trennung von den Spelzen ermöglichte. Mit Hilfe einer Schwingmühle wurden die Körner zu Mehl gemahlen. Das gewonnene Mehl diente als Grundlage für den Druckaufschluss und die CNS-Analyse. Sie werden im weiteren Verlauf als gemahlene Haferproben bezeichnet. Um ein exaktes Korn/Strohverhältnis zu generieren, wurde bei 12 ausgewählten Einzelproben ein Drusch per Hand eines jeden Haferhalms der Probe durchgeführt. Dies ermöglichte die Ermittlung des genauen Korn- und Strohgewichts der Einzelproben, welche die Grundlage für die Hochrechnung der anderen Proben darstellte.

### 4.2 Felduntersuchungen

#### 4.2.1 Erträge

Um eine Einschätzung der Ernteerträge vornehmen zu können, fand auf dem Untersuchungsfeld eine Teilernte statt. Diese erfolgt wie in Punkt 4.1.2 bereits beschrieben. Im Anschluss an den Trocknungsvorgang und vor dem Drusch, wurden die Proben der Einzelpunkte gewogen und als „Gesamtgewicht Hafer“ notiert. An sechs ausgewählten Punkten aus den Anbaubereichen KH und FH wurden die Körner sorgfältig von Stroh und Spelzen befreit, um ein exaktes Korn – Stroh – Verhältnis zu ermitteln. Dieses Verhältnis fand im Anschluss Verwendung, um aus dem „Gesamtgewicht Hafer“ die Erträge an Korn und Stroh der jeweiligen Beprobungspunkte zu errechnen.

#### 4.2.2 BBCH-Code

Die regelmäßige Kartierung des Feldes nach der erweiterten BBCH-Skala (Meier, 2001) wurde von den Mitarbeitern des Landwirtschaftsbetriebes Domin durchgeführt. Hierzu fand eine regelmäßige Einteilung des Pflanzenwachstumsstadiums nach ihrem phänologischen Entwicklungsstadium in Makrostadien (MaS) und Mikrostadien (MiS) statt. Die Bedeutung der einzelnen Makrostadien kann der Tabelle A - 9 (siehe Anhang) entnommen werden.

#### 4.2.3 Bedeckungsgrad

Mit Hilfe des Bedeckungsgrades konnte der Unkrautdruck auf der Untersuchungsfläche festgestellt werden. Hierzu wurde an allen 88 Beprobungspunkten (Abbildung 3) eine Fläche von 0,5 m<sup>2</sup> abgesteckt und nach der Skala von Braun-Blanquet kartiert. Zusätzlich fand eine Kartierung in den Baumstreifen auf der Höhe der jeweiligen Beprobungsreihen statt. Um den Bedeckungsgrad der einzelnen Flächenquadrate bestimmen zu können, wurde die abgesteckte Fläche als 100 % angenommen und die prozentuale Verteilung der darin befindlichen Pflanzen geschätzt.

#### 4.2.4 Windgeschwindigkeiten

Die Windgeschwindigkeiten wurden mithilfe von Anemometer der Firma Thies während des Untersuchungszeitraumes erfasst. Die Aufstellung der Anemometer fand in 50 m Entfernung vom oberen Feldrand und in den Entfernungen von 12 m, 24 m, 48 m und 75 m (Mitte) vom westlichen Gehölzstreifen aus statt (Abbildung 5). Die Bezeichnungen der einzelnen Windmessstationen (WS) und die dazugehörige Entfernung kann der Tabelle 2 entnommen werden. Die Aufzeichnungen der Windgeschwindigkeiten lagen als täglich gemittelte Daten, basierend auf 10-minütiger Aufzeichnung, vor.

Tabelle 2: Schematische Darstellung der Entfernungen der Windmessstationen zum Gehölzstreifen

Gehölzstreifen West	WS 2	WS 3	WS 4	WS 5
	12 m	24 m	48 m	75 m

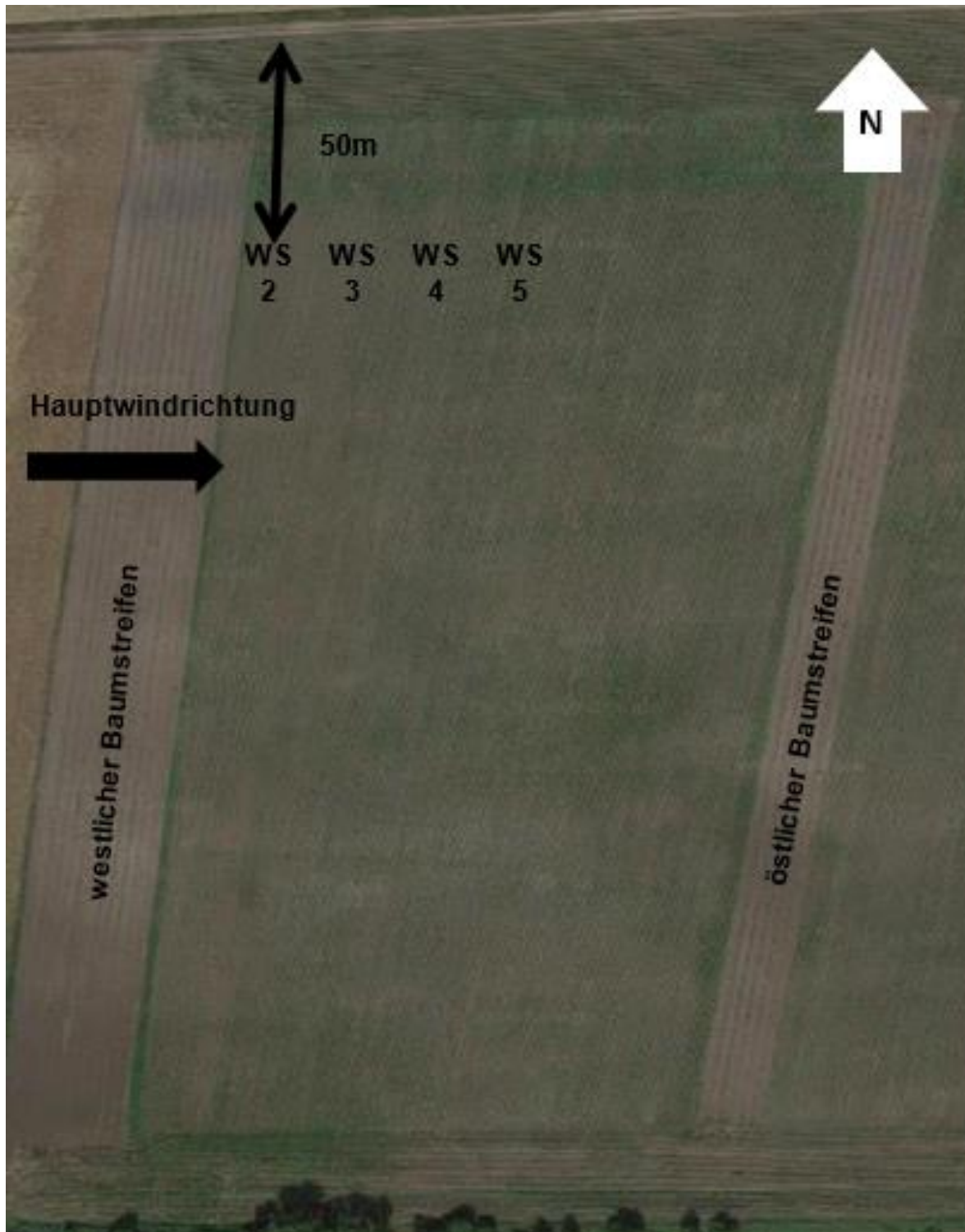


Abbildung 5: Skizze zur Position der Windmessgeräte

### 4.3 Laboranalytische Untersuchungen

Die nachfolgenden beschriebenen laboranalytischen Untersuchungen erfolgten alle, soweit nicht anders im Text genannt, nach den Laborvorschriften des Lehrstuhls Bodenschutz und Rekultivierung der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg.

#### 4.3.1 Humusanteil im Boden

Die Bestimmung des Humusanteils im Boden fand mithilfe des Glühverlustes statt. Dazu wurde ein Teil der aufbereiteten Bodenproben in Porzellantiegel eingewogen und über Nacht bei 450 °C im Muffelofen vermuffelt. Nach dem Abkühlen im Exsikkator, wurde eine Rückwägung der Proben vorgenommen. Die Massendifferenz ergab den Glühverlust. Der Humusgehalt wird in Prozent angegeben. Zur Berechnung wurde folgende Formel verwendet:

$$\% \text{Glühverlust}[\%] = 100 - \left( 100 * \frac{GG - LG}{TG - LG} \right)$$

*TG = Gewicht des Bodens [g], welcher bei 105°C getrocknet wurde mit Tiegel*

*GG = Gewicht des Bodens [g], welcher bei 450°C getrocknet wurde mit Tiegel*

*LG = Leergewicht des Porzellantiegels [g]*

Formel 1: Berechnung des Humusanteils

#### 4.3.2 Gravimetrischer Wassergehalt im Boden

Zur Berechnung des gravimetrischen Wassergehaltes wurden 3 – 4 g der feldfrischen Bodenproben in Porzellantiegel eingewogen. Das Leergewicht der Tiegel sowie das Gewicht der Tiegel mit Boden galt es zu notieren. Anschließend trockneten die Porzellantiegel mit den Bodenproben bei 105 °C bis zur Gewichtskonstante im Trockenschrank. Nach Erreichen der Gewichtskonstante fand eine Rückwägung der Tiegel mit dem getrockneten Boden statt, dessen Gewicht es ebenfalls zu notieren galt. Der gravimetrische Wassergehalt wird in Massenprozent angegeben und zur Berechnung wurde folgende Formel zugrunde gelegt:

$$X\% = 100 - \left( 100 * \frac{TG - LG}{FG - LG} \right)$$

$X\%$  = gravimetrischer Wassergehalt [Massen – %]

$FG$  = Feuchtgewicht des Bodens [g] mit Porzellantiegel

$TG$  = Trockengewicht des Bodens [g] mit Porzellantiegel

$LG$  = Leergewicht des Porzellantiegels [g]

Formel 2: Berechnung des gravimetrischen Wassergehaltes

#### 4.3.3 pH-Wert im Boden

Um den pH-Wert des Bodens messen zu können, musste eine Bodenlösung hergestellt werden. Dafür wurden 10 g der aufbereiteten Bodenproben mit 25 ml 0,01 M CaCl<sub>2</sub>-Lösung versetzt. Diese Lösung wurde per Hand geschüttelt und anschließend 15 Minuten stehen gelassen. Ein erneutes Schütteln erfolgte nach Ablauf der Zeit. Auf den zweiten Schüttelvorgang ruhte die Lösung für 60 Minuten im Stehen. Der Boden setzte sich während dieser Zeit ab, sodass ein Zweiphasensystem entstand. Um einen klaren Überstand zu erhalten, wurden die Proben zusätzlich für zehn Minuten mit 3000 Umdrehungen zentrifugiert. Der pH-Wert wurde anschließend im klarem Überstand mithilfe der pH-Sonde MultiLab 540 der Firma WTW elektrometrisch gemessen.

#### 4.3.4 Mineralischer Stickstoff (N<sub>min</sub>) im Boden

Der Gehalt an mineralischem Stickstoff (N<sub>min</sub>) definiert sich als Summe der Gehalte an Ammonium-Stickstoff (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N) und Nitratstickstoff (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N) (Böhm, 2012; Stahr et al., 2012). Zur Bestimmung des Gehaltes an N<sub>min</sub> im Boden wurden 25 g feldfrischer Boden eingewogen. Die Genauigkeit der Einwaage betrug hierbei +/- 0,02 g. Pflanzenteile oder Steine größer 2 mm sollten vorher entfernt und nicht mit eingewogen werden. Anschlie-

ßend wurde die Probe mit 100 ml 0,01 M CaCl<sub>2</sub> – Lösung versetzt und die daraus entstandene Suspension lagerte 30 Minuten liegend auf dem Schüttler. Die Durchführung der Filtration der Suspension geschah im Anschluss des Schüttelvorganges über einen Filter der Sorte 292 oder 292 a der Firma sartorius. Das gewonnene Filtrat kann durch einfrieren lagerfähig gemacht und somit zu einem späteren Zeitpunkt gemessen werden. Die Menge an NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N und NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N, im gewonnen Filtrat wurde mithilfe der Fließinjektionsanalyse (flow injection analyser der Firma ILS) ermittelt. Die gewonnenen Daten aus diesem Verfahren lagen in mg/l vor und mussten zur weiteren Interpretation in mg/kg und in kg/ha umgerechnet werden. Dazu fanden folgende Formeln Verwendung:

$$NO_3^- - N \left[ \frac{mg}{kg} \right] = \left( NO_3^- - N \left[ \frac{mg}{l} \right] - BP \right) * BLV * TR$$

$$NH_4^+ - N \left[ \frac{mg}{kg} \right] = \left( NH_4^+ - N \left[ \frac{mg}{l} \right] - BP \right) * BLV * TR$$

$$N_{min} \left[ \frac{mg}{kg} \right] = NO_3^- - N \left[ \frac{mg}{kg} \right] + NH_4^+ - N \left[ \frac{mg}{kg} \right]$$

*BP = Wert der Blindprobe [mg/l]*

*BLV = Boden – Lösungs – Verhältnis*

*TR = Trockensubstanzfaktor (Trockensubstanz (%)/100)*

Formel 3: Berechnung des Gehaltes von Nitratstickstoff, Ammoniumstickstoff und mineralischem Stickstoff im Boden

$$N_{min} \left[ \frac{kg}{ha} \right] = N_{min} \left[ \frac{mg}{kg} \right] * LG \left[ \frac{g}{cm^3} \right] * BT [m] * \left( 1 - \left( \frac{SK[\%]}{100} \right) \right) * 10$$

*LG = Lagerungsdichte  $\left[ \frac{g}{cm^3} \right]$  (hier  $1,2 \frac{g}{cm^3}$ )*

*BT = Bodentiefe [m] (hier 0,3 m)*

*SK = Skelettgehalt [%] des Bodens*

Formel 4: Berechnung des Vorrates an mineralischem Stickstoffe im Boden

Die Trockensubstanz errechnete sich aus dem gravimetrischen Wassergehalt. Wohingegen sich das Boden-Lösungs-Verhältnis aus dem Verhältnis zwischen eingewogenen Boden und der hinzugegebenen Flüssigkeit errechnet. In diesem Beispiel wäre es  $100/25=4$ .

#### 4.3.5 Kalium und Phosphor im Boden

Mittels des Doppellactatauszugs wurde der Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor (P) und Kalium (K) im Boden bestimmt. Zu Beginn der Arbeiten mussten alle Kunststoff- und Glasgefäße mit verdünnter Salzsäure (HCl) gespült und im Anschluss mit vollentsalztem (VE-) Wasser nachgespült werden, um Verunreinigungen vollständig zu entfernen.

Für die Anwendung des Doppellactatauszuges musste als erstes eine Stammlösung angesetzt werden, welche die Grundlage der Gebrauchslösung bildet. Um die Stammlösung herzustellen, wurden 240 g Calciumlactat in ca. 1 l heißem Wasser unter Rühren aufgelöst. Nach vollständigem lösen des Calciumlactates musste die Lösung erkalten. Im Anschluss wurde die Lösung mit 80 ml 10 N (32 %) Salzsäure und einigen Tropfen Chloroform versetzt und mit VE-Wasser auf 2 l aufgefüllt. Für die Gebrauchslösung wurden 100 ml der Stammlösung mit VE-Wasser auf 2 l aufgefüllt und vorher auf einen pH-Wert von 3,6 eingestellt.

Um den eigentlichen Doppellactatauszug vornehmen zu können, wurden 2,5 g der aufbereiteten Bodenproben eingewogen und anschließend mit 125 ml der Gebrauchslösung versetzt und für 1 h 45 min geschüttelt. Nach dem Schütteln ruhte die Suspension für 15 Minuten, bevor sie über die phosphorarmen Filter 512 1/2 der Firma Whatman filtriert wurde. Die ersten 20 ml des Filtrates sollten verworfen werden. Die P- und K-Konzentrationen des Filtrates wurden mithilfe eines ICP-AES (Inductively coupled plasma atomic emission spectrometer) icap 6000 series der Firma Thermo scientific ermittelt. Die Ergebnisse lagen als mg/l vor und konnte mit den nachstehenden Formeln in mg/kg und kg/ha umgerechnet werden:

$$P \left[ \frac{mg}{kg} \right] = \left( P \left[ \frac{mg}{l} \right] - BP \right) * BLV$$

$$K \left[ \frac{mg}{kg} \right] = \left( K \left[ \frac{mg}{l} \right] - BP \right) * BLV$$

$$BP = \text{Wert der Blindprobe} \left[ \frac{mg}{l} \right]$$

$$BLV = \text{Boden} - \text{Lösungs} - \text{Vverhältnis}$$

Formel 5: Berechnung des Gehaltes an Kalium und Phosphor im Boden

$$P \left[ \frac{kg}{ha} \right] = P \left[ \frac{mg}{kg} \right] * LG \left[ \frac{g}{cm^3} \right] * BT[m] * \left( 1 - \left( \frac{SK[\%]}{100} \right) \right) * 10$$

$$K \left[ \frac{kg}{ha} \right] = K \left[ \frac{mg}{kg} \right] * LG \left[ \frac{g}{cm^3} \right] * BT[m] * \left( 1 - \left( \frac{SK[\%]}{100} \right) \right) * 10$$

$LG = \text{Lagerungsdichte} \left[ \frac{g}{cm^3} \right] \left( \text{hier } 1,2 \frac{g}{cm^3} \right)$

$BT = \text{Bodentiefe} [m] \left( \text{hier } 0,3 m \right)$

$SK = \text{Skelettgehalt} [\%] \text{ des Bodens}$

Formel 6: Berechnung des Vorrates an Kalium und Phosphor im Boden

#### 4.3.6 CNS – Analyse der Haferkörner

Mithilfe oxidativer Verbrennung und Wärmeleitfähigkeitsmessung fand eine Analyse der gemahlene Haferproben auf ihren Gehalt an Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N) im Korn hin statt. Vorweg wurden dazu 2,0 - 2,5 mg des Hafermehls eingewogen und zusammen mit Wolframoxid in Zinnschiffchen eingewickelt. Anschließend wurden diese bezüglich des N- und C-Gehaltes mittels eines Elementaranalysators (VARIO EL) analysiert. Die Ergebnisse mussten zur weiteren Analyse und Interpretation mit 10 multipliziert werden, um die Einheit mg/g zu erhalten.

#### 4.3.7 Druckaufschluss der Haferkörner

Mithilfe des Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>)-Druckaufschlusses wurde der Gehalt an Kalium (K) und Phosphor (P) in den Körnern des Hafers bestimmt. Der Druckaufschluss selbst erfolgte mit der Seiff Apparatur. Für den Druckaufschluss wurden 50 mg gemahlener Hafer eingewogen und in die Teflonröhrchen der Seiff Apparatur gegeben. Die Einwaage erfolgte mit einer Genauigkeit von +/- 5 mg. Im Anschluss wurde 1 ml 65 % HNO<sub>3</sub> hinzugegeben, die Teflonröhrchen in den Aufschlussblock eingespannt und für 8 h 30 min bei 175 °C in den Trockenschrank gestellt. Nach Ablauf der Zeit wurden die Proben zum Abkühlen herausgenommen und im Anschluss über feinporiges, aschefreies, phosphorarmes Filterpapier 388 der Firma sartorius filtriert und mit Reinstwasser auf 50 ml aufgefüllt. Die Analyse erfolgte am ICP-AES (Inductively coupled plasma atomic emission spectrometer) icap 6000 series der Firma Thermo scientific. Zur weiteren Auswertung mussten die Ergebnisse nicht weiter umgerechnet werden.



#### 4.4 Statistische Auswertung – Korrelationsanalyse nach Bravais-Pearson

Mithilfe der Korrelationsanalyse nach Bravais-Pearson kann der lineare Zusammenhang zwischen zwei Variablen untersucht und bewertet werden. Dazu wird ein Korrelationskoeffizient ( $r$ ) ermittelt, welcher ein dimensionsloses Maß für die Stärke des Zusammenhanges darstellt (Fahrmeir, 2004).

Der Korrelationskoeffizient kann positive und negative Werte annehmen, wobei dies keine Wertung der Korrelation darstellt, sondern eine Aussage über die Richtung des Zusammenhanges. Bei einer positiven Korrelation bewegen sich die Werte der beiden Variablen in die gleiche Richtung. Dies bedeutet, dass wenn die Werte der einen Variabel größer werden auch die Werte der anderen Variabel ansteigen und umgekehrt. Bei einem negativen Zusammenhang entwickeln sich die Werte der Variablen in entgegengesetzt Richtungen. Wachsen die Wert der einen Variabel, sinken die Werte der anderen und umgekehrt (Kronthaler, 2014). Zur Berechnung von  $r$  liegt folgende Formel zugrunde:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

$r$  = Korrelationskoeffizient

$x_i$  und  $y_i$  = beobachtete Werte

$\bar{x}$  und  $\bar{y}$  = arithmetisches Mittel

Formel 7: Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Bravais-Pearson (Kronthaler, 2014)

Die Ergebnisse des Korrelationskoeffizienten sind für den Wertebereich von  $-1 \leq r \leq 1$  definiert. Werte außerhalb dieses Wertebereiches sind nicht möglich. Zur Interpretation der Werte zwischen dem definiertem Wertebereich diene die nachfolgende Tabelle 3 (Kronthaler, 2014). Beachtenswert sind Korrelationskoeffizienten die Werte von  $r \geq 0,6$  oder  $r \leq -0,6$  und somit eine starke Korrelation aufweisen.

Tabelle 3: Wertebereiche zur Interpretation des Korrelationskoeffizienten (Kronthaler, 2014)

<b>Werte von r</b>	<b>Zusammenhang zwischen zwei Variablen</b>
$r = 1$	perfekt positive Korrelation
$1 > r \geq 0,6$	stark positive Korrelation
$0,6 > r \geq 0,3$	schwach positive Korrelation
$0,3 > r \geq -0,3$	keine Korrelation
$-0,3 \geq r > -0,6$	schwach negative Korrelation
$-0,6 \geq r > -1$	stark negative Korrelation
$r = -1$	perfekt negative Korrelation

## **5 Ergebnisse und Diskussion**

### **5.1 Einfluss der Gehölzstreifen auf den Bedeckungsgrad**

Die in Abbildung 6 und Abbildung 7 dargestellten Graphiken zeigen den gemittelten Bedeckungsgrad der Anbaubereiche, von KH und FH. Insgesamt 28 Pflanzenarten (Tabelle A - 1, siehe Anhang) sind festgestellt und miteinander verglichen worden. Die Kartierung des Bedeckungsgrades fand in Abhängigkeit von der Entfernung zum Gehölzstreifen statt. Die einzelnen Säulen zeigen die prozentuale Verteilung der vorkommenden Arten und der vegetationslosen Fläche innerhalb der Untersuchungsfläche von 0,5 m<sup>2</sup>. Die Ergebnisse der einzelnen Punkte wurden gemittelt, so dass am Ende zwei Diagramme für die jeweiligen Hafersorten entstanden.

Die Abbildung 6 zeigt den gemittelten Bedeckungsgrad in den Anbaubereichen des KHs. Auf dem Ackerstreifen nahm der Hafer im Mittel 86 % der Gesamtfläche ein. Die abgebildeten Beikräuter variierten in ihrem Bedeckungsgrad zwischen 2 % und 8 % und nehmen somit im Mittel 4 % an der gesamten Ackerfläche ein. Die letzten, im Mittel verbliebenden 10 % können dem vegetationslosen Anteil zugeordnet werden. Im Pappelstreifen West betrug die Beikrautdichte insgesamt 87 %, während der vegetationslose Anteil 13 % ausmachte. 26 % der Gesamtfläche im Pappelstreifen Ost nahmen die Beikräuter ein und 74 % waren vegetationslose Fläche.

Die Abbildung 7 veranschaulicht den gemittelten Bedeckungsgrad in den Anbaubereichen des FHs. Auf dem Ackerstreifen sind im Mittel 88 % der Gesamtfläche mit Hafer bewachsen. Die abgebildeten Beikräuter variieren von ihrem Bedeckungsgrad zwischen 0 % und 12 %, womit sie im Mittel 4 % an der Gesamtfläche einnehmen. Der vegetationslose Anteil beträgt 8 %. Im Pappelstreifen West liegt der vegetationslose Anteil bei 42 % und der der Beikräuter bei 58 %. Im Pappelstreifen Ost ist die Verteilung umgekehrt. Da beläuft sich der vegetationslose Anteil auf 57 % und die Beikrautdichte auf 43 %.

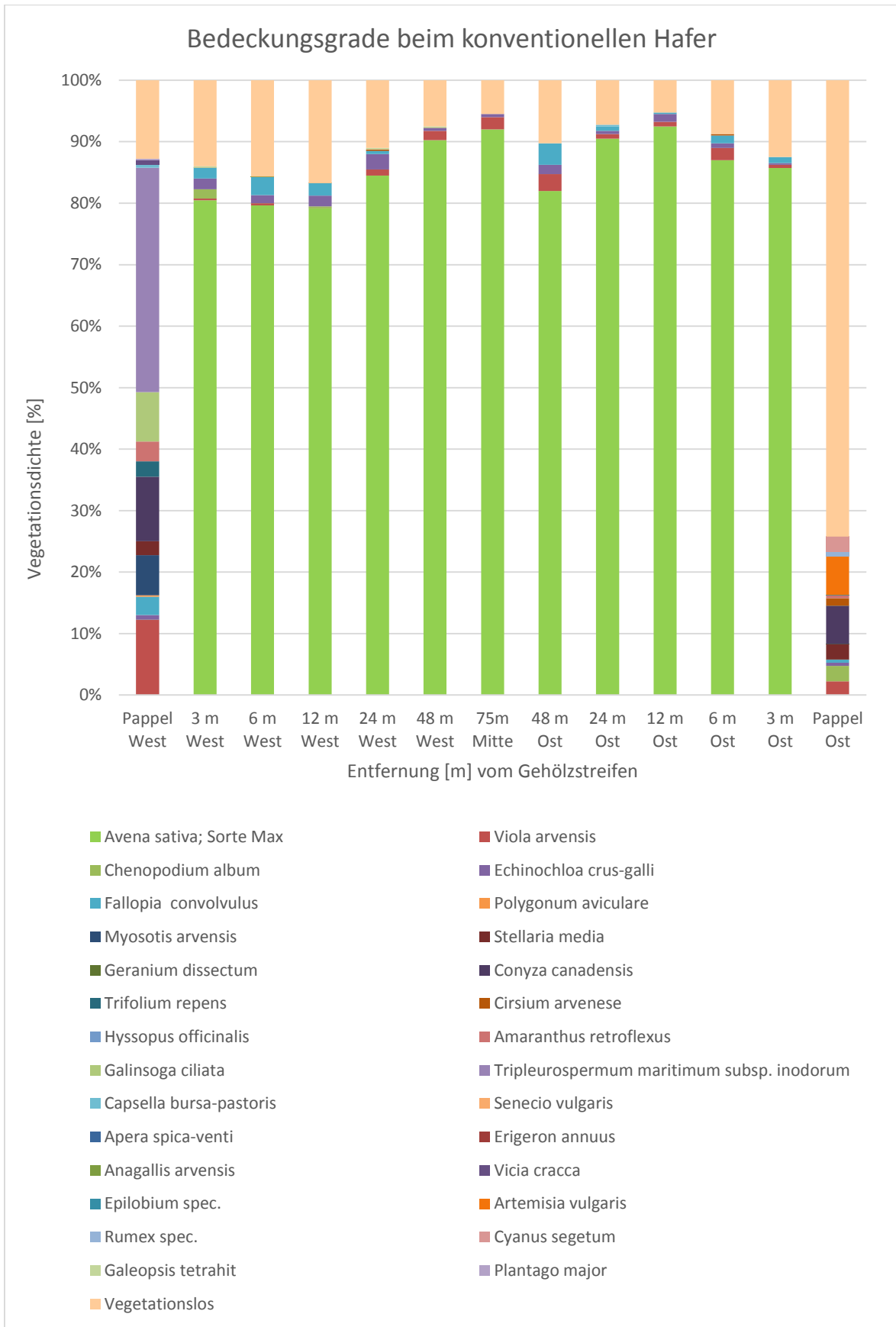


Abbildung 6: Bedeckungsgrade der Vegetation in Abhängigkeit des Abstandes zum Gehölzstreifen in dem Anbaustreifen des konventionellen Hafers

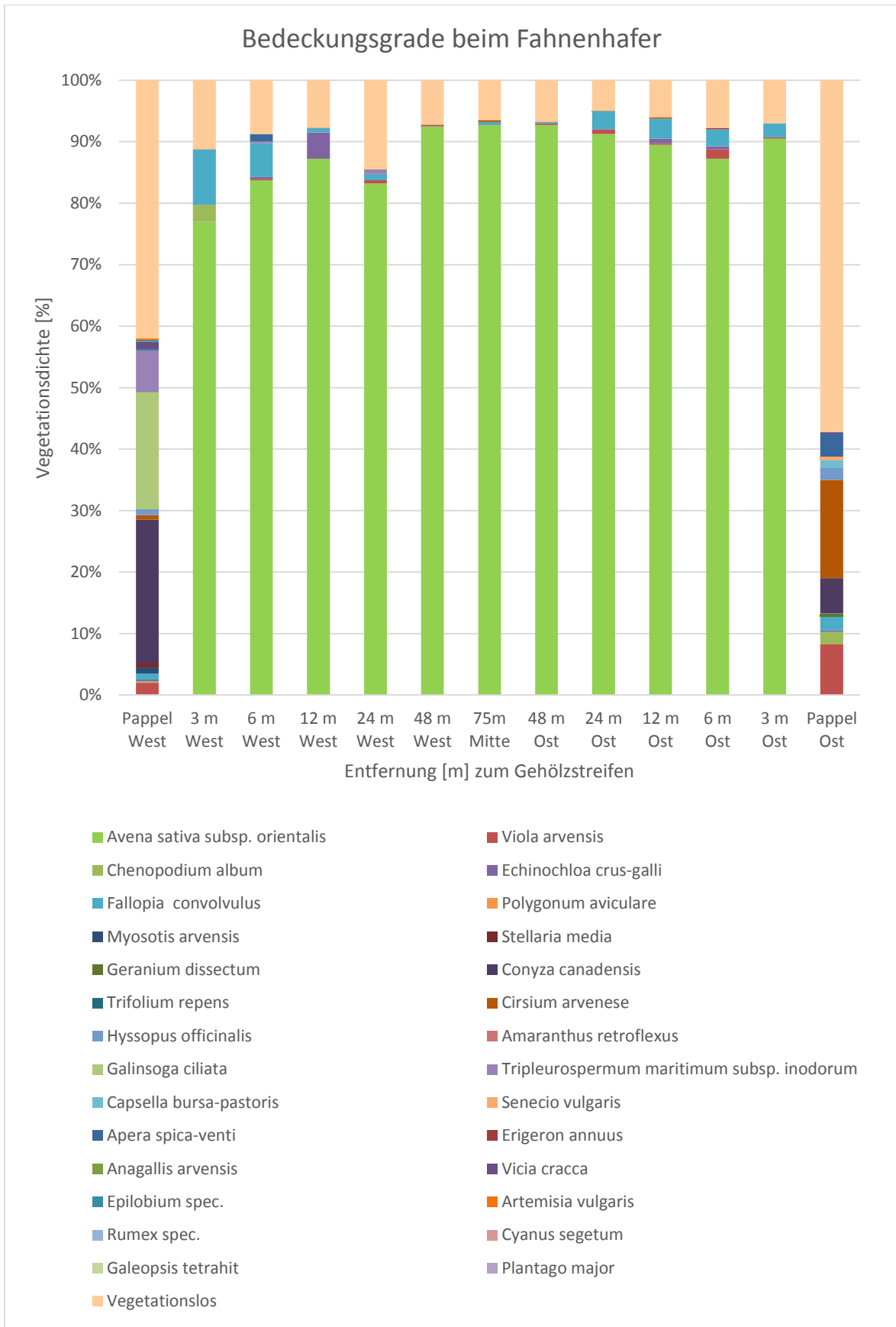


Abbildung 7: Bedeckungsgrade der Vegetation in Abhängigkeit des Abstandes zum Gehölzstreifen in dem Anbaustreifen des Fahnenhafers

Entsprechend der gewonnenen Daten geht von den Gehölzstreifen kein verstärkter Beikrautdruck aus. Somit wirken sich die Gehölzstreifen nicht negativ auf den Ertrag der Haferarten aus. Dies geht aus der prozentualen Verteilung der Beikrautarten an der gesamten Fläche hervor und ist aus den Abbildung 6 und Abbildung 7 ersichtlich.

Auf der Ackerfläche des KHs konnten nur sieben unterschiedliche Beikrautarten festgestellt werden, von den insgesamt 28 verzeichneten. Der mittlere Beikrautdruck auf der Ackerfläche liegt bei 4 % der gesamten Fläche. In den Pappelstreifen West und Ost betrug der Beikrautdruck 87 % beziehungsweise 74 %. In den Ackerstreifen des Fahnenhafers wurden insgesamt acht unterschiedliche Arten von Beikräutern festgestellt. Ihr Bedeckungsgrad nahm im Mittel 4 % an der gesamten Fläche ein. Wohingegen die Beikrautdichte in den angrenzenden Pappelstreifen West 58 % und im Oststreifen 43 % betrug. Die prozentuale Verteilung der Beikräuter auf den beiden Anbauflächen zeigt, dass diese in den Hecken einen viel höheren Anteil einnehmen, als auf der Ackerfläche und sich somit nicht auf die Ackerfläche großartig ausbreiten.

Bärwolff et al. (2014) bestätigt in ihrer Arbeit, dass kein zusätzlicher Beikrautdruck von Agrarholzstreifen ausgeht. In den Untersuchungsjahren 2013 und 2014 konnten in den untersuchten Parzellen insgesamt 25 Arten nachgewiesen werden. Auf den Ackerstreifen war diese Artenanzahl allerdings nicht wieder zu finden. Die Ausbreitung der Beikräuter in die Ackerfläche hinein fand nur im Nahbereich statt und ähnelte dem eines konventionellen Ackerrandes (Bärwolff et al., 2014).

## **5.2 Einfluss der Gehölzstreifen auf die Windgeschwindigkeitsreduktion**

Abbildung 8 zeigt den zeitlichen Verlauf der Windgeschwindigkeit während des Untersuchungszeitraumes vom 09.04. – 31.08.2016. Zur besseren Veranschaulichung gewisser Differenzierungen der einzelnen Windmessstationen dient die Abbildung 9, die einen Teilausschnitt aus der Abbildung 8 darstellt.

Für die Zeiträume vom 29.05. – 31.05.2016 und vom 05.07. – 07.07.2016 liegen keine Daten vor. Für den Zeitraum vom 05.08. – 17.08.2016 liegen für die WS 3 in 24 m Entfernung ebenfalls keine Daten vor, weshalb der Verlauf der grünen Linie in diesem Zeitraum eine Unterbrechung aufweist. In den ersten Monaten vom 09.04. – 05.08.2016 wiesen alle Stationen einen ähnlichen Verlauf der Windgeschwindigkeit auf. Erst ab dem 05.08.2016 fand eine erste Differenzierung der WS 2 in 12 m Entfernung statt (Abbildung 9). Ab dem 19.08.2016 konnte eine klare Differenzierung aller Verläufe voneinander festgestellt werden. Die Zeiträume vom 19.08. – 24.08.2016 und vom 27.08. – 31.08.2016 zeigen diese Differenzierung am deutlichsten. In Abhängigkeit von der Entfernung vom Gehölzstreifen nimmt die Windgeschwindigkeit vom Feldrand zur Feldmitte zu. Die Daten vom 23.08.2016 und 29.08.2016 veranschaulichen dies am besten. Am 23.08.2016 betrug die Windgeschwindigkeit an der WS 2 0,8 m/s, 1,0 m/s an der WS 3, 1,2 m/s bei WS 4 und WS 5 wies 1,3 m/s auf. Am 29.08.2016 ist ein ähnlicher Verlauf zu verzeichnen. Die Windgeschwindigkeit war in der Mitte des Feldes an der WS 5 am Größten und betrug 2,0 m/s. In 48 m Entfernung an der WS 4 betrug die Windgeschwindigkeit nur noch 1,8 m/s. Bei WS 3 1,4 m/s und bei WS 2 nur noch 1,1 m/s.

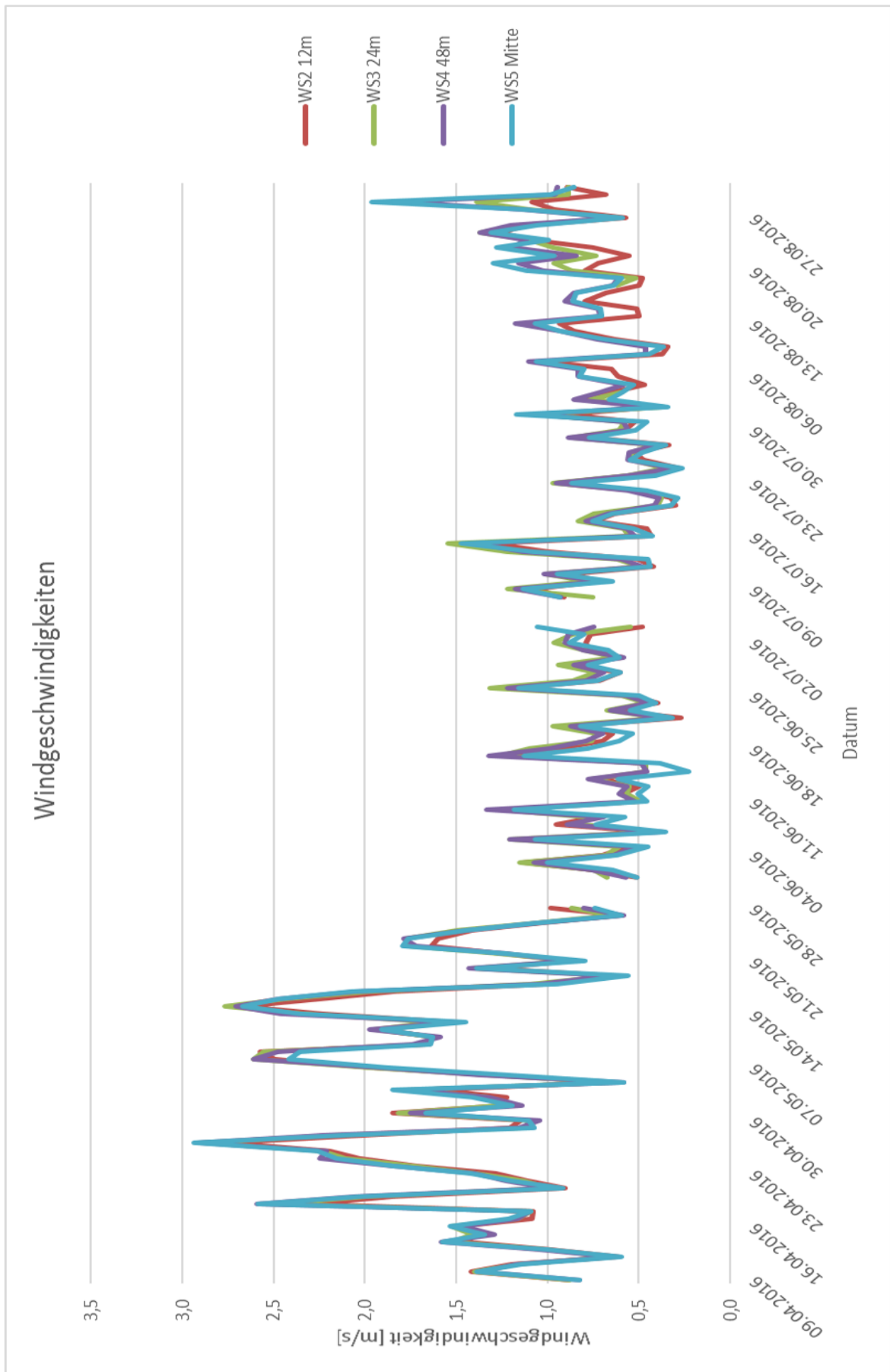


Abbildung 8: Windgeschwindigkeiten auf dem Untersuchungsfeld



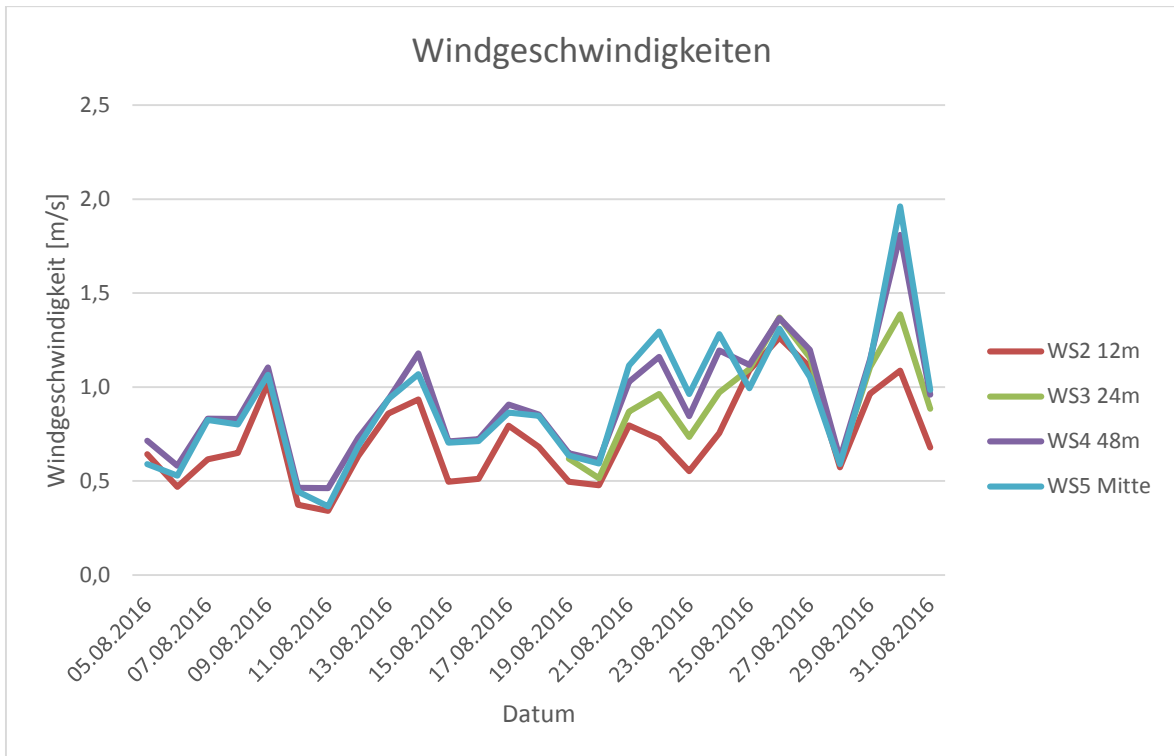


Abbildung 9: Auszug aus den Daten der Windgeschwindigkeiten auf dem Untersuchungsfeld

Die entstandenen Datenlücken vom 29.05. – 31.05.2016 und 05.07. – 07.07.2016 in Abbildung 8 lassen sich durch leere Batterien oder einen vollen Speicherplatz erklären. Die Datenlücke der grünen Kurve im Zeitraum 05.08. – 17.08.2016 entstand durch das Versetzen der Messstation aufgrund der anstehenden Ernte.

Eine externe Referenzstation konnte nicht eingerichtet werden, aufgrund des Fehlens eines geeigneten Ortes. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass in 75 m Entfernung zum Gehölzstreifen keine Windreduktion mehr stattfindet, weswegen diese Station als Referenz dient.

Aus früheren Studien geht hervor, dass Baumstreifen in Abhängigkeit der Entfernung die Windgeschwindigkeit vermindern (Böhm et al., 2013; Kanzler et al., 2015). Die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Daten ließen ebenfalls eine Reduktion der Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Entfernung zum Baumstreifen feststellen. Die Verläufe der einzelnen Messreihen in den Zeiträumen vom 19.08. – 24.08.2016 und vom 27.08. – 31.08.2016 zeigen den bereits beschriebenen Effekt der Windreduktion deutlich. Es ist eine klare Abnahme der Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Entfernung zum Baumstreifen aus dem graphischen Verlauf in Abbildung 9 ersichtlich. Werden die Daten des 23.08.2016 genauer betrachtet und dient die WS 5 (75 m Mitte) als Referenzmessstation, so wird bereits eine deutliche Reduktion um 8 % (bezogen auf die Referenzstation in 75 m Entfernung) bei WS 4 in 48 m Entfernung ersichtlich. An der WS 3 konnte

eine Reduktion um 23 % (bezogen auf die Referenzstation in 75 m Entfernung) festgestellt werden. Bei der WS 2 in 12 m Entfernung wurde eine Reduktion um 38 % (bezogen auf die Referenzstation in 75 m Entfernung) erzielt. Am 29.08.2016 wurden die höchsten Windgeschwindigkeiten gemessen. An diesem Tag konnte ebenfalls eine deutliche Windreduktion in Abhängigkeit von der Entfernung zum Gehölzstreifen beobachtet werden. Es wird auch hier wieder die WS 5 in 75 m Entfernung zum Baumstreifen als Referenzstation angenommen. Die Reduktion zur WS 4 beläuft sich hierbei auf 10 %. Eine Windgeschwindigkeitsreduktion um 30 % konnte an der WS 3 in 24 m festgestellt werden. Um ca. 45 % wurde die Windgeschwindigkeit an der WS 2 in 12 m Entfernung verringert. All diese Zahlen zeigen eine deutliche Reduktion der Windgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Entfernung zum Gehölzstreifen und dass diese in Heckennähe deutlich geringer ist als in der Mitte des Feldes. Im weiteren zukünftigen Verlauf sollte sich eine noch deutlichere Absetzung der einzelnen Windreduktionen in Abhängigkeit zur Entfernung feststellen lassen, aufgrund einer zunehmenden Wuchshöhe des Gehölzstreifens.

Die Gehölzstreifen haben somit einen deutlichen Einfluss auf die Windgeschwindigkeit. Diese Aussage kann mit einer Studie von Kanzler et al. (2015) bestätigt werden. Bei dieser wurde im Rahmen des AgroForstEnergie Projektes festgestellt, dass die Windschutzwirkung erhöht wird, mit verringertem Abstand zum Gehölzstreifen. In 3 m Abstand zum Gehölzstreifen konnte eine mittlere Windgeschwindigkeitsreduktion von mehr als 63 % erlangt werden. Wohingegen im Abstand von 20m und 48m die Reduktion der Windgeschwindigkeit nur noch 31 % bzw. 10 % betragen.

Die Höhe der Bäume hat einen zusätzlichen Einfluss auf die windreduzierende Wirkung. Die am Anfang des Untersuchungszeitraumes aufgezeichneten Daten (Abbildung 8) weisen keine deutliche Reduktion der Windgeschwindigkeit auf, allerdings kann ein möglicher Grund dafür die zu niedrige Höhe der Bäume sein. Bei weiterer Betrachtung des Verlaufes wird ersichtlich, dass im späteren Verlauf des Jahres die Windschutzwirkung zunimmt, wenn die Bäume ein weiteres Stück gewachsen sind. Gegen Ende des Untersuchungszeitraumes waren die Bäume im Durchschnitt ca. 3 m hoch. Bei Böhm et al. (2013) wiesen die Bäume im Durchschnitt eine Höhe von 3,15 m auf. In einer Entfernung von 12 m vom Gehölzstreifen, wurde eine Reduzierung der Windgeschwindigkeit von ca. 49 % festgestellt. Dies spiegelt in den Angaben genau die gleichen Werte wieder, die auch in dieser Arbeit festgestellt werden konnten.

### **5.3 Einordnung des Humusanteils im Boden**

Abbildung 10 zeigt graphisch die Gegenüberstellung der Humusanteile im Boden in den Anbaubereichen des KHs und FHs. Der Humusanteil wird in Masseprozent (%) angege-

ben und die einzelnen gemittelten Angaben sind im Bezug zur Entfernung der Gehölzstreifen aufgetragen.

Der Humusanteil erreicht den Höchstwert beim KH am Punkt 3 m West mit 10,5 %. Das Minimum weist der Punkt 48 m Ost mit 6,8 % auf. Allgemein ist ein Abfall des Humusgehaltes von West nach Ost zu verzeichnen. Beim FH liegt der maximal gemessene Humusgehalt ebenfalls bei 48 m West mit 9,4 % und der minimalste Anteil bei 12 m West mit 7,7 %. Es wird kein ansteigender oder abfallender Trend ersichtlich. Sie fluktuieren von einem zum anderen Punkt.

Werden Parallelen gezogen zwischen den Punkten mit der gleichen Entfernung zum Gehölzstreifen, so wird beim KH ersichtlich, dass der Humusanteil auf der Westseite des Untersuchungsfeldes größer ist, als auf der Ostseite. Beim FH hingegen kann solch eine Aussage nicht getroffen werden, da an jedem Punkt ein anderer Werte auftritt. In 3 m Entfernung sind beide Humusanteile in etwa gleich groß, wohingegen die Anteile bei 12 m auf der Ostseite größer sind. Bei 48 m übersteigt der Humusanteil auf der Westseite den auf der Ostseite. Bei 3 m West, 12 m West und 75 m Mitte übertrifft der Humusanteil des KHs den des FHs. An den verbliebenden vier Punkten (48 m West, 48 m Ost, 12 m Ost und 3 m Ost) ist der Anteil des Humus im Anbaubereich des FHs größer.

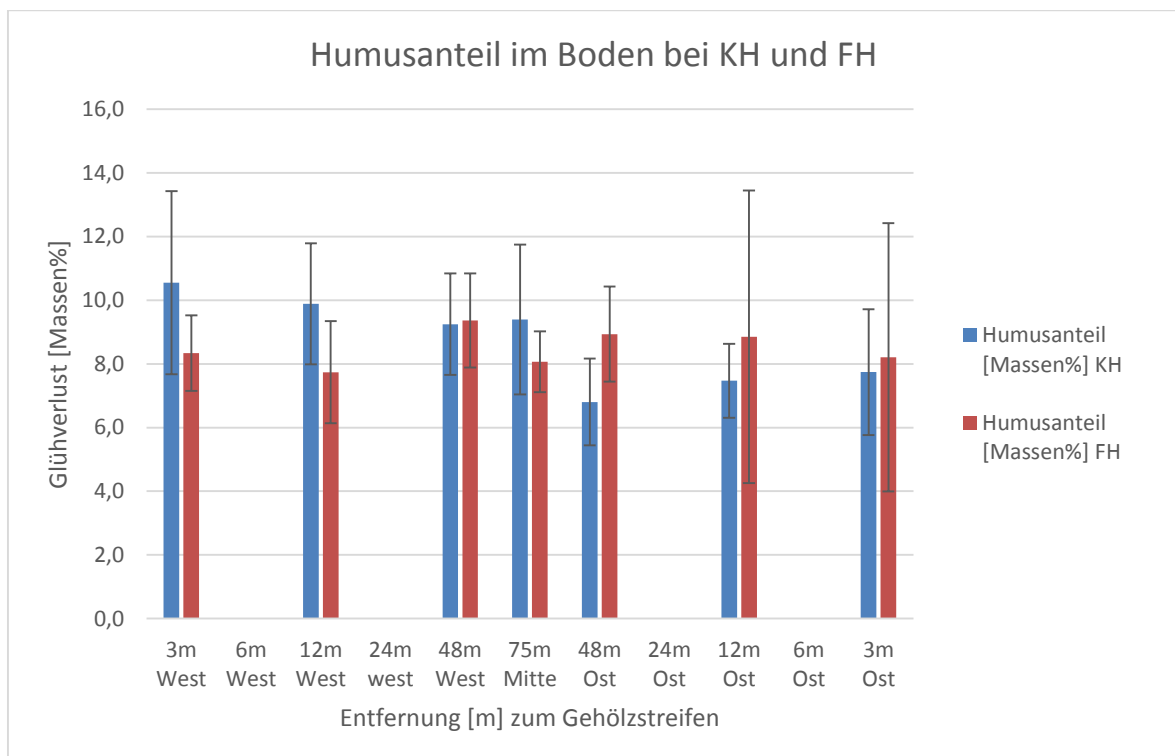


Abbildung 10: Gegenüberstellung des Humusanteils des Bodens, in den Anbaubereichen des konventionellen Hafers und Fahnenhafers, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen

Der Humusanteil liegt beim KH zwischen 6,8 % und 10,5 % und beim FH zwischen 7,7 % und 9,4 %. Das Untersuchungsfeld weist somit einen stark bis sehr stark humosen Oberboden auf. Dies kann mit den Daten aus Tabelle A - 2 (siehe Anhang) bestätigt werden. Aus dieser geht hervor, dass es sich um einen stark bis sehr stark humosen Oberboden handelt, wenn der Humusanteil 4 % bis < 15 % beträgt. Der Anstieg des Humusanteils von 48 m West beziehungsweise Ost zu den jeweiligen Gehölzstreifen im Anbaubereich des KHs, weist darauf hin, dass im Randbereich mehr Humus im Oberboden vorhanden ist. Dies hängt mit dem Laubfall der Blätter zusammen. Durch diesen wird dem Oberboden im Herbst mehr organische Substanz zugeführt, die dann zu Humus zersetzt wird. Die Schwankungen des Humusanteils im Anbaubereich des FHs und die beim KH abfallende Tendenz nach Osten, lassen den Schluss zu, dass die eingetragene organische Substanz nicht gleichmäßig auf dem Feld verteilt wurde. Einen Zusammenhang zwischen Ertrag und Humusanteil im Boden konnte spezielle beim FH festgestellt werden. Hier beträgt der Korrelationskoeffizient  $r = 0,8$  und weist auf eine stark positive Korrelation zwischen den beiden Parametern Ertrag und Humusgehalt hin. Es kann abgeleitet werden, dass je mehr Humus im Boden vorhanden ist, desto höher ist auch der Ertrag.

#### **5.4 Gravimetrischer Wassergehalt im Boden**

Abbildung 11 zeigt den gemittelten Verlauf des gravimetrischen Wassergehaltes in den ersten 30 cm des Bodens, in den Anbaubereichen des KHs und des FHs. Die Werte sind in Abhängigkeit zur Entfernung vom Gehölzstreifen aufgetragen und in Massenprozent (%) angegeben.

Der maximal festgestellte gravimetrische Wassergehalt beim KH beläuft sich am Punkt 3 m West auf 9,5 %. Der niedrigste Wert wurde an Punkt 48 m Ost mit 6,2 % festgehalten. Der Verlauf des gravimetrischen Wassergehaltes über die gesamte Feldbreite betrachtet, ähnelt einem W. Wird das Feld in West und Ost betrachtet, so liegen die niedrigsten Werte bei den jeweiligen Punkten in 48 m Entfernung zum Gehölzstreifen und bilden die Täler vom W. Von dort aus steigen die Werte zur Mitte des Feldes (75 Mitte) und zu den Randstreifen (3 m West und Ost) hin an.

Im Anbaubereich des FHs wurde das Maximum am Punkt 48 m West mit 9,7 % festgestellt und das Minimum an Punkt 12 m West mit 6,2 %. Ein Trend ist hier nicht zu erkennen, da der gravimetrische Wassergehalt von einem zum anderen Punkt fällt und zum nächsten wieder steigt.

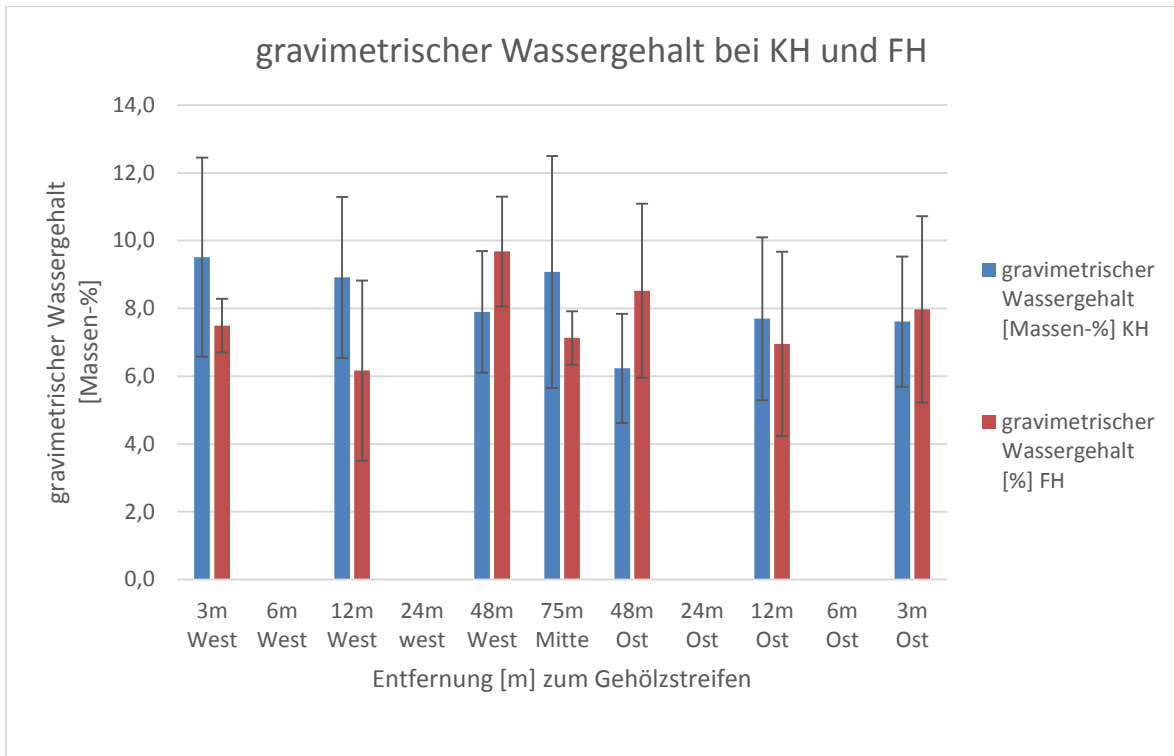


Abbildung 11: Gegenüberstellung des gravimetrischen Wassergehalts, in den Anbaubereichen des konventionellen Hafers und Fahnenhafers, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen

Der gravimetrische Wassergehalt ist ein Maß für den Bodenwassergehalt. Welcher angibt, wie viel Wasser im Boden vorhanden ist. Wird davon ausgegangen, dass bei 75 m Mitte kein Einfluss der Gehölzstreifen auf den gravimetrischen Wassergehalt zu erwarten ist und dieser in den weiteren Betrachtungen somit außen vorgelassen werden kann, so ist beim KH auffällig, dass der gravimetrische Wassergehalt von den Punkten in 48 m Entfernung zum Gehölzstreifen hin ansteigt. Auch beim FH ist ein Anstieg des gravimetrischen Wassergehaltes von 12 m auf 3 m Entfernung zu beobachten. Diese Entwicklungen sind bei beiden Hafersorten auf der West- sowie Ostseite des Feldes zu beobachten. Eine potentielle Erklärung wäre, dass die Wurzeln der Gehölzstreifen Bodenwasser aus tieferen Schichten nach oben in die ersten 30 cm befördern und somit einen positiven Einfluss auf den Bodenwassergehalt haben. Surböck et al. (2005) bestätigen die Aussage des vermehrten Wassergehaltes im Boden, indem er eine ähnliche Tendenz in seiner Studie beschreibt. Der Bodenwassergehalt wurde zwar mit FDR-Sonden gemessen, allerdings ist bis zum zweifachen der Heckenhöhe ein positiver Einfluss auf den Bodenwassergehalt verzeichnet worden. In diesem Bereich war während der Vegetationsperiode mehr Bodenwasser gespeichert, als in weiter entfernten Regionen auf dem Untersuchungsfeld. Dies führt zu einer besseren Wasserversorgung der Pflanze. Ein weiterer Faktor, der den Wassergehalt beeinflusst ist der Humusgehalt des Bodens. Vergleicht man den graphischen Verlauf der beiden Parameter miteinander, so wird ersichtlich, dass

sie einen ähnlichen Verlauf aufweisen. Auch die Extremwerte sind an denselben Beprobungspunkten wiederzufinden. So liegt das Maximum des Humusgehaltes, sowie des gravimetrischen Wassergehaltes im Anbaubereich des KHs bei 3 m West und das Minimum bei 48 m Ost. Im Anbaubereich des FHs sind die Extremwerte ebenfalls an denselben Beprobungspunkten angesiedelt. Das Maximum liegt bei 48 m West und das Minimum beider Parameter bei 12 m West. Ein weiterer Hinweis auf den Zusammenhang zwischen den beiden Parametern liefern die Korrelationskoeffizienten der jeweiligen Anbaubereiche. Der Korrelationskoeffizient zwischen Humusgehalt und gravimetrischem Wassergehalt im Anbaubereich des KHs liegt bei  $r = 0,9$ . Der des FHs bei  $r = 0,8$ . Beide Koeffizienten weisen somit auf eine stark positive Korrelation hin und es kann daraus geschlossen werden, dass desto höher der Humusanteil im Boden ist, desto höher ist auch der gravimetrische Wassergehalt im Boden.

### **5.5 Einordnung des pH-Werts im Boden**

Abbildung 12 zeigt den gemittelten pH-Wert auf dem Untersuchungsfeld in den Anbaubereichen des KHs und FHs, in Abhängigkeit der Entfernungen zum Gehölzstreifen. Die Messungen fanden an den Punkten in 3 m, 12 m, 48 m und 75 m Entfernung von den jeweiligen Gehölzstreifen statt.

Der pH-Wert schwankt beim KH sowie beim FH zwischen 5,0 und 6,0. Der Mittelwert und Median belaufen sich bei beiden auf 5,5. Das Maximum befindet sich beim KH am Punkt 48 m Ost mit 5,7 und das Minimum am Punkt 12 m West mit 5,3. Findet ein Vergleich der Punkte des KHs mit der gleichen Entfernung statt, so wird ersichtlich, dass der pH-Wert auf der Ostseite größer ist, als auf der Westseite des Ackerstreifens. Beim FH weisen die Punkte 75 m Mitte und 48 m Ost das Maximum mit 5,6 auf. Das Minimum war an Punkt 48 m West mit 5,4 vorzufinden. In 3 m und 12 m Entfernung zum westlichen und östlichen Gehölzstreifen zeigt der pH-Wert beim FH denselben Wert (5,5). Es besteht somit keine Tendenz bezüglich West- oder Ostseite.

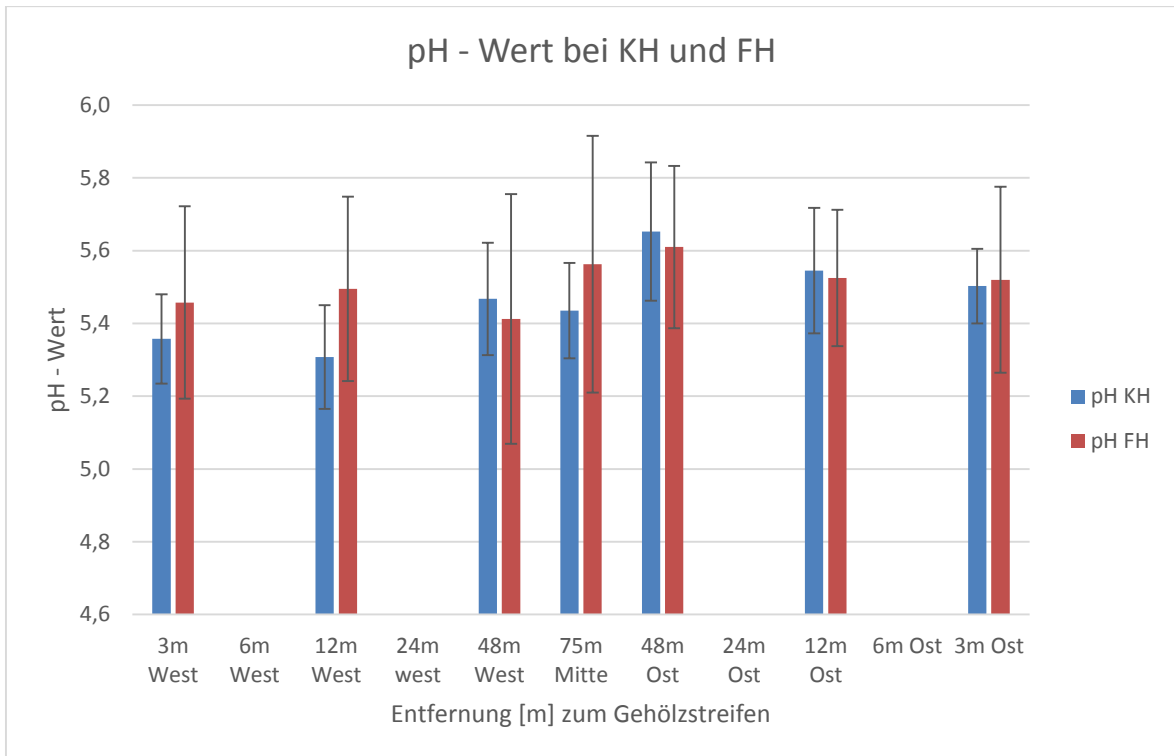


Abbildung 12: Gegenüberstellung des gemittelten pH-Wertes des Bodens, in den Anbaubereichen des konventionellen Hafers und Fahnenhafers, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen

Der pH-Wert des Bodens ist für den Anbau vieler Feldfrüchte entscheidend. So gedeihen Hafer und Kartoffeln optimal bei einem pH-Wert zwischen pH 5,0 und 6,0, wohingegen Weizen und Rüben zum Beispiel einen pH Bereich von 6,0 bis 7,5 bevorzugen (Döhler, 2005). Die pH-Wert-Schwankungen zwischen 5,0 und 6,0 weisen auf einen mäßig sauren bis schwach sauren Boden hin (Tabelle A - 3, siehe Anhang). Der anzustrebende pH-Bereich für Ackerböden ist der Tabelle A - 4 (siehe Anhang) zu entnehmen. Laut dieser liegt der optimale pH-Bereich für einen sandigen Ackerboden mit einem Humusanteil zwischen 4 % und 15 % bei pH 5,0 bis pH 5,5. Anhand der bereits erhobenen Daten ist zu erkennen, dass sich das Untersuchungsfeld genau in diesem Optimum befindet. Die Bodenart wurde bereits bei der Charakterisierung des Untersuchungsgebietes in den ersten 30 cm als Lehmsand identifiziert. Der Humusanteil (Punkt 5.3 zu entnehmen) befindet sich beim KH zwischen 6,8 % und 10,5 %. Beim FH hat der Humus einen Anteil von 7,7 % bis 9,4 %. Wie bereits oben erwähnt, liegt der pH-Wert im Mittel in beiden Anbaubereichen bei 5,5, welches dem anzustrebenden Optimum entspricht. Nach Wulffen et al. (2008) liegt der optimal Bereich für den Anbau von Hafer zwischen pH 5,0 und 6,0. Dieser Optimalbereich ist mit der vorliegenden pH Breite gewährleistet.

Im Anbaubereich des KHs verweist der Korrelationskoeffizient auf einen stark negativen Zusammenhang zwischen pH-Wert und Humusgehalt. Dieser beläuft sich auf  $r = -0,9$ , wohingegen der Anbaubereich des FHs nur einen Korrelationskoeffizienten von  $r = -0,2$

aufweist. Beide Werte weisen eine negative Korrelation auf und es kann somit die Annahme getroffen werden, dass desto niedriger der pH-Wert ist, desto mehr Humus ist im Boden vorhanden ist. Diese Korrelation wird mit den Angaben aus Tabelle A - 4 (siehe Anhang) gestützt und zeigt sich auch in den erhobenen Werte in dieser Arbeit. Trotz der Idealwerte bezüglich des pH-Wertes konnte keine nennenswerte Korrelation zwischen dem pH-Wert und dem Ertrag beim KH ( $r = 0,1$ ) sowie beim FH ( $r = 0,4$ ) festgestellt werden.

## 5.6 Nährstoffgehalt und -vorrat im Boden

Die Abbildung 13, Abbildung 14 und Abbildung 15 zeigen die gemittelten Nährstoffgehalte und -vorräte im Boden. Die Daten sind dabei in die jeweiligen Anbaubereiche des KHs und des FHs unterteilt und in Abhängigkeit der Entfernung zum Gehölzstreifen entsprechend aufgetragen. Der Gehalt wird auf der Primärachse in mg Nährstoff pro kg Boden dargestellt. Die gewählte Darstellungsform sind Säulen. Die Punkte in den Diagrammen spiegeln den Nährstoffvorrat auf der Versuchsfläche wider. Der Vorrat, welcher eine Umrechnung des Gehaltes ist (Formel 4 und Formel 6), wurde auf der Sekundärachse aufgetragen. Die Einheit ist kg Nährstoff pro ha Ackerfläche.

### 5.6.1 Mineralischer Stickstoff ( $N_{\min}$ )

Die in Abbildung 13 dargestellte Graphik zeigt den Gehalt und Vorrat an mineralischen Stickstoff im Boden des Untersuchungsfeldes. Der maximale Gehalt an  $N_{\min}$  in Abbildung 13 ist beim KH an Punkt 75 m Mitte mit 5,7 mg/kg und beim FH am Punkt 12 m Ost mit 9,4 mg/kg zu finden. Bei 3 m Ost liegt beim KH das Minimum mit 2,6 mg/kg. Wohingegen beim FH das Minimum bei 3 m West mit 2,0 mg/kg liegt. Es fällt auf, dass der  $N_{\min}$ -Gehalt (beim KH) bei 3 m und 12 m West größer ist als beim FH und sich die Verteilung anschließend ab Punkt 48 m West umdreht. Das Maximum, Minimum und die Verteilung der  $N_{\min}$ -Vorräte verhält sich von seiner Position identisch wie die  $N_{\min}$ -Gehalte. Werden die Beprobungspunkte derselben Entfernung zum Gehölzstreifen miteinander verglichen, so fällt auf, dass der Gehalt und Vorrat an  $N_{\min}$  auf der Ostseite höher ist, als auf der Westseite. Einzige Ausnahme bildet hier nur der Gehalt und Vorrat an  $N_{\min}$  bei einer Entfernung von 3 m beim KH. Es ist zudem ein leicht abfallender Trend der Gehalte und Vorräte zu den Gehölzstreifen hin zu beobachten. Nur der  $N_{\min}$ -Gehalt am Punkt 12 m Ost beim FH bildet einen Ausreißer.



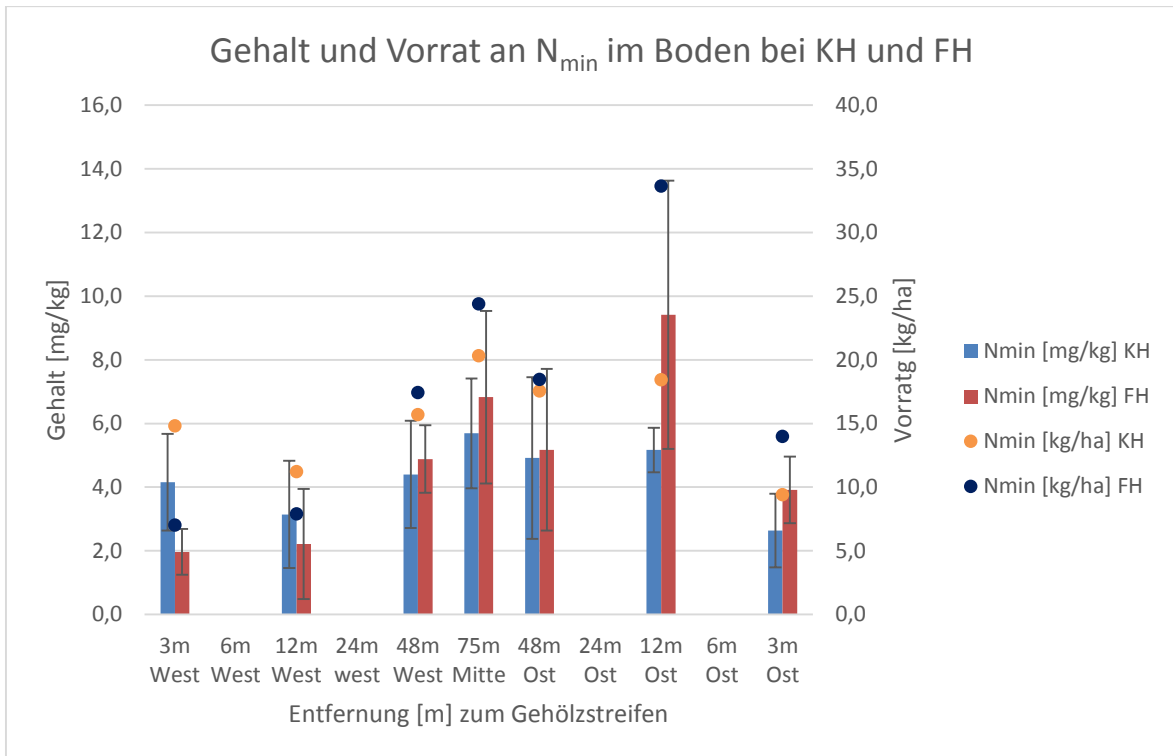


Abbildung 13: Gegenüberstellung vom mineralischen Stickstoffgehalt und -vorrat im Boden, in den Anbaubereichen des konventionellen Hafers und Fahnenhafers, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen

### 5.6.2 Phosphor

Die in Abbildung 14 dargestellten Phosphorgehalte (P-Gehalte) im Anbaubereich des KHs weisen ein Maximum von 152,4 mg/kg an Punkt 48 m Ost und ein Minimum von 88,1 mg/kg an Punkt 12 m West auf. Im Anbaubereich des FHs liegt das Maximum bei 128,8 mg/kg an Punkt 48 m Ost und das Minimum bei 110,2 mg/kg an Punkt 48 m West. Die Extrema der Vorräte befinden sich an denselben Positionen bezüglich der Entfernung. In der Mitte des Feldes (75 m und 48 m) sind Gehalt und Vorrat beim KH größer als beim FH. In den Randbereichen (3 m und 12 m) liegen Gehalt und Vorrat beim FH höher als beim KH. Werden die P-Werte an den Punkten mit derselben Entfernung innerhalb derselben Hafersorte miteinander verglichen, so ist auffällig, dass der Gehalt und Vorrat auf der Ostseite des Feldes beim KH sowie beim FH höher sind, als auf der Westseite.

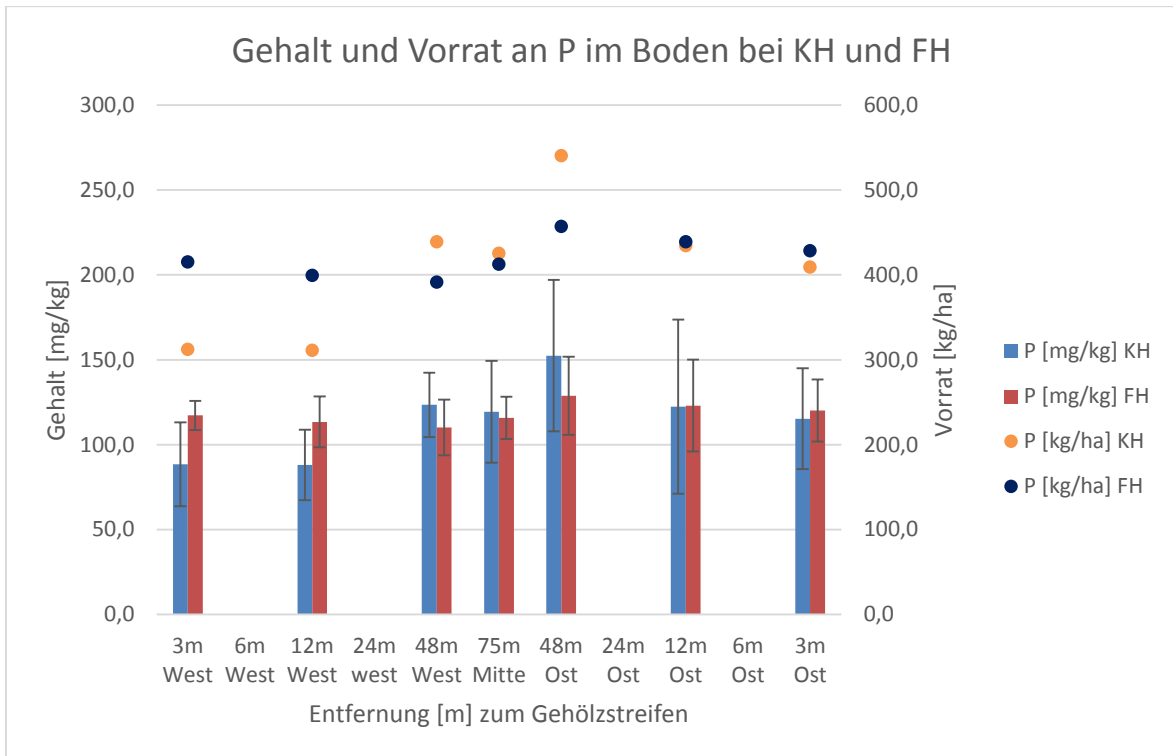


Abbildung 14: Gegenüberstellung vom Phosphorgehalt und -vorrat im Boden, in den Anbaubereichen des konventionellen Hafers und Fahnenhafers, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen

### 5.6.3 Kalium

Der maximale Kaliumgehalt (K-Gehalte) (Abbildung 15) des KHs wurde am Punkt 75 m Mitte mit 146,3 mg/kg gemessen. Das Minimum beläuft sich auf 107,8 mg/kg am Punkt 12 m West. Beim FH konnte das Maximum am Punkt 48 m Ost mit 174,7 mg/kg festgestellt werden. Das Minimum mit 89,3 mg/kg wurde ebenfalls, wie beim KH, am Punkt 12 m West gemessen. Die maximalen und minimalen Vorräte an Kalium verhalten sich ihrer Position entsprechend identisch. Werden die Kalium Werte zwischen KH und FH verglichen, so ist ersichtlich, dass der Gehalt und Vorrat auf der Westseite bis 75 m Mitte beim KH größer ist als beim FH. Am Punkt 48 m Ost ändert sich die Verteilung und der Kaliumwert in den FH Anbaubereichen ist größer als beim KH. Beim Vergleich der Punkte mit demselben Abstand wird beim KH ersichtlich, dass die Kalium Werte bei 3 m Ost und 12 m Ost größer sind als die West Punkte. Im Anbaubereich des FHs sind alle Werte der östlichen Anbauseite größer als auf der westlichen.

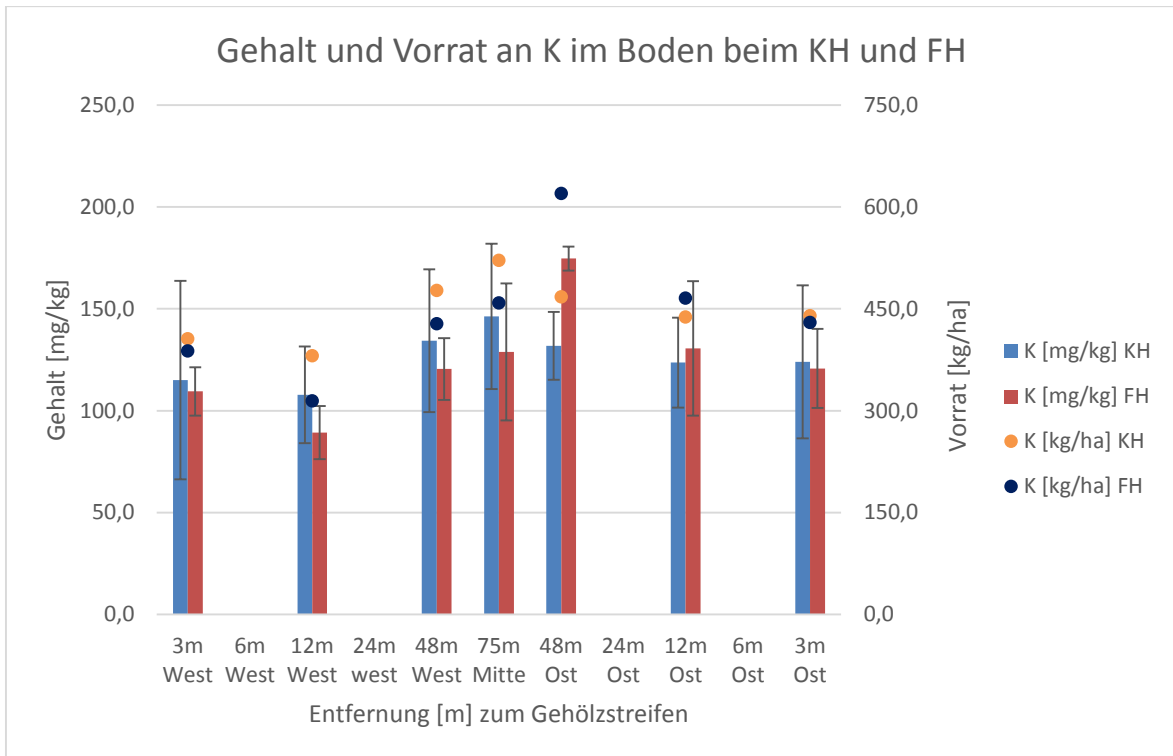


Abbildung 15: Gegenüberstellung vom Kaliumgehalt und -vorrat im Boden, in den Anbaubereichen des konventionellen Hafers und Fahnenhafers, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen

#### 5.6.4 Einordnung der Nährstoffgehalte und -vorräte im Boden

Jeder Nährstoff besitzt ein pH Optimum, bei dem er am besten pflanzenverfügbar ist. Abbildung A - 1 (siehe Anhang) veranschaulicht die pH-Wirkung im Boden einiger Abbau- und Umwandlungsprozesse, sowie die Verfügbarkeit einiger Nährstoffe im Boden. Aus dieser geht hervor, dass das pH-Optimum für N zwischen pH 7 und 8 liegt. P bevorzugt einen pH-Wert von 5 bis 7 und K einen von ungefähr 6 bis 7. Trotz der leichten Abweichungen ist mit dem vorherrschenden pH-Bereich von 5 bis 6 auf der Untersuchungsfläche, eine gute Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe im Boden bezüglich des pH-Wertes gewährleistet.

Mithilfe der Mittelwerte der gewonnenen Daten und der Tabelle A- 6 und Tabelle A - 7 (siehe Anhang) kann eine Einstufung der Nährstoffe in sogenannte Gehaltklassen vorgenommen werden. Daraus resultiert eine Einschätzung der Nährstoffgehalte (Tabelle A - 5, siehe Anhang) im Boden von sehr niedrig bis sehr hoch. Der  $N_{\min}$ -Gehalt schwankt im Jahresverlauf sehr, je nach Zeitpunkt der Probenahme. Daher kann für diesen keine Einschätzung in eine Nährstoffgehaltssklasse erfolgen. Der Mittelwert des P-Gehaltes beläuft sich auf 115,6 mg/kg beziehungsweise 11,6 mg/100 g Boden beim KH und 118,4 mg/kg beziehungsweise 11,8 mg/100 g Boden beim FH. Nach Tabelle A - 5, Tabelle A - 6 und aufgrund des pH-Wertes  $\leq 7$  ergibt sich für den P-Gehalt beider Anbaubereiche die Gehalts-

klasse D. Dieser ist als hoch einzustufen. Beim K-Gehalt liegt der Mittelwert im Anbaubereich des KHs bei 126,2 mg/kg (12,6 mg/100 g Boden) und beim FH bei 124,9 mg/kg (12,5 mg/100 g Boden). Laut Tabelle A - 7 entspricht das der Gehaltsklasse D. Der K-Gehalt im Boden ist somit ebenfalls als hoch einzustufen. Nach diesen Einschätzungen befinden sich ausreichend pflanzenverfügbare Nährstoffe im Boden.

Beim  $N_{\min}$ - und P-Gehalt im Boden liegen die Werte der Korrelationskoeffizienten zwischen Nährstoffgehalt und Ertrag unterhalb 0,6 und finden somit keine weitere Beachtung. Ein erwähnenswerter Zusammenhang zwischen den pflanzenverfügbaren Nährstoffen und dem Ertrag konnte nur beim Kalium festgestellt werden. Hier weisen die Korrelationskoeffizienten in den Anbaubereichen folgende Werte auf, beim KH  $r = 0,6$  und beim FH  $r = 0,8$ . Die Werte in den Anbaubereichen weisen somit auf eine starke positive Korrelation hin und es ist ein Zusammenhang zwischen den beiden Parametern nachgewiesen. Es wurde zudem eine Korrelationsanalyse zwischen den Nährstoffparametern und der Entfernung zum Gehölzstreifen durchgeführt und die Korrelationskoeffizienten für die West- und Ostseite des Untersuchungsfeldes berechnet. Dabei wurden deutliche Zusammenhänge zwischen dem Nährstoffvorrat im Boden und der Entfernung zu den Bäumen beobachtet. So belaufen sich die Korrelationskoeffizienten im Anbaubereich des KHs auf der Westseite beim  $N_{\min}$  auf  $r = 0,8$ , bei P auf  $r = 0,9$  und bei K auf  $r = 1,0$ . Auf der Ostseite des Untersuchungsfeldes liegt beim  $N_{\min}$  ein Korrelationskoeffizient von  $r = 0,7$ , beim P von  $r = 0,3$  und beim K von  $r = 1,0$  vor. Bis auf den Korrelationskoeffizienten vom P auf der Ostseite zeigen alle anderen fünf Koeffizienten eine starke positive Korrelation auf. Aufgrund dieser Korrelation lässt sich der Zusammenhang herstellen, dass je weiter die Beprobungspunkte vom Gehölzstreifen entfernt sind, desto mehr Nährstoffe lassen sich im Boden nachweisen. Dieser Zusammenhang lässt sich bei einer Gegenüberstellung der Werte in 3 m Entfernung mit denen in 48 m Entfernung bestätigen. Die Parameter im Anbaubereich des FHs zeigen dahingegen eine nicht ganz so häufige Korrelation zueinander. Hier korrelieren nur zwei von sechs Werten stark. Diese sind der  $N_{\min}$ -Vorrat ( $r = 1,0$ ) und der K-Vorrat ( $r = 0,8$ ) auf der Westseite des Anbaubereiches. Auf der Ostseite des Anbaubereiches ist keine bis schwache Korrelation zwischen den Nährstoffparametern und der Entfernung festzustellen. Der Korrelationskoeffizient beläuft sich beim  $N_{\min}$  auf  $r = 0,0$ , beim P auf  $r = -0,3$  und beim K auf  $r = 0,3$ . Trotz der nicht starken Korrelation kann bei einer Gegenüberstellung der Werte in 3 m Entfernung mit denen in 48 m Entfernung eine Abnahme der Nährstoffvorräte zu den Gehölzstreifen hin festgestellt werden. Aufgrund dieser Korrelationsanalyse kann die Annahme getroffen werden, dass die Baumstreifen einen Einfluss auf die Nährstoffversorgung im Boden haben, da diese in Gehölzstreifennähe geringer sind. Zudem hat der Gehölzstreifen auf der Ostseite einen

geringeren Einfluss auf die Nährstoffe im Boden, als der auf der Westseite. Diesen Schluss lässt der Vergleich der Korrelationskoeffizienten zu.

## **5.7 Nährstoffgehalt in den Haferkörnern**

Die Abbildung 16 bis Abbildung 18 veranschaulichen die gemittelten Nährstoffgehalte in den Haferkörnern. Die Daten sind dabei in die jeweiligen Hafersorten unterteilt (KH und FH) und in Abhängigkeit der Entfernung zum Gehölzstreifen entsprechend abgetragen. Der Nährstoffgehalt wird in mg Nährstoff pro g Mehl dargestellt.

### **5.7.1 Kohlenstoffgehalt**

Die Abbildung 16 illustriert den gemittelten Kohlenstoffgehalt (C-Gehalt) in den Körnern des KH und FH. Der maximale C-Gehalt beim KH konnte am Punkt 12 m Ost mit 449,8 mg/g ermittelt werden. Der niedrigste Gehalt belief sich auf 421,7 mg/g an Punkt 6 m West. Die Extrema beim FH befanden sich an den Punkten 6 m Ost mit 440,8 mg/g (Maximum) und 6 m West 415,5 mg/g (Minimum). Die Gehalte beim KH und FH zeigen in etwa dieselben Werte und wechseln sich bezüglich ihrer Dominanz ab. Die Kohlenstoffwerte der beiden Hafersorten verlaufen über die gesamte Fläche relativ konstant. Sie fluktuieren zwischen 400 mg/g und 450 mg/g. Werden die Kohlenstoffwerte mit derselben Entfernung zum Gehölzstreifen und innerhalb einer Hafersorte miteinander korreliert, so ist erkennbar, dass beim KH die C-Werte auf der Ostseite immer höher sind, als auf der Westseite. Einzige Ausnahme bildet das Wertepaar bei 3 m Entfernung, denn da ist der C-Gehalt auf der Westseite höher. Beim FH sind die Werte auf der Ostseite ebenfalls höher. Nur bei dem Wertepaar in 24 m Entfernung sind die Werte auf der Westseite höher.

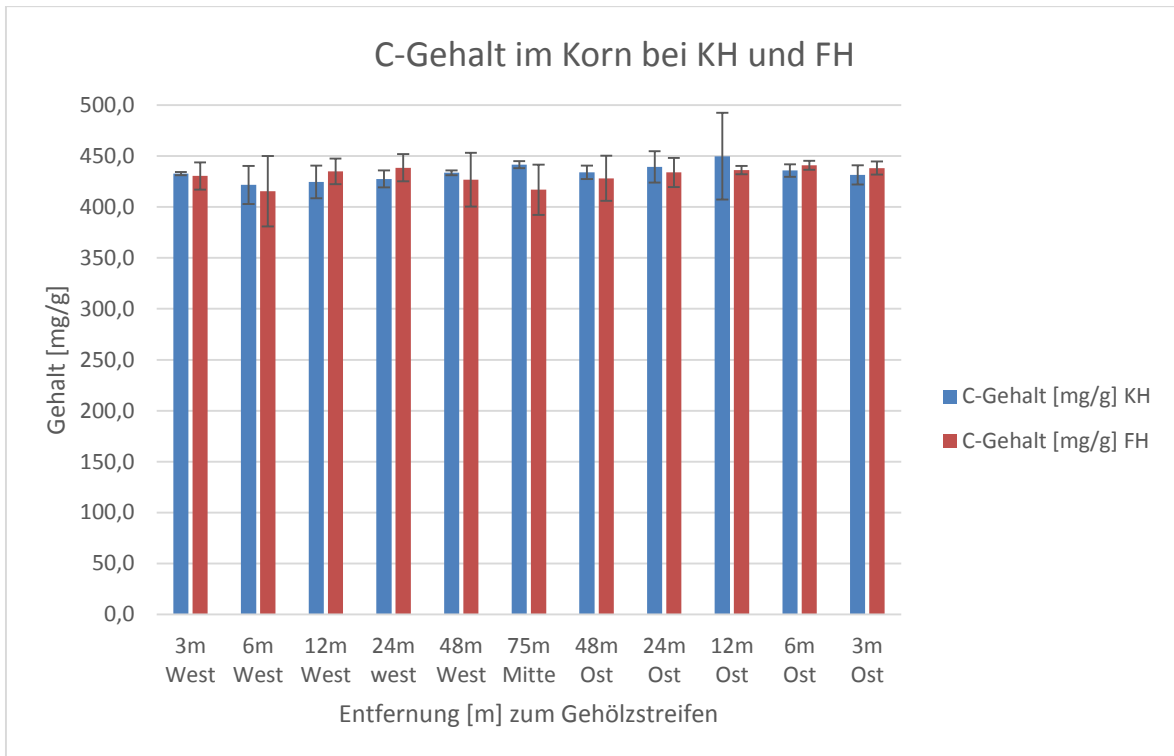


Abbildung 16: Gegenüberstellung des Kohlenstoffgehaltes im Korn, beim konventionellen Hafer und Fahnenhafer, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen

### 5.7.2 Stickstoffgehalt

In Abbildung 17 wird der gemittelte Stickstoffgehalt (N-Gehalt) der Körner der beiden untersuchten Hafersorten gegenübergestellt. Der maximale N-Gehalt der Körner des KHs beziffert sich auf 22,1 mg/g am Punkt 48 m Ost. Der niedrigste Wert konnte am Punkt 6 m West mit 17,2 mg/g ausgemacht werden. Der Verlauf der N-Gehalte ist zunächst ansteigend von 3 m West bis 48 m Ost. Danach zeigt sich eine abfallende Tendenz. Der FH hat sein Maximum am Punkt 24 m Ost mit 28,8 mg/g inne und das Minimum am Punkt 3 m West mit 23,7 mg/g. Der grundsätzliche Verlauf des N-Gehaltes wächst bis 48 m West. Anschließend neigen sich die Werte bis zum Punkt 48 m Ost, bevor sie anschließend einen schwankenden Verlauf aufweisen. Der Gehalt an Stickstoff im FH ist an allen Beprobungspunkten größer als der des KHs. Wird das Wertepaar derselben Entfernung zum Gehölzstreifen und derselben Hafersorte gleichgesetzt, so fällt auf, dass beim KH die N-Gehalte auf der Ostseite des Untersuchungsfeldes an allen Punkten größer sind als auf der Westseite. Diese Aussage trifft teilweise auf den FH zu. Ausnahme bildet hier nur der Punkt 48 m, da dort der West Wert größer ist, als der Ost Wert.

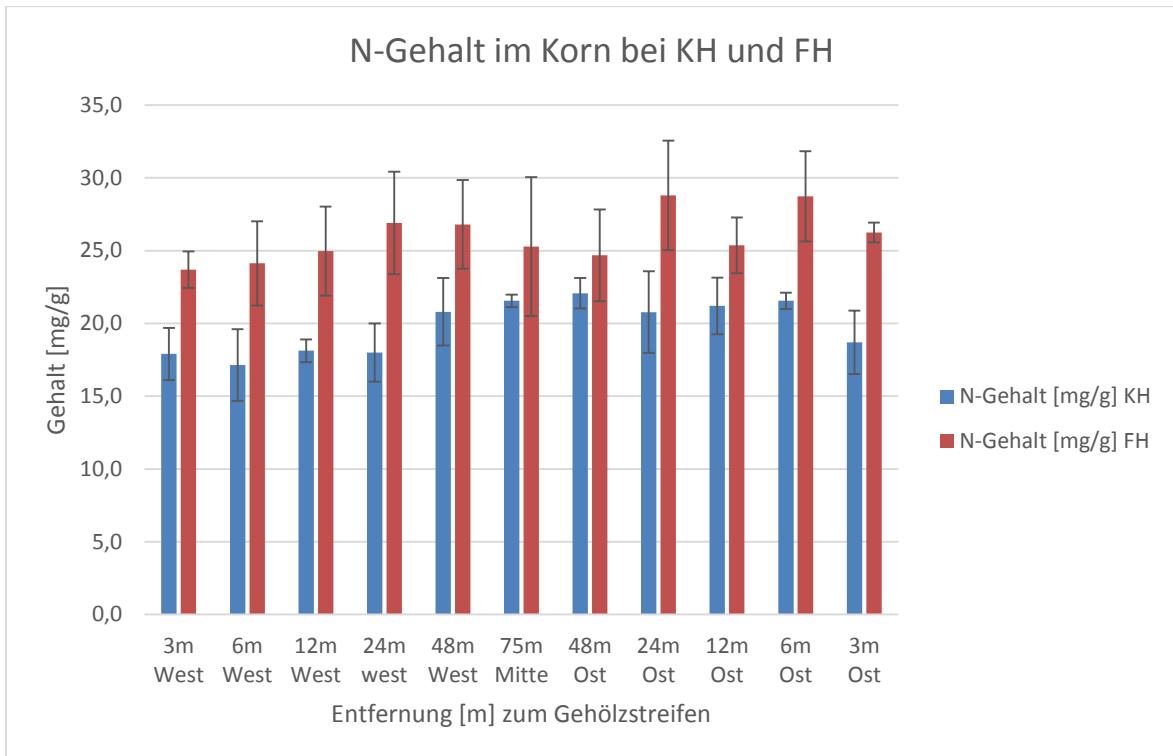


Abbildung 17: Gegenüberstellung des Stickstoffgehaltes im Korn, beim konventionellen Hafer und Fahnenhafer, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen

### 5.7.3 Phosphorgehalt

Abbildung 18 veranschaulicht die gemittelten Phosphorgehalte (P-Gehalte) im Korn der beiden Sorten KH und FH. Das Maximum und Minimum liegen beim KH bei 75 m Mitte beziehungsweise 6 m West. Mit einem P-Gehalt von 5,2 mg/g (75 m Mitte) bildet dieser das Maximum im Anbaubereich des KHs. Ähnlich wie später beim K-Gehalt ist dieser mit Vorsicht zu betrachten, da er die größte Standartabweichung mit 3,2 aufweist. Die anderen Gehalte weisen eine Standartabweichung von nur 0,1 – 0,4 auf. Zudem schwanken die Gehalte an den anderen Beprobungspunkten in einem engen Bereich von 3,5 mg/g bis 3,8 mg/g. Mit 3,5 mg/g liegt das Minimum am Punkt 6 m West. Im Anbaubereich des FHs liegt das Maximum bei 6 m Ost mit 4,2 mg/g und das Minimum mit 3,7 mg/g bei 48 m Ost. Die Werte des P-Gehaltes auf dem Untersuchungsfeld verlaufen in beiden Anbaubereichen relativ konstant. Bei direktem Vergleich der beiden Hafersorten an denselben Entfernungspunkten wird ersichtlich, dass der P-Gehalt beim FH größer als beim KH. Ausnahmen bilden die Punkte 75 m Mitte und 48 m Ost. An diesen ist der P-Gehalt um 1,3 mg/g (75 m Mitte) und 0,1 mg/g (48 m Ost) beim KH größer als beim FH. Der direkte Vergleich der Hafersorten untereinander, in den entsprechenden Entfernungen vom westlichen und östlichen Gehölzstreifen aus, zeigt, dass beim KH der P-Gehalt auf der Ostseite immer um 0,1 mg/g größer ist, als auf der Westseite. Ausnahme bilden hier nur die

Punkte in 12 m Entfernung, da dort die P-Gehalte im KH beide gleich groß sind. Beim FH verhält es sich ähnlich. Der P-Gehalt ist auf der Ostseite des Feldes um 0,3 mg/g (bei 6 m) und 0,1 mg/g (bei 12 m und 24 m) größer. Die Aussage, dass die Ostseite immer höher ist, kann nicht generalisiert werden. Die Ausnahmen liegen an den Punkten in 3 m und 48 m Entfernung vor. An den Punkten in 3 m Entfernung sind die Werte des P-Gehaltes gleich groß und bei 48 m Entfernung übersteigt der P-Gehalt der Westseite den der Ostseite um 0,4 mg/g.

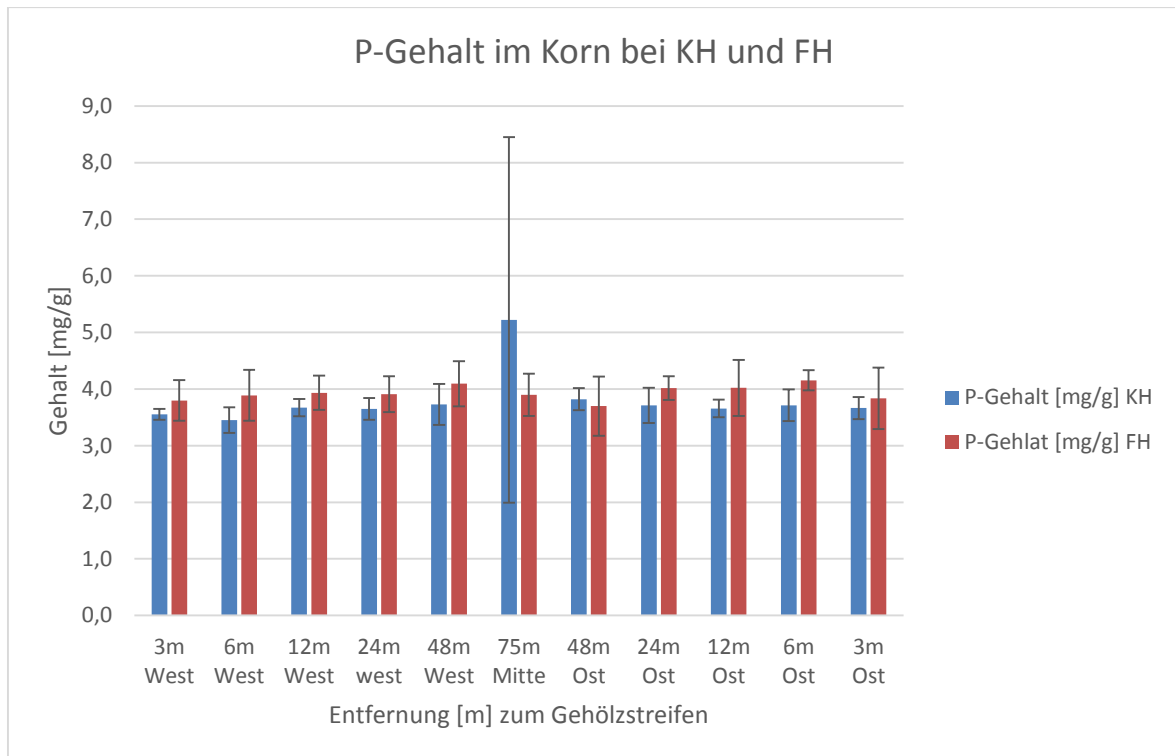


Abbildung 18: Gegenüberstellung des Phosphorgehaltes im Korn, beim konventionellen Hafer und Fahnenhafer, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen

#### 5.7.4 Kaliumgehalt

Der gemittelte Kaliumgehalt (K-Gehalt) der KH- und FH - Körner wird in Abbildung 19 visualisiert. Die Extremwerte liegen beim KH an den Punkten 75 m Mitte und 6 m West. Am Punkt 75 m Mitte liegt mit 5,7 mg/g das Maximum. Wobei dies ein Ausreißer darstellt, da die anderen Werte zwischen 4,1 mg/g und 4,5 mg/g schwanken. Zudem unterstützt die Standardabweichung diese Annahme, da sie sich am Punkt 75 m Mitte auf einen Wert von 3,0 mg/g beläuft, welcher im Verhältnis zu den anderen Standardabweichungen recht hoch ist. An den anderen Punkten liegt die Standardabweichung zwischen 0,1 und 0,5. Das Minimum ist mit 4,1 mg/g an den Punkten 6 m West, 24 m West, 48 m Ost, 24 m Ost und 6 m Ost aufzufinden.



3 m West und 48 m Ost weisen die beiden Extrema des FHs auf. Das Maximum liegt hier bei 3 m West mit 4,7 mg/g, wohingegen das Minimum des K-Gehaltes mit 3,5 mg/g sich bei 48 m Ost befindet. Werden die Gehalte der beiden Sorten am selben Entfernungspunkt vom Gehölzstreifen, miteinander verglichen, so zeigt der KH an acht von elf Punkten einen höheren K-Gehalt auf, als der FH. An den drei verbliebenen Punkten (3 m West, 12 m Ost und 6 m Ost) ist der K-Gehalt beim FH allerdings nicht viel größer als der des KHs. An Punkt 3 m West beläuft sich der Unterschied auf 0,2 mg/g. Bei Punkt 12 m Ost zeigen beide Hafersorten denselben Gehalt von 4,3 mg/g und bei 6 m Ost liegt der K-Gehalt des FH nur um 0,1 mg/g über dem Gehalt des KHs. Wird zum Schluss noch die West- mit der Ostseite verglichen, so fällt auf, dass beim KH nur bei 3 m Entfernung zum Gehölzstreifen eine Unterteilung in West und Ost den Werten entsprechend vorgenommen werden kann. Hier ist der K-Gehalt auf der Westseite um 0,3 mg/g größer als auf der Ostseite des Feldes. In den anderen Entfernungen ist keine Unterscheidung möglich, da hier die Gehalte auf der West- und Ostseite gleich groß sind und denselben Wert aufweisen. Beim FH verhält es sich dahingehend ein wenig anders. Hier kann eine Unterteilung in West und Ost bezüglich der K-Gehalte im Korn vorgenommen werden. Im Randbereich bei 3 m Entfernung zum Gehölzstreifen ist der Gehalt an Kalium auf der Westseite um 1,1 mg/g größer als auf der Ostseite. Bei der Entfernung von 48 m weist die Westseite einen minimal höheren Gehalt auf als die Ostseite. Der Unterschied liegt bei 0,1 mg/g. An den Punkten in 6 m, 12 m und 24 m Entfernung weist die Ostseite des Feldes einen höheren K-Gehalt auf. Die Unterschiede belaufen sich auf 0,6 mg/g (6 m), 0,7 mg/g (12 m) und 0,2 mg/g (24 m). Generell kann somit ausgesagt werden, dass der K-Gehalt im Korn auf der Ostseite des Feldes höher ist, als auf der Westseite.

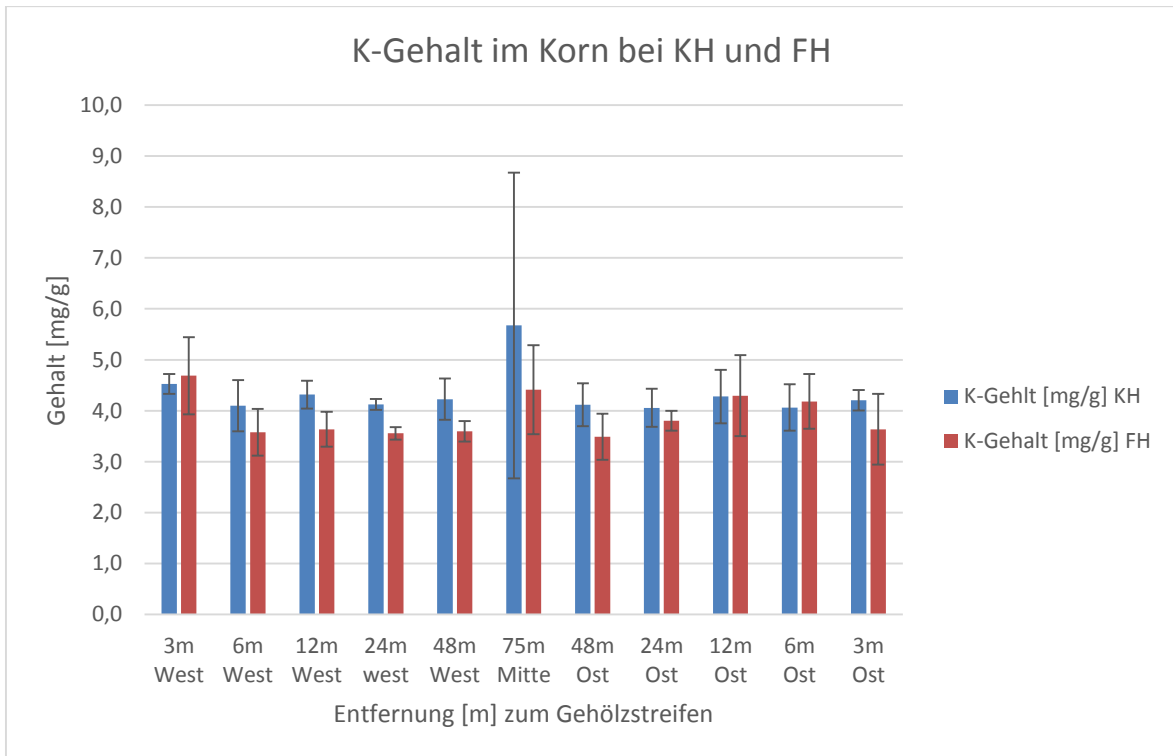


Abbildung 19: Gegenüberstellung des Kaliumgehaltes im Korn, beim konventionellen Hafer und Fahnenhafer, in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gehölzstreifen

### 5.7.5 Einordnung der Nährstoffgehalte in den Haferkörnern

Die erhobenen Parameter N, P und K gehören zu den unentbehrlichen Nährelementen für das Pflanzenwachstum (Oehmichen et al., 1983). Daher ist es wichtig, dass die Pflanzen optimal versorgt sind, um ein gutes Wachstum sowie sichere und stabile Erträge zu gewährleisten. Nach den Faustzahlen für die Landwirtschaft (Döhler, 2005) liegt der Nährelementgehalt beim Hafer von N bei 14 – 18 mg/g. Der P-Gehalt liegt zwischen 2,6 mg/g und 4,8 mg/g und der K-Gehalt schwankt von 4,2 – 5,8 mg/g. Im Vergleich mit diesen Literaturwerten fallen die Mittelwerte der untersuchten Parameter im Anbaubereich des KHs mit N = 19,8 mg/g, P = 3,8 mg/g und K = 4,3 mg/g in die beschriebenen Bereiche und es kann die Aussage getroffen werden, dass eine gute Nährstoffversorgung der Pflanze vorliegt. Der FH zeigt im Vergleich mit den Literaturwerten ein etwas anderes Bild. Hier liegt der N-Gehalt mit N = 26,0 mg/g weit über den empfohlenen Nährelementgehalt. Der P-Gehalt fällt mit P = 3,9 mg/g in den Bereich der Literaturwerten und der K-Gehalt liegt mit K = 3,9 mg/g etwas unterhalb des optimalen Bereiches. Diese Schwankungen verweisen auf keine optimale Versorgung des Hafers. Allerdings ist zu bedenken, dass sich aufgrund von Zuchtfortschritten die optimalen Nährelementgehalte eventuell verändert haben könnten. Bei nachfolgenden Studien wäre eine Kartierung eventueller Mangelerscheinungen an der Feldfrucht interessant, um herauszufinden, ob die niedrigen Nährstoffgehalte Aus-

wirkungen auf die Feldfrucht zeigen. Kanzler et al. (2014) hat in seiner Studie ebenfalls feststellen können, dass die angepflanzten Kartoffeln trotz der Abnahme der Boden P- und K-Gehalte im Randbereich keine Auswirkungen auf den Ernährungszustand der Kartoffelpflanzen aufwiesen. Dieser war „im Randbereich der Ackerstreifen nicht allgemein schlechter als in dessen Zentren“ (Kanzler et al., 2014).

Die Korrelationsanalyse der Nährstoffparameter im Korn mit denen im Boden ergab, dass diese weniger voneinander abhängig sind, als ursprünglich angenommen. Dies wird durch die Korrelationskoeffizienten  $r = 0,3$  zwischen N im Korn und Boden im Anbaubereich des FHs,  $r = 0,2$  zwischen den P-Werten um Anbaubereich des KHs und  $r = -0,2$  im Anbaubereich des FHs bei den K-Werten bestätigt. Relevante Zusammenhänge konnten nur beim Stickstoff und Kalium im Anbaubereich des KHs festgestellt werden. Der Korrelationskoeffizient zwischen  $N_{\min}$  im Boden und N im Korn beträgt  $r = 0,8$ .  $r = 0,6$  liegt zwischen K im Boden und K im Korn vor. In diesen beiden Fällen liegt somit eine stark positive Korrelation zwischen den beiden Nährstoffparametern vor und es trifft die Aussage zu, je mehr von dem einen Nährstoff vorhanden ist, desto mehr ist auch von dem anderen vorhanden.

## 5.8 BBCH-Code

Die Ergebnisse der BBCH-Untersuchung sind in der Tabelle A - 10 im Anhang aufgeführt. Tabelle A - 9 (siehe Anhang) dient der Aufschlüsselung der Nummern der Makrostadien (MaS). Die Kartierung nach der BBCH-Skala erfolgte innerhalb der 11. bis zur 32. Kalenderwoche (KW).

Während der Keim- und Austriebs – Phase (MaS 0) in den ersten drei Wochen, von der 11. KW bis zur 13. KW, entwickelten sich die beiden Hafersorten identisch zueinander und wiesen zum selben Zeitpunkt dasselbe MaS sowie Mikro stadium (MiS) auf. Die Entwicklungsstufe der Blattentwicklung/Hauptspross (MaS 1) dauerte beim KH von der 14. KW bis zur 18. KW an. Demgegenüber hielt MaS 1 beim FH nur bis zur 17. KW an. Dieses Stadium war beim FH somit eine Woche eher abgeschlossen als beim KH. Mit der 17. KW fing beim FH die Bestockung an (MaS 2) und hielt bis zur 22. KW vor. MaS 2 erfolgte beim KH erst ab der 19. KW und bestand ebenfalls bis zur 22. KW fort. Die Phase der Bestockung war beim KH schneller durchlaufen als beim FH. Der Übergang vom MaS 2 zum MaS 3 erfolgt fließend. Während das MaS 2 bei beiden Hafersorten bis zur 22. KW anhielt, waren ab der 21. KW bereits die ersten Ansätze der MaS 3 und 4 erkennbar. Dieses Entwicklungsstadium konnte bis zur 24. KW bei beiden Sorten nachgewiesen werden. Nach dem Abschluss des MaS 4 in der 24. KW entwickelten sich die beiden Hafersorten in den darauffolgenden Wochen wieder identisch zueinander und schlossen zeitgleich das letzte Stadium (MaS 9) während der 32. KW ab.

Diese Abfolge der Entwicklungsstadien zeigt, dass sich die beiden Hafersorten zeitlich identisch zueinander entwickelt haben. Einzige Ausnahmen bilden die Blattentwicklung (MaS 1) und Bestockung (MaS 2). Das MaS 1 war beim FH eher abgeschlossen als beim KH. Wohingegen das MaS 2 den Ausgleich erbracht, indem der FH länger im MaS 2 verweilte als der KH. Nach Abschluss der Bestockung entwickelten sich die Hafersorten wieder identisch zueinander. Die unterschiedlichen Entwicklungen in der Anfangsphase sollten keine Auswirkungen auf den unterschiedlichen Ertrag haben, da die für den Ertrag relevanten Stadien Blütenbildung (MaS 6), Fruchtentwicklung (MaS 7) und Frucht- und Samenreife (MaS 8) bei beiden Hafersorten zur selben Zeit stattfanden und dieselbe Dauer aufweisen.

### **5.9 Einfluss der erhobenen Parameter auf den Haferertrag des KH und FH sowie die Hypothesendiskussion**

Die in Abbildung 20 und Abbildung 21 dargestellten Ergebnisse stellen die gemittelten Erträge von Korn und Stroh vom KH und FH gegenüber. Abbildung 22 ist eine Gegenüberstellung der Kornerträge der beiden unterschiedlichen Hafersorten. Die Ergebnisse in allen drei Abbildungen sind in Abhängigkeit von der Entfernung zu den Baumstreifen aufgetragen und die Ertragsgrößen sind in t/ha angegeben.

Das Korn/Stroh-Verhältnis beim KH beträgt 60 % zu 40 %. Beim FH liegt das Verhältnis entgegengesetzt und beträgt 29 % Korn zu 71 % Stroh. Diese Verhältnisverteilung ist in den Abbildung 20 und Abbildung 21 dargestellt.

Der Kornertrag des KHs schwankt zwischen 3,2 t/ha und 4,6 t/ha. Beim FH liegen die gemittelten Erträge zwischen 1,5 t/ha und 2,2 t/ha. Der Kornertrag des KHs ist somit doppelt so hoch, wie der des FHs. In allen drei Abbildungen wird ersichtlich, dass der Kornertrag zu den jeweiligen Gehölzstreifen hin leicht abfällt. Wobei der Trend beim KH stärker ersichtlich ist als beim FH. Werden die Erträge am Punkt 75 m Mitte außer Acht gelassen, so lässt sich beim KH ein Anstieg der Erträge, ausgehend vom Gehölzstreifen bis zum Punkt 24 m West erkennen, bevor sie zum Punkt 48 m erneut abfallen. Diese Auffälligkeit ist in beiden Abschnitten (West und Ost) des Ackers zu verzeichnen. Beim FH zieht sich der Anstieg auf beiden Seiten (West und Ost) bis zum Punkt 48 m. Bei der Außerachtlassung des Punktes 75 m Mitte wird beim KH zudem ersichtlich, dass das Gesamtmaximum bei 24 m und 12 m Ost mit 4,3 t/ha liegt. Wird die Ostseite und Westseite für sich betrachtet, so liegt auf der Westseite das Maximum dichter am Gehölzstreifen (6 m West mit 3,9 t/ha) als auf der Ostseite (12 m Ost mit 4,3 t/ha). Wird beim Betrachten der Erträge

des FHs der 75 m Mitte Punkt nicht berücksichtigt, so liegt das Gesamtmaximum der Fläche bei 48 m Ost mit 2,2 t/ha. Bei Segmentierung in West und Ost, liegen die beiden Maxima in der Mitte des Feldes (48 m West und Ost) anstatt am Rand. Werden die Sortenpaare mit der jeweiligen gleichen Entfernungen miteinander verglichen, wird ersichtlich, dass der Ertrag auf der Ostseite höher ist als auf der Westseite (Tabelle 4 und Tabelle 5). Dabei belaufen sich die Ertragsunterschiede beim KH auf 0,1 – 0,7 t/ha und beim FH auf 0,1 – 0,3 t/ha.

Tabelle 4: Kornertrag des konventionellen Hafers in Abhängigkeit der Entfernung zum Gehölzstreifen

<b>Ausrichtung der Punkte</b>	<b>Gewicht Körner [t/ha]</b>
3 m West	3,2
6 m West	3,9
12 m West	3,6
24 m west	3,8
48 m West	3,6
75 m Mitte	4,6
48 m Ost	3,4
24 m Ost	4,3
12 m Ost	4,3
6 m Ost	4,0
3 m Ost	3,8

Tabelle 5: Kornertrag des Fahnenhafers in Abhängigkeit der Entfernung zum Gehölzstreifen

<b>Ausrichtung der Punkte</b>	<b>Gewicht Körner [t/ha]</b>
3 m West	1,5
6 m West	1,7
12 m West	1,5
24 m west	1,7
48 m West	2,1
75 m Mitte	1,8
48 m Ost	2,2
24 m Ost	1,9
12 m Ost	1,8
6 m Ost	1,8
3 m Ost	1,8

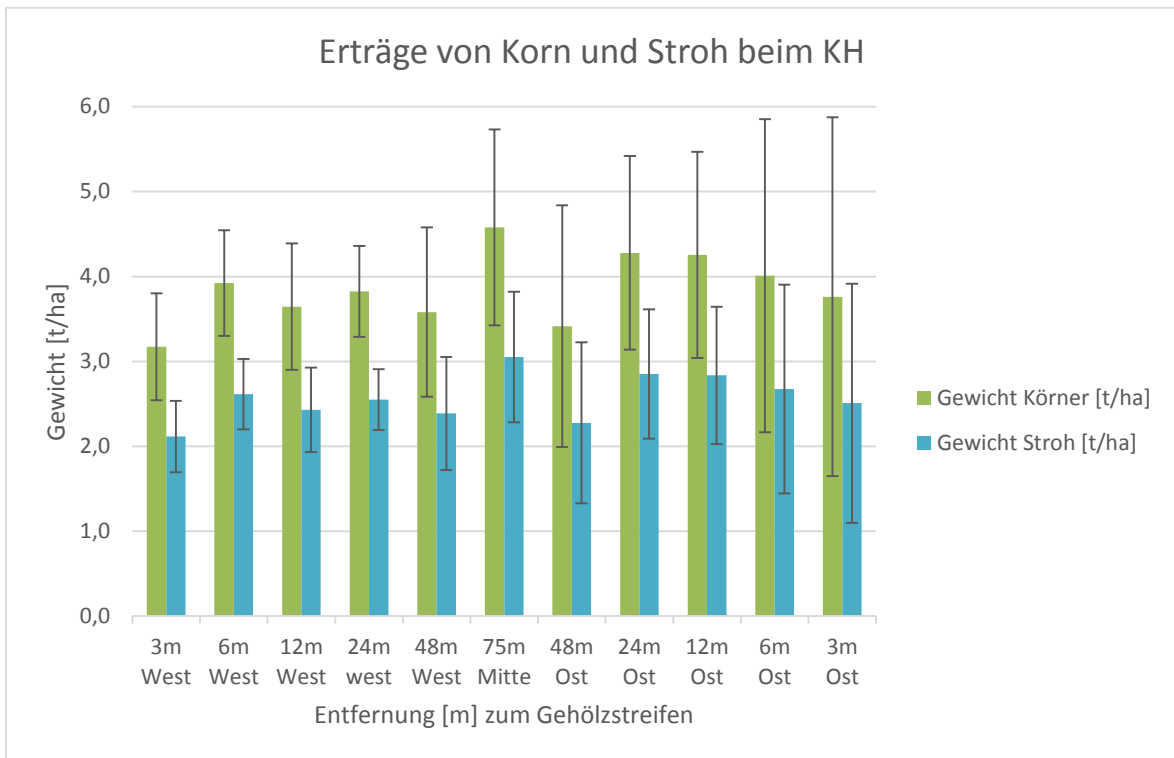


Abbildung 20: Gegenüberstellung der Erträge von Korn und Stroh beim konventionellen Hafer in Abhängigkeit der Entfernung zum Baumstreifen

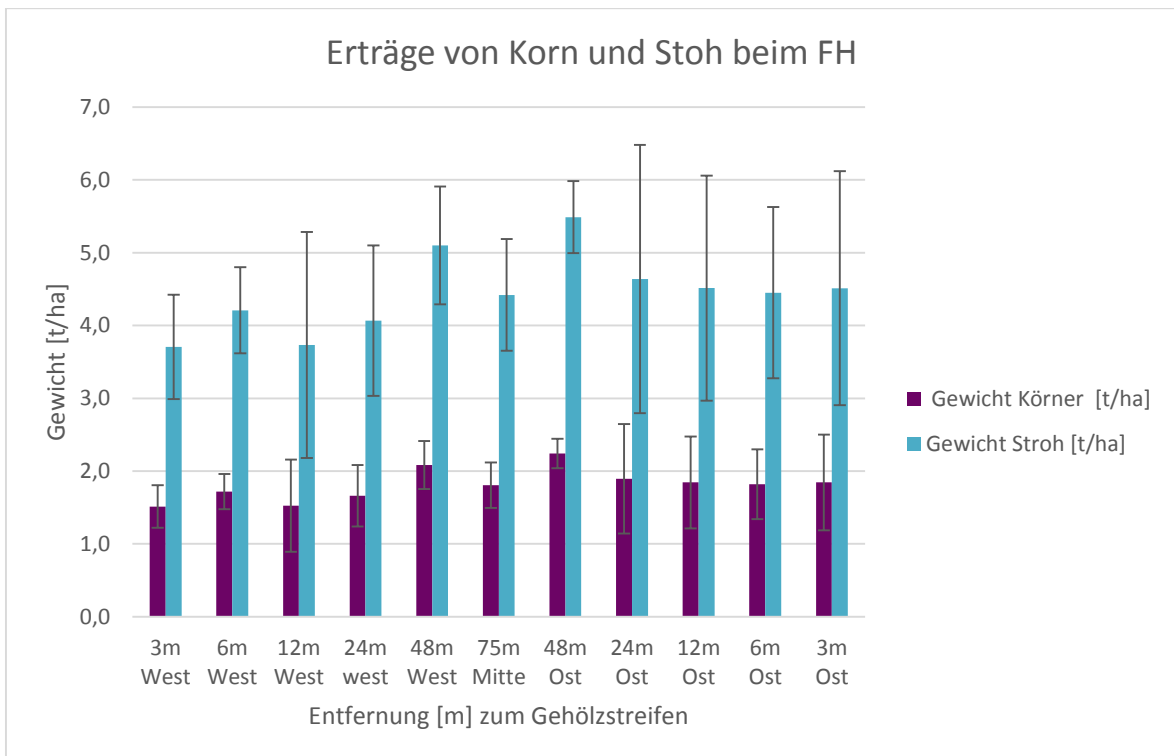


Abbildung 21: Gegenüberstellung der Erträge von Korn und Stroh beim Fahrenhafer in Abhängigkeit der Entfernung zum Baumstreifen

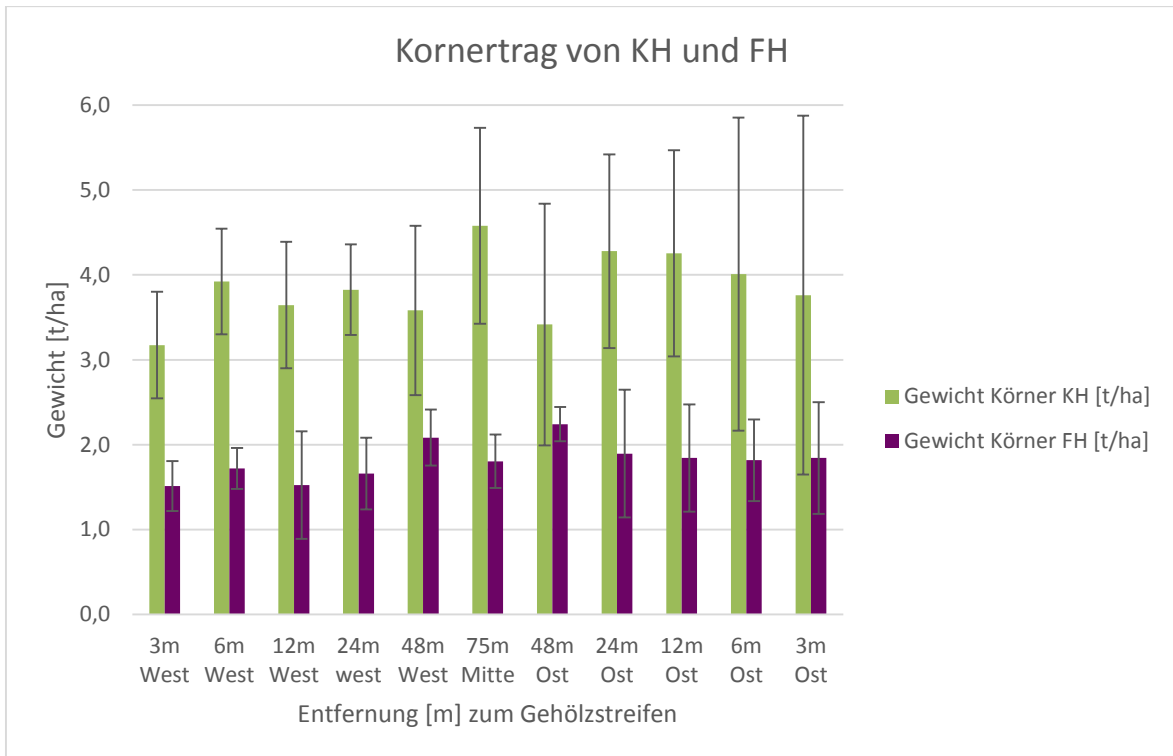


Abbildung 22: Gegenüberstellung der Kornerträge vom konventionellen Hafer und Fahnenhafer in Abhängigkeit der Entfernung zum Baumstreifen

Im Nachfolgenden wird diskutiert, wie die gewonnenen Parameter Einfluss auf den Haferertrag nehmen und ob von den Gehölzstreifen ein positiver oder negativer Effekt auf den Ertrag zu erwarten ist. Dazu wurden fünf Thesen erstellt, die es zu prüfen und eventuell mit anderen Studien zu vergleichen gilt.

1. Es geht kein erhöhter Beikrautdruck vom Gehölzstreifen aus, der sich negativ auf den Ertrag ausübt.

Der Bedeckungsgrad der Beikräuter hat keinen negativen Einfluss auf den Ertrag der Haferarten. Diese Schlussfolgerung kann gezogen werden, da kein erhöhter Beikrautdruck von den Gehölzstreifen ausgeht. Genauere Erläuterungen wurden bereits in 5.1 Einfluss der Gehölzstreifen auf den Bedeckungsgrad getätigt.

2. Die Reduktion der Windgeschwindigkeit nimmt positiven Einfluss auf den Ertrag.

Dieser Hypothese kann nicht zustimmt aber auch nicht wiederlegt werden. Grund dafür ist, dass eine deutliche Windgeschwindigkeitsreduktion erst gegen Ende der Vegetationsperiode, kurz vor der Ernte, nachweisbar war, da die Pappeln zum Beginn eine zu niedri-

ge Höhe aufwiesen. Dadurch konnte ein Einfluss auf den Ertrag, positiver oder negativer Natur, nicht nachgewiesen werden. Die genaue Ergebnisdarstellung erfolgte bereits in 5.2 Einfluss der Gehölzstreifen auf die Windgeschwindigkeitsreduktion. Weiterführende Beobachtungen der Winddaten in den folgenden Monaten und Jahren sollten eine steigende Reduktion der Windgeschwindigkeit bestätigen.

3. Die Nährstoffverfügbarkeit im Boden variiert in Abhängigkeit des Abstandes zum Gehölzstreifen.

Dieser Hypothese kann in Teilen zugestimmt werden. Die Korrelationsanalyse zwischen den Nährstoffparameter und der Entfernung ergab, dass im Anbaubereich des KHs ein stark positiver Zusammenhang vorliegt. Die Werte schwankten zwischen  $r = 0,7$  und  $r = 1,0$ . Auch auf der Westseite im Anbaubereich des FHs sind beim  $N_{\min}$ - und K-Vorrat starke positive Korrelationen zwischen Nährstoffvorrat und Entfernung zum Gehölzstreifen aufgetreten. Aus diesen Korrelationen kann geschlossen werden, dass desto größer die Entfernung zum Gehölzstreifen ist, desto mehr Nährstoffe sind im Boden vorhanden. Im Umkehrschluss sind weniger Nährstoffe in Gehölzstreifennähe aufzufinden. Die Genauen Zahlen und Erläuterungen können dem Punkt 5.6 entnommen werden.

4. Es bestehen Konkurrenzeffekte zwischen den Baumstreifen und dem Randbereich des Untersuchungsfeldes in Bezug auf den Haferertrag.

Bei Betrachtung der Abbildung 22 wird ersichtlich, dass der Kornertrag beim KH sowie FH zum Randbereich hin abnimmt. Dies lässt auf eine Konkurrenz zwischen der Feldfrucht und den Gehölzstreifen schließen. Ein weiterer Aspekt der diese Aussage bekräftigt, ist der abfallende Nährstoffgehalt und -vorrat im Boden zu den Gehölzstreifen hin. Dies bestätigt, sich durch den Vergleich der Gehalte und Vorräte in 3 m West mit denen in 48 m West (selber Vergleich auf der Ostseite). Ein möglicher Grund für das Abfallen der Nährstoffgehalte kann der Entzug durch die Bäume im Gehölzstreifen sein. Diese sind zum Wachstum auf die gleichen Nährstoffe angewiesen. Dieser Schluss wird durch die Hypothese 3 bekräftigt. Die Gehölzstreifen üben somit einen indirekten Einfluss auf den Hafer in Ackerrandnähe aus. Aus einer Studie von Jung et al. (2013) geht hervor, dass der Bestand der Ackerkulturen in Gehölzstreifennähe Lücken aufwies allerdings mit steigender Entfernung dichter wurde. Zudem konnten niedrige Erträge im Nahbereich festgestellt werden, wohingegen die Erträge zur Ackerstreifen Mitte hin zunahmen. Diese Ertragsunterschiede werden auf die Heterogenität der Bodenverhältnisse zurückgeführt (Jung et al., 2013).



Ein weiterer Effekt der den Ertrag in Baumstreifennähe reduzieren kann, ist der Schattenwurf der Bäume. Auf der einen Seite senkt dieser zwar die Temperatur in Bodennähe, auf der anderen Seite verzögert sich die Entwicklung des Hafers, da dieser nicht genügend Sonne bekommt. Der BBCH-Code könnte Aufschluss auf eine eventuelle verspätete Entwicklung im Randbereich geben. Dazu sollte dieser bei erneuten Untersuchungen allerdings an allen Punkten erhoben und nicht exemplarische für die Gesamtfläche genommen werden. Dies ist der Grund, weswegen der erhobene BBCH-Code in dieser Studie nicht für weitere Einschätzungen herangezogen werden kann.

Auch Lamerre et al. (2015) verzeichnete eine Ertragsabnahme im Randbereich. Der Unterscheid belief sich zwischen Randbereich und Feldmitte bei einer Ackerstreifenbreite von 48 m, auf 20 dt/ha. Allerdings sind die Ertragseinbußen auf den Laubfall zurückzuführen, da die Untersuchungen an Winterweizen durchgeführt wurden. Zudem hat der Schattenwurf der Gehölzstreifen einen Einfluss auf den Randbereich, aufgrund der verzögerten phänologischen Entwicklung (Lamerre et al., 2015). Die Ergebnisse von Jung et al. (2013) und Lamerre et al. (2015) beziehen sich auf das Folgejahr der Anlegung. Kanzler et al. (2014) stellte zum Beispiel fest, dass im Abstand von 3 m zum Gehölzstreifen der Kartoffelertrag auf der Westseite bis zu 44 % höher war, als in der Ackerstreifenmitte. Auf der Ostseite lag der Mehrertrag in 3 m Entfernung zum Gehölzstreifen bei 35 % im Verhältnis zur Ackerstreifenmitte. Die Untersuchungen fanden drei Jahre nach der Etablierung der Gehölzstreifen statt.

In der vorliegenden Studie ist neben dem Einfluss der Gehölzstreifen zusätzlich zu bedenken, dass aufgrund der Ausbringungsart des Saatgutes Ertragseinbußen im Randbereich entstanden sein könnten. Das Saatgut wurde von West nach Ost gedreht und nicht von Nord nach Süd. Somit befanden sich die Wendepunkte der Drillmaschine am westlichen und östlichen Ackerrand, wo die Gehölzstreifen direkt angrenzen. Durch Randeinstellungen und dem Wenden der Drillmaschine kann es im Randbereich zur ungenauen Saatgutausgabe kommen. Zudem wird der Boden im Wendebereich vermehrt verdichtet. Diese Einflüsse zeigten sich im Laufe der Vegetationsperiode an lückenhaften Haferbeständen im Randbereich. Abbildung A - 2 und Abbildung A - 3 (siehe Anhang) verdeutlichen dies. In Abbildung A - 2 ist im vorderen Bildrand gut ersichtlich, dass an dieser Stelle anscheinend kein Saatgut ausgebracht wurde, da der Hafer eigentlich wesentlich weiter an den Gehölzstreifen reichen sollte, wie etwas weiter hinten im Bild ersichtlich. In Abbildung A - 3 ist der Punkt 32 abgebildet, welcher sich in 6 m Entfernung zum westlichen Gehölzstreifen befindet. Es sind um den Punkt herum Lücken zu erkennen, welche aufgrund der Dichte zum Feldrand hin auf einen Ausbringungsfehler hindeuten. Bei der Teilerte wurde zwar darauf geachtet, solche Stellen zu meiden, allerdings war dies nicht immer möglich. Die zuvor getätigte Aussage, dass ein Konkurrenzeffekt zwischen dem

Gehölzstreifen und dem Hafer besteht ist nicht eindeutig nachweisbar, aufgrund des Ausbringungsfehlers. Es kann nicht bestätigt werden, dass die abfallenden Erträge zum Gehölzstreifen hin einzig und alleine auf den Konkurrenzeffekt zurückzuführen sind. Bei einer erneuten Beprobung des Feldes, sollte auf eine Saatausbringung von Nord nach Süd geachtet werden, um mögliche Konkurrenzeffekte besser studieren und nachweisen zu können.

5. Die Beeinflussung der Feldfruchte durch die Gehölzstreifen ist auf der Westseite höher als auf der Ostseite.

Die Gegenüberstellung von den Kornerträgen der gleichen Entfernungspunkte auf der West- und Ostseite ergab, dass die Kornerträge auf der Ostseite um 0,1 – 0,7 t/ha beim KH und beim FH um 0,1 – 0,3 t/ha höher waren. Bei Außerachtlassung der Erträge am Punkt 75 m Mitte wird ersichtlich, dass die höchsten Erträge beim KH (24 m und 12 m Ost mit 4,3 t/ha) sowie beim FH (48 m Ost mit 2,2 t/ha) auf der Ostseite geerntet wurden. Die Kornerträge sind auf der Ostseite somit höher als auf der Westseite des Feldes. Dieses Phänomen kann auf zwei Theorien zurückgeführt werden. Zum einen sind die Bodenbedingungen auf der Ostseite des Feldes besser als auf der Westseite, zum anderen ist der Einfluss des westlichen Gehölzstreifens, größer als der des östlichen. Die beiden Theorien greifen teilweise ineinander, weshalb als erstes geprüft wird, ob die Bodenbedingungen auf der Ostseite besser sind als auf der Westseite. Der Vergleich der gleichen Entfernungspunkte miteinander auf der West- und Ostseite ergab, dass der Nährstoffgehalt und -vorrat an  $N_{\min}$ , P und K im Boden an den Punkten auf der Ostseite, mit wenigen Ausnahmen, höher war, als auf der Westseite. Dies trifft sowohl auf den KH als auch auf den FH Bereich zu. Die bessere Nährstoffversorgung kann somit für den mehr Ertrag auf der Ostseite des Feldes verantwortlich sein. Die zweite Theorie, dass die Erträge auf der Westseite des Feldes niedriger sind als auf der Ostseite, konnte bereits in anderen Studien festgestellt werden. In der Langzeitstudie von Greef (2012) wurde im Frühjahr 2008 ein AFS in Wendhauen (Niedersachsen) angelegt. In den Folgejahren (bis 2011) wurden die Ertragsentwicklungen der Feldfruchte untersucht. Die Ergebnisse ergaben, dass 2009, eineinhalb Jahre nach Anlegung und mit einer Baumhöhe von 3m, die ersten Einflüsse zu verzeichnen waren. Es wurden in dem Jahr Winterweizen, Winterraps und Ackerbohnen angepflanzt. Alle drei Feldfruchte verzeichnen geringere Erträge auf der Westseite des Feldes als auf der Ostseite. In der Ackermitte konnten die höchsten Erträge verzeichnet werden. Es wird zudem gesagt, dass beim Winterraps bei einer Entfernung von 48 m zum Gehölzstreifen die Westseite des Ackers stärker von der Ertragsreduktion betroffen ist, als die Ostseite. Die untersuchten Feldfruchte der Studie zeigen ein ähnliches Ertragsauf-

kommen wie der im Rahmen dieser Bachelorarbeit untersuchte Hafer. Der Hypothese, dass die Beeinflussung der Feldfruchte durch die Gehölzstreifen auf der Westseite höher ist als auf der Ostseite kann somit zugestimmt werden und wurde mit bereits geführten Studien zudem belegt.

### **5.10 Methodendiskussion**

Die Art der Durchführung jeder Studie beeinflusst die Zuverlässigkeit ihrer Ergebnisse. Im Laufe dieser Arbeit sind einige Umstände aufgefallen, die bei erneuten Untersuchungen zu bedenken beziehungsweise zu berücksichtigen sind.

Zu Beginn sei die Anlegung des Feldes genannt. Nach der Studie von Quinkenstein (2015) sollte die Breite der Ackerfläche in einem AFS das 12fache der Baumhöhe nicht überschreiten, beziehungsweise nicht breiter als 100 m sein. Ab einer Gesamtbreite von 100 m ist kein Einfluss der Gehölzstreifen mehr zu erwarten und der Windschutzeffekt lässt ebenfalls nach. Demnach ist das angelegte Untersuchungsfeld mit 150 m zu breit dimensioniert. Es ist somit zu beachten, dass die Ergebnisse in 75 m Entfernung nicht unbedingt repräsentativ für den Einfluss eines AFS auf den Ertrag von Feldfruchten sind.

Um nicht auf Gehölzstreifen bezogene Ertragseinbußen im Randbereich zu vermeiden und eine genauere Beeinflussung der Gehölzstreifen auf die Feldfrucht feststellen zu können, sollte bei erneuter Untersuchung der Fläche darauf geachtet werden, dass das Saatgut von Nord nach Süd ausgebracht wird. Da ansonsten das Ergebnis der Ertragserhebung im Randbereich verfälscht werden könnte, durch lückenhaftes Ausbringen von Saatgut und ein vermehrtes Verdichten des Bodens in den Randbereichen.

Bei erneuten Felduntersuchungen sollten auch Bodenproben im Gehölzstreifen genommen werden, um Vergleiche bezüglich der Bodenparameter zwischen Gehölzstreifen und Ackerfläche ziehen und negative Effekte definitiv ausschließen zu können.

Um die phänologische Entwicklung besser einschätzen und auch eventuelle Beeinträchtigungen durch Beschattung oder anderen Parameter auszuschließen zu können, empfiehlt es sich den BBCH-Code an mehreren Stellen auf dem Feld zu erheben und nicht einen Wert für das gesamte Feld zu erstellen.

Zum Schluss sei noch erwähnt, dass der Druckaufschluss gegen Ende von zwei studentischen Hilfskräften des Lehrstuhls Bodenschutz und Rekultivierung durchgeführt wurde. Aufgrund von unterschiedlichen Vorgehensweisen aller am Druckaufschluss beteiligten Personen kann es zu kleinen Ungenauigkeiten in den Ergebnissen kommen.

## **6 Schlussfolgerung**

Nach Zusammenstellung und Auswertung der Ergebnisse sollte als erstes gesagt werden, dass es sich um einjährige Ergebnisse handelt. In den nachfolgenden Jahren sollten die Parameter erneut erhoben werden, um zu ermitteln, ob die beobachteten Effekte sich wiederholen und manifestieren oder einzig und alleine darauf zurückzuführen sind, dass das AFS sich im ersten Jahr nach der Anlegung befindet. Die genauen Erläuterungen zu den jeweiligen Effekten sind den entsprechenden Kapiteln zu entnehmen.

Nach den Untersuchungen konnten positive sowie negative Effekte des AFS auf den Ertrag der Hafersorten festgestellt werden. Nach einer Gegenüberstellung der eingeteilten Einflüsse lässt sich die Aussage treffen, dass die Positiven überwiegen. Während des Untersuchungszeitraumes konnten nur zwei negative Effekte bemerkt werden, die allerdings nicht ausschließlich auf die Gehölzstreifen zurückgeführt werden konnten. Zum einen traten Ertragseinbußen gegenüber dem Randbereich auf und zum anderen war eine Abnahme der Nährstoffversorgung des Bodens in Gehölzstreifennähe zu verzeichnen. Trotz der verminderten Erträge durch Konkurrenzeffekte im Randbereich sollten die nachfolgenden positiven Effekte nicht in Vergessenheit geraten. Die Gesamtsituation der Ackerfläche ist entscheidend für den Ertrag. AFS fördern die Reduktion der Windgeschwindigkeit, wodurch es zu weniger Winderosion kommt und der kostbare, nährstoffreiche Oberboden nicht abgetragen wird. Im Anbaubereich des KHs wurde außerdem ein erhöhter Humusgehalt in Ackerstreifennähe festgestellt. Dieser bedingte einen erhöhten Wassergehalt im Boden in Gehölzstreifennähe. Durch diesen kann gerade auf trockenen, sandigen Standorten eine bessere Wasserversorgung der Pflanzen gewährleistet werden und dadurch ein besseres Wachstum. Trotz vieler Bedenken konnte kein verstärkter Beikrautdruck durch die Gehölzstreifen auf die Ackerfläche nachgewiesen werden.

Diese nachgewiesenen positiven Effekten überwiegen die negativen. Damit ein Ausgleich der positiven und negativen Effekte gewährleistet ist, sollte auf ein ausgewogenes Verhältnis zwischen der Ackerstreifenbreite und der Agroforstfläche geachtet werden.

## 7 Literaturverzeichnis

- Bärwolff, M., Jung, L.S. & Vetter, A. (2014): "Begleitvegetation eines Energieholz-Agroforstsystems-Eine Bewertung hinsichtlich Biodiversität und Ertragsbeeinflussung". In Pekrun, C., Wachendorf, M. & Francke-Weltmann, L & M. Wachendorf (Hrsg.): *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 26: Technik in der Pflanzenproduktion*, Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V., Wien, 16. bis 18. September 2014, Liddy Halm, Göttingen, S. 56–57.
- Böhm, C. (2012): *Abschlussbericht: Verbundvorhaben: Ökonomische und ökologische Bewertung von Agroforstsystemen in der landwirtschaftlichen Praxis (AgroForstEnergie)Teilvorhaben 2: Rekultivierung in Brandenburg*.
- Böhm, C., Kanzler, M. & Freese, D. (2013): "Agroforstsysteme in Südbrandenburg - Effekte auf Mikroklima und Wasserqualität". In Pekrun, C., Wachendorf, M. & Francke-Weltmann, L. (Hrsg.): *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 25: Nachhaltige Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen*, Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Weihenstephan, 04. bis 06. September 2013, Liddy Halm, Göttingen, S. 180–181.
- Döhler, H. (Hrsg.) (2005): *Faustzahlen für die Landwirtschaft*, 13., [völlig neu bearb.] Aufl., Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.(KTBL), Darmstadt.
- Greef, J.-M. (2012): *Schlussbericht: Verbundvorhaben: Ökonomische und ökologische Bewertung von Agroforstsystemen in der landwirtschaftlichen Praxis (AgroForstEnergie)Teilvorhaben 3: Grünland- und Ackerflächen in Niedersachsen*.
- Grünewald, H. & Reeg, T. (2009): "Überblick über den Stand der Forschung zu Agroforstsystemen in Deutschland". In Reeg, T., et al. (Hrsg.): *Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, Weinheim, S. 233–239.
- Jung, L.S., Bärwolff, M., Schmidt, C. & Vetter, A. (2013): "Einflüsse auf Ertrag und Erntequalität von Ackerfrüchten in Agroforstsystemen". In Pekrun, C., Wachendorf, M. & Francke-Weltmann, L. (Hrsg.): *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 25: Nachhaltige Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen*, Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Weihenstephan, 04. bis 06. September 2013, Liddy Halm, Göttingen, S. 188–189.
- Kanzler, M., Böhm, C. & Freese, D. (2014): "Nährstoffgehalt und Erträge von Kartoffeln in Abhängigkeit zur Entfernung vom Gehölzstreifen in einem Agroforstsystem". In Pekrun, C., Wachendorf, M. & Francke-Weltmann, L & M. Wachendorf (Hrsg.): *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 26: Technik in der Pflanzenproduktion*, Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V., Wien, 16. bis 18. September 2014, Liddy Halm, Göttingen, S. 264–265.
- Kanzler, M., Böhm, C., Mirck, J. & Freese, D. (2015): "Variabilität des Mikroklimas im Einflussbereich der Gehölzstreifen eines Agroforstsystems". In Kage, H., Sieling, K. & Francke-Weltmann, L. (Hrsg.): *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 27: Multifunktionale Agrarlandschaften - Pflanzenbaulicher Anspruch, Biodiversität, Ökosystemdienstleistungen*, 58. Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V., Braunschweig, 22. bis 24. September 2015, Liddy Halm, Göttingen, S. 77–78.
- Kronthaler, F. (2014): *Statistik angewandt: Datenanalyse ist (k)eine Kunst*, Springer-Lehrbuch, Springer Spektrum, Berlin.
- Lamerre, J., Schwarz, K.-U., Langhof, M. & Greef, J.-M. (2015): "Strukturelle Vielfalt und Produktivität in Agroforstsystemen". In Kage, H., Sieling, K. & Francke-Weltmann, L. (Hrsg.): *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 27: Multifunktionale Agrarlandschaften - Pflanzenbaulicher Anspruch, Biodiversität, Ökosys-*

- temdienstleistungen*, 58. Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V., Braunschweig, 22. bis 24. September 2015, Liddy Halm, Göttingen, S. 79–80.
- Meier, U. (2001): *Entwicklungsstadien mono- und dikotyle Pflanzen: BBCH Monografie*, 2. Auflage, Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft.
- Oehmichen, J., Borgmann, F., Bramm, A., Sommer, C., Sourell, H., Hollmann, P. & Kuntze, H. (1983): *Pflanzenproduktion: Band 1: Grundlagen*, Paul Parey, Berlin, Hamburg.
- Quinkenstein, A. (2015): *Kurzbericht: Gehölz- und Getreide-Erträge eines Energieholz-Alley-Cropping-Systems*.
- Quinkenstein, A., Böhm, C., Freese, D., Wöllecke, J., Grünewald, H., Schneider, B.U. & Hüttl, R.F. (2008): *Alley-Cropping – Ein klima-adaptierbares Landnutzungssystem zur nachhaltigen Biomasseproduktion*, 21st ed., Cottbus.
- Sponagel, H. (Hrsg.) (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5)*, 5. verbesserte und erweiterte Auflage, Schweizerbart, Stuttgart.
- Stahr, K., Kandeler, E., Herrmann, L. & Streck, T. (2012): *Bodenkunde und Standortlehre: [Grundwissen Bachelor]*, UTB, Ulmer, Stuttgart.
- Surböck, A., Faustmann, P., Heinzinger, M., Friedel, J.K., Klick, A. & Freyer, B. (2005): "Auswirkungen einer Hecke auf den Bodenwasserhaushalt, Bodenparameter und Ertrag in angrenzenden Ackerflächen". In Kämpf, A., Claupein, S. & Graeff, W. (Hrsg.): *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 17: Wasser und Pflanzenbau - Herausforderungen für zukünftige Produktionssysteme*, Wien, 27. September bis 29. September 2005, Günter Heimbach, Stuttgart, S. 20–21.
- Wulffen, U.v., Roschke, M. & Kape, H.-E. (2008): *Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung (DüV) - Gemeinsame Hinweise der Länder Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt*, LVL Brandenburg, Frankfurt/Oder.

**Anhang**

Tabelle A - 1: Namen der festgestellten Pflanzenarten auf dem Ackerstreifen und in den Pappelstreifen

<b>Art</b>	<b>Name (umgangssprachlich)</b>
<i>Avena sativa</i>	Hafer
<i>Viola arvensis</i>	Ackerstiefmütterchen
<i>Chenopodium album</i>	Ackermelde (Weißer Gänsefuß)
<i>Echinochloa crus-galli</i>	Hühnerhirse
<i>Fallopia convolvulus</i>	Windenknötterich
<i>Polygonum aviculare</i>	Vogelknötterich
<i>Myosotis arvensis</i>	Ackervergissmeinnicht
<i>Stellaria media</i>	Vogelmiere
<i>Geranium dissectum</i>	Schlitzblättriger Storchschnabel
<i>Conyza canadensis</i>	Kanadisches Berufskraut
<i>Trifolium repens</i>	Weiß-Klee
<i>Cirsium arvenese</i>	Ackerkratzdistel
<i>Hyssopus officinalis</i>	Ysop
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Zurückgebogener Amarant
<i>Galinsoga ciliata</i>	Behaartes Franzosenkraut
<i>Tripleurospermum maritimum</i> subsp. <i>inodorum</i>	Geruchlose Kamille
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Gewöhnliches Hirtentäschel
<i>Senecio vulgaris</i>	Gewöhnliches Greiskraut
<i>Apera spica-venti</i>	Windhalm
<i>Erigeron annuus</i>	Einjähriges Berufkraut
<i>Anagallis arvensis</i>	Ackergauchheil
<i>Vicia cracca</i>	Vogel Wicke
<i>Epilobium spec.</i>	Weidenröschen
<i>Artemisia vulgaris</i>	Beifuß
<i>Rumex spec.</i>	Ampfer
<i>Cyanus segetum</i>	Kornblume
<i>Galeopsis tetrahit</i>	Gemeiner Hohlzahn
<i>Plantago major</i>	Breitwegerich

Tabelle A - 2: Einstufung des Humusgehaltes (organische Substanz) von Böden (Sponagel, 2005)

<b>Bezeichnung</b>	<b>Humusanteil [Masse-%]</b>
humusfrei	0
sehr schwach humos	<1
schwach humos	1 bis <2
mittel humos	2 bis <4
stark humos	4 bis <8
sehr stark humos	8 bis <15
extrem humos, anmoorig	15 bis <30
organisch, Torf	≥30

Tabelle A - 3: Einstufung und Bewertung des pH-Wertes (gemessen in CaCl<sub>2</sub> - Lösung) (Sponagel, 2005)

<b>Bezeichnung</b>	<b>pH-Wert-Bereich</b>
Neutral	6,8 bis <7,2
Sehr schwach sauer	6,1 bis <6,8
Schwach sauer	5,4 bis <6,1
Mäßig sauer	4,7 bis <5,4
Stark sauer	4,0 bis <4,7

Tabelle A - 4: Anzustrebende pH - Bereiche in Ackerböden(Oehmichen et al., 1983)

<b>Bodenart</b>	Tongehalt in % in der MTM	<b>Gew.% organischer Substanz</b>		
		<4	4-8	8-15
		humos	stark humos	sehr stark humos
S – Sand	<5	5,5	5,5	5,0
IS – lehmiger Sand	5-12	6,0	5,5	5,0



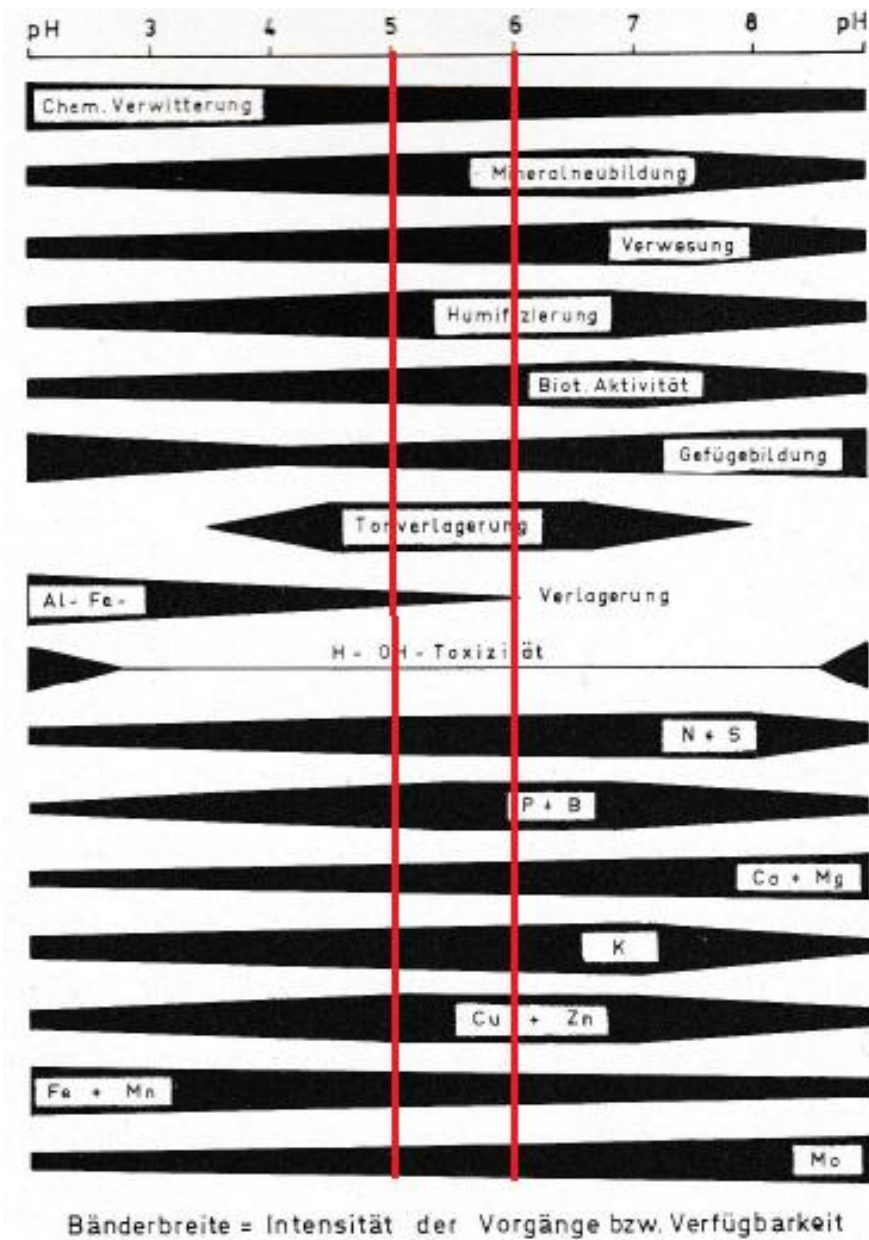


Abbildung A - 1: pH-Wirkung im Boden (Oehmichen et al., 1983)

Tabelle A - 5: Definition der P-, K- und Mg-Gehaltsklassen für den leichtlöslichen (pflanzenverfügbaren) Nährelementgehalt im Boden und Düngungsempfehlungen (Wulffen et al., 2008)

Gehaltsklasse	Einschätzung des Nährstoffgehaltes	Düngebedürftigkeit
A	sehr niedrig	sehr stark
B	niedrig	stark
C	optimal	mittel
D	hoch	schwach
E	sehr hoch	keine

Tabelle A - 6: Bewertung der Phosphor-Gehalte im Boden für Ackerland nach der DL-Methode (Wulffen et al., 2008)

Gehaltsklasse	P-Gehalt (mg/100 g Boden)	
	Böden mit pH-Wert $\leq 7,0$ und $\leq 5\%$ freiem $\text{CaCO}_3$	Böden mit pH-Wert $> 7,0$ und $> 5\%$ freiem $\text{CaCO}_3$
A	$\leq 3,0$	$\leq 1,9$
B	3,1 - 5,5	2,0 - 3,9
C	5,6 - 8,0	4,0 - 5,5
D	8,1 - 12,0	5,6 - 8,0
E	$\geq 12,1$	$\geq 8,1$

Tabelle A - 7: Bewertung der Kalium-Gehalte im Boden für Ackerland nach der DL-Methode (Wulffen et al., 2008)

Bodengruppe	Gehaltsklasse	K-Gehalt (mg/100 g)
BG 2	A	$\leq 3$
	B	4 - 7
	C	8 - 11
	D	12 - 19
	E	$\geq 20$

Tabelle A - 8: Nährstoffgehalt [mg/g] im Erntegut von Hafer (Döhler, 2005)

Erntegut	TM (%)	N [mg/g]	P [mg/g]	K [mg/g]
Hafer-Korn	86	14 – 18	2,6 – 4,8	4,2 – 5,8

TM = Im Erntegut angenommener Trockenmassegehalt

Tabelle A - 9: Makrostadien zur Beschreibung der phänologischen Entwicklung mono- und dikotyler Pflanzen (Meier, 2001)

<b>Stadium</b>	<b>Beschreibung</b>
0	Keimung / Austrieb
1	Blattentwicklung (Hauptspross)
2	Bildung von Seitenspross / Bestockung
3	Längen- bzw. Rosettenwachstum des Hauptsprosses / Triebentwicklung / Schossen (Haupttrieb)
4	Entwicklung vegetativer Pflanzenteile (Erntegut) bzw. vegetativer Vermehrungsorgane / Ähren- bzw. Rispenwellen
5	Erscheinen der Blütenanlage (Hauptspross) / Ähren- bzw. Rispenschieben
6	Blüte (Hauptspross)
7	Fruchtentwicklung
8	Frucht- und Samenreife
9	Absterben bzw. Eintreten der Vegetationsruhe

Tabelle A - 10: Einstufung der Hafersorten in den BBCH-Code für den Untersuchungszeitraumes

KW	Makrostadium KH	Mikrostadium KH	Makrostadium FH	Mikrostadium FH
11	0	0	0	0
12		7		7
13		9		9
14	1	10	1	10
15		12		12
16		13		13-14
17		15		15-16
18		18-19		22
19-22	2	21-28	2	23
20		22-28		23-28
21-22		30-35		30-36
23-24	3 bis 4	36-43	3 bis 4	37-43
25-26	5	51-59	5 bis 6	51-61
27-29	6 bis 7	65-73	6 bis 7	65-75
30-31	7 bis 8	75-85	7 bis 8	77-89
32	9	92-99	9	97-99



Abbildung A - 2: Ungenaue Ausbringung des Saatgutes (eigene Aufnahmen)



Abbildung A - 3: Ungenaue Ausbringung von Saatgut an Punkt 32 (6 m West) (eigene Aufnahmen)

## **Inhaltsverzeichnis der DVD**

### 01\_Fließtext

Bachelorarbeit\_Julia Rieken.docx

Bachelorarbeit\_Julia Rieken.pdf

### 02\_Daten

BBCH-Code

Datenbank

Vegetationsaufzeichnung

Windgeschwindigkeiten April bis August 2016

### 03\_Onlinequellen

Sämtliche Onlinequellen im PDF-Format

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei der Ausarbeitung meiner Bachelorarbeit unterstützt haben.

Besonderer Dank geht hierbei an Dr. Christian Böhm, der mir ermöglichte, an diesem Thema mitzuwirken. Geduldig stand er mir mit Rat zur Seite und half mir sowohl bei fachspezifischen als auch formellen Fragen. Durch Ihre Kritik und Ihr umfangreiches Fachwissen haben Sie mich in der Ausarbeitung immer wieder vorangebracht.

Ebenfalls möchte ich mich bei Gabriele Franke, Regina Müller und Denis Henning bedanken. Sie hatten immer ein offenes Ohr für meine Probleme und Fragen, unterstützen mich bei der Laborarbeit und wiesen mich in die entsprechen Versuche ein. Desweiteren gilt mein Dank den Studentischen Hilfskräften, Sabrina Jäger und Isabell Bitzker, die mir während des letzten Monates der Laborarbeit zur Hand gegangen sind.

Zuletzt möchte ich mich noch bei meiner Familie und meinen Freunden für die anregenden Gespräche und die aufgebrauchte Geduld bedanken.

**Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, Julia Rieken, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig, ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als die angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen (einschließlich elektronischer Quellen) direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind ausnahmslos als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form oder auszugsweise im Rahmen einer anderen Prüfung noch nicht vorgelegt worden.

Cottbus, den 13.04.2017

---

Julia Rieken