

Universität Kassel
FB 11/Agrartechnik
Prof. Dr. Oliver Hensel
Nordbahnhofstr. 1a
37213 Witzenhausen

Universität Kiel
Institut für Landwirtschaftliche
Verfahrenstechnik
Prof. Dr. Eberhard Hartung
Max-Eyth-Str. 6
24098 Kiel

Fachhochschule Kiel
Fachbereich Landbau
Prof. Dr. Yves Reckleben
Am Kamp 11
24783 Osterönfeld

DBU Projekt Az 24295-34/0
Förderung der Mulchsaat durch Entwicklung und
Erprobung einer Sensor- und Verfahrenskombination zur
Präzisionsbodenbearbeitung

Abschlussbericht

Inhalt

1.	Verlauf und Projektziele des Verbundprojekts.....	3
2.	Zeitraumen des Projekts und Koordinationstreffen 2009/2010	3
3.	Kostenabrechnung.....	4
4.	Zusammenarbeit mit der Fa. Amazonen-Werke H. Dreyer GmbH & Co. KG	4
5.	Projektverlauf Universität Kassel.....	5
5.1.	Beschreibung der Aktivitäten im 3. Projektjahr.....	5
5.1.1	Weitere Entwicklung und Validierung des Kamerasensors	5
5.1.2	Begleitende Feldversuche auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen, Versuchs- und Demonstrationsbetrieb der Universität Kassel.....	13
5.2.	Zusammenfassung	19
6.	Projektverlauf Universität Kiel / FH Kiel	20
6.1.	Ergänzung zum Feldversuch 2008/2009 des zweiten Projektjahres.....	20
6.1.1	Auswertungen der Ertragskartierungen.....	20
6.1.2	Fazit der Ertragsauswertung der Feldversuche 2008/2009	23
6.2.	Beschreibung der Aktivitäten des dritten Versuchsjahres.....	23
6.2.1	Herstellung der technischen Voraussetzungen.....	23
6.2.2	Feldversuche 2009/2010.....	24
7.	Zusammenführung der Teilprojekte zum Bearbeitungsalgorithmus.....	35
8.	Diskussion unter dem Gesichtspunkt Umweltentlastung.....	36
9.	Präsentation der Forschungsergebnisse 2007-2010	38

1. Verlauf und Projektziele des Verbundprojekts

Gemeinsames Ziel der Projektpartner ist die Förderung der Mulchsaat durch eine "Präzisionsbodenbearbeitung" bei pfluglosen Verfahren. Hierbei gilt es, sowohl die Strohbedeckung als auch die Kornfraktion ("Art") des Bodens am jeweiligen Bearbeitungsort mittels geeigneter Sensor- bzw. Informationssysteme zu erfassen und an einen Steuerungs- und Regelungs-Algorithmus weiterzuleiten, welcher auf dieser Entscheidungsgrundlage die teilflächenspezifisch optimale Arbeitstiefe am Gerät einstellt. Das Projekt bestand aus zwei Teilbereichen, die am Fachgebiet Agrartechnik der Universität Kassel (Standort Witzenhausen) und am Institut für landwirtschaftliche Verfahrenstechnik (ILV) der Universität Kiel, durchgeführt wurden. Im Teilprojekt der Universität Kassel wurde ein Sensorsystem zur Echtzeitmessung (Online) des Strohbedeckungsgrades entwickelt. Als Sensor dient eine Digitalkamera, welche die Ackeroberfläche während der Überfahrt aufnimmt und mit Hilfe wissenschaftlicher Bildanalysesoftware den Bodenbedeckungsgrad bestimmt. Im Teilprojekt der Universität Kiel wurde in Kooperation mit dem Fachbereich Landbau der FH Kiel die Offline-Gerätesteuerung anhand des Kriteriums "Bodenart" bearbeitet. Dazu wurden die bereits erfolgten Voruntersuchungen zur Korrelation zwischen der Bodenleitfähigkeit mittels EM38 und den Parametern wie Mähdruschertrag, Zugkraft- und Kraftstoffverbrauchsdaten und des Schlupfs in erheblich ausgeweiteter und systematisierter Form fortgeführt. In den Instituten fanden gleichzeitig gemeinsam geplante und durchgeführte Mulchsaatversuche statt, um die Abhängigkeit der Zielgrößen Feldaufgang und Bodenschutz von den Parametern Strohbedeckung, Bodenart und Bearbeitungstiefe mit hinreichender Genauigkeit zu ermitteln, so dass die im Bearbeitungsalgorithmus zusammengeführten Eingangsdaten in belastbare quantitative Ausgangswerte (Vorgabe der Arbeitstiefe) umgewandelt werden konnten. Im nachfolgenden Schritt erfolgte die Adaption des Sensor-/Informationssystems auf ein modernes Gerät zur konservierenden Bodenbearbeitung. Die Fa. Amazone als Industriepartner unterstützte die Arbeiten mit einem Techniker und der Bereitstellung eines modernen Mulchgrubbers sowie weiterer Bauteile. Die automatisierte teilflächenspezifische Bodenbearbeitung wurde auf ausgesuchten Praxisbetrieben, welche im Rahmen dieses Forschungsprojektes mit der Universität Kiel kooperierten, exemplarisch eingesetzt.

2. Zeitrahmen des Projekts und Koordinationstreffen 2009/2010

Start des dritten Projektjahres an der Universität Kassel war der 1. März 2009. Die Universität Kiel begann gemeinsam mit der FH Kiel ihr drittes Projektjahr am 1. April 2009 aufgrund der einmonatigen Verschiebung des Projektstarts.

- Zu Beginn des dritten Projektabschnitts fand am 02. März 2009 ein Treffen der beteiligten Hochschul-/Fachhochschul-institute am Standort des ILV in Kiel statt. Nach einer ausführlichen zusammenfassenden Vorstellung des in den ersten beiden Jahren Erreichten wurden die anstehenden gemeinsamen Versuchsschritte festgelegt und zeitlich abgestimmt. Dies betraf insbesondere: Die Erhebung der Bodendaten auf den Versuchsflächen der Universität Kassel, die Absprache der gemeinsamen Nutzung des von Amazone zur

Verfügung gestellten Versuchsgrubbers, die Festlegung der Versuchsbetriebe/Versuchsflächen für die parallele Erhebung von Bodendaten und nach der Getreideernte des Strohbedeckungsgrades, eine Strategie zur Zusammenführung der Informationsflüsse der beiden Teilprojekte sowie die Präsentation und Veröffentlichung der Projektergebnisse.

- Mai 2008: Vermessung der diesjährigen Versuchsfläche der Agrartechnik Witzenhausen auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen durch einen Mitarbeiter des ILV mittels EM-38 im stehenden Vorfruchtbestand.
- August und September 2009: Besuch eines Projektmitarbeiters der Agrartechnik Witzenhausen am ILV zwecks Messung des Bodenbedeckungsgrades auf den ausgesuchten Versuchsflächen.
- 15. September 2009: Feldtag auf der Domäne Frankenhausen
- 1. Oktober 2009: Meeting und öffentliche Präsentation auf einem am ILV ausgerichteten Praktikertag über das Projekt.
- November 2009: Gemeinsamer Messestand der Universitäten Kiel und Kassel auf der Agritechnica in Hannover mit Vorstellung des Projektes.
- Weitere regelmäßige Kontakte zwischen den Projektmitarbeitern der Universitätsinstitute sowie dem Bereichsleiter Mechatronik von Amazone fanden per Telefon statt.
- April 2010: Promotionsprüfung eines Mitarbeiters der Agrartechnik Witzenhausen im Rahmen des Forschungsprojektes. Erstprüfer: die Institutsleiter der Agrartechnik Witzenhausen und des ILV, Prof. Hensel und Prof. Hartung.
- August 2010: Promotionsprüfung einer Mitarbeiterin der Agrartechnik Witzenhausen im Rahmen des Forschungsprojektes. Erstprüfer: der Institutsleiter der Agrartechnik Witzenhausen Prof. Hensel und der Institutsleiter Ökologischer Pflanzenbau Witzenhausen Prof. Heß.

3. Kostenabrechnung

Die Kostenabrechnung wurde quartalsmäßig durchgeführt und erfolgt unabhängig von diesem Bericht. Die Abrechnungen erfolgen immer etwas zeitversetzt, um alle Buchungsvorgänge eines Quartals erfassen zu können.

4. Zusammenarbeit mit der Fa. Amazonen-Werke H. Dreyer GmbH & Co. KG

Die Zusammenarbeit und Absprache mit der Fa. Amazone verlief gut und entsprach auch im letzten Jahr den im Projektantrag formulierten Anforderungen. Amazone stellte wieder zusätzlich zu dem in Kiel befindlichen Gerät der Agrartechnik Witzenhausen die Grubberkombination „Centaur“ mit höhenverstellbarem Scharfeld für die Stoppelbearbeitung zur Verfügung und übernahm den Transport. Die Einarbeitung des Versuchspersonals auf der Staatsdomäne Frankenhausen in die Bedienung des Centaur erfolgte durch einen Ingenieur von Amazone.

Da die in den ersten beiden Versuchsjahren am von der Agrartechnik Witzenhausen entwickelten Kamerasensor verwendete Diffusorbox nicht praxisgerecht war, wurde mit der Hilfe von Amazone ausgelotet, inwiefern bei Verwendung eines geeigneten Kamerasystems auf die Box verzichtet werden könnte. Hierzu stellte Amazone den Prototyp des zum Amazone-Argus-System gehörenden Kamerasensor zur Verfügung, welcher eigentlich der optischen Erfassung der Verteilgenauigkeit von Düngerstreuern dient.

Die Bereichsleiter Feldversuchswesen und Mechatronik von Amazone, Dr. Wilde und Dr. Rahe, nahmen an der öffentlichen Präsentation des Projektes im Rahmen eines Praktikertages am ILV im Oktober 2009 teil.

5. Projektverlauf Universität Kassel

5.1. Beschreibung der Aktivitäten im 3. Projektjahr

Die Verteilung der im Zuge des Projektes anfallenden Aufgaben auf drei halbe Stellen – die Arbeitsbereiche „Elektronik“ und „Pflanzenbau“ aus Projektmitteln sowie ein Diplom Physiker aus Fachgebietsmitteln – hat sich weiterhin bewährt. Bei der Weiterentwicklung und Validierung des Kamerasensors stand in diesem Abschnitt vor allem die Möglichmachung des Verzichts auf die vor direktem Lichteinfall und Schlagschatten schützende Diffusorbox sowie die Schaffung eines automatisierbaren Kontrollalgorithmus im Vordergrund. Ein weiterer Punkt war die räumliche Korrelation der gemessenen Bodenbedeckungsgrade mit den im Kieler Projektteil erhobenen Boden- und Ertragsdaten. Erneut wurde auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen ein Mulchsaat-Parzellenversuch zu den pflanzenbaulichen Fragestellungen einer sensorgestützten Stroheinarbeitung angelegt. Die Verbreitung der Gesamtergebnisse fand in Form von wissenschaftlichen und praxisnahen Veröffentlichungen, auf Feldtagen an den Universitäten Kassel und Kiel sowie durch einen Messestand und Vorträge im Rahmen der Agritechnica 2009 statt. Darüberhinaus konnten zwei Promotionsarbeiten, welche im Rahmen des Projektes an der Agrartechnik Witzenhausen durchgeführt wurden, erfolgreich abgeschlossen werden.

5.1.1 Weitere Entwicklung und Validierung des Kamerasensors

Verwendung des Sensors ohne Diffusorbox:

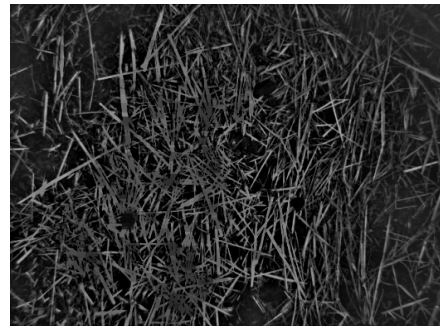
Die Funktionsweise des für den Einsatz mit Diffusorbox (vergl. Bericht 2. Projektjahr) entwickelten Algorithmus soll zunächst kurz anhand der Analyse eines exemplarischen Stroh-/Bodenbildes erläutert werden.

Zunächst erfolgt eine Hintergrund- und Abschattungs-Korrektur durch Anwendung eines Average-Filters über Nachbarschaften von jeweils 30×30 Pixeln, um eine trotz der Box möglicherweise inhomogene Ausleuchtung abzuschwächen. Danach erfolgt durch Setzen eines automatischen Grauwert-Thresholds eine konservative Abschätzung des Strohbedeckungsgrades. Je nachdem ob diese Vorabschätzung eher „hoch“ oder „niedrig“

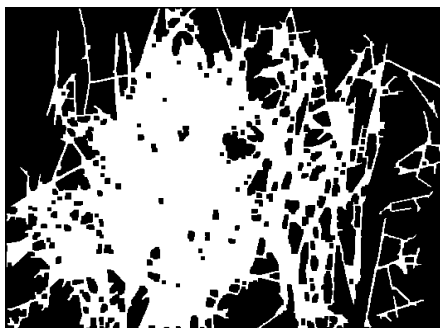
ausfällt wird ein bestimmtes Autothreshold-Verfahren angewandt, um nach einer Hervorhebung der Strohstruktur durch Hochpassfilter die endgültige Segmentierung vorzunehmen. Diese Schritte sind in Abbildung 5.1 zusammengefasst.



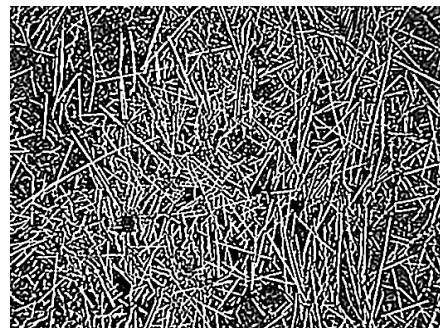
1. Aufnahme des Originalbildes



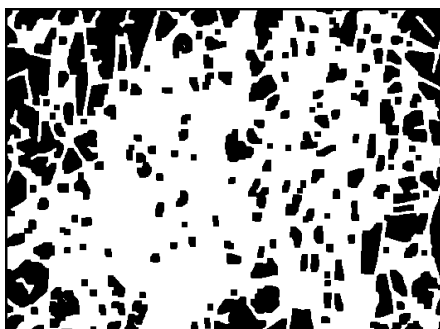
2. Shading- und Hintergrund-Korrektur



3. Vorabschätzung des Bedeckungsgrades, Ergebnis: „hohe“ Bedeckung



4. Anwendung von Hoch- und Tiefpass-Filtern



5. Mit entsprechend der Vorabschätzung ausgewähltem Auto-Threshold fertig klassifiziertes Bild, Bodenbedeckungsgrad = 65,7%

Abbildung 5.1: Die wesentlichen Schritte vom Original-Graustufenbild zum fertig analysierten Binärbild

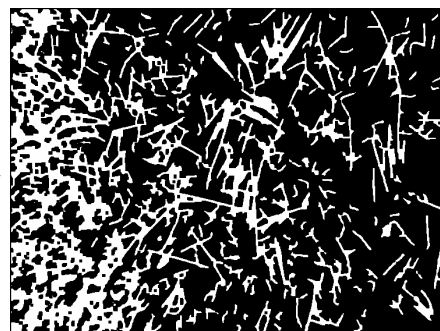
Unter bildanalytischen Gesichtspunkten bietet die Diffusorbox zwar Vorteile, da sie zu einer gleichmäßigeren Ausleuchtung des Kamerasichtfeldes relativ unabhängig von den äusseren Beleuchtungsbedingungen führt. Im Hinblick auf den angestrebten „rauhem“ Praxiseinsatz stellt sie allerdings ein ständig durch mechanische Einwirkungen gefährdetes, sperriges

Hindernis dar. Um ihren Einsatz überflüssig zu machen, wurden zwei verschiedene Strategien verfolgt:

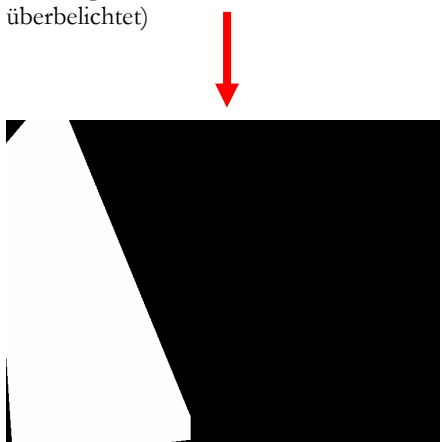
1. Verwendung einer Kamera mit höherer Dynamik. Der Prototyp des Kamerasensors des Amazone-Argus-Systems wurde hierfür von der Fa. Amazone zur Verfügung gestellt. Obwohl es sich um eine C-Mos Kamera mit deutlich höherer Dynamik als bei dem bisher verwendeten CCD-Sensor handelte, konnten keine befriedigenden Ergebnisse erzielt werden. Bei starker direkter Sonneneinstrahlung und gleichzeitiger Abschattung eines Teilbereiches des Bildes ergab sich eine Überbelichtung des nicht beschatteten Bereiches, welche eine bildanalytische Auswertung praktisch unmöglich machte.
2. Software-Lösung. Unter Beibehaltung des bereits mit Diffusorbox verwendeten CCD-Kamera ergaben sich bei ungeschützten Aufnahmebedingungen auch hier Probleme mit der Belichtung bei durch das Bild verlaufenden Schattenwürfen. Der Lösungsansatz bestand darin, große überbelichtete Bildbereiche durch Setzen eines Grauwertthresholds und einer Mindestflächengröße automatisch ausfindig zu machen und von der Online-Auswertung des restlichen Bildes auszuschliessen. Diese Vorgehensweise wird in Abbildung 5.2 exemplarisch erläutert:



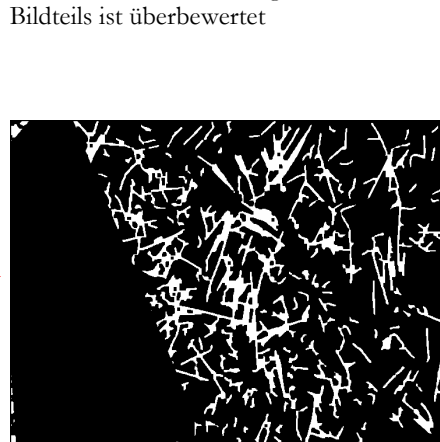
1 – Originalbild mit Schattenverlauf (ohne Box aufgenommen, daher teilweise überbelichtet)



2 – Ergebnis der Strohdetektion anhand von Bild 1, die Bedeckung des hellen Bildteils ist überbewertet



3 – Der überbelichtete Teil wird erkannt und ein Polygon wird darum gelegt.



4 – Nach Ausschluss der unter 3 ermittelten Fläche wird das verbleibende Bild korrekt segmentiert.

Abbildung 5.2: Automatisierter Ausschluss problematischer Bildbereiche bei Betrieb des Kamerasensors ohne Diffusorbox

1 → 2: Die direkte Anwendung des oben dargestellten Algorithmus auf das Originalbild führt zu einer Fehlsegmentierung des nicht beschatteten Bildbereiches in Form einer Überschätzung des dortigen Bodenbedeckungsgrades. Wird jedoch der helle Bildbereich automatisch erkannt (1 → 3) und von der Strohdetektion ausgeschlossen, ergibt sich eine korrekte Segmentierung der verbleibenden Bildbereiche (3 → 4).

Dieser Ansatz hat sich bereits bei den Messungen in 2009 bewährt, bedurfte teilweise aber noch weiterer Verfeinerungen, da der derart erweiterte Bildanalysealgorithmus noch nicht unter allen denkbaren Beleuchtungsbedingungen stabil läuft.

Räumliche Korrelation der gemessenen Bodenbedeckungsgrade mit Boden- und Ertragsdaten

Von besonderem Interesse war die Untersuchung eines möglichen Zusammenhanges der teilflächenspezifischen Strohbdeckung mit den im Kieler Teilprojekt erhobenen Daten. Da von zwei Kieler Versuchsschlägen („Tiergarten“ und „Langenhorst“) für das Versuchsjahr 2009 sowohl die Bodenleitfähigkeitsdaten (mittels EM38) als auch eine Ertragskartierung (erstellt beim Mähdrusch) vorlagen, wurde dort ebenfalls der Bodenbedeckungsgrad nach der ersten flachen Stoppelbearbeitung erfasst. Hierzu reiste ein Mitarbeiter der Agrartechnik Witzenhausen Mitte August 2009 nach Kiel, und nahm mit dem Online-Kamerasensor die Bodenbedeckung der beiden Schläge auf. Der Sensor wurde hierbei bereits ohne Diffusorbox eingesetzt, die Auswertung der aufgenommenen Bilder erfolgte aber noch nicht online sondern wurde nachträglich durchgeführt, um verschiedene Algorithmen testen zu können. Die endgültige Auswertung erfolgte mit Hilfe der im vorigen Abschnitt skizzierten Vorgehensweise. Als Trägerfahrzeug diente wie in den Vorjahren ein Quad, mit welchem die Versuchsschläge auf festgelegten Spuren in ca. 10 Meter Abstand zueinander abgefahren wurden (Abb. 5.3). Dabei wurde ca. alle 3 Sekunden ein Bild eingelesen.

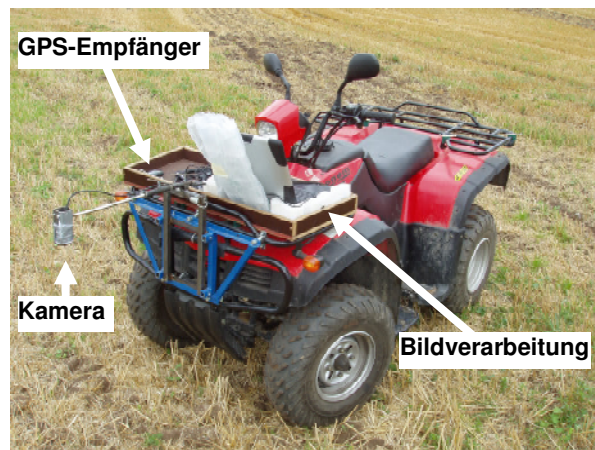


Abbildung 5.3: Versuchssquad mit Kamerasensor ohne Diffusorbox

Durch den integrierten GPS-Empfänger wurden jedem Bild räumliche Koordinaten zugeordnet, so dass von den Versuchsschlägen Karten mit einem Punktraster von Bedeckungsgradwerten erstellt werden konnten. Mit Hilfe der Geoinformationssoftware ArcGIS 9 wurde das Punktraster zu kontinuierlichen Bedeckungsgradkarten interpoliert, wobei das Verfahren „gewöhnliches Kriging“ verwendet wurde. Abbildung 5.4 (a) zeigt das Ergebnis für den Versuchsschlag „Tiergarten“.

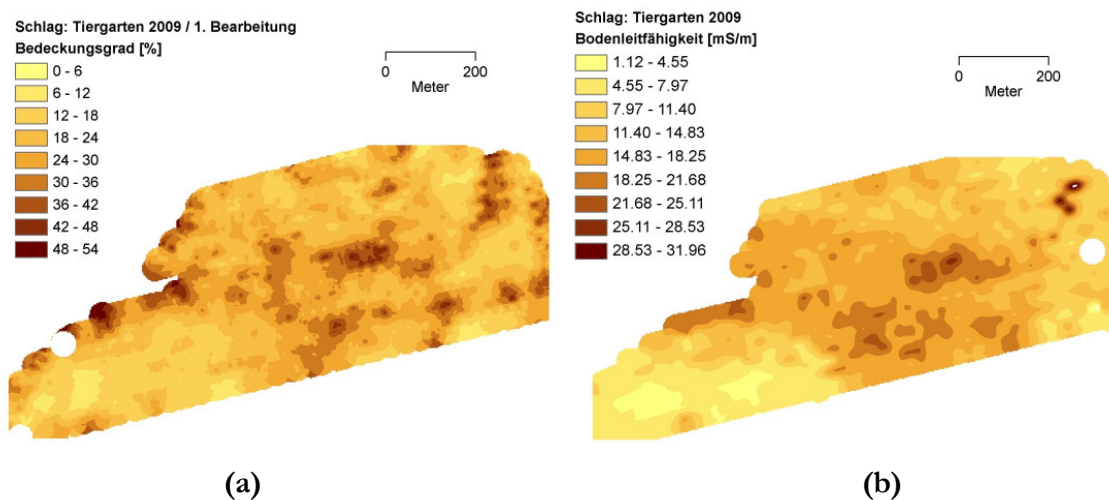


Abbildung 5.4 (a): Aus dem gemessenen Bedeckungsgrad-Punktraster interpolierte Strohbedeckungskarte für den Kieler Versuchsschlag „Tiergarten“ nach der ersten flachen Stoppelbearbeitung 2009. (b): Interpolierte Karte der Bodenleitfähigkeit laut EM38 (ILV, 2009)

Bereits ein Sichtvergleich der Strohbedeckungs- und der Leitfähigkeitskarte zeigt eine offensichtlich recht gute räumliche Übereinstimmung der beiden Parameter: An Orten mit hoher Leitfähigkeit ist in der Regel auch eine relativ höhere Strohbedeckung zu finden und umgekehrt. Um eine genauere Aussage über die Korrelation treffen zu können, wurde mit Hilfe von ArcGIS eine Vereinigung (Join) der beiden Karten hergestellt, wobei jedem Messpunkt der Bedeckungsgradkarte zusätzlich die Attribute des ihm am nächsten liegenden Punktes der Leitfähigkeitskarte zugeschlagen wurden. Dabei wurden nur solche Punkte einbezogen, die einen Abstand von maximal 5 Metern zu mindestens einem Punkt aus dem jeweils anderen Kartenraster aufweisen. Die Pearson-Korrelation der so in einem neuen gemeinsamen Punktraster vereinigten Attribute „Bedeckung“ und „Leitfähigkeit“ beträgt 0,499 und ist hochsignifikant. Das zugehörige Streudiagramm ist in Abbildung 5.5 dargestellt.

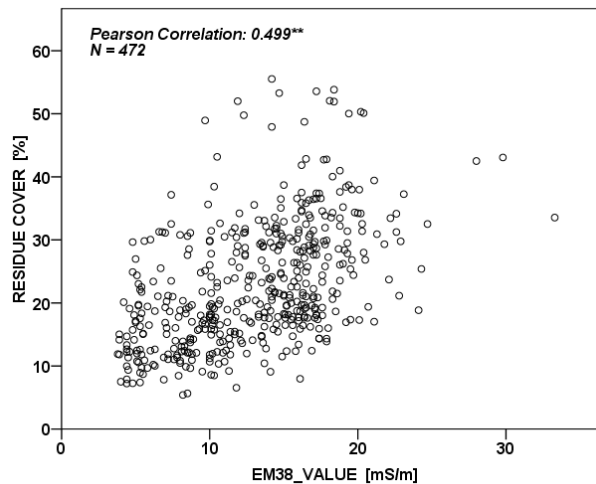


Abbildung 5.5: Streudiagramm der Strohbedeckung gegen den jeweils nächstgelegenen Bodenleitfähigkeitswert (Abstand max. 5 m) für den Schlag „Tergarten“

Um eine besser interpretierbare Aussage zu erhalten, wurden die Leitfähigkeitswerte in vier Klassen aufgeteilt ($\leq 10,00$ mS/m, 10,01 – 15,00 mS/m, 15,01 – 20,00 mS/m, $\geq 20,01$ mS/m) und dagegen der jeweils mittlere Bodenbedeckungsgrad aufgetragen (Abb. 5.6).

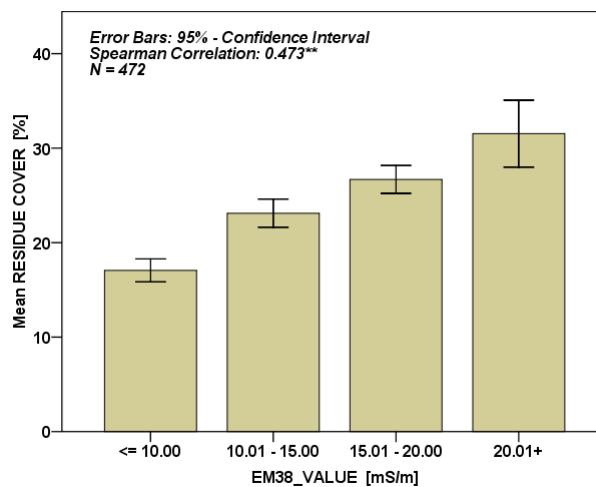


Abbildung 5.6: Mittlere Bodenbedeckung in Abhängigkeit der in vier Klassen aufgeteilten Bodenleitfähigkeit („Tergarten“)

Es lässt sich klar erkennen, dass die mittlere Bodenbedeckung einer Teilfläche mit zunehmender Leitfähigkeit ansteigt. Die Konfidenzintervalle, in denen der jeweilige Mittelwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% liegt, sind zumindest für die drei ersten Klassen klar voneinander abgegrenzt.

Die gleiche Auswertung wurde auch für den Zusammenhang der Bodenbedeckung mit der vom ILV durchgeführten Ertragskartierung vorgenommen. Abbildung 5.7 zeigt die Gegenüberstellung der mittels ArcGIS zu Karten interpolierten Punktraster mit den Attributen „Bodenbedeckung“ (a) bzw. „Weizenertrag“ (b).

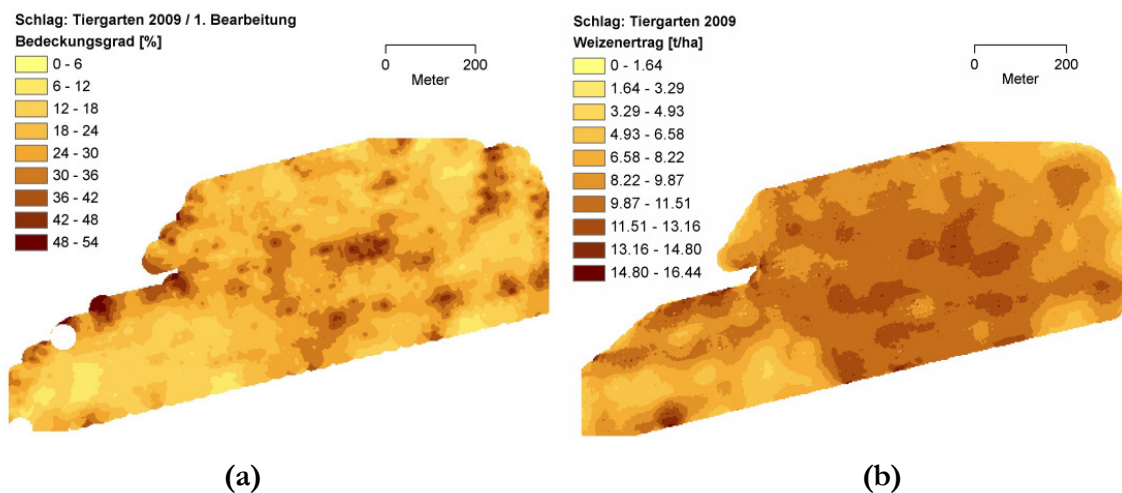


Abbildung 5.7 (a): Aus dem gemessenen Bedeckungsgrad-Punktrastrer interpolierte Strohbedeckungskarte für den Kieler Versuchsschlag „Tiergarten“ nach der ersten flachen Stoppelbearbeitung 2009. (b): Interpolierte Karte des beim Mähdrusch ermittelten teilflächenspezifischen Weizenertrages (ILV, 2009).

Durch Vereinigung der beiden Karten bei einem maximal zulässigen Abstand von erneut 5 m von zu vereinigenden Punkten aus beiden Rastern liess sich analog zu Abbildung 5.5 eine Person-Korrelation von 0,406 ermitteln, was immer noch hochsignifikant ist (Abb. 5.8).

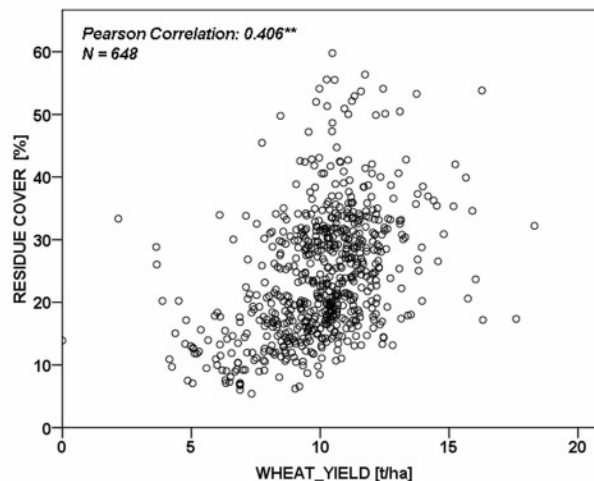


Abbildung 5.8: Streudiagramm der Strohbedeckung gegen den jeweils nächstgelegenen Weizenertragswert (Abstand max. 5 m) für den Schlag „Tiergarten“

Die Aufteilung der Ertragswerte in vier Ertragsklassen ($\leq 6,00$ t/ha, 6,01 – 9,00 t/ha, 9,01 – 12,00 t/ha, $\geq 12,01$ t/ha) zeigt auch hier den deutlichen Trend, dass die Strohbedeckung mit steigendem Ertrag zunimmt (Abb. 5.9).

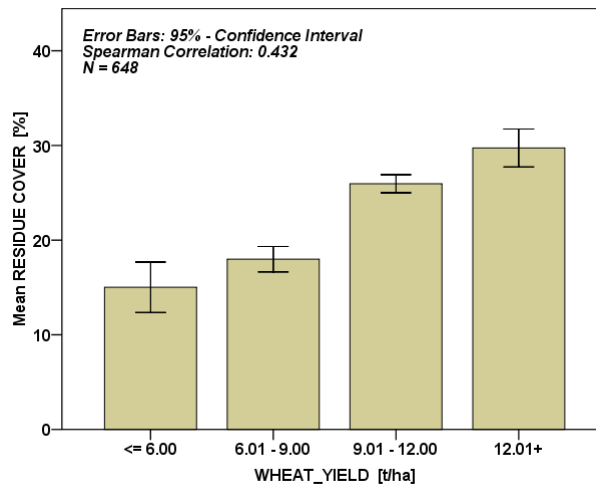


Abbildung 5.9: Mittlere Bodenbedeckung in Abhängigkeit des in vier Klassen aufgeteilten Weizenenertrags („Tiergarten“)

Für den Versuchsschlag „Langenhorst“ wurde ebenfalls der Bodenbedeckungsgrad nach der ersten flachen Stoppelbearbeitung mit dem Kamera-Quad erfasst, ferner lagen die Bodenleitfähigkeitswerte vor, nicht jedoch Ertragswerte. Die Ermittlung der Korrelation Bodenbedeckungsgrad/Leitfähigkeit erfolgte analog zum Schlag „Tiergarten“. Die EM38-Messwerte lagen hier insgesamt etwas höher und dichter beieinander, der Zusammenhang mit der Strohbedeckung war entsprechend weniger deutlich wenn auch noch hochsignifikant (Pearson-Korrelation 0,369). Eine Aufteilung der Leitfähigkeitswerte auf drei Klassen ($\leq 15,00$ mS/m, $15,01 - 22,00$ mS/m, $\geq 22,01$ mS/m) zeigt zumindest für die beiden höchsten Klassen einen signifikanten Anstieg der Strohbedeckung mit der Bodenleitfähigkeit (Abb. 5.10).

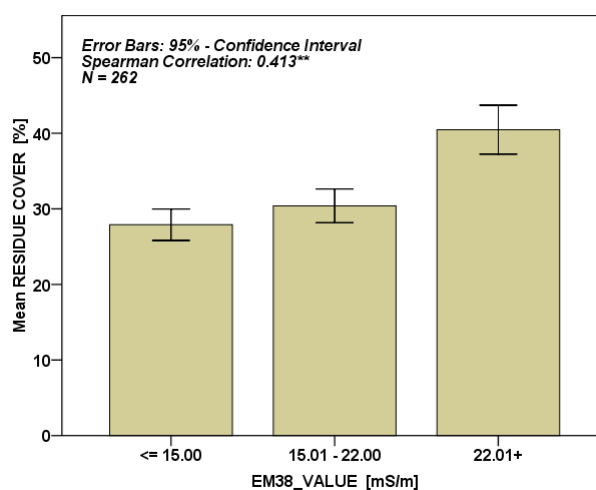


Abbildung 5.10: Mittlere Bodenbedeckung in Abhängigkeit der in vier Klassen aufgeteilten Bodenleitfähigkeit („Langenhorst“)

5.1.2 Begleitende Feldversuche auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhäusen, Versuchs- und Demonstrationsbetrieb der Universität Kassel

Um die Abhängigkeit der Zielgrößen Feldaufgang und Bodenschutz von den Parametern Strohbedeckung, Bodenart und Bearbeitungstiefe mit hinreichender Genauigkeit zu ermitteln, wurden Feldversuche durchgeführt. Die im Bearbeitungsalgorithmus zusammengeführten Eingangsdaten können so in belastbare quantitative Ausgangswerte (Vorgabe der Arbeitstiefe) umgewandelt werden.

Material und Methode:

Die Feldversuche fanden auf seit 1998 ökologisch bewirtschafteten Flächen der Staatsdomäne Frankenhäusen statt. Die Untersuchungen wurden in drei aufeinander folgenden Jahren von 2007 bis 2009 jeweils nach der Getreideernte durchgeführt. Im ersten Versuchsjahr wurde ein Weizenfeld verwendet, die beiden folgenden Versuche fanden nach Triticale statt. Die Homogenität der Bodenart auf den Feldern wird anhand einer Bodenleitfähigkeitsmessung mit einem EM 38 durch die Universität Kiel gemessen. Die Bodenart ist ein Lehm mit Lößauflage. Die Versuche werden in einer randomisierten Blockanlage mit einer Parzellengröße von 12m x 30m in vier Wiederholungen (2007: drei Wiederholungen) angelegt. Drei Bearbeitungsvarianten und vier Strohvarianten werden untersucht:

Bodenbearbeitung tief mit Pflug (26 cm)

Bodenbearbeitung tief mit Grubberkombination "Centaur" (13 cm)

Bodenbearbeitung flach mit Grubberkombination "Centaur" (7 cm)

0dt Stroh/ha (= nur Strohstoppel); 40dt Stroh/ha; 60dt Stroh/ha; 80dt Stroh/ha

Versuchsverlauf:

Nach der Ernte des Getreides wird das Stroh in Ballen gepresst und abgefahren, um es später in die obengenannten definierten Strohmengen/ha wieder ausbringen zu können. Um die Veränderungen des Bodenbedeckungsgrades nach der Bearbeitung verfolgen zu können, erfolgt das Einmessen der Versuchspartellen sowie der Messpunkte mit dem GPS-Gerät. So können die 6 Messpunkte je Parzelle mit einer Genauigkeit von bis zu 5cm wieder gefunden werden.

Bereits beim Pressen der Strohballen ist das Ballengewicht an die benötigte Strohmenge pro Parzelle angepasst worden. Um eine möglichst einheitliche Strohverteilung der unterschiedlichen Strohmengen auf den Parzellen zu gewährleisten wurde folgendes Strohverteilensystem entwickelt: Die benötigten Strohmengen/Parzelle werden gewogen und in zwei gleichmäßige Schwade auf die Parzellen verteilt. Die Schwade werden vom Mähdrescher aufgenommen, das Stroh wird gehäckselt und durch den Mähdrescher auf der Parzellenfläche praxisgerecht verteilt.

Die erste flache Bodenbearbeitung der gesamten Versuchsfläche mit dem Kombinationsgerät "Centaur" von Amazone erfolgt auf 6 cm Arbeitstiefe, mit Stoppelscharen. In 2008 erfolgte die Stoppelbearbeitung mit einem betriebseigenen Flügelscharrgrubber auf ca. 10cm Tiefe.

Nach zehn Tagen erfolgt die 2. Bodenbearbeitung mit den obengenannten unterschiedlichen Arbeitstiefen. Die Aussaat der Zwischenfrucht (Ölrettich, Sorte: Apoll, 20kg/ha) nach der 2. Bodenbearbeitung wird mit einem Mulchsaatgerät mit Scheibensechscharen durchgeführt. Im Folgenden ist der Versuchsverlauf der drei Versuchsjahre grafisch dargestellt (Abb 5.11).

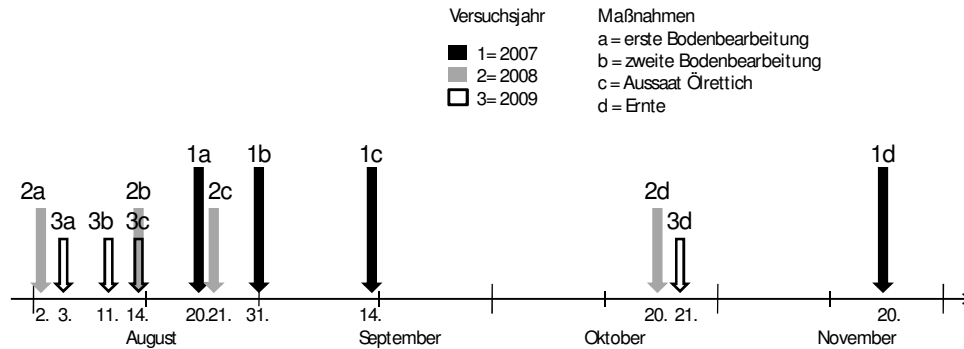


Abbildung 5.11: Versuchsverlauf 2007, 2008 und 2009

Datenerfassung

Nach der 1. und 2. Bodenbearbeitung wird der Bedeckungsgrad mit der Gitternetzmethode und mit einem Kamerasensor ermittelt. Die Gitternetzmethode ist eine Standardmethode um den Bedeckungsgrad zu bestimmen (Abb 5.12). Über den Messpunkt wird ein Gitternetz gelegt und anhand einer definierten Anzahl von Kreuzungspunkten (hier: 64) die Anzahl der Strohhalme gezählt, die sich direkt unter einem Kreuzungspunkt befinden. Das Verhältnis der Punkte mit Stroh zu der Gesamtzahl der Kreuzungspunkte ist der Bedeckungsgrad. Gleichzeitig wird der Bedeckungsgrad mit einem Kamerasensor (Bild 2) bestimmt, der im Rahmen des Projektes entwickelt wird. Hierbei wird mit der Bildverarbeitungssoftware optimas und dafür entwickelten Algorithmen der Bedeckungsgrad errechnet. Alle dargestellten Ergebnisse der Bedeckungsgrade wurden mit dem Kamerasensor gemessen.



Abbildung 5.12: Gitternetzmethode und Aufnahme mit Kamerasensor

Der Feldaufgang wird an den gleichen Messpunkten ermittelt, an denen der Bedeckungsgrad bestimmt wird. Es werden die aufgegangenen Ölrettichpflanzen in je vier Reihen auf einer Länge von 0,50m von mindestens zwei Personen ausgezählt.

Für die Bestimmung des Trockenmasseertrages werden alle Ölertrichpflanzen auf einer Fläche von 0,5 m² an den Messpunkten abgeerntet und vier Tage in einem Trockenschrank bei 80°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Ergebnisse:

Bodenbedeckung

Die Bodenbedeckungsgrade nach der ersten Bodenbearbeitung unterscheiden sich in den Versuchsjahren 2007 und 2008 kaum. Bei der Verwendung des Kombinationsgrubbers und einer Arbeitstiefe von max. 5cm liegen 2007 die mittleren Bodenbedeckungsgrade in den Strohvarianten 60dt Stroh/ha und 80dt Stroh/ha bei 35% und 41%. Bei der Strohvariante von 40dt Stroh/ha werden im Durchschnitt 32% Bodenbedeckung gemessen. In 2008 bei der Verwendung eines Flügelschargrubbers mit einer Arbeitstiefe von 7-10cm ist der mittlere Wert der Bedeckung sehr ähnlich. In beiden Jahren werden in den Varianten mit 0dt/ha etwas mehr als 20% Bodenbedeckung erreicht. Die Werte im Jahr 2009 unterscheiden sich deutlich von den beiden Vorjahren. Bereits in der Variante mit 0dt Stroh/ha werden im Mittel über 30% Bodenbedeckung erreicht. In den Strohvarianten 40-80dt Stroh/ha werden Mittelwerte in den Bedeckungsgraden erreicht, die in den Vorjahren selbst bei der höchsten Strohmenge/ha nicht gemessen wurden (Abb 5.13).

	0dt Stroh/ha	40dt Stroh/ha	60dt Stroh/ha	80dt Stroh/ha
2007	21%	32%	35%	41%
2008	23%	31%	38%	39%
2009	31%	58%	66%	69%

Abbildung 5.13: Mittelwerte des Bodenbedeckungsgrad mit Kamerasensor nach 1. Bearbeitung
 2007: mit Kombinationsgrubber (Stoppelschar) 5cm,
 2008: mit Flügelschargrubber. 7-10cm

Nach der zweiten Bodenbearbeitung mit unterschiedlichen Arbeitstiefen ist im Versuchsjahr 2007 in der flachen Grubbervariante der Unterschied der Bedeckungsgrade zwischen den Strohvarianten 40dt/ha und 60dt/ha höher als zwischen 60dt/ha und 80dt/ha. Auch bei der tiefen Grubbervariante sind zwischen den einzelnen Strohvarianten nach den ersten Versuchen Unterschiede erkennbar. Bei tiefer Bodenbearbeitung werden in 91% der Messparzellen Bedeckungsgrade von weniger als 30% gemessen. Bei flacher Bodenbearbeitung bleiben 33% der Messparzellen unter einem Bodenbedeckungsgrad von

30% (Abb 5.14). In den folgenden drei Grafiken ist der Richtwert von 30% Bodenbedeckung für einen nennenswerten Erosionsschutz mit einer roten Linie dargestellt.

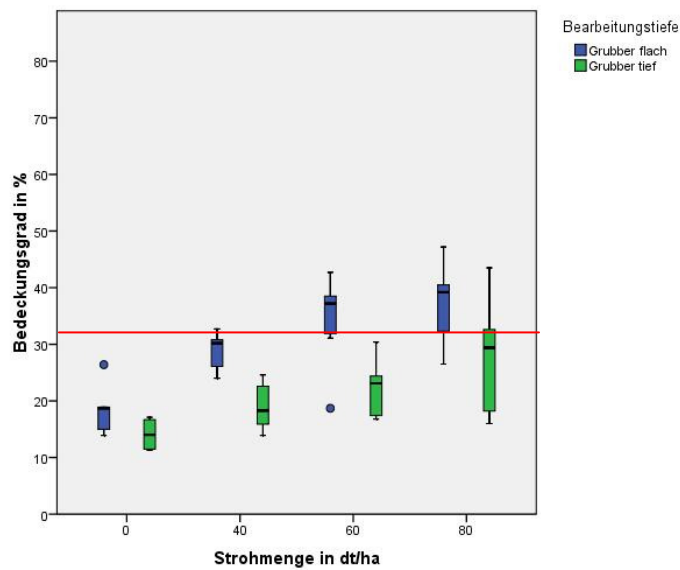


Abbildung 5.14: Bodenbedeckungsgrad nach 2. Bearbeitung, Feldversuch 2007

Im Feldversuch 2008 gibt es eine größere Schwankungsbreite der Bedeckungsgrade innerhalb der verschiedenen Strohmenen. Zwischen den Strohmenen 40dt/ha, 60dt/ha und 80dt/ha sind in der tiefen Grubbervariante keine Unterschiede erkennbar. In der tiefen Grubbervariante wird der minimale Erosionsschutz von 30% Bodenbedeckung nicht erreicht (Abb 5.15).

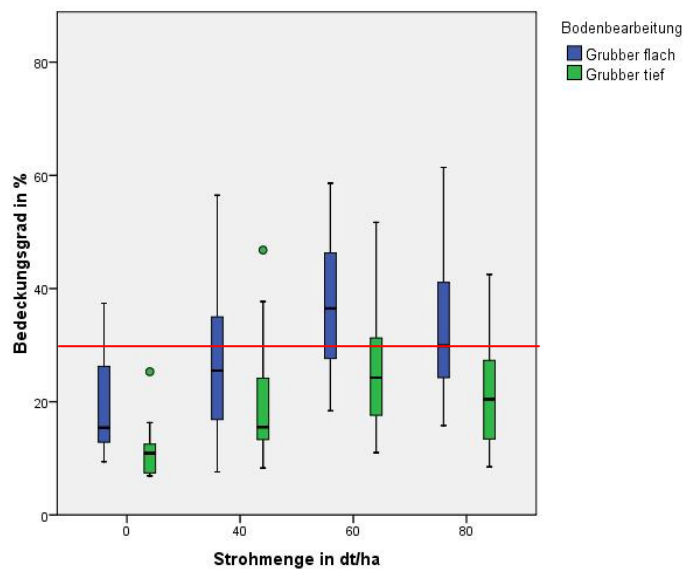


Abbildung 5.15: Bodenbedeckungsgrad nach 2. Bearbeitung, Feldversuch 2008

Die Bedeckungsgrade nach der zweiten Bodenbearbeitung im Jahr 2009 zeigen in den flachen Grubbervarianten größere Schwankungsbreiten als in der tiefen Grubbervariante (Abb 5.16).

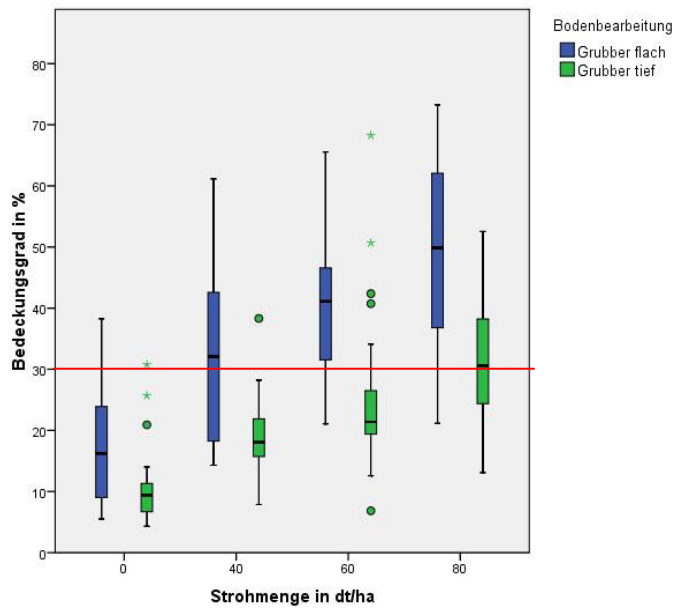


Abbildung 5.16: Bodenbedeckungsgrad nach 2. Bearbeitung, Feldversuch 2009

Bei flachem Grubbern wird ab einer Strohmenge von 40 dt Stroh/ha im Mittel der Bedeckungsgrad von 30 % erreicht. In der tiefen Grubbervariante gibt es bei den Strohmenngen 0-60 dt Stroh/ha extreme Ausreier, das heit Messpunkte mit sehr hohen Bedeckungsgraden. Die Bedeckungsgrade bei tiefem Grubbern liegen deutlich unter der Bodenbedeckung der flachen Variante. Bei einer Strohmenge von 80 dt Stroh/ha wird, bei einer Bearbeitungstiefe von 13-15 cm, im Mittel ein Bedeckungsgrad von 30 % erreicht.

Auflauf der Zwischenfrucht

Im Feldversuch 2008 ist die Anzahl der Ölrettichpflanzen in allen Parzellen gleich. Es gibt in beiden Versuchsjahren keinen signifikanten Unterschied in der Auflaufsrage zwischen den unterschiedlichen Bearbeitungstiefen. In 2009 ist der Feldaufgang in den Pflugvarianten, vor allem in den Strohvarianten 60 und 80dt Stroh/ ha am höchsten. Die unterschiedliche Grubbertiefe hat auch in diesem Jahr keinen Einfluss auf den Feldaufgang.

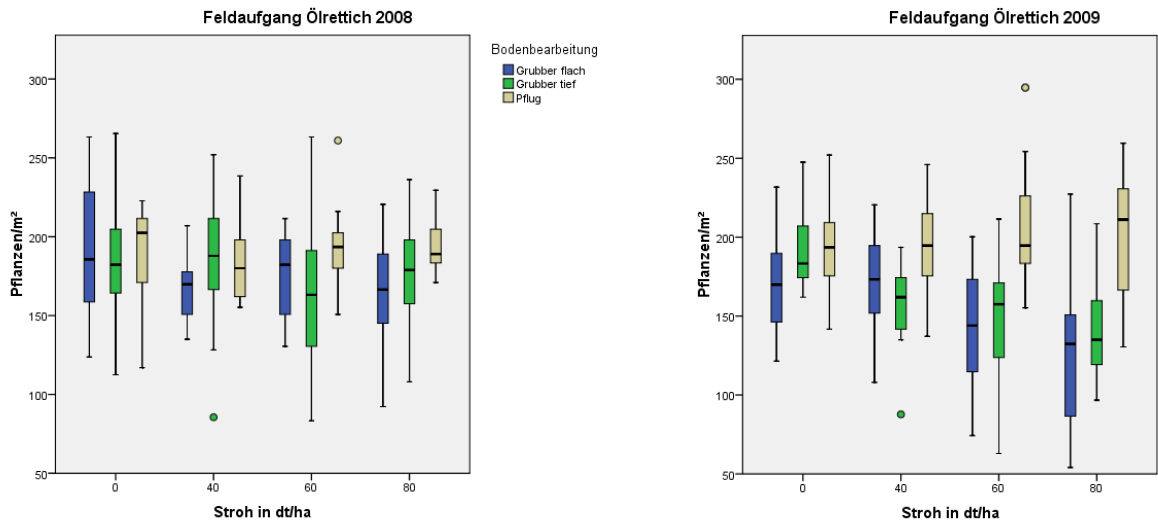


Abbildung 5.17: Auflauftrate Ölrettich 2008 und 2009

Trockenmasse

In beiden Versuchsjahren sind die höchsten Trockenmasseerträge in den Pflugvarianten ermittelt worden.

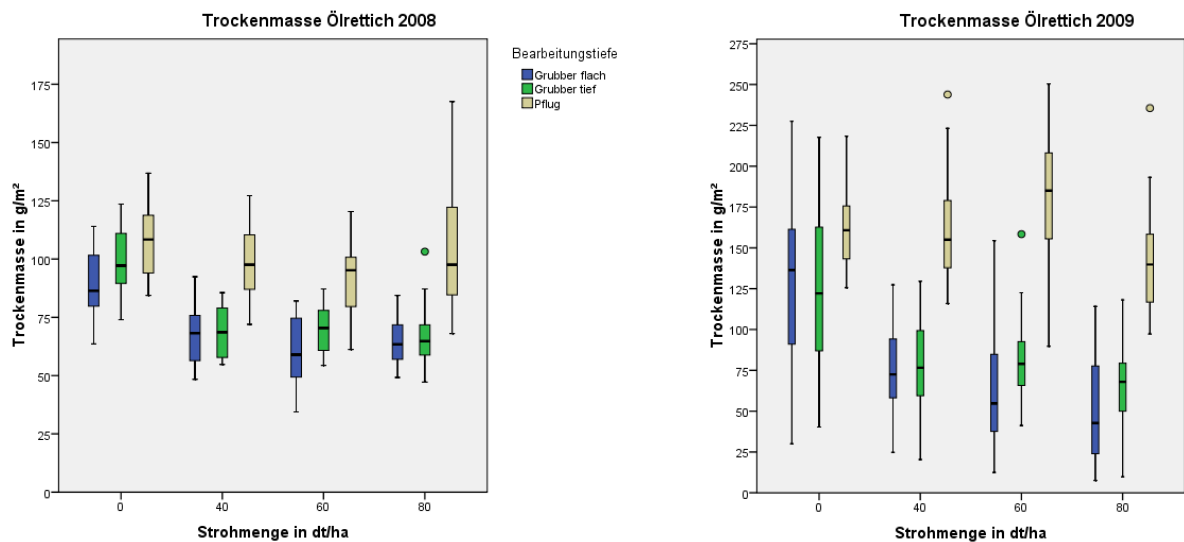


Abbildung 5.18: Trockenmasse in g/m² Feldversuch 2008 und 2009

Die höchsten Erträge werden in allen Jahren in den Pflugvarianten gemessen. Zwischen den beiden Grubbervarianten (flach und tief) sind bei der gleichen Strohmenge keine Unterschiede erkennbar. Im Versuchsjahr 2009 sind in allen Versuchsvarianten große Schwankungsbreiten im Trockenmasseertrag ersichtlich. In der Stoppelvariante mit 0dt Stroh/ha schwankt der Trockenmasseertrag bei der Bearbeitung mit dem Grubber zwischen 25g/m² und 225g/m². Ab 40dt/ha sinkt der Ertrag unabhängig von der Grubbertiefe ab.

Diskussion

Ab 30% Bodenbedeckung ist in Mulchsaatsystemen ein nennenswerter Erosionsschutz erreicht. Mit einer flachen Bearbeitung kann dies bereits bei geringen Strohmenngen erzielt werden. Nur bei komplett abgeräumten Flächen wird bei flacher Bearbeitung der Richtwert von 30% Bedeckung nicht mehr erreicht. Im ersten Versuchsjahr lag der Bedeckungsgrad in 91% der Parzellen der tiefen Grubbervariante bei Strohmenngen zwischen 0 und 80 dt Stroh/ha unter 30%. Der für einen wirksamen Erosionsschutz notwendige Bodenbedeckungsgrad wird somit auch bei hohen Strohmenngen nicht zuverlässig erreicht. Dieses Ergebnis wird im zweiten Versuchsjahr bestätigt bzw. durch die tiefere erste Bearbeitung werden die Bedeckungsgrade noch einmal verringert. Verzichtet man auf die zweite Bodenbearbeitung sind höhere Bedeckungsgrade möglich, damit ist aber der wichtige Effekt als Unkrautbekämpfungsmaßnahme, nicht mehr gewährleistet.

Im dritten Versuchsjahr werden deutlich höhere Bedeckungsgrade nach der ersten Bearbeitung gemessen. Diese Unterschiede sind auf eine schlechte Stoppelbearbeitung zurückzuführen. Bei der ersten Bodenbearbeitung herrschten durch lang anhaltende Trockenheit sehr harte Bodenverhältnissen und auf Grund von organisatorischen Schwierigkeiten im Versuchsablauf mussten im ersten Arbeitsgang stark abgenutzte Schare zur Stoppelbearbeitung eingesetzt werden, die eine deutlich schlechtere Vermischungsqualität zeigten.

Die Ergebnisse der Trockenmasseerträge sind in diesem ersten Versuchsjahr vermutlich durch die späte Aussaat und die schlechten Witterungsverhältnisse beeinträchtigt. Die Parzellen mit Pflug zeigen die höchsten Trockenmasseerträge mit gleichzeitig schlechtestem Erosionsschutz. Die geringen Unterschiede zwischen der flachen und tiefen Grubbervariante in den Trockenmasseerträgen sprechen für eine flachere Bearbeitung mit höheren Bedeckungsgraden und somit besseren Erosionsschutz.

Die Ergebnisse verdeutlichen den Interessenskonflikt von Erosionsschutz durch hohe Bedeckungsgrade auf der einen Seite, und schnellem Auflauf und hohen Erträgen durch Pflugeinsatz auf der anderen Seite. Die eigentlich begrüßenswerte Verbesserung der Durchmischungsqualität der Maschinen zur konservierenden Bodenbearbeitung minimiert jedoch den erreichten Bedeckungsgrad gerade bei tiefer Bearbeitung und verschärft somit die Erosionsproblematik. Es ergibt sich mit Blick auf den Bodenschutz die Aufgabe, die üblichen Bearbeitungstiefen in der konservierenden Bearbeitung zu überdenken und in Zukunft generell flacher zu arbeiten.

5.2. Zusammenfassung

Die definierten Arbeitsschritte und Teilziele für das 3. Projektjahr konnten eingehalten und erreicht werden. Die Ergebnisse der pflanzenbaulichen Feldversuche 2008 bestätigen die Trends der ersten beiden Projektjahre: Da sich für die verschiedenen Grubberbearbeitungstiefen in allen Versuchsjahren keine signifikanten Unterschiede ergaben, eine zum Erosionsschutz hinreichende Strohbedeckung aber nur in den flach bearbeiteten Varianten durchgängig erreicht wurde, kann

als Fazit die Notwendigkeit einer weiteren Reduzierung der Intensität bei der zweiten Stoppelbearbeitung festgehalten werden, welche bei der Mulchsaat identisch mit der Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung ist. Die durchgängig etwas höheren Trockenmasseerträge auf den mit dem Pflug bearbeiteten Vergleichsparzellen sind möglicherweise auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Flächen der Domäne Frankenhausen normalerweise betriebsüblich gepflügt werden, so dass nicht von der Einstellung eines neuen Bodengleichgewichts bei konservierender Bearbeitung ausgegangen werden kann. Bei Verwendung moderner Bodenbearbeitungstechnik kann also gefolgert werden, dass auch hohe praxisübliche Strohmenngen (bis 80 dt/ha) aus pflanzenbaulicher Sicht noch eine flache Bearbeitung (≤ 10 cm) erlauben. Dies versetzt einen im Hinblick auf eine Regelung der Arbeitstiefe in die komfortable Lage, eine tiefere Bearbeitung in der Regel allein von bodentextur- und strukturbedingten Notwendigkeiten abhängig zu machen. Um die Akzeptanz bei Landwirten für eine konservierende Bearbeitung zu erhöhen, kann zusätzlich allerdings eine tiefere Bearbeitung oberhalb eines zu definierenden Bedeckungsgrad-Schwellenwertes erfolgen. In der Beispielapplikationskarte in Kapitel 7 wurde hierfür ein Bodenbedeckungsgrad von 35% gewählt, ab welchem tief gearbeitet werden soll, auch wenn es gemäß Texturkarte (--> EM38) nicht angezeigt ist. Liegt der Einsatzwert für tiefe Bearbeitung hoch genug, kann für einen Großteil des Schlages immer noch von einem befriedigenden Erosionsschutz ausgegangen werden.

Der Kamerasensor wurde durch eine Anpassung des Auswertalgorithmus so modifiziert, dass er ohne die Diffusorbox eingesetzt werden kann, was eine deutliche Erhöhung der Praxistauglichkeit bedeutet. Die Onlinefähigkeit wird durch den geringfügig höheren Rechenaufwand nicht berührt. Eine möglicherweise schlechtere Messgenauigkeit im Vergleich zu den mehr definierten Beleuchtungsbedingungen mit Diffusorbox wurde zumindest in 2009 nicht festgestellt, vielmehr ergab sich eine gute Korrelation der aufgenommenen Bedeckungsgradkarten mit den Leitfähigkeits- und Ertragskarten aus dem Kieler Teilprojekt.

6. Projektverlauf Universität Kiel / FH Kiel

6.1. Ergänzung zum Feldversuch 2008/2009 des zweiten Projektjahres

6.1.1 Auswertungen der Ertragskartierungen

Ergänzend zum zweiten Zwischenbericht können nun die Auswertungen der Ertragskartierungen des Versuchsjahres 2008/2009 der beiden Hauptversuchsflächen dargestellt werden, da diese zur Fertigstellung des Zwischenberichtes noch nicht vorlagen.

Die Erträge wurden mit dem betriebseigenen Mähdrescher Claas Lexion 600 mit einer Arbeitsbreite von 10,5 m und integrierter Ertragskartierung am 13. August 2009 („Tiergarten“) und 06. August 2009 („Hofkamp“) ortsspezifisch ermittelt. Durch die konstante Ermittlung der Kornfeuchte wurde der Ertrag auf eine Basisfeuchte von 15 % korrigiert. Anhand der Koordinaten wurden die Ertrags-Messpunkte dann den Varianten und ortsspezifischen Arbeitstiefen zugeordnet und die durchschnittlichen Ertragsleistungen bestimmt.

Versuchsfeld „Tiergarten“:

Die Abbildung 6.1 stellt die absoluten Ertragsleistungen der einzelnen applizierten Arbeitstiefen (links) sowie die Erträge untergliedert in Teilflächen mit geringer, mittlerer und höherer Bodenleitfähigkeit, entsprechend den jeweils vorliegenden Texturbedingungen dar (rechts).

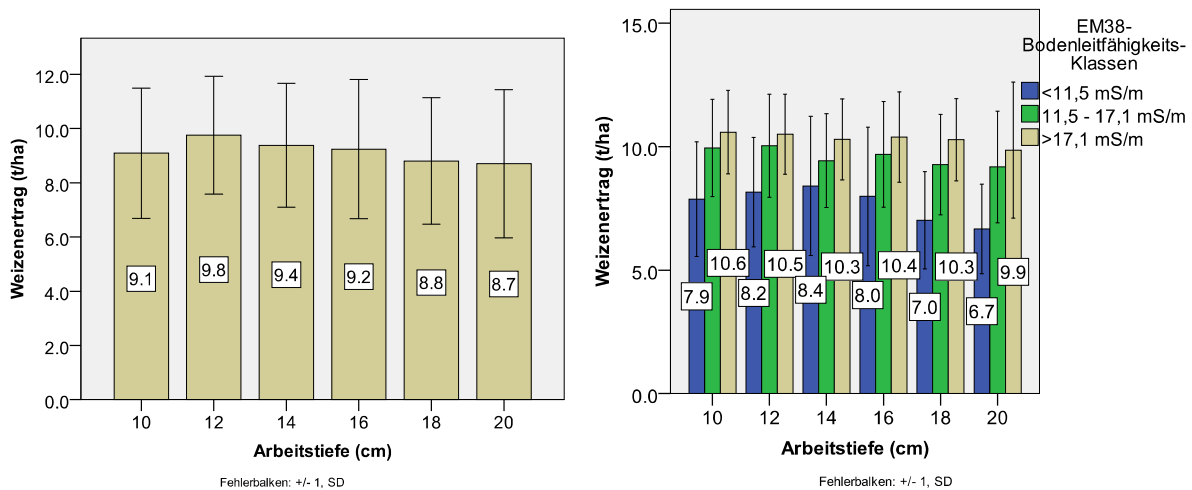


Abbildung 6.1: Absolute Weizenenerträge und Weizenenerträge in Abhängigkeit der EM38-Bodenleitfähigkeit der verschiedenen Arbeitstiefen auf dem Versuchsfeld „Tiergarten“ 2009

Die Erträge schwanken zwischen 8,7 t/ha bei Teilflächen mit einer applizierten Arbeitstiefe von 20 cm und 9,8 t/ha auf Teilflächen die zuvor auf 12 cm gelockert wurden. Die flache, 10 cm tiefe Bodenbearbeitung erzielte eine Ertragsleistung beim Weizen von im Mittel 9,1 t/ha. Diesen Ergebnissen zufolge hatte eine tiefe Bearbeitung keine positiven Ertragseffekte. Unter Berücksichtigung der Bodenbedingungen anhand der Bodenleitfähigkeiten auf diesem heterogenen Schlag und die damit einhergehenden Einflüsse auf den Ertrag wird die Abhängigkeit des Ertrages von der örtlichen Textur über alle applizierten Bearbeitungstiefen deutlich. Die maximale Differenz betrug bei der Arbeitstiefe von 18 cm ca. 3,3 Tonnen zwischen einem leichten (<11,5 mS/m) und einem schweren Boden (>17,1 mS/m). Damit überlagern die Ertragseffekte, herrührend von der Bodentextur deutlich den Einfluss der Bearbeitungstiefe. Die Teilflächen mit der Kombination hohe Leitfähigkeit und geringe Arbeitstiefe hatten mit 10,6 t/ha die höchsten Erträge. Flächen mit geringer Leitfähigkeit und 20 cm tiefer Bearbeitung hingegen erreichten mit einem Weizenenertrag von nur 6,7 t/ha die schlechtesten Leistungen.

Versuchsfeld „Hofkamp“:

Die Ertragsleistungen des Weizens der verschiedenen Varianten ergeben sich aus der Abbildung 6.2 (links). Während sich die Varianten mit einer teilflächenspezifischen Regelung der Arbeitsintensität ertragsneutral verhalten (10,6-10,8 t/ha), ist der Ertrag der betriebsüblichen tiefen Variante mit 11,4 t/ha in der Tendenz höher.

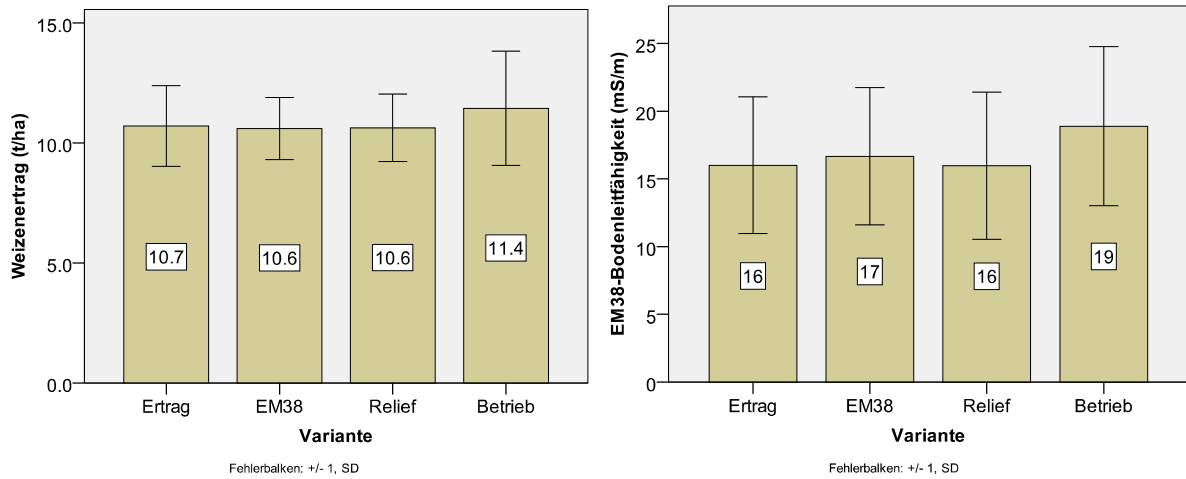


Abbildung 6.2: Ertragsleistungen (links) und EM38-Bodenleitfähigkeiten (rechts) der Varianten auf dem Versuchsfeld „Hofkamp“ (2009)

Zur Erklärung dieser Ertragsschwankung kann die Verteilung der EM38-Bodenleitfähigkeiten und damit der örtlichen Bodenbedingungen der Varianten beitragen. Aus der Abbildung 7 (rechts) wird deutlich dass die mittlere Bodenleitfähigkeit der Betriebsvariante um ca. 3 mS/m, entsprechend etwa 19 % höher ist, so dass die unterschiedlichen Bodengüten und damit die Ertragsfähigkeiten die Erträge dahingehend beeinflussen.

Bei einem direkten Vergleich der Erträge der 10cm und 18cm tiefen Bodenbearbeitung unter Berücksichtigung der Bodenleitfähigkeitswerte ist erkennlich, dass der Arbeitstiefe keine Ertragseffekte zu Grunde liegen (Abbildung 6.3). Die Verringerung der Bearbeitungstiefe erwies sich somit auf dem Versuchsfeld „Hofkamp“ im Jahr 2009 als ertragsneutral.

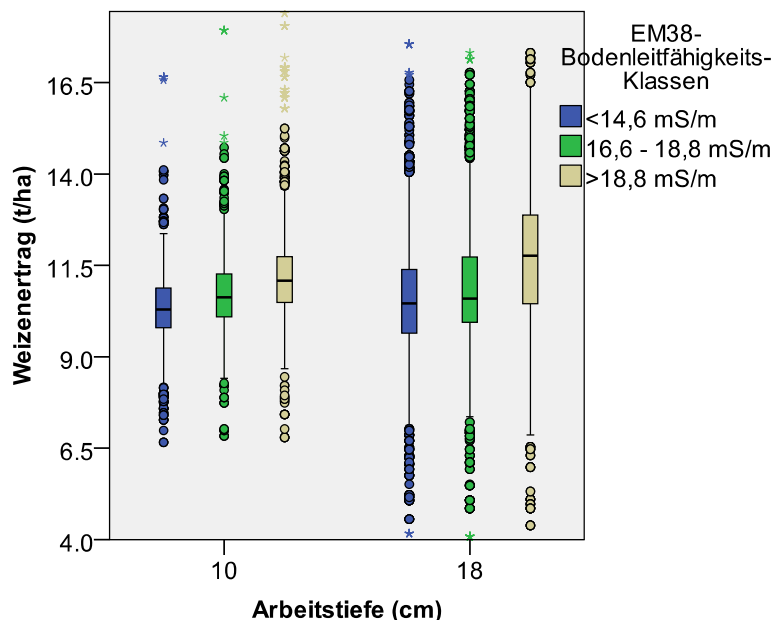


Abbildung 6.3: Ertragsleistungen der tiefen (18 cm) und flachen (10 cm) Bodenbearbeitung unter Berücksichtigung der Bodenleitfähigkeit auf dem Versuchsfeld „Hofkamp“

6.1.2 Fazit der Ertragsauswertung der Feldversuche 2008/2009

Im Zusammenhang mit einer reduzierten Arbeitstiefe werden häufig Ertragseinbußen aufgrund schlechter Feldaufgänge durch Strohrückstände im Saatbett und eine schlechte Durchlüftung diskutiert. Im Feldversuch 2008/2009 konnten diese Begebenheiten nicht beobachtet werden. Eine stufenweise Verringerung der Arbeitstiefe auf dem Versuchsfeld „Tiergarten“ hatte keine Effekte auf die Ertragsleistung der Teilflächen. Die unterschiedlichen Varianten „Ertrag“, „EM38“, „Relief“ und „Betrieb“ des Schlags „Hofkamp“ verhielten sich ebenfalls im Mähdruschertrag weitgehend ertragsneutral. Eine deutliche Abhängigkeit besteht jedoch zwischen den örtlichen Bodenbedingungen und der Ertragsleistung. Bei identischer Arbeitstiefe (18 cm) konnten auf dem Versuchsfeld „Tiergarten“ Unterschiede von bis zu 3 t/ha Weizen festgestellt werden, die ausschließlich aus unterschiedlichen vorherrschenden Bodenleitfähigkeiten und den damit korrelierenden Textur- und Wasserbedingungen resultieren (vgl. Abb. 6.1, rechts). Die Bodenbedingungen überlagern damit in hohem Maße die Effekte der verringerten Arbeitstiefe auf den Ertrag.

Zusätzliche Einspareffekte im Kraftstoffverbrauch beliefen sich durch Reduktion der Eingriffsintensität von 18 cm auf 10 cm im Feldversuch 2008/2009 auf etwa 4 l/ha bei einer gleichzeitigen Erhöhung der Arbeitsleistung um bis zu 1,4 ha/h (siehe Zwischenbericht zweites Projektjahr).

6.2. Beschreibung der Aktivitäten des dritten Versuchsjahres

6.2.1 Herstellung der technischen Voraussetzungen

Die bereits in den letzten zwei Versuchsjahren bewährte Technik (siehe Zwischenberichte des ersten und zweiten Versuchsjahres) wurde in den Grundzügen übernommen. Die Grubber-Scheibeneggen-Kombination des Vorjahres verblieb in Kiel und wurde mit identischer Versuchstechnik wieder eingesetzt.

Der bisher eingesetzte Messschlepper vom Typ Claas Axion 840 wurde gegen einen baugleichen Claas Axion 850, jedoch mit einer um 20 PS höheren Motorleistung eingetauscht. Weiterhin wurde der Schlepper in den Hinterrädern mit insgesamt 500 kg Radgewichten ausgestattet um die Traktion zu verbessern und entsprechend den Schlupf zu verringern.

Eine wesentliche Neuerung ergab sich im Bereich der GPS-Satellitennavigation. Für die Bodenbearbeitung im Herbst 2009 stand erstmals eine RTK (Real Time Kinematic)-Referenzstation vom Hersteller Trimble zur Verfügung (vgl. Abbildung 6.4), die jeweils am Feldrand positioniert wurde.



Abbildung 6.4: RTK-Referenzstation positioniert am Feldrand

Die Genauigkeit wurde dadurch erheblich erhöht und betrug $\pm 2,5$ cm. Eine wesentliche Verbesserung ergab sich weiterhin im Bereich der digitalen Höhenmessung, welche mit herkömmlichen DGPS-Geräten zum Teil deutlichen Schwankungen bis mehreren Metern, je nach Satellitenempfang, unterlegen ist. Zur Veranschaulichung sind in Abbildung zwei digitale Höhenmodelle, herrührend aus der Bodenbearbeitung 2008 mit DGPS-Gerät und 2009 mit RTK-Referenzstation auf dem Versuchsfeld „Tiergarten“ dargestellt. Es sind jeweils nur die einzelnen Messwerte der Höhe, ohne Interpolation dargestellt.

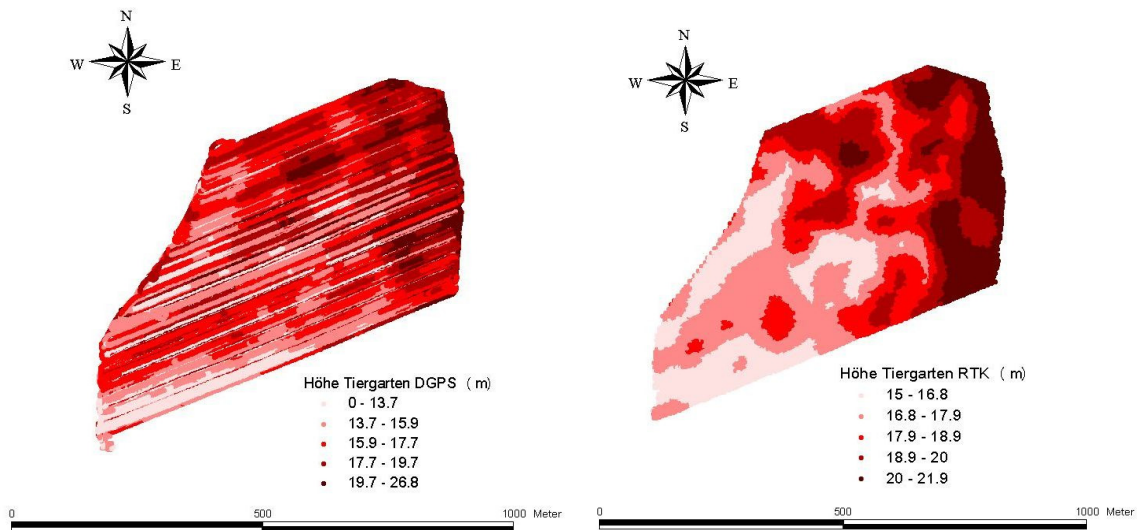


Abbildung 6.5: Optischer Vergleich der einzelnen, nicht interpolierten Messwerte der Höhe mit einem DGPS-Gerät (links) und einer RTK-Referenzstation (rechts) auf dem Versuchsfeld „Tiergarten“

Deutlich erkennbar sind Höhensprünge resultierend durch wechselnden Satellitenempfang mit herkömmlichem DGPS-Gerät. Auch das Ausmaß der Schwankungsbreite der absoluten Höhen auf dem Feld unterscheidet sich deutlich (ca. 10-25 m mit DGPS und 15-22 m mit RTK-GPS).

6.2.2 Feldversuche 2009/2010

Im dritten Projektjahr wurden ergänzend zu den Hauptversuchsflächen und einem neuen Feld des Gutes Warleberg weitere landwirtschaftliche Schläge des Versuchsgutes Hohenschulen der agrar- und ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel in den Versuch mit aufgenommen.

Neben den entsprechend den Vorjahren normal vorgesehenen Versuchen zur ortsspezifischen Bodenbearbeitung in Offline-Verfahren, wurde im Jahr 2009 wieder ein Versuch in Kooperation mit dem Institut für Landtechnik der Universität Bonn zum Ermitteln der oberflächennahen Bodenfeuchtigkeit (siehe Zwischenbericht zweites Projektjahr) durchgeführt.

Weiterhin wurde der im Teilprojekt Kassel/Witzenhausen entwickelte Online-Sensor zum Messen des Bodenbedeckungsgrades erneut im Sommer 2009 auf Kieler Versuchsflächen eingesetzt und die Daten mit den Werten des Ertrages und der EM38-Bodenleitfähigkeit verglichen (siehe Kap. 5.1.1) sowie Auswirkungen unterschiedlicher Bedeckungen auf die Feldaufgänge der Folgefrucht geprüft.

Versuchsschläge und Durchführung

Für das Versuchsjahr 2009/2010 standen folgende Flächen zur Verfügung:

1. Versuchsschlag: „Tiergarten“ (Gut Warleberg), ca. 80 ha, Versuchsfläche ca. 55 ha
Fruchtfolge Weizen nach Weizen
Bodenart: S bis sL, 23 bis 56 Bodenpunkte
Versuchsdurchführung: Der Schlag ist bereits das zweite Jahr im Versuch. Die Algorithmen „EM38“ und „Relief“ wurden beibehalten. Die Ertragsvariante wurde entsprechend der Vorfrucht Weizen angepasst.
 - Erneute EM38-Befahrung
 - Befahrung mit einem Kombinationssensor zum Ermitteln der oberflächennahen Bodenfeuchtigkeit und des Bodenwiderstandes, in Zusammenarbeit mit dem Institut für Landtechnik der Universität Bonn
 - Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades mit dem Online-Fotosensor nach der ersten Bodenbearbeitung in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt der Universität Kassel/Witzenhausen
 - Bonituren zum Feldaufgang, der Ährenzahlen und des Korn- und Strohertrages an den Boniturstellen
 - N-Sensor-Befahrungen
 - Ertragskartierung beim Mähdrusch

2. Versuchsschlag: „Langenhorst“ (Gut Warleberg), ca. 20 ha, Versuchsfläche: ca. 10 ha
Fruchtfolge: Weizen nach Weizen
Bodenart: sandiger Lehm
Versuchsdurchführung: Die Varianten „EM38“ und „Betrieb“ wurden durchgeführt
 - Bestimmung des Bodenbedeckungsgrad mit dem Online-Fotosensor nach der ersten Bodenbearbeitung in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt der Universität Kassel/Witzenhausen
 - N-Sensor-Befahrungen
 - Ertragskartierung beim Mähdrusch

3. Versuchsschlag: „Hinterer Hüttenkrog“ (Gut Hohenschulen), 26 ha, Versuchsfläche: ca. 15 ha
Fruchtfolge: Weizen nach Raps
Bodenart: S-L

4. Versuchsschlag: „Blangenkoppel“ (Gut Hohenschulen), 8,5 ha, Versuchsfläche: ca. 7 ha
Fruchtfolge: Weizen nach Raps
Bodenart: S-L

5. Versuchsschlag: „Scheunenkoppel“ (Gut Hohenschulen), 4,7 ha, Versuchsfläche: ca. 3 ha
Fruchtfolge: Weizen nach Raps
Bodenart: S-L

Versuchsdurchführung der Schläge 3 bis 5: Die Varianten „EM38“, „Höhe“, „Ertrag“ und „Betrieb“ wurden durchgeführt.

- N-Sensor-Befahrungen
- Ertragskartierung beim Mähdrusch

Ergebnisse

Auswertung der energetischen Daten des Messschleppers

Die Abbildung 6.6 gibt einen Überblick über die am Versuchsschlepper und am Bodenbearbeitungsgerät erhobenen Daten und die eingesetzte Messtechnik. Durch Verrechnung konnten wichtige energetische Kennzahlen wie Kraftstoffverbrauch pro Hektar (l/ha), Arbeitsleistung (ha/h) und Schlupf (%) bestimmt werden.

erhobene Daten	Einheit	Methode
Theoretische Geschwindigkeit	km/h	Can-Bus-System
Tatsächliche Geschwindigkeit	km/h	Radarsensor
Zugkraftbedarf an den Unterlenkern	kN	Zugkraftmessdosen an den Unterlenkern
Kraftstoffverbrauch	l/h	Can-Bus-System
Koordinaten, Höhe	°, m	DGPS
Bearbeitungstiefe Centaur	cm	Winkelsensor
Neigung Schlepper/Centaur	°	Neigungssensor am Schlepper/Centaur

Abbildung 6.6: Am Versuchsschlepper und Bodenbearbeitungsgerät eingesetzte Messtechnik und erhobene Daten

Die Abbildung 6.7 stellt Ergebnisse der Feldversuche anhand der am Messschlepper erhobenen Daten dar. Links sind zunächst die durchschnittlichen Werte über alle Versuchsflächen aus dem Jahr 2009 abgebildet.

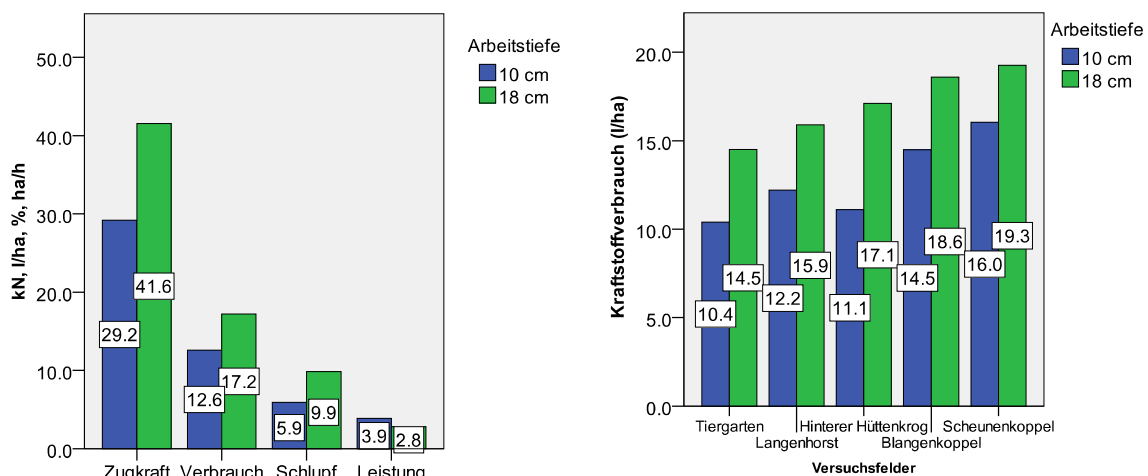


Abbildung 6.7: Durchschnittliche energetische Kennwerte der Feldversuche 2009 (links) und Kraftstoffverbrauch der einzelnen Versuchsfelder 2009 (rechts), jeweils unterteilt in flache (10 cm) und in tiefe (18 cm) Bodenbearbeitung.

Über alle Versuchsflächen 2009 gesehen konnte eine Reduktion der Arbeitstiefe von 18 cm auf 10 cm den Kraftstoffverbrauch um etwa 4,5 l/ha senken, bei gleichzeitiger Erhöhung der Arbeitsleistung um ca. 1 ha/h. Der Zugkraftbedarf verringerte sich von 41,6 kN auf 29,2 kN, was eine Reduktion des Schlupfes um absolut 4 %, entsprechend relativ ca. 40 % bewirkte (Abbildung 6.7, links).

Die Spannweite der Werte aller Versuchsfelder aus dem Jahr 2009 unterscheidet sich dabei zum Teil deutlich. Die Abbildung 6.7 (rechts) stellt beispielhaft den Kraftstoffverbrauch der tiefen und flachen Bodenbearbeitung der einzelnen Versuchsflächen aus dem Jahr 2009 dar. In Abhängigkeit der vorherrschenden Böden ergeben sich bei identischen Arbeitstiefen zwischen den Versuchsfeldern Differenzen von bis zu ca. 5 l/ha sowohl für die tiefe als auch für die flache Lockerung im Falle der Schläge „Tiergarten“ und „Scheunenkoppel“.

Die Reduktion der Eingriffstiefe um 8 cm bewirkte auf den Versuchsfeldern jeweils unterschiedliche Einsparungen an Kraftstoff, variierend zwischen 3,3 l/ha („Scheunenkoppel“) und 7 l/ha („Hinterer Hüttenkrog“).

Um den Zusammenhang zwischen dem Kraftstoffverbrauch, der Arbeitstiefe und den örtlichen Boden- bzw. Texturbedingungen zu verdeutlichen wurden in Abbildung 6.8 für den sehr heterogenen Versuchsschlag „Tiergarten“ die Verbrauchswerte der 18 cm und 10 cm Arbeitstiefe über die Bodenleitfähigkeiten abgetragen. Desto schwerer der Boden, desto stärker wirkte sich eine flache Bodenbearbeitung auf den Kraftstoffverbrauch aus. Auf leichten Böden des Versuchsfeldes „Tiergarten“ mit einer Leitfähigkeit von ca. 7 mS/m, entsprechend einer Einstufung der Teilflächen nach der Reichsbodenschätzung als Sand bis schwach lehmiger Sand mit 23 bis 27 Bodenpunkten, beträgt das Einsparpotential etwa 4,3 Liter je Hektar. Unter schwereren Bodenbedingungen bei Bodenleitfähigkeiten von ca. 25 mS/m, äquivalent einer Einstufung als stark lehmiger Sand und sandiger Lehm mit 53, bzw. 56 Bodenpunkten auf dem selben Feld konnte durch Reduktion der Arbeitstiefe von 18 auf 10 cm 6,6 Liter je Hektar eingespart werden. Das absolute Einsparpotential ergibt sich daher nicht nur aus dem mengenmäßigen Verhältnis der Teilflächen mit tiefer und flacher Lockerung, sondern auch aus deren örtlicher Verteilung.

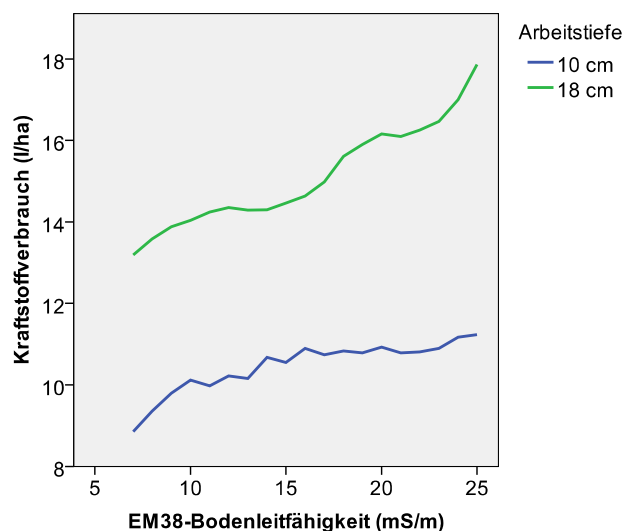


Abbildung 6.8: Kraftstoffverbrauch der tiefen (18 cm) und flachen (10 cm) Bodenbearbeitung bei unterschiedlichen Textur-Bedingungen auf dem Versuchsfeld „Tiergarten“ 2009

Auswertung der pflanzenbaulichen Effekte der teilflächenspezifischen Bodenbearbeitung

Die Abbildung 6.9 gibt einen Überblick über die auf dem Hauptversuchsschlag des Jahres 2009/2010, „Tiergarten“, durchgeführten pflanzenbaulichen Untersuchungen.

Datum	Parameter	Methode
26.10.2009	Feldaufgang	Pflanzenzählung an 67 Boniturpunkten
30.04.2010	Blattmasse	N-Sensor, ganzflächig, Infrarot/Rot-Index
20.05.2010	Blattmasse	N-Sensor, ganzflächig, Infrarot/Rot-Index
11.06.2010	Blattmasse	N-Sensor, ganzflächig, Infrarot/Rot-Index
23.06.2010	Blattmasse	N-Sensor, ganzflächig, Infrarot/Rot-Index
06.2010	Ährenzahlen	Ährenzählung an 51 Boniturpunkten
10.08.2010	Korn-/Strohmasse, TKM	Handbeerntung an 49 Boniturpunkten
21., 22., 24.08.10	Mähdruschertrag	Mähdrusch mit Ertragsmessung

Abbildung 6.9: Pflanzenbauliche Untersuchungen zur teilflächenspezifischen Bodenbearbeitung auf dem Hauptversuchsschlag „Tiergarten“ 2009/2010

Feldaufgang:

Im Zusammenhang mit flachen Arbeitstiefen in Mulchsaatsystemen werden häufig schlechte Feldaufgänge aufgrund von hohen Strohmengen im Saat- und Keimbett diskutiert.

Die Abbildung 15 stellt die Feldaufgänge als Boxplot-Darstellung aller Boniturpunkte in Abhängigkeit der Arbeitstiefe bei 230 Körnern/m² ausgesäten Weizen auf dem Versuchsfeld „Tiergarten“ dar. Die Arbeitstiefe hat demnach zunächst keinen signifikanten Einfluss auf die Auflauftrate der Weizenpflanzen.

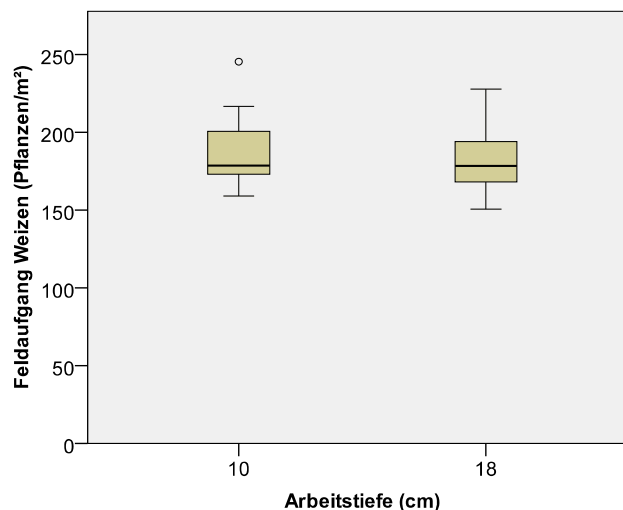


Abbildung 6.10: Feldaufgang Weizen aller Boniturpunkte (N=67) auf dem Versuchsfeld „Tiergarten“ bei tiefer (18 cm) und flacher (10 cm) Bodenbearbeitung bei 230 ausgesäten Körnern/m²

Um den Einfluss verschiedener Mengen an Vorfruchttrückständen zu berücksichtigen sind in Abbildung 6.11 die Auflaufraten an den Boniturpunkten über verschiedenen Weizen-Vorfruchterträgen und mit dem Fotosensor ermittelten Bodenbedeckungsgraden abgetragen.

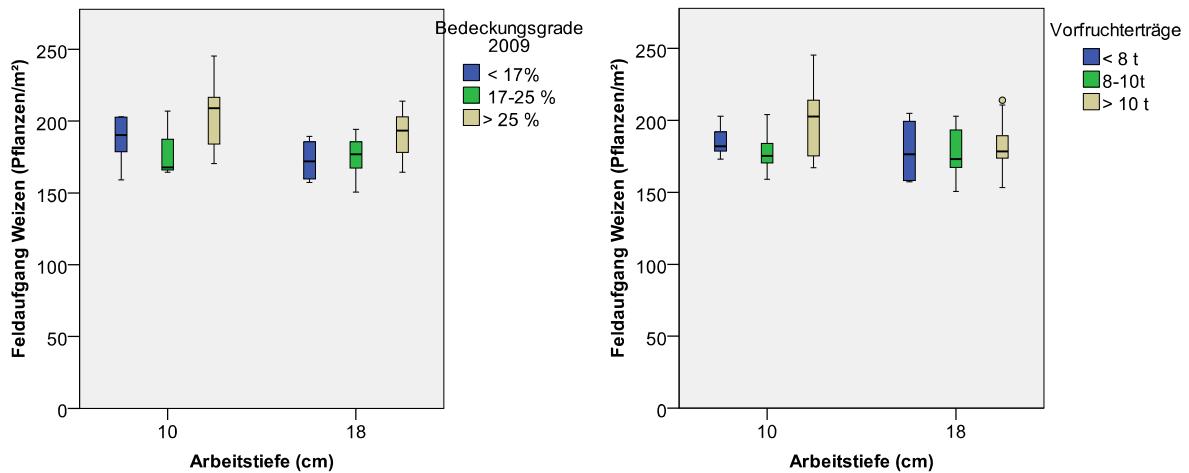


Abbildung 6.11: Feldaufgänge Weizen der Boniturstufen auf dem Versuchsfeld „Tiergarten“ in Abhängigkeit der Bodenbedeckungsgrade (N=38) (links) und der Vorfruchterträge (N=50) (rechts) bei tiefer (18 cm) und flacher (10 cm) Bodenbearbeitung

Aus der Abbildung 6.11 ist ersichtlich dass im Versuch weder hohe Bodenbedeckungsgrade sowie Vorfruchterträge als Maß für die örtlichen Strohmenge eine Reduktion der Feldaufgänge bewirkten. Die flache, 10 cm tiefe Einarbeitungsintensität wies sogar trotz hoher Bodenbedeckungsgrade als auch Vorfruchterträge die höchsten Auflaufraten auf.

Pflanzenentwicklung

Als Methode zur Bestimmung der pflanzlichen Entwicklung des Weizenbestandes wurden N-Sensor-Befahrungen durchgeführt. Der errechnete Infrarot- zu Rotindex dient dabei als Maß für die örtlich gebildeten Blattflächen bzw. Pflanzenmassen. In Abbildung 6.12 (links) ist der Infrarot- zu Rotindex des Bestandes der ersten Befahrung im Frühjahr 2010 von Teilflächen mit verschiedenen Einarbeitungsintensitäten und Bodenbedeckungsgraden auf dem Versuchsfeld „Tiergarten“ abgebildet. Rechts ist der Infrarot zu Rotindex entsprechend in Abhängigkeit der Bodenbedingungen (EM38-Bodenleitfähigkeiten) abgetragen.

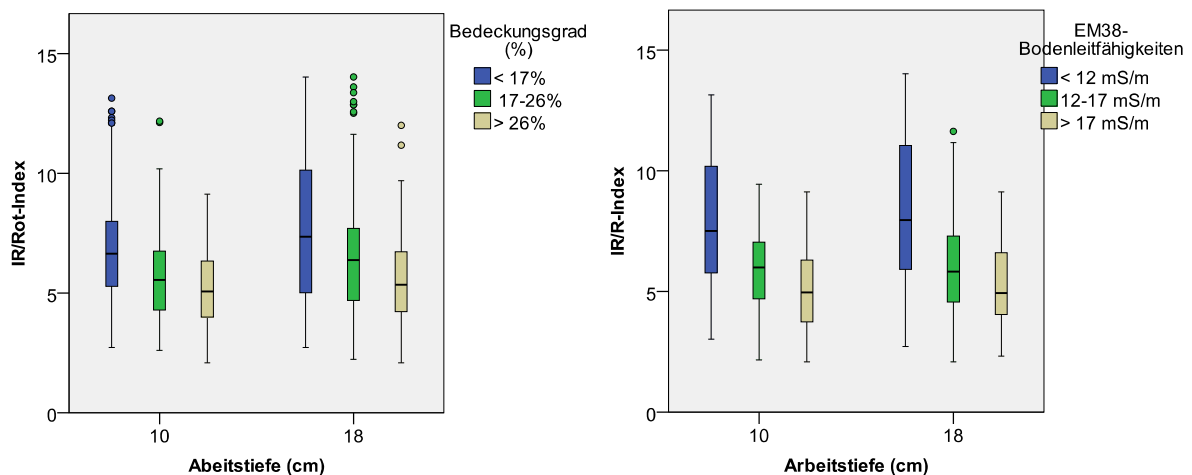


Abbildung 6.12: Infrarot zu Rotindex der Versuchsfläche „Tiergarten“ vom 30.04.2010 (N=1059) in Abhängigkeit der Arbeitstiefe und des Bodenbedeckungsgrades (links) sowie der EM38-Bodenleitfähigkeitswerte (rechts)

Aus der Abbildung 6.12 (links) ist zunächst ersichtlich, dass der Infrarot zu Rotindex im Frühjahr auf Teilflächen mit einem geringeren Bodenbedeckungsgrad des Vorjahres höher ist. Die Arbeitstiefe ist von geringerer Bedeutung, jedoch hat die 18 cm tiefe Bodenbearbeitung in der Tendenz leicht höhere IR/Rot-Index-Werte. Als weiteren möglichen Einflussparameter auf die Pflanzenentwicklung wurden die örtlichen EM38-Bodenleitfähigkeitswerte berücksichtigt (Abbildung 6.12, rechts). Auf Teilflächen mit höheren Leitfähigkeiten, entsprechend besseren tonhaltigeren Böden, verlief die Entwicklung des Weizenbestandes offenbar schlechter, bzw. langsamer. Die Arbeitstiefe ist jedoch als Einflussfaktor ohne Bedeutung.

In Abbildung 6.13 sind die Ergebnisse der Ährenzählungen der Boniturpunkte unterteilt nach Arbeitstiefe (links) und unterteilt nach Arbeitstiefe sowie Bodenleitfähigkeit dargestellt. Die Ährenzahlen der beiden applizierten Arbeitstiefen unterscheiden sich unwesentlich. Die Differenz von 11 Ähren, entsprechend etwa 2 %, zu Gunsten der tiefen Lockerung ist zu vernachlässigen und eher im Bereich des Zählfehlers einzuordnen (Abbildung 6.13, links). Die Boniturpunkte an Teilflächen mit einer höheren Leitfähigkeit haben tendenziell eine höhere Anzahl an Ähren pro m² jedoch scheint auch hier der Einfluss der Lockerungsintensität ohne Bedeutung zu sein (Abbildung 6.13, rechts).

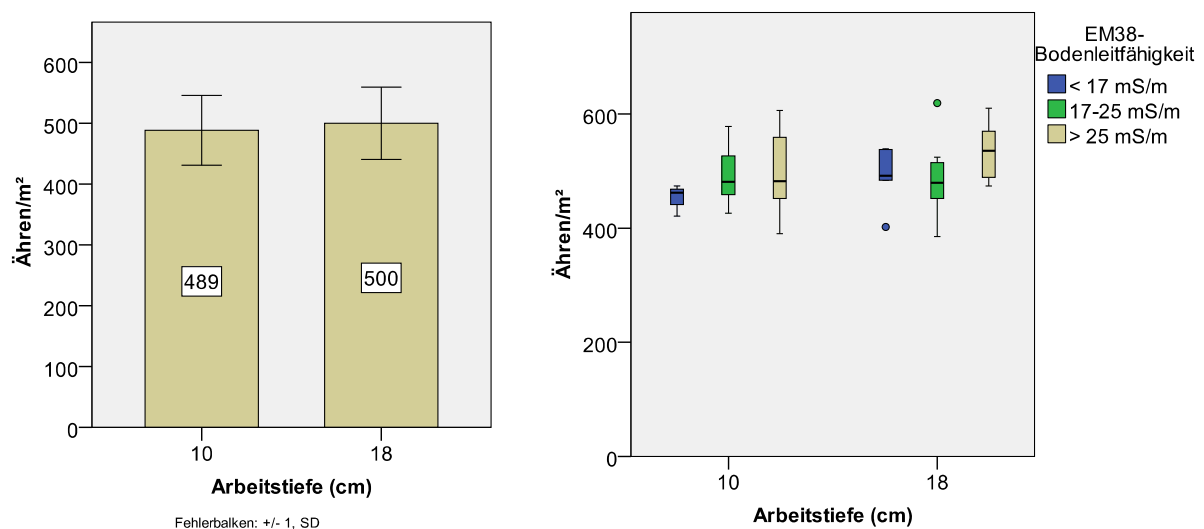


Abbildung 6.13: Ährenzahlen pro m² der Boniturpunkte (N=51) mit tiefer (18 cm) und flacher (10 cm) Bodenbearbeitung (links) und unterteilt nach Boniturpunkten mit verschiedenen Bodenleitfähigkeiten (rechts) auf dem Versuchsfeld „Tiergarten“ 2010.

Der an den Boniturpunkten per Handbeerntung ermittelte Kornertrag pro m² ist in Abbildung 6.14 (links) dargestellt. Die Abbildung 6.14 (rechts) berücksichtigt dabei wiederum die Bodenleitfähigkeiten.

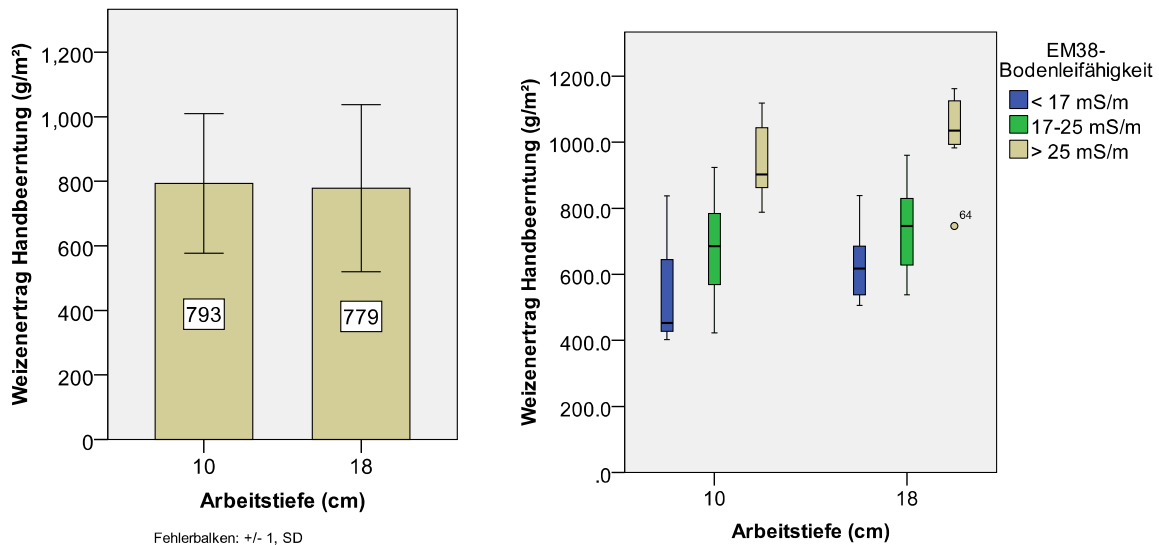


Abbildung 6.14: Weizenertrag pro m² der Boniturpunkte (N=49) mit tiefer (18 cm) und flacher (10 cm) Bodenbearbeitung (links) und unterteilt nach Boniturpunkten mit verschiedenen Bodenleitfähigkeiten (rechts) auf dem Versuchsfeld „Tiergarten“ 2010.

Die Differenz im Ertrag an den Boniturpunkten beträgt zwischen den beiden Arbeitstiefen etwa 20 g/m² entsprechend etwa 2 dt/ha Weizen und liegt damit im ebenfalls Bereich der Messungenauigkeit der Handbearntung (links). Entsprechend der Ährenzahlen besteht auch beim Ertrag der Boniturpunkte eine ausgeprägte Abhängigkeit von den örtlichen Bodenbedingungen, dargestellt anhand der Bodenleitfähigkeitsklassen (rechts) mit einer Tendenz zu leicht höheren Erträgen bei der tiefen Bodenbearbeitung.

Ertragsmessung beim Mähdrusch

Die Mähdruschertragsleistungen der Varianten (links) und untergliedert in Varianten und Teilflächen mit flacher und tiefer Bodenbearbeitung (rechts) sind in Abbildung 20 dargestellt.

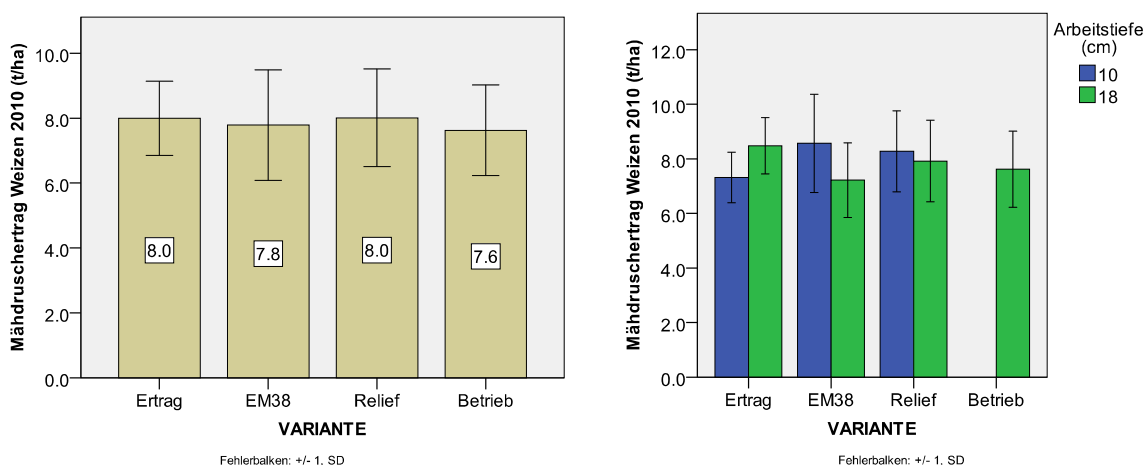


Abbildung 6.15: Mähdruschertragsleistungen des Versuchsfeldes „Tiergarten“ unterteilt nach Varianten (links) und Varianten und Arbeitstiefe (rechts)

Die absoluten Ertragsleistungen der vier differenzierten Varianten bewegen sich auf einem ähnlichen Niveau. Sie schwanken etwa zwischen 7,6 t/ha in der Betriebsvariante und 8 t/ha in der Ertrags- und Reliefvariante (Abbildung 6.15, links). Da in den Varianten mit

unterschiedlichen Anteilen der applizierten Arbeitstiefen gearbeitet wurde sind rechts die Erträge der einzelnen Varianten, untergliedert in Teilflächen mit flacher und tiefer Bodenbearbeitung dargestellt. In der Ertragsvariante hat die tiefe Bodenbearbeitung einen ca. 1,3 t/ha höheren Ertrag als die flache Lockerung. In der EM38-Variante ist der Trend hingegen umgekehrt. Hier weist die 10 cm tiefe Bodenbearbeitung eine um etwa 1,4 t/ha höhere Ertragsleistung auf. Die Ertragsunterschiede können möglicherweise auf die vorherrschenden Bodenbedingungen zurückgeführt werden. So wurden in der Ertragsvariante Teilflächen mit hohen Erträgen von mehr als 10 t/ha gezielt tief und in der EM38-Variante die Teilflächen mit Bodenleitfähigkeiten von mehr als 14 mS/m gezielt flach bearbeitet. Diese Flächen repräsentieren die ertragsstärkeren, besseren Böden des Versuchsfeldes. Zur Verdeutlichung dieses Zusammenhangs sind in Abbildung 6.16 die Ertragsleistungen untergliedert in Arbeitstiefen und Bodenleitfähigkeitsklassen (links) bzw. gerundete Bodenleitfähigkeiten (rechts) abgebildet. Die Erträge des Leitfähigkeitsbereichs von > 18 mS/m liegen deutlich über der Ertragsleistung der Teilflächen mit einer geringen Leitfähigkeit von < 10 mS/m. Die Unterschiede betragen etwa 1,4 t/ha bei der flachen und 1,7 t/ha bei der tiefen Bodenbearbeitung. Die Ertragsleistung des mittleren Leitfähigkeitsbereichs von 10-18 mS/m liegt mit etwa 8 t/ha dazwischen (Abbildung 6.16, links).

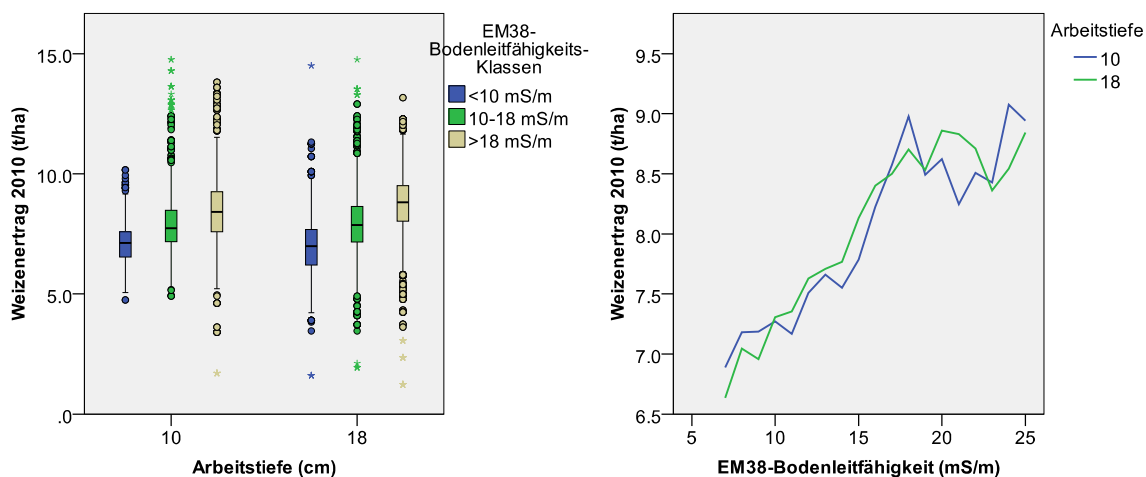


Abbildung 6.16: Ertragsleistungen in Abhängigkeit der Bearbeitungstiefe und EM38-Bodenleitfähigkeit auf dem Versuchsfeld „Tiergarten“ 2010

In der Abbildung 6.16 (rechts) sind die Erträge auf der Y-Achse über den auf ganze Zahlen gerundeten Bodenleitfähigkeiten auf der X-Achse abgetragen. Die Mähdruscherträge steigen deutlich bis zu einem Bodenleitfähigkeitswert von etwa 18 mS/m an. Die Kurven der beiden Arbeitstiefen weisen dabei in der Tendenz ähnliche Verläufe auf. Die Abbildung 6.16 belegt damit deutlich den Einfluss der örtlichen Textur- und Bodenbedingungen auf die Ertragsfähigkeit von unterschiedlichen Teilflächen auf dem Versuchsfeld „Tiergarten“. Die Auswirkungen unterschiedlicher Arbeitsintensitäten in den betrachteten Tiefenbereichen scheinen dabei von einer untergeordneten Bedeutung für die Höhe der Erträge des Weizens zu sein.

Wie gemeinsame Untersuchungen mit dem Institut für Landtechnik der Universität Bonn und dem damit verbundenen Einsatz eines Sensors zum Ermitteln der oberflächennahen Bodenfeuchtigkeit auf dem Versuchsfeld „Tiergarten“ aus dem Jahr 2009 ergaben (siehe Zwischenbericht des zweiten Projektjahres, Kap. 6.2.1), steht die für die Ertragsfähigkeit von

Böden wichtige Bodenfeuchte in einem engen Zusammenhang mit der EM38-Bodenleitfähigkeit (siehe Abbildung 6.17).

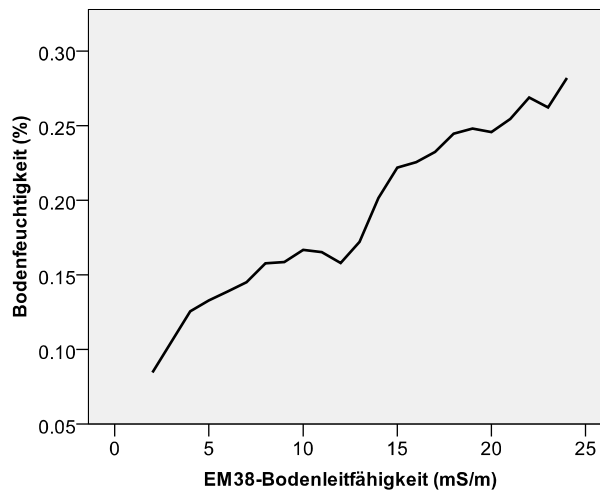


Abbildung 6.17: Zusammenhang zwischen der oberflächennahen Bodenfeuchtigkeit und den auf ganze Zahlen gerundeten Werten der EM38-Bodenleitfähigkeit

Deutlich ist der Anstieg der Bodenfeuchtigkeit bei steigenden EM38-Bodenleitfähigkeiten anhand des Graphen zu erkennen. Die Korrelation nach Pearson beträgt 0,747 und ist signifikant.

Diskussion

Die Reduktion der Arbeitstiefe der verwendeten Grubber-Scheibeneggenkombination Amazone „Centaur“ (3 Meter Arbeitsbreite) von 18 auf 10 cm konnte den Zugkraftbedarf erheblich reduzieren, was zu einer Minderung des Schlupfes im Mittel über alle Versuchsflächen von 9,9 % auf 5,9 % führte. Dieses bewirkte eine Kraftstoffeinsparung von durchschnittlich etwa 4,6 l/ha, entsprechend ca. 27% bezogen auf den Verbrauch der 18 cm tiefen Bodenbearbeitung. Parallel dazu konnte durch die Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit die Arbeitsleistung um durchschnittlich ca. 1 ha/h erhöht werden was prozentual einem Umfang von ca. 25%, bezogen auf die tiefe Bodenbearbeitung entspricht (vgl. Abbildung 6.7, links). Die Schwankungsbreite der Reduktion der Verbrauchsparameter bei Verringerung der Arbeitstiefe von 18 auf 10 cm über die Versuchsschläge war zum Teil sehr hoch und variierte im Fall des Kraftstoffverbrauchs zwischen 6 l/ha auf dem Feld „Hinterer Hüttenkrog“ und 3,3 l/ha auf dem Schlag „Scheunenkoppel“ (vgl. Abbildung 6.7, rechts) was durch die örtlichen Bodenbedingungen und deren Verteilung über die Teilflächen mit den unterschiedlich applizierten Arbeitstiefen erklärt werden kann. Bei zunehmend tonigeren Texturen erhöht sich der Kraftstoffbedarf. Das Ausmaß dieser Erhöhung ist jedoch bei einem tiefen Eingriff größer als bei einem flachen (vgl. Abbildung 6.8), wodurch es unter energetischen Gesichtspunkten daher günstiger ist die Arbeitstiefe bei der teilflächenspezifischen Bodenbearbeitung auf schweren Teilflächen zu reduzieren. Das Potential der absolut zu realisierenden Einsparung ist jedoch in erster Linie von den jeweiligen Anteilen der tiefen und flachen Bodenbearbeitung an der gesamten bearbeiteten Fläche abhängig. Bei einem

Anteil der flachen Lockerung von 50 % würde sich dementsprechend die Kraftstoffeinsparung von im Mittel 4,6 l/ha auf 2,3 l/ha reduzieren.

Die häufig diskutierten schlechten Feldaufgänge aufgrund hoher Strohaufkommen und reduzierten Einarbeitungstiefen konnten anhand der Ergebnisse der Pflanzenzählungen an Boniturpunkten mit unterschiedlichen Vorfruchterträgen und Bedeckungsgraden im Herbst 2009 nicht bestätigt werden (vgl. Abb. 6.11) was den Trend der Ergebnisse der Vorjahre bestätigt.

Die im Laufe der Vegetation weitere Entwicklung der Weizenpflanzen wird im Hinblick auf die Fragestellung in erster Linie durch die vorherrschenden Boden- und Texturbedingungen geprägt und nicht durch die Tiefe der Bodenbearbeitung (vgl. Abbildung 6.12, rechts). Die Trocken- und Blattmassebildung ist im Frühjahr 2010 zunächst auf schweren Teilflächen verlangsamt, was an der langsameren Erwärmung des Bodens und dem damit einhergehenden reduzierten Wachstum liegen kann. Diese Flächen werden auf Grund der hohen Ertragsfähigkeit durch die hohen Ernterückstände, bzw. Bedeckungsgrade repräsentiert (vgl. Abb. 6.12, links).

Die an den Boniturpunkten ermittelten Ährenzahlen und per Handbeerntung bestimmten Weizenenerträge/m² im Sommer weisen dann wieder bessere Werte an den Punkten auf schwereren, tonigeren Zonen auf. Der Effekt der Arbeitstiefe auf die Parameter ist zu vernachlässigen (vgl. Abbildung 6.13 und Abbildung 6.14).

Dem Mähdruschertrag kommt bei der Auswertung und Beurteilung der pflanzlichen Leistungen des Weizenbestandes die höchste Bedeutung zu. Er stellt das Endprodukt des ackerbaulichen Erfolges dar und beeinflusst damit letztendlich den monetären Ertrag des Landwirtes. Die Ergebnisse sind weiterhin belastbar, da eine sehr hohe Datenzahl mit einer hohen räumlichen Auflösung vorliegt und die Werte objektiv, ohne Einfluss verschiedener Zählpersonen, erhoben werden. Auch hier zeichnet sich eine starke Abhängigkeit des mittleren Ertrages von den vorherrschenden Bodenbedingungen durch eine signifikante Korrelation ab (vgl. Abbildung 6.16), was mit hoher Wahrscheinlichkeit an den variierenden Feuchtegehalten des Oberbodens liegt, deren Zusammenhang zur Bodenleitfähigkeit ebenfalls mit einer signifikanten Korrelation von 0,747 beschrieben ist (vgl. Abbildung 6.17). Anhand der Ergebnisse des Versuchsfeldes „Tergarten“ hatte die 18 cm tiefe Bodenbearbeitung auch auf leichten Flächen mit einer geringen Bodenleitfähigkeit keine Ertragsvorteile im Gegensatz zur flachen Bodenbearbeitung zur Folge (vgl. Abbildung 6.16). Die Differenzen in den mittleren Erträgen durch die zwei betrachteten Arbeitstiefen auf den verschiedenen Bodenleitfähigkeitszonen liegen im Bereich des unvermeidbaren Fehlers in der Ertragsmessung bzw. der Ertragskartenerstellung. Das intensive Lockerungsbedürfnis auf eben diesen Flächen mit einem geringeren Tongehalt wird in der Literatur jedoch häufig diskutiert. Möglicherweise ist aufgrund der bereits langjährig konservierend bearbeiteten Versuchsfläche „Tergarten“ in Verbindung mit einer organischen Düngung ein starkes Lockerungsbedürfnis aufgrund eines eingestellten Bodengleichgewichts mit entsprechendem Humusgehalt und Bodenleben nicht mehr erforderlich.

Zusammenfassung

Die Feldversuche konnten im Versuchsjahr 2009/2010 wie geplant durchgeführt werden. Die erstmalige Verwendung einer RTK-Referenzstation konnte die Genauigkeit der Satellitennavigation vor allem im Bereich der Höhenmessung erheblich verbessern. Durch den Einsatz des mit aufwendiger Messtechnik ausgestatteten Versuchsschleppers während der Bodenbearbeitung 2009 konnte wie in den Vorjahren umfangreiches Datenmaterial gesammelt und ausgewertet werden.

Die Auswertung der Verbrauchsdaten der Feldversuche 2009 bestätigt eine Kraftstoffeinsparung von im Mittel ca. 4,6 l/ha bei einer Erhöhung der Arbeitsleistung von durchschnittlich etwa 1 ha/h sofern die Arbeitstiefe von 18 auf 10 cm reduziert wird. Die örtlichen Bodenarten, die sehr gut anhand der EM38-Bodenleitfähigkeitskarten abgebildet werden konnten, üben dabei einen hohen Einfluss auf den Energieverbrauch aus und sind neben den jeweiligen flächenmäßigen Anteilen der tiefen und flachen Lockerung entscheidend für das absolut realisierbare Einsparpotential der teilflächenspezifischen Bodenbearbeitung.

Negative Effekte auf die pflanzliche Entwicklung durch die Reduktion der Arbeitstiefe konnten nicht festgestellt werden. Die an den Boniturpunkten ermittelten Feldaufgänge wurden trotz flacher Bodenbearbeitung und hoher anhand der mit dem Fotosensor gemessenen Bedeckungsgrade von mehr als 25% nicht beeinträchtigt.

Die per georeferenzierte Ertragsmessung ermittelten Mähdruscherträge als Endprodukt des ackerbaulichen Erfolges reagierten sehr stark auf die örtlichen Bodentexturen und die damit verbundene Bodenwasserverfügbarkeit. Auch hier waren die Ertragseffekte, hervorgerufen durch die Reduktion der Bodenbearbeitungstiefe zu vernachlässigen. Dementsprechend konnten auch auf Flächen mit einer geringen EM38-Bodenleitfähigkeit und einem damit einhergehenden geringen Tongehalt keine höheren Erträge auf tief gelockerten Teilflächen ermittelt werden. Anhand der dargestellten Ergebnisse liegt die Überlegung nahe gegebenenfalls die Bearbeitungsintensität zu reduzieren um Kraftstoff bzw. Arbeitszeit zu sparen und den Erosionsschutz zu erhöhen. Nachteilige Effekte auf den Ertrag wurden durch diese Maßnahme im Versuch nicht nachgewiesen.

7. Zusammenführung der Teilprojekte zum Bearbeitungsalgorithmus

Die aus Leitfähigkeitsmessungen und anderen Quellen gewonnenen Bodendaten sowie die online gemessene Strohbedeckung fließen als Eingangsinformationen in die Entscheidungsfunktion zur Vorgabe der teilflächenspezifischen Arbeitstiefe ein. Anhand des Versuchsschlages „Tergarten“ soll dies exemplarisch dargestellt werden. Zunächst muss ein Ziel-Bodenbedeckungsgrad festgelegt werden, welcher im Idealfall vor der Aussaat auf dem gesamten Schlag vorhanden sein sollte, in der Fachliteratur wird dieser in der Regel bei 30% angesetzt. Die im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes durchgeführten pflanzenbaulichen Versuche haben ergeben, dass auch deutlich höhere Bedeckungsgrade bei sachgerechter Bearbeitung für die Folgefrucht unproblematisch sind. Um aber die Akzeptanz für das belassen einer effektiven Mulchschicht bei den Praktikern zu erhöhen, wird in der folgenden Darstellung davon ausgegangen, dass Teilflächen dann „tief“ zu bearbeiten sind, wenn eine Schwelle von 30% Bodenbedeckung überschritten wird. Abbildung 7.1 (a) zeigt die aus den Messwerten interpolierte Strohbedeckungsgradkarte „Tergarten“ nach der ersten einheitlich flachen Stoppelbearbeitung, in welcher alle Teilflächen mit einer Bedeckung $> 30\%$ dunkel und alle Teilflächen $\leq 30\%$ hell eingefärbt sind.

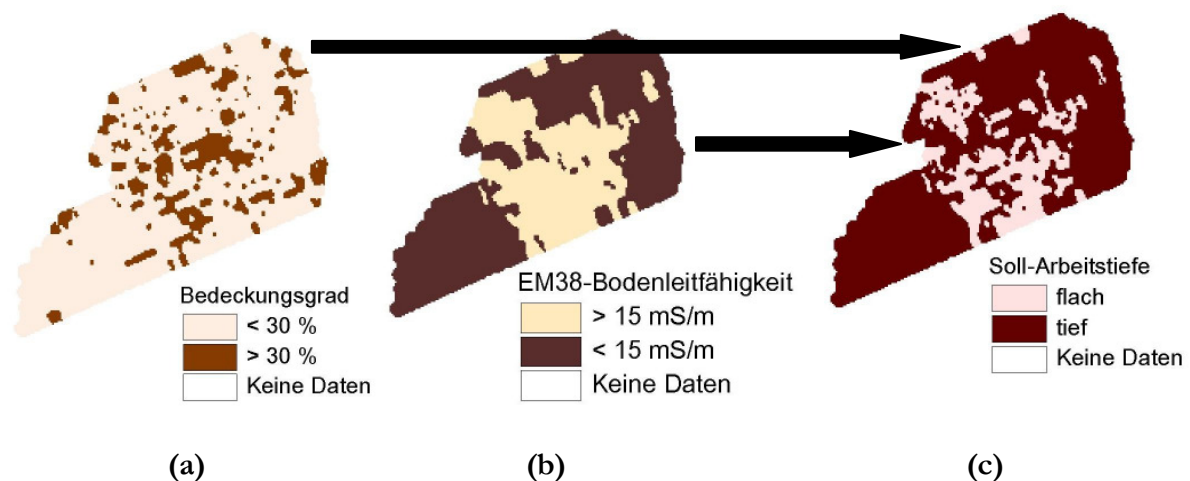


Abbildung 7.1: a) Mögliche Entscheidungsfunktion zur Vorgabe der teilflächenspezifischen Bodenbearbeitungstiefe auf dem Versuchsschlag „Tiergarten“

Die hellen Bereiche des Schlags können also nach der Eingangsgröße „Bodenbedeckung“ bei der zweiten Stoppelbearbeitung erneut flach bearbeitet werden, da hier keine schädlichen Wirkungen des Strohs auf die Folgefrucht zu erwarten sind. Abbildung 7.1 (b) zeigt die EM38-Bodenleitfähigkeitskarte des Schlags. Es wird hier davon ausgegangen, dass Teilflächen mit ≤ 15 mS/m so stark zu einer Dichtlagerung neigen, dass sie auf jeden Fall tief zu bearbeiten sind (dunkle Bereiche). Die hellen Bereiche können dagegen auch bei der zweiten Stoppelbearbeitung flach bearbeitet werden, da hier der Tonanteil ausreichend hoch ist. Vereint man nun (a) und (b) zu einer gemeinsamen Eingangsinformation für die Controllereinheit des Mulchgrubbers, so entsteht die Applikationskarte (c). Bei einem Konflikt, d.h., die eine Karte gibt „tief“ und die andere Karte „flach“ Bearbeitung vor, so ist generell die größere Arbeitstiefe zu wählen. Dadurch wird dort zwar die schützende Mulchschicht zu stark eingearbeitet bzw. der Boden tiefer als strukturell bedingt nötig gelockert, im Hinblick auf den Feldaufgang der Folgefrucht wird aber die sichere Entscheidung getroffen.

Die Applikationskarte in der Abbildung 7.1 (c) hat einen Anteil der flachen Bearbeitung von etwa 25 %. Bei den zwei entsprechend im Teilprojekt Kiel geprüften und hier beispielhaft angenommenen Arbeitstiefen von 10 cm als „flach“ und 18 cm als „tief“ Bodenbearbeitung beträgt die Kraftstoff einsparung anhand der Ergebnisse des Versuchsjahres 2009 absolut 34 Liter für die flach bearbeitete Teilfläche von ca. 6,75 Hektar. Bezogen auf die ganze Fläche von 27 Hektar würde sich somit ein Einsparpotential der teilflächenspezifischen Bodenbearbeitung von ca. 1,25 l/ha ergeben.

8. Diskussion unter dem Gesichtspunkt Umweltentlastung

Ein zentrales Ergebnis der dreijährigen Feldversuche besteht darin, dass auch bei konservierender Bodenbearbeitung häufig noch tiefer als notwendig in den Boden eingegriffen wird. Im Exaktversuch der Universität Kassel konnten in allen Versuchsjahren auch bei der höchsten

Strohmengevariante von 80 dt/ha keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Feldaufgangs und Ertrags zwischen flacher (5-7 cm) und tiefer (15 cm) Grubberbearbeitung gefunden werden. Analog wurden in dem Versuch der Universität Kiel keine signifikanten Feldaufgangs- und Ertragsunterschiede zwischen der Gesamtheit der Teilflächen mit hoher und niedriger Strohbdeckung (gemäß Online-Kamerasensor) gefunden, unabhängig von flacher (10 cm) bzw. tiefer (18 cm) Bearbeitung. – Dies bestätigt nicht nur die Projekt-Arbeitshypothese, dass aus Sorge vor zu hohen Strohmenge praxisüblich eine oft partiell zu tiefe Bearbeitung erfolgt, sondern deutet darauf hin, dass die Schadschwelle für negative Stroheffekte höher liegt als in der Literatur angegeben. In der Literatur finden sich bislang unklare Angaben für eine solche mengenbezogene Schadschwelle (Voßhenrich und Brunotte, 2004 / Dölger und Tönnsen, 2001), insgesamt ist die verfügbare Datenlage ausgesprochen dürftig. Der Kasseler Mulchsaat-Parzellenversuch dürfte die bisher umfangreichste und exakteste Untersuchung zur Verknüpfung von Strohmenge und Feldaufgang/Ertrag darstellen. Ferner eröffnet der Einsatz des im Kasseler Teilprojekt neu entwickelten Online-Kamerasensors die Analyse des teilflächenspezifischen Bodenbedeckungsgrades – welcher eng mit der auf der Feldoberfläche aufliegenden Strohmenge korreliert – in einer bisher nicht realisierbaren Größenordnung. In diesem Sinne sind die Kieler Untersuchungen zur Verknüpfung des teilflächenspezifischen Ertrags und der Pflanzenentwicklung mit dem Bodenbedeckungsgrad bzw. mit der in Abhängigkeit vom Bedeckungsgrad gewählten Arbeitstiefe bisher einzigartig, da ihnen mehrere tausend Datenpunkte zugrunde liegen. Darüberhinaus liess sich aus den Kieler Versuchen nicht die erwartete Ertragsverbesserung bei tiefer gegenüber flacher Bearbeitung der sandigen Teilflächen des Versuchsschlages ableiten. Auch diese Untersuchungen können aufgrund der an der Universität Kiel gebündelten Technik/Know-how zur Boden- und Ertragskartierung als wegweisend gelten. – Es bleibt somit festzuhalten, dass die bisher umfangreichste Untersuchung der Abhängigkeit pflanzenbaulicher Zielgrößen von Strohbdeckung und Bodentextur den Schluss nahelegt, dass in Mulchsaatsystemen eine generell flache Bearbeitung (≤ 10 cm) ohne signifikante Einbußen möglich ist. Da die bodenphysikalischen und –biologischen Effekte einer sehr flachen Bearbeitung von 5-7 cm bereits annähernd denjenigen einer Direktsaat vergleichbar sind (Vian et al. 2009, Peigné et al. 2008), können Mulchsaatsysteme daher ähnlich effektiv in Bezug auf Boden- und Klimaschutz wirken wie eine Direktsaat (Werte im Vergleich zum Pflugverfahren): Verringerung des Oberflächenabflusses und damit auch der Bodenerosion um $\geq 70\%$, Verringerung des Herbizidaustrags um ca. 70%, des Nitrataustrags um $>85\%$, der Sedimentverfrachtung um $> 90\%$, Zuwachsdifferenz an organischem Kohlenstoff von 0,5 – 0,77 t/ha/Jahr und damit Verringerung des CO₂-Emissionsvolumens um 1,9 – 2,8 t/ha/Jahr (Tebrügge 2001, Baeumer 1995, Brunotte und Sommer 1994). Hinzu kommt eine drastische Verringerung des Kraftstoffverbrauchs, welche nochmals deutlich über dem Einsparpotential praxisüblicher konservierender Bodenbearbeitung gegenüber dem Pflugverfahren anzusetzen ist (s. u.).

Da in der Praxis bei konservierender (pflugloser) Bearbeitung häufig Arbeitstiefen > 20 cm betriebsüblich sind, wird eine durchgängig sehr flache Bearbeitung bei vielen Betriebsleitern aber

aus psychologischen Gründen voraussichtlich nicht auf Akzeptanz stoßen. Hier kann die im Rahmen des vorliegenden Projektes entwickelte teilflächenspezifische Bodenbearbeitung nach dem in Kapitel 7 dargestellten Algorithmus an die Stelle einer ganzflächig tiefen Bearbeitung treten und damit auch skeptischen Landwirten eine Lösung des Problems angeboten werden. Geht man davon aus, dass dann wie in dem exemplarisch dargestellten Fall nur 25% eines Schlages sehr flach bearbeitet werden, wird nach dem Kasseler Exaktversuch auf 75% der Fläche im Mittel nur noch ein Bodenbedeckungsgrad von $\geq 20\%$ erreicht. Auf der tief bearbeiteten Teilfläche liegt der Oberflächenabfluss dann um etwa 1/3 höher als auf den flach bearbeiteten Teilflächen mit einem mittleren Bedeckungsgrad $\geq 30\%$ (Papendick und McCool 1994, Brunotte und Sommer 1994). Gegenüber generell tiefer Bearbeitung ergibt sich aber immerhin noch eine Reduktion des Run-Off und damit der Erosion um knapp 10% bezogen auf die Gesamtfläche.

Die Verbrennung fossiler Energieträger ist eine der Hauptursachen für den Anstieg des Treibhausgases CO_2 in der Atmosphäre, was inzwischen als Ursache für den Klimawandel anerkannt ist. Durch die Verbrennung von einem Liter Diesel im Motor entstehen etwa 2,63 kg CO_2 die in die Atmosphäre emittiert werden. Die Reduktion der Eingriffsintensität entsprechend der im Teilprojekt Kiel erhobenen Daten von 18 cm auf 10 cm würde für die Fläche von einem Hektar den CO_2 -Austoß um ca. 12 kg verringern. Die im Kap.7 mit teilflächenspezifischer Bodenbearbeitung behandelte Fläche von 27 Hektar würde trotz einer relativ geringen Management-Zone mit flacher Bearbeitung von nur etwa 25 % die Emission von CO_2 bereits um fast 90 kg senken. Die Ergebnisse des Projektes haben weiterhin gezeigt, dass auch eine großflächig flache Bodenlockerung nicht zu nachteiligen Ertragseffekten führt, was hier das mögliche Potential der Verminderung von CO_2 -Emissionen deutlich macht.

Die im Projekt großflächig durchgeführten Kartierungen mit dem EM38-Bodensensor haben die Abhängigkeit der pflanzlichen Entwicklung bis hin zum Ertrag von den Bodenleitfähigkeiten und den damit verbundenen Bodeneigenschaften wie Textur und Wassergehalt deutlich gemacht. Diese wichtige Erkenntnis sollte in der teilflächenspezifischen Landwirtschaft auch im Hinblick auf weitere Verfahren wie Düngung, Kalkung, Aussaat und Pflanzenschutz mehr berücksichtigt werden, um effizienter bei gleichzeitig geringeren Austrägen von Agrarchemikalien und Nährstoffen wirtschaften zu können.

Die Projektpartner beabsichtigen, die Arbeiten auch über die Laufzeit des Vorhabens hinaus weiter zu führen und insbesondere die Praxiseinführung der Mulchsaat zu fördern.

9. Präsentation der Forschungsergebnisse 2007-2010

- Posterpräsentation „Online-Messung des Bodenbedeckungsgrades“ im Rahmen des 4. Workshop Precision Farming, 15.-16. Mai 2007 an der Universität Hohenheim
- Vorstellung des Projektes auf der Veranstaltung „Präziser Landbau/Precision Farming im Dienst für Landwirtschaft und Umwelt“ am 5. Juni 2007 auf der Herzoglichen

Gutsverwaltung Grünholz in Schleswig Holstein im Rahmen der Technik- und Feldvorführungen

- Teilnahme am VDI Kongress Land.Technik 2007 und Präsentation des Projekts mit Poster und Modell auf der Agritechnica in Hannover vom 11. - 17. November 2007
- Vortrag „Sensor system for implement control in site-specific tillage“, ASABE AIM 2008, Providence, Rhode Island (USA).
- Vorträge „Teilflächenspezifische Bodenbearbeitung bei Mulchsaatsystemen“, „Entwicklung einer automatisierbaren Referenzmethode zur Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades bei der Mulchsaat“ und „Förderung der Mulchsaat durch Entwicklung und Erprobung einer Sensor- und Verahrenskombination zur Präzisionsbodenbearbeitung“ auf der VDI-Tagung Land.Technik im September 2008 an der Universität Hohenheim mit entsprechenden Langfassungen im Tagungsband. Hieraus resultierte ein Eintrag des Projektes in das Jahrbuch Agrartechnik für 2009 der Max-Eyth-Stiftung.
- Der Artikel “Development of an automatable Reference Method for Determination of Percent Residue Cover in Conservation Tillage” ist bei den *Transactions of the ASABE* eingereicht.
- Vortrag „Förderung der Mulchsaat im Ökolandbau - das Auflaufverhalten von Zwischenfrüchten“ auf der 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau in Zürich, Februar 2009.
- Präsentation des Projektes auf einer Praktikerschulung der Deutschen Lehranstalt für Agrartechnik (DEULA) in Witzenhausen im Februar 2009.
- Vortrag: „Förderung der Mulchsaat durch Präzisionsbodenbearbeitung“ auf der 59. Öffentlichen Hochschultagung der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der CAU im Januar 2009 mit einer entsprechenden Langfassung im Tagungsband
- Vortrag: „Technik speziell für Lohnunternehmer? Teilflächenspezifische Bodenbearbeitung durch LU gegenüber Eigenmechanisierung der Landwirte“ auf einem Active-Seminar der Amazonen-Werke im Februar 2009 in Hude
- Präsentation des Feldversuchs und des Stroh-Sensors in einem Fortbildungsseminar für junge Landwirte in der DEULA Witzenhausen 9. März 2009

- Präsentation von Versuchsergebnissen zur teilflächenspezifischen Bodenbearbeitung mit Ausstellung des Versuchsschleppers und Grubber-Scheibeneggenkombination auf dem Feldtag des Versuchsgutes Hohenschulen der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel im Juni 2009
- Präsentation von Versuchsergebnissen zur teilflächenspezifischen Bodenbearbeitung mit Ausstellung des Versuchsschleppers und Grubber-Scheibeneggenkombination auf dem Hochschul- und Beratertag der Amazonas-Werke in Huntlosen im Juni 2009
- Präsentation des Projektes und des EM38-Bodenleitfähigkeits-Messverfahrens auf einer Praktikerschulung der Deutschen Lehranstalt für Agrartechnik (DEULA) in Rendsburg im Januar 2010.
- Praxistag zur Bodenbearbeitung auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhäusen, Vortrag und Podiumsdiskussion 15.9.2009
- Feldtag in Kiel 01.10.2009, Präsentation und öffentliche Diskussion aller Projektteile in Form von drei Vorträgen (Uni Kassel: Feldversuche, Kamerasensor / Uni Kiel: Arbeitstiefenregelung nach Bodendaten), Praxisvorführung der Tiefenregelung online mittels Kamera und offline anhand von Bodendaten auf einem Versuchsschlag des ILV, Herausgabe einer Presseerklärung des Kieler Landwirtschaftsministeriums zum Feldtag
- Vortrag bei der Beratertagung für Ökolandbauberater in Bad Gandersheim 4.11.2009
- Fachvorträge auf der Agritechnica am 10.11.2009 im Rahmen der RKL-Forumsveranstaltung „Angepasste Bodenbearbeitungstiefen“ zur *World Soil and Water Show*.
- Präsentation des Forschungsprojektes auf dem gemeinsamen Agritechnica-Messestand der Universitäten Kassel und Kiel mittels einer Interaktiven Bildschirmsimulation der Arbeitstiefenregelung und Informationsmaterial
- Vortrag im Workshop des DFG Graduiertenkollegs „Regulation of soil organic matter and nutrient turn over in agriculture“ 12.11.2009
- Artikel (in Druck) in Landtechnik 01/2011, KTBL Darmstadt

- Veröffentlichung „Intensität teilflächenspezifisch anpassen“, Neue Landwirtschaft 2/2010, S. 57-61, (Schwerpunktthema Bodenbearbeitung)
- Veröffentlichung „Beitrag zur Erosionsminderung – Teilflächenspezifische Bodenbearbeitung“, Ackerplus 9/2010, S.6-12
- Veröffentlichung “Development of an algorithm for online measurement of percent residue cover”. *Biosystems Engineering*, Vol. 106(3), July 2010, 260-267
- Abschluss zweier Promotionsarbeiten im Rahmen des Forschungsprojektes, öffentliche Disputation und Veröffentlichung in der Reihe Forschungsbericht Agrartechnik der Max-Eyth-Gesellschaft des VDI:
 - Florian Pforte (2010), „Entwicklung eines Online-Messverfahrens zur Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades bei der Stoppelbearbeitung zu Mulchsaatverfahren“, VDI-MEG 488, ISSN 0931-6264
 - Birgit Wilhelm (2010), „Konservierende Bodenbearbeitung im Ökolandbau – Analyse einer Verfahrenstechnik im Kontext der Bodenfruchtbarkeit“, VDI-MEG 493, ISSN 0931-6264