



Analyse der Ertragsunterschiede bei Winterweizen unter langjährig verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen

Eingereicht von **Alexander Waberer**

Betreuung:
Dipl.-Ing. Dr. Gernot Bodner
Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Peter Liebhard
Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Helmut Wagentrisl

Department für angewandte Pflanzenwissenschaften und Pflanzenbiotechnologie

Wien, Juli 2011

Danksagung:

Ich bedanke mich bei meinen Betreuern Dipl.-Ing. Dr. Gernot Bodner,
Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Peter Liebhard, Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn.
Helmut Wagentristsl für die Betreuung dieser Masterarbeit.

Inbesondere möchte ich mich bei Dr. Gernot Bodner bedanken, für die vielen Stunden gemeinsamer Datenauswertung, die vielen Hilfestellungen zu dieser Arbeit, vor allem in statistischen Belangen, sowie die kleinen Hinweise, die notwendig sind um nicht vom richtigen Weg abzukommen. Die Zusammenarbeit hat mir viel Spaß gemacht und ich konnte für meine spätere Zukunft einiges Lernen.

Mein großer Dank gilt meinen Eltern die mir dieses Studium ermöglicht haben und mich, seit ich denken kann, in all meinem Tun unterstützen. DANKE!

"Wer immer tut, was er schon kann,
bleibt immer das, was er schon ist."
Henry Ford.

"Die reinste Form des Wahnsinns ist es,
alles beim Alten zu lassen und trotzdem zu hoffen,
dass sich etwas ändert."
Albert Einstein

Inhaltsübersicht

1. Einleitung	5
1.1. Hypothesen	8
2. Ausgewählte Literatur	9
2.1. Direktsaat – Entwicklung und Verbreitung	9
2.1.1. Entwicklung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme	9
2.1.2. Verbreitung der Direktsaat	11
2.2. Bodenbearbeitung	12
2.2.1. Erosion	13
3. Saatechnik	19
3.1. Konventionelle Saat (Pflug)	20
3.2. Mulchsaat (Grubber)	21
3.3. Direktsaat	22
3.3.1. Sähetechnik	23
4. Bodenbearbeitung und Bodenschutz	25
4.1. Bodenerosion	25
4.2. Verdichtungen und Bodenstruktur	26
4.3. Humus	26
4.4. Wasser	27
4.4.1. Wasserverbrauch	29
4.4.2. Unkräuter	31
5. Material und Methoden	32
5.1. Standort	32
5.1.1. Versuchsstandort Raasdorf	32
5.1.2. Boden	33
5.1.3. Klima	34
5.2. Versuchsanlage	36
5.3. Methoden - Langjährig	39
5.3.1. N-min	39
5.3.2. Bodenwasser	39
5.3.3. Ertrag	39
5.4. Methoden Vegetationsjahr 2009/2010	40
5.4.1. Biomasse	40
6. Ergebnisse und Diskussion	42
6.1. Langjährige Untersuchungen	42
6.1.1. Klimatische Charakterisierung	42
6.1.2. Nmin- Ergebnisse bei Winterweizen in den Vegetationsjahren 1999 bis 2010	46
6.1.3. Bodenwasser	49
6.1.4. Korn- Ertragsverhalten bei Winterweizen bei unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen	52
6.1.5. Erntefeuchte	54

6.2. Biomasse oberirdisch	55
6.2.1. Gesamt Biomasse	55
6.2.2. Blatt	56
6.2.3. Stängel	57
6.2.4. Ähre und Harvest Index	59
6.2.5. Ertrag	60
6.2.6. Leaf Area Index	61
6.3. Hypothesen	62
6.3.1. Niederschlag und Ertrag	62
6.3.2. Mulchschicht	63
6.3.3. Ertragsdifferenz als Funktion der Wasserersparnis	64
7. Schlussfolgerung	65
8. Zusammenfassung	68
9. Abstract	69
10. Abbildungsverzeichnis	70
11. Tabellenverzeichnis	73
12. Literaturverzeichnis	74

1. Einleitung

Die Landwirtschaft befindet sich im ständigen Umbruch. Neue Produktionsverfahren, stark schwankende Rohstoffpreise und variierende Vorgaben hinsichtlich Umweltschutz, vor allem aber ökonomische und naturschutzrelevante Forderungen beeinflussen zunehmend die Entscheidungen des einzelnen Landwirtes:

Die Landwirtschaft muss vorrangig die ausreichende Versorgung mit Nahrungsmitteln sicherstellen. In Zukunft wird auch die Energie- und Rohstoffproduktion eine größere Bedeutung erlangen daher darf der Umweltschutz nicht außer Acht gelassen lassen.

In diesem Spannungsfeld unterschiedlicher Vorgaben und Wünsche wird ein ständiges Hinterfragen und Anpassen der Produktionsstrategie notwendig. Obwohl es Produktionstechniken gibt, um größere Flächen ökonomisch günstiger und naturgerechter zu bewirtschaften gibt es oft Vorbehalte gegen neuartige Produktionsverfahren. Vielfach werden diese als „Moden“ abgetan. Einige erfordern jedoch genauere Betrachtung. Besonders die Direktsaat, wobei hier nicht von einem neuem Verfahren sprechen kann, denn diese Saattechnik wird schon seit dem Altertum angewandt.

Die Direktsaat oder No Till wird mittlerweile weltweit erfolgreich eingesetzt und hat in einigen Ländern die Produktionsweise grundlegend verändert. Sie wird aufgrund der erforderlichen speziellen Sämaschine noch sehr kritisch gesehen. In der vorliegenden Arbeit wird versucht, die Ergebnisse der Direktsaat-Versuchen, welche am Standort Groß Enzersdorf (NÖ) mehrjährig durchgeführt wurden, hinsichtlich ihrer pflanzenbaulichen Eignung zu beurteilen.

Die kritische Betrachtung des Systems „Direktsaat“ erfordert zuerst die Klärung des Systems an sich: Bei Direktsaat wird der Boden nicht bearbeitet, sondern soll alleine durch natürliche Prozesse (physikalisch, chemisch, biologisch) gelockert und stabilisiert werden. Leider wird dieser Begriff sehr oft falsch verwendet, denn nur den Arbeitsschritt Saat mit einer für Direktsaat geeigneten Maschine durchzuführen ist eine „Mulchsaat“, aber jedoch keine Direktsaat. Vielmehr gibt es in der Praxis sehr oft Verwirrung bei der korrekten Bezeichnung, denn Direktsaat ist ein Bodenbearbeitungssystem und daher als langjährige Maßnahme anzusehen.

Die Vorteile der Direktsaat sind:

Ersparnis an Arbeitszeit, die bekanntlich der teuerste Faktor im Produktionsprozess ist, oder Diesel. Der Landwirt kann aber auch weiter in die Zukunft denken und möchte der Erosion

aktiv etwas entgegensetzen. Der entscheidende Vorteil des System ist die deutliche Reduktion der Erosion.

Das Problem der Erosion wird stets nur in Ausnahmejahren (Niederschlag, Wind) wahrgenommen. Erosion ist ein stetiger und kapitalvernichtender Prozess! Jährlich werden tonnenweise hochwertige Feinerde abgetragen ohne es zu merken!

Zu dem gehört zur kritischen Betrachtung auch eine Erwähnung der negativen Aspekte: Direktsaat ist kein einfaches System. Sie bedarf einer speziellen Sähetechnik, welche in Europa noch nicht von einem flächendeckenden Händlernetz angeboten wird.

Weiters verändert diese die Bewirtschaftungsweise fundamental, neue Unkräuter, vor allem mehrjährige, treten verstärkt auf, die bei „normaler Bewirtschaftung“ normalerweise kein Problem darstellen.

Hervorzuheben ist, dass bei Direktsaat die Anwendung eines Totalherbizides meist erforderlich wird, das heißt der störende Bewuchs wird mit einem nicht selektiven Pflanzenschutzmittel abgetötet. Weltweit ist der bevorzugte Wirkstoff Glyphosat. Dieser Flaschenhals im System muss sehr kritisch gesehen werden, da es Bedenken hinsichtlich der Auswirkung dieses Wirkstoffes auf den Boden und den Bodenwasserhaushalt gibt. In Gebieten in denen die Niederschlagsmengen den begrenzenden Faktor darstellt bietet die Direktsaat eine Lösung, sich durch verminderte Bodenbewegung Wasser zu sparen. Da durch jede Bodenbearbeitung Wasser verloren geht und Boden erodiert werden kann, ist für Trockengebiete in Österreich (Pannonischer Raum) die Direktsaat eine mögliche Alternative. Bei Direktsaat treten meist große Schwankungen hinsichtlich Ertrag und Qualität des Erntegutes auf. Die Ursachen sind vielfältig. In dieser Arbeit werden die Ertragsschwankungen ermittelt und es wird versucht die komplexe Phase der Ertragsbildung zu bearbeiten, die direkt mit der Wasserversorgung verbunden ist. Eine der Hauptursachen liegt in der Sähetechnik. Eine Direktsaatmaschine ist so gut, wie ihr Vermögen, das Saatgut auch bei trockenen Bedingungen in den Boden zu bringen. Bei schwachem, oder geringem Feldaufgang wird auch mit der größten Mühe kein zufrieden stellender Ertrag möglich sein. Die Direktsaat ist besonders geeignet für Gebiete mit geringem Niederschlag. Die Versuche wurden in Raasdorf (östliches Niederösterreich) durchgeführt. Die unterschiedlichen Verfahren sind an die praktische Bearbeitungstechnik angelehnt, das heißt von intensiver Bearbeitung (Pflug) zu weniger intensiver Bearbeitung (Grubber) bis hin zu extensiver (keiner) Bearbeitung (Direktsaat).

Die weniger intensive Arbeit oder Bearbeitungsintensität wird als reduzierte Bearbeitung bezeichnet und kann nachfolgend auch als Mulchsaat geführt werden und stellt einen Kompromiss zwischen den beiden „Extremvarianten“ Direktsaat und konventionelle Pflugbearbeitung dar. Besonderes Augenmerk gilt hier der Stoppelpbearbeitung nach der

Ernte: Hier steht man vor der Wahl diesen Bearbeitungsgang entweder mittels wühlenden Werkzeugen (Grubber) oder leicht wendenden Werkzeugen (Scheibe) durchzuführen. Da das Verfahren der Mulchsaat sehr flexibel ist, ist ein Verzicht auf einen Arbeitsgang mit oder ohne Anwendung eines Totalherbizid möglich. Die Stoppelbearbeitung wird sehr flach durchgeführt um ein zügiges Auflaufen des verbliebenen Samenpotentials der Vorfrucht zu garantieren. Wenn dies gewährleistet ist, kann in einem oder mehreren seichten Arbeitsgängen das Saatbeet hergestellt werden.

Für die Saat wird keine spezialisierte Sähmaschine benötigt, eine Scheibensähmaschine reicht aus. Der Auflauf der angebauten Frucht verläuft deutlich langsamer als bei der Bearbeitung mittels Pflug. Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die Wirkung der Ernterückstände auf die Nachfrucht. Bei sehr großen Rückstandsmengen (z.B. Körnermais) kann es hier zu Beeinflussungen kommen.

Zur Beurteilung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme wurden die Daten der Vegetationsperiode 2009/2010 bearbeitet. Um die Schwankungen des Ertrages oder der Biomasse im Allgemeinen besser beschreiben zu können, wurden auch die vorliegenden langjährigen Versuchsdaten aus dem angeführten Versuch miteinbezogen.

1.1. Hypothesen

Die Arbeit bewertet die Auswirkungen reduzierter Bodenbearbeitung im Vergleich zum jährlichen Pflügen auf den Ertrag. Die Direktsaat, die Variante mit dem geringsten Input, wird im Produktionssystem genauer betrachtet. Es drängt sich die Frage auf ob Direktsaat eine Verbesserung der Ist- Situation erreichen kann bzw. dieses System so optimiert werden kann, dass es zumindest gleiche, im Idealfall höhere Erträge bringt. Es muss die Auswirkung dieses Systems auf den Boden in der Mehrfachfunktion untersucht werden. In wie weit beeinflusst die Nicht-Bearbeitung des Bodens die N-Dynamik oder die Bodenwasserdynamik? Wie groß ist der Einfluss auf die Stickstoffmineralisierung? Dies lässt folgende Annahmen zu:

- Die vorhandene Mulchschicht reduziert die Verdunstung.
- Kommt dieser Effekt besonders in Trockenjahren zum Tragen dann kann dieser Effekt in Trockengebieten langfristig Erträge zu sichern
- Kann man aus der veränderten N/Wasserdynamik einen Effekt auf den Ertrag ableiten
- Gibt es Unterschiede in der Bildung der Gesamtbiomasse der Weizenpflanzen

2. Ausgewählte Literatur

2.1. Direktsaat – Entwicklung und Verbreitung

Der Pflug galt gemeinhin als das wichtigste Werkzeug eines Landwirtes um langfristig Ertrag sicherzustellen. Über Jahrhunderte wurde in Europa der Pflug angewendet; eine kritische Betrachtung dieses Verfahren fand lange Zeit nicht statt.

Anfang der 90iger Jahre änderte sich das bedingungslose Festhalten an dieser Art der Bodenbearbeitung und Wissenschaftler, Landwirte und Berater begannen sich ernsthaft mit dem Thema Bodenbearbeitung ohne Pflug auseinanderzusetzen (KÖLLER 2001). Mittlerweile gilt Direktsaat als praxistauglich und ausgereift. Der zunehmende ökonomische Druck führt dazu, dass auch in Europa der No Till- Fläche ausgeweitet wird. Die Fläche steigt jährlich um ca. 5,3 Mio. ha (KASSAM 2009).

2.1.1. Entwicklung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme

Reduzierte Bodenbearbeitung und No Till werden schon seit Jahrtausenden von „primitiven Kulturen“ eingesetzt, schon aus dem Grund sich Muskelkraft zu ersparen und – ähnlich der heutigen Zeit – eine größere Fläche zu bewirtschaften (DERPSCH 2004).

Im 18. Jahrhundert versuchte Jethro TULL den Pflug durch ein grubberähnliches Gerät zu ersetzen. 1828 übersetzte Haumann den Bericht von Alexander Beatson aus England, der auf seiner Farm statt des Pfluges erfolgreich einen Grubber zur Bodenbearbeitung einsetzte. 1922 berichtet GLANZ über seine Erfahrungen mit dem Ackerbau ohne Pflug und stellt fest, dass für eine gute und nachhaltige Bodengare der Pflug eher nachteilig sei. Da der Pflug auch bei Bodenzuständen anwendbar sei, bei denen durch Bearbeitung eine starke Schädigung des Bodens entstehe, kommt GLANZ zu folgendem Urteil über den Streichblechpflug: „Er sollte aber als schädliches Gerät staatlich verboten werden, damit er kein Unheil mehr stiften kann“ (KÖLLER 2001).

Erstmal untersucht wurde der Ackerbau ohne Pflug in den zwanziger und dreißiger Jahren von RUSSEL (LINKE 1998). Dabei zeigte sich, dass die Erträge weitgehend konstant blieben und somit als unabhängig vom Bodenbearbeitungssystem zu sehen waren. Als problematisch erwiesen sich allerdings bei den Varianten ohne Pflug die mechanische Unkrautkontrolle und, bei starker Lockerung und Zerkleinerung des Bodens durch eine Fräse, Verdichtungen und Verschlammungen.

Der bedeutendste Nachteil intensiver Bodenbearbeitung mit dem Pflug ist die erhöhte Gefahr der Bodenerosion. Im Brundtland Bericht werden die durch Erosion verursachten Verluste auf 6 bis 7 Mio. ha pro Jahr geschätzt. Diese Nutzfläche geht durch Wind- und Wassererosion, der Landwirtschaft unwiederbringlich verloren (KÖLLER 2001). Boden kann nicht vermehrt werden.

In den Getreideanbaugebieten der USA verursachte die intensive Bodenbearbeitung mit Pflug in den dreißiger Jahren extreme Winderosion und Staubstürme, unter denen ganze Landstriche versanken und fruchtbare Ackerflächen zerstört wurden. Dies führte zu einem Umdenken und der Pflug wurde zunehmend kritisiert, wie FAULKNER 1947 in seinem Buch „Ploughmen’s Folly“ beschreibt: „no one has ever advanced a scientific reason for ploughing“.

Anders die Situation in Europa: Hier setzte das Umdenken erst viel später ein, teilweise erst durch ökonomischen Druck. Die Bodenerosion wird auch derzeit von den Landwirten kaum als Problem wahrgenommen.

Die Umsetzung der Direktsaat wurde erst durch die Einführung geeigneter Herbizide möglich, da andere Möglichkeiten der Unkrautkontrolle aus ökonomischen Gründen ausschieden. Die Herbizide müssen die Begleitvegetation, vor allem Gräser, zuverlässig abtöten, ohne die Fruchtfolge zu beeinträchtigen. In den USA wurde dies 1959 durch die Einführung von Atrazin möglich (LINKE 1998).

Eine Erleichterung für den Ackerbau im Allgemeinen und der Durchbruch in der chemischen Unkrautbekämpfung insbesondere bei Direktsaat stellte die Einführung von Glyphosat dar (BAKER 2006). Dieses Herbizid wird über die grünen Pflanzenteile aufgenommen und wirkt systemisch. Damit wurde auch eine nachhaltige und wirkungsvolle Bekämpfung von Wurzelunkräutern möglich.

1981 kam Chlorsulfuron als erster Vertreter der Sulfonylharnstoffe auf den Markt. Bis zum Jahr 2010 sind eine ganze Reihe weiterer Wirkstoffe aus der Gruppe der Sulfonylharnstoffe auf dem Markt, die systemisch wirken und sehr unterschiedliche Wirkungsspektren haben. Damit wurden die Möglichkeiten der Unkrautkontrolle bei Direktsaat erheblich erweitert (KÖLLER 2001).

2.1.2. Verbreitung der Direktsaat

Die ersten Versuche mit Direktsaat fanden in den USA im Jahr 1950 statt. Die No Till Fläche stieg von diesem Zeitpunkt kontinuierlich an und erreichte im Jahr 2007 bereits ein Verbreitung von 25,5 % der Ackerfläche der USA (KASSAM 2009).

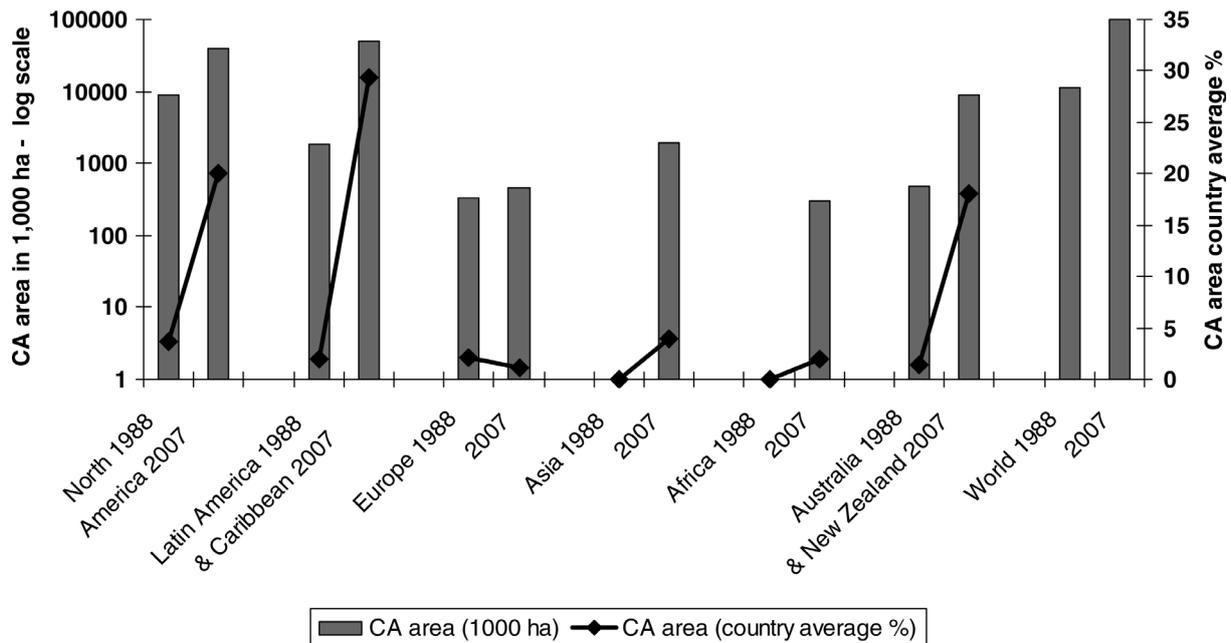


Abbildung 1: Development of Conservation Agriculture over the last 20 years by world region in total area (ha) and as average percentage across the adopting countries of the respective region (from FAO, 2008)

DERPSCH schätzt die Verbreitung der No Tillage Fläche auf 105 Mio. ha im Jahr 2008. Dies zeigt das massive Interesse an dieser Technik, wenn man davon ausgeht, dass im Jahr 1999 nur 45 Mio. ha auf diese Weise bestellt wurden.

Als führend in der Anwendung von Direktsaat kann Südamerika mit 60% Verbreitung gesehen werden (KASSAM 2009). Besonders hervorzuheben ist hierbei Brasilien: Herbert Bartz begann im Jahr 1971 bereits mit Pflugverzicht. Es dauerte in etwa 20 Jahre bis Brasilien eine Mio. ha No Till Fläche erreichte. Ab diesem Zeitpunkt stieg die Verbreitung exorbitant. In Brasilien bewirtschafteten 70% der Farmer ihre Flächen konsequent pfluglos, das bedeutet diese Flächen werden nicht mehr gepflügt. Dem hingegen bewirtschafteten 90% der restlichen Farmer ihre Flächen in Rotation, das heißt einige Jahre pfluglos um dann wieder zu pflügen (DERPSCH 2010).

In Europa ist die pfluglose Anbautechnik noch nicht weit verbreitet. Wie aus Abb. 1 zu entnehmen, gibt es nur in Afrika weniger No Till Fläche als in Europa.

Dies ist wohl einerseits auf das mangelnde Problembewusstsein betreffend Erosion (LINKE 1998) andererseits auf die begrenzte Auswahl von Direktsaatmaschinen zurückzuführen.

Somit sind die 5 führenden Direktsaatnationen

Tab. 1: Führende Direktsaatnationen 2007/2008 aus Derpsch et. al. Informationen aus: 1) CTIC, 2007; 2) FEBRAPDP, 2005/06; 3) AAPRESID, 2006; 4) Dr. Doug McKell, Soil Conserv. Council of Canada, 2006; 5) Bill Crabtree, 2008; (DERPSCH 2011)

Nation	Fläche in ha
USA ¹⁾	26.593.000
Brasilien ²⁾	25.502.000
Argentinien ³⁾	19.719.000
Canada ⁴⁾	13.481.000
Australien ⁵⁾	12.000.000

Der Vergleich zwischen den Kontinenten:

Tab. 2: No tillage Fläche nach Kontinent (DERPSCH 2010)

Kontinent	Fläche (ha)	Prozent zur Gesamtfläche
Südamerika	49.579.000	46.8
Nordamerika	40.074.000	37.8
Australia & Neuseeland	12.162.000	11.5
Asien	2.530.000	2.3
Europa	1.150.000	1.1
Afrika	368.000	0.3
Welt total	105.863.000	100%

Europa befindet sich also an vorletzter Stelle, ein großer Rückstand hinsichtlich effizienterer landwirtschaftlicher Produktion.

2.2. Bodenbearbeitung

Um gute Wachstumsbedingungen zu erreichen, ist es ein Hauptziel der Bodenbearbeitung, ein physikalisch günstiges Bodengefüge in der Ackerkrume mit einem physikalisch ungestörten Übergang zum Unterboden zu schaffen. Der Widerspruch zwischen a.) dem Boden als Pflanzenstandort und b.) dem Boden als Fahrbahn für Maschinen und Transportfahrzeuge lässt die Beschreibung eines „optimalen“ Bodengefüges mit Hilfe

quantitativer Angaben nur schwer zu (BRUNOTTE et. al. 2009). Es müsste nicht nur an vielen Orten, sondern auch in unterschiedlichen Tiefen gemessen werden (BAEUMER 1992).

Die Grundbodenbearbeitung soll den Luft-, Wasser-, Wärmehaushalt und den Bodenwiderstand positiv beeinflussen. Vor dem Hintergrund von Kosteneinsparung und Bodenschutz ist das Ausmaß einer jährlich tiefen Lockerung kritisch zu überdenken (BRUNOTTE et. al. 2009).

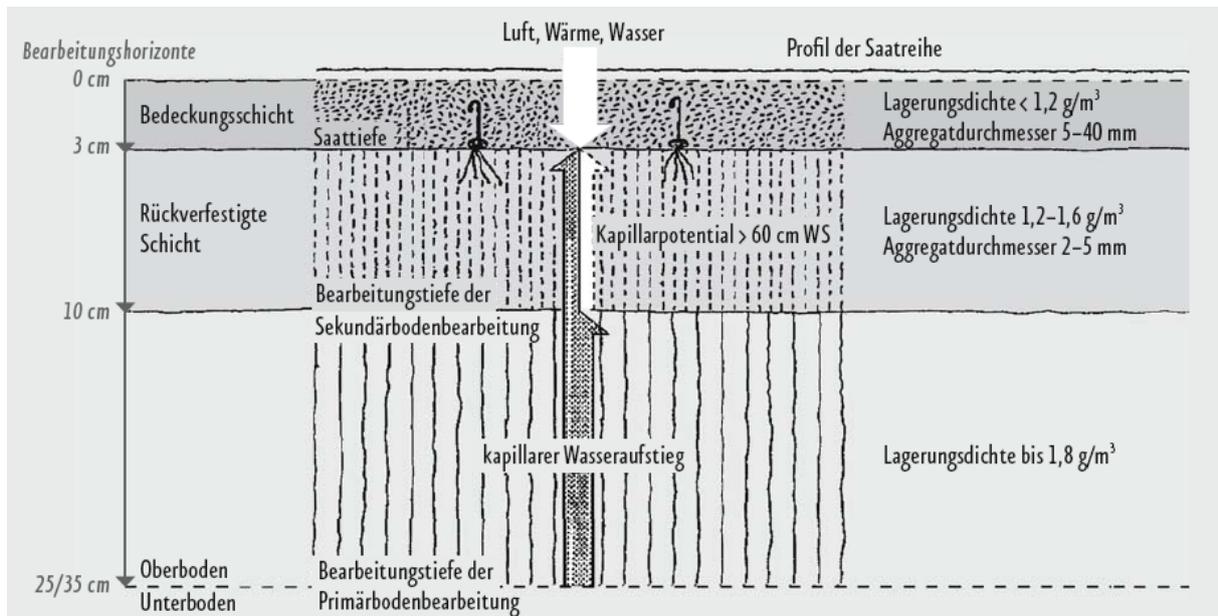


Abb. 2: Aufbau eines idealen Saatbetts von Zuckerrüben/Mais nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung in erosionsgefährdeten Hanglagen (verändert nach IfL, Bonn)

Keimendes Saat- und Pflanzgut benötigt eine verkrustungsfreie Bedeckung; die Keimwurzeln brauchen einen leicht zugänglichen, wasserführenden Saathorizont. Dementsprechende Anforderungen an die Bodenbearbeitung sind in Abb. 2 dargestellt. Mit der Saatbettbereitung müssen heute neben Krümelung, Einebnung und Rückverfestigung auch solche Ziele verfolgt werden, die vornehmlich den Bodenschutz berücksichtigen, indem organische Rückstände an der Oberfläche belassen oder nur flach eingearbeitet werden (BRUNOTTE et. al. 2009).

2.2.1. Erosion

Bodenerosion wird von Oberflächenwasser verursacht, welches nicht in den Boden eindringt. Im Allgemeinen geht man davon aus, dass die Erosion ein natürliches Faktum ist, und somit nur schwer zu beeinflussen. Die Erosion wird meist durch Bewirtschaftungsfehler verursacht (DERPSCH 2010). Laut Definition in KTBL 1998: *Unter Bodenerosion (Wassererosion,*

Winderosion) werden in nachfolgendem Konsens die durch Eingriffe des Menschen ermöglichten und durch erosive Niederschläge oder erosive Winde ausgelöste Prozesse der Ablösung, des Transportes und der Ablagerung/Akkumulation von Bodenpartikeln verstanden.

Weltweit sind fast 2000 Mio. ha Boden durch menschliche Aktivitäten degradiert, das sind 15% der Landoberfläche der Erde (FRIELINGHAUS in KTBL 1998).

Die „Konservierende Bodenbearbeitung“ kann die Folgen der Wind- und Wassererosion mindern.

Effect of Soil Coverage on Soil Erosion Hazard

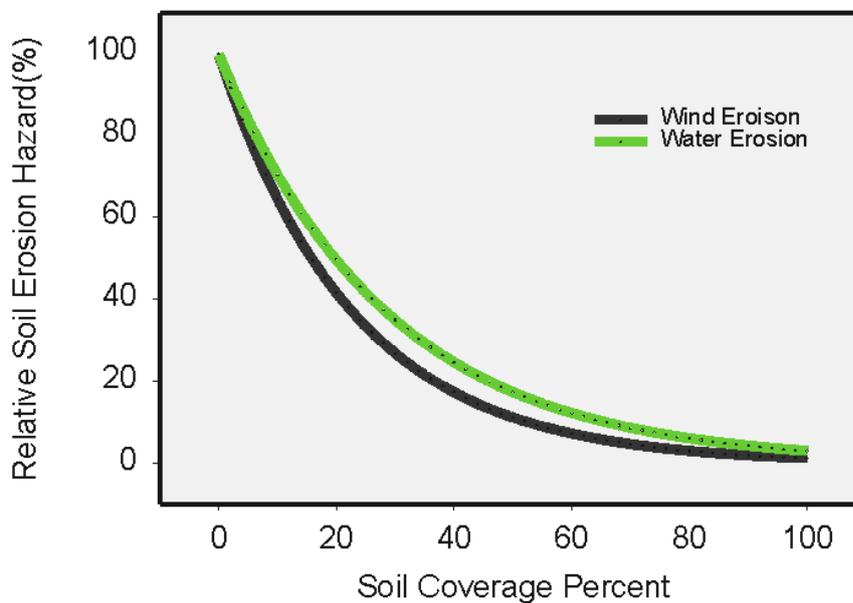


Abb. 3: Effekt der Bodenbedeckung auf die Erosionsgefahr (DERPSCH 2010)

Wie in Abb. 3 ersichtlich, nimmt die Gefahr der Abschwemmung mit zunehmender Bodenbedeckung ab.

Da die landwirtschaftlich genutzten Böden über das Jahr sehr oft gänzlich ohne Bodenbedeckung belassen werden, muss dieser Umstand gesondert betrachtet werden:

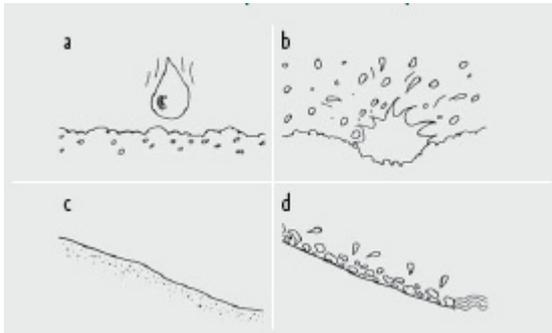


Abb. 4: Ablauf des Erosionsprozesses (DERPSCH 2010)

Bodenerosion hängt direkt und indirekt von der Bodenbearbeitung ab. So fördert z.B. ein gepflügter, feinkrümelig bearbeiteter Acker, die Oberflächenverschlammung und damit den Bodenabtrag. Die hohe Energie der Regentropfen wird an die Oberflächenkrümel abgegeben und zerstört diese (Abb. 2a und 2b). Das abgesprengte Feinmaterial verstopft die wasserführenden Poren (Abb. 2c), sodass Niederschlagswasser oberflächlich ablaufen muss (Abb. 2d) (BRUNOTTE 2009).

Um den möglichen Bodenabtrag und damit die potentielle Erosion zu beurteilen, können verschiedene Methoden eingesetzt werden.

Eine einfache Formel ist hierzu die Bodenabtragsformel nach WISCHMEIER (1987):

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

A	Mittlerer Bodenabtrag
R	Niederschlagsfaktor
K	Substratfaktor
L	Hanglängenfaktor
S	Hangneigungsfaktor (Topographiefaktor)
C	Bedeckungs- und Bewirtschaftungsfaktor
P	Bodenschutzfaktor

Tab. 3: Bodenabtragsformel (WISCHMEIER 1987)

Die europäische Kommission hat sich zum Ziel gesetzt, Erosion aktiv zu verhindern. Es wird Landwirten eine monetäre Unterstützung für Umstieg auf Direkt- oder Mulchsaat angeboten. Weiters findet ein Monitoring statt, welches von Erosion gefährdete Gebiete ausweisen soll:

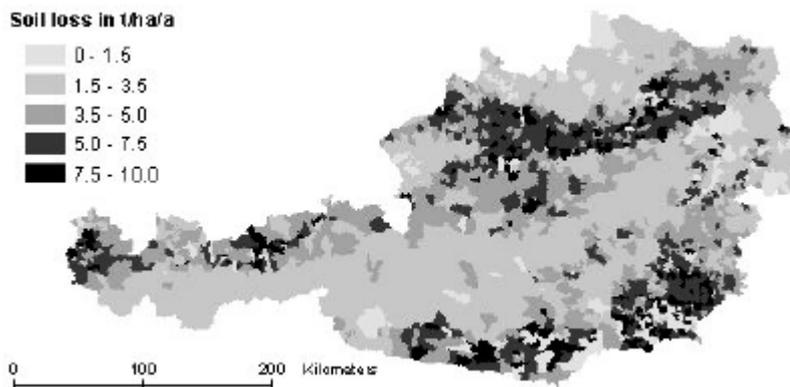


Abb. 5: Bodenabtragsverluste in Österreich basierend auf USLE

Abb. 5 zeigt die potentiell gefährdeten Gebiete in Österreich berechnet mit USLE (Wischmeier and Smith's, Allgemeine Bodenabtragsgleichung), das als Model auch von der FAO angewandt wird.

Es gibt mehrere Ansätze die Erosion zu beschreiben. Um einen besseren Überblick über Landnutzung und Bodenbedeckung zu erhalten, rief die Europäische Kommission 1985 das CORINE (Coordination of information on the environment)- Programm ins Leben. Hiermit sollte die Landnutzung zusammengefasst und digital verwertbar gemacht werden. Zugrunde liegt diesem Programm USLE, da es als eine einfach anzuwendende Methode gilt. Unbedingt beachtet werden muss aber, dass das CORINE Programm speziell für den mediterranen Raum gestaltet wurde!

Die nachfolgende Abbildung ist mit Daten aus dem CORINE Programm erstellt worden.

Für Süd- Europa wurden folgende Gebiete als gefährdet eingestuft:

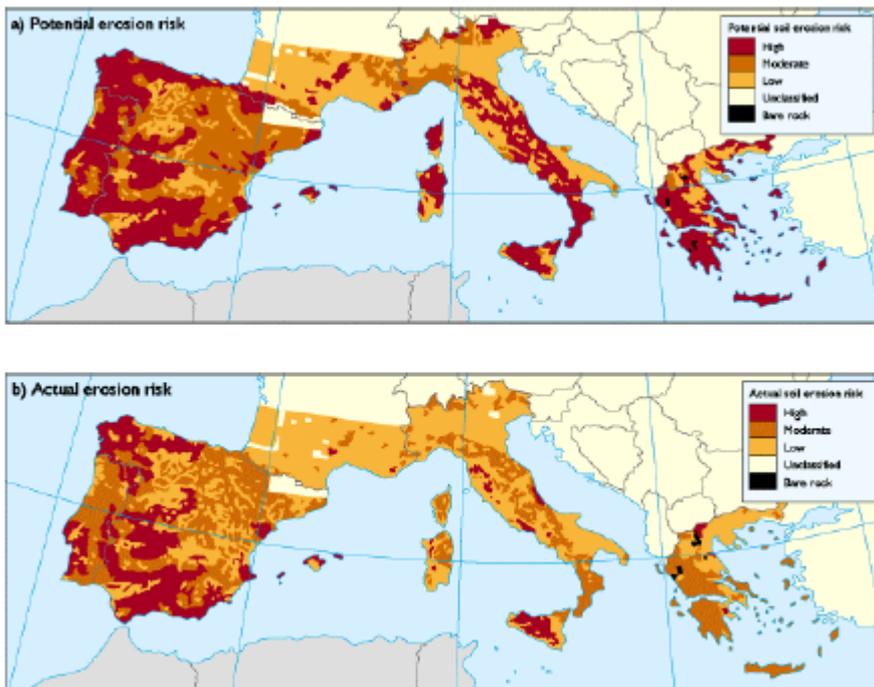


Abb. 6 Erosionsrisiko für Süd- Europa basierend auf GLASOD

Diese Daten gelten nur für den südlichen Raum Europas. Gesamteuropa wird mit einer anderen Methodik beschrieben – GLASOD (Global Assessment of Soil Degradation 2004).

Für diese Methodik wurden Fragebögen an Experten weltweit ausgesendet. Das Problem liegt in unterschiedlichen Länderstandards bei der Einstufung der Erosionsgefährdung.

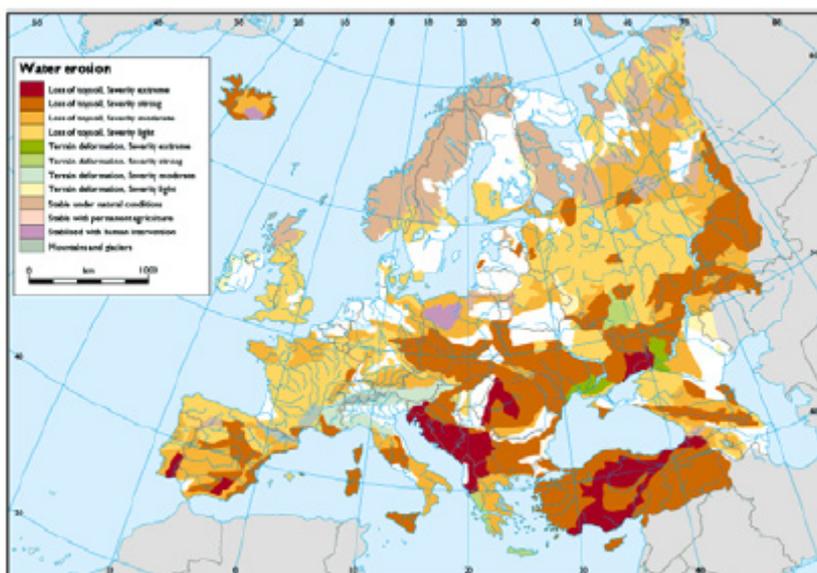


Abb. 7: Potentielle Wassererosion in Europa basierend auf GLASOD

Eine vereinfachte Darstellung der Gebiete bietet die „Hot Spot“ Darstellung:

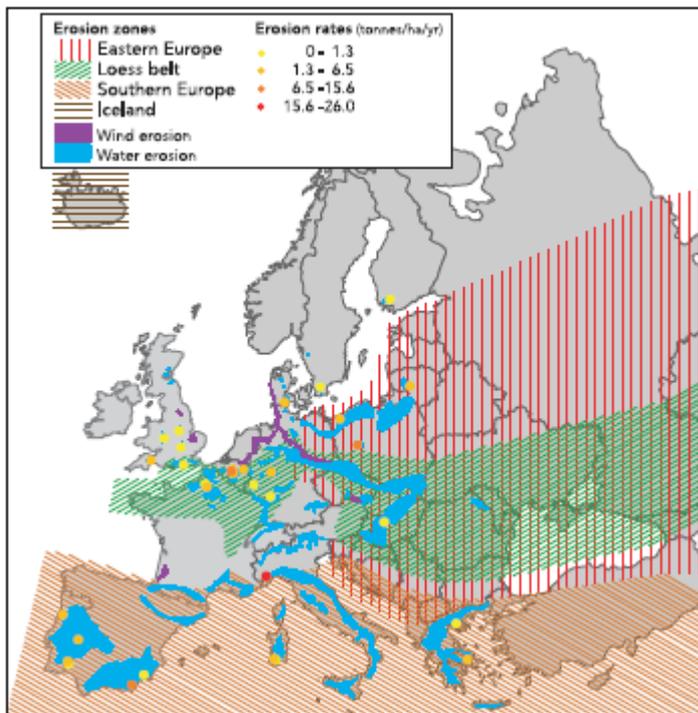


Abb. 8 : Mögliche Gefährdung durch Erosion in Europa (EEA, EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY 2000)

Abbildung 8 zeigt die von Erosion besonders gefährdeten Gebiete. Dabei werden drei Gebiete getrennt betrachtet (EEA 2000):

- die südliche Zone: besonders betroffen von intensivem, saisonalem Regenfall, oft in Verbindung mit der Abkehr von traditionellen Ackerfrüchten. Laut EEA 2000 kommt es hier zu massivem Fruchtbarkeitsverlust des Ackerbodens infolge einer Abschwemmung der fruchtbaren Schicht.
- Die nördliche Lösszone: Ist im allgemeinen nur moderat von Erosion betroffen, meist ausgelöst, wenn Niederschlag auf gesättigte Böden trifft und nicht mehr versickern kann. Winderosion kann lokal stark auftreten, Gefahr droht auch durch die Verfrachtung von Agro- Chemikalien ins Ökosystem.
- Die östliche Zone: Durch intensive Nutzung der landwirtschaftlichen Fläche durch Großbetriebe, beträchtliche Erosionsschäden, Flächen können auch durch Industrie kontaminiert sein

3. Saatechnik

Direktsaat funktioniert und ist soweit ausgereift, um in der Praxis eingesetzt zu werden. Es gibt jedoch im Vergleich zur konventionellen Saat Unterschiede bzw. Schwierigkeiten, welche mit geeigneter Saatechnik vermieden werden können.

Generell wird durch die Direktsaat auf die Möglichkeit einer gezielten Bodenbearbeitung vor oder während der Aussaat verzichtet. Dies hat weit reichende Auswirkungen auf die Unkrautkontrolle und den Aufgang der Saat.

Die in der Versuchsanlage Groß- Enzersdorf praktizierten Verfahren sind: konventionelle Saat (Pflug), Mulchsaat (Grubber), Direktsaat, sowie Mischformen daraus.

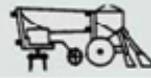
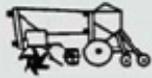
Verfahren	Stoppelbearbeitung	Grundbodenbearbeitung	Saatbettbereitung	Saat
Bodenbearbeitung mit Pflug		 	 	 
				
Bodenbearbeitung ohne Pflug - konservierend -		 		
				
		—		 
Direktsaat		—		

Abb. 9: Übersicht über mögliche Bestellverfahren (KTBL)

3.1. Konventionelle Saat (Pflug)

Die von Menschen am längsten praktizierte Form ist die Saat nach Einsatz eines Pfluges. Die Effekte des Pfluges sind hinreichend publiziert, daher werden ausgewählte Besonderheiten kurz erläutert:

Für ein Bearbeitungssystem, welches auf vollständige Einbringung von organischen Rückständen ausgerichtet ist, ist die Anwendung des Pfluges unerlässlich.

BAEUMER beschreibt die Arbeitsweise des Pfluges folgendermaßen: „Der Scharpflug schneidet horizontal mit der Scharschneide und vertikal mit der Schar- und Streichblechkante einen Erdbalken aus dem Bodenverband heraus und befördert ihn vorwärts und seitwärts. Beim Aufgleiten auf das Schar und das gewölbte Streichblech wird er verformt, teilweise gewendet und zum freien Fall gekippt. Lockern und Mischen erfolgen durch die Scherkräfte beim Aufgleiten und Abstürzen des Bodenbalkens (BAEUMER 1992)“

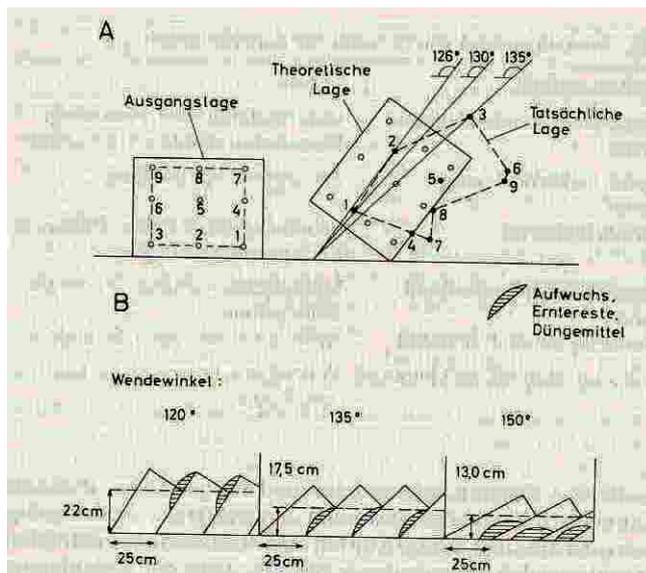


Abb. 10: Wirkungsweise des Streichblechpfluges (Feuerlein 1966)

A: Verlagerung des Bodens durch die wendende Arbeit des Pfluges;

B: Lage der Erntereste nach dem Pflügen

Nach dem Pflugeinsatz wird entweder direkt gesät oder vorher mit einer Egge ein feineres Saatbett bereitet. Wichtig ist die Tatsache, dass die organische Masse von der Bodenoberfläche entfernt und vergraben wurde. Dies erleichtert die Aussaat und führt zu gleichmäßigeren Aufgängen.

Laut „Soil Conservation Service“ werden die Bodenbearbeitungssysteme nach dem Grad der Bodenbedeckung durch organische Rückstände in Prozent eingeteilt. Für „Conventional Tillage“ (Pflug) wurden weniger als 15% bzw. 560 kg/ha festgelegt.

3.2. Mulchsaat (Grubber)

Bei Mulchsaat erfolgt die Saat in bearbeitendem Boden, der aber im Unterschied zur konventionellen Saat mit einer Mulchsaatauflage bedeckt (KÖLLER 2001) und nicht gewendet wurde. Somit entfällt der Effekt des „reinen Tisches“. Wichtig ist, das Stroh gleichmäßig mit dem Boden zu vermischen, um unerwünschte Strohkonzentrationen zu vermeiden (KÖLLER 1992). Für dieses System werden Grubber oder Scheibeneggen eingesetzt.

Grubber sind vielfältig einsetzbar. Sie durchmischen den Boden, lockern ihn teilweise. Eine Wendung des Bodens findet nicht statt.



Abb. 11: Grubber (Pöttinger 2010)

Scheibeneggen werden meist zum Stoppelsturz eingesetzt. Hier ist eine tiefe Bearbeitung nicht notwendig. Es reicht, wenn das Ausfallgetreide soweit eingearbeitet wird, dass es gut keimen kann. Der Vorteil von Scheibeneggen sind die hohe Flächenleistung verbunden mit einem geringern Energieeinsatz. Eine etwas abgewandelte Form der Scheibenegge ist die Kurzscheibenegge. Sie bearbeitet den Boden weniger intensiv als die Scheibenegge. Auch sind ihre Scheiben etwas anders angeordnet.



Abb. 12: Kurzscheibenegge (Pöttinger 2010)

Die Anforderungen an die Sämaschinen sind nicht hoch: Es werden meist Sämaschinen mit Scheibenscharen verwendet. Probleme können bei feuchten Bedingungen auftreten, die ein Verschmieren der Scheiben zu Folge haben können. Weiters kann es bei sehr großen Strohmenngen zu Verstopfungen der Maschinen- oder teile kommen. Um die Maschinen flexibler einsetzen zu können, kombiniert man diese mit Kreiseleggen oder Kreiselgrubbern. Neben der Schaffung eines für die gewünschte Kultur geeigneten Saatbeetes, kann bei konservierender Bodenbearbeitung auch ein effektiver Schutz vor Wind- und Wassererosion aufgebaut werden (BAEUMER 1992)

Für die Mulchsaat gilt laut CTIC (Conservation Tecnology Information Center) eine Auflage von organischen Rückständen von 15- 30% (560 bis 1120 kg/ha) (LINKE 1998).

3.3. Direktsaat

Direktsaat oder No Tillage bedeutet die Ablage des Saatgutes in eine ungestörte (ungelockerte) Bodenstruktur. Dabei werden in der Regel alle Vorfruchtreste an der Bodenoberfläche belassen. Es wird also absolut keine Bodenbearbeitung durchgeführt. Für eine Aussaat unter derartigen Bedingungen werden spezielle Direktsaatmaschinen benötigt, die entweder mit Scheibenscharen oder mit Meißelscharen ausgerüstet sind (TEBRÜGGE U. BÖHRNSEN IN KTBL 1992).



Abb. 13: Direktsaatmaschine (John Deere)

3.3.1. Sähetechnik

Scheibenschare:

Bei Direktsaatmaschinen mit Scheibenscharen werden je nach Typ ein bis drei Scheiben pro Säorgan verwendet. Die Scheiben sind glatt, gezahnt oder gewellt. Während gewellte Scheiben den Boden erheblich lockern und durchmischen können, lockern glatte Scheiben den Boden im Saatbereich fast nicht. Teilweise wird der Boden unter der Saatrille sogar verdichtet (KÖLLER 2001). Die unterschiedliche Anzahl der Scheiben pro Säorgan hängt von der Wirkungsweise ab: Bei 1- Scheibenmaschinen werden die drei Funktionen Schneiden und Ausformen des Saatschlitzes, sowie die Saatgutablage von einer zur Fahrtrichtung leicht schräg gestellten Scheibe übernommen (TEBRÜGGE U. BÖHRNSEN IN KTBL 1992). Moderne Direktsaatmaschinen für Getreide sind überwiegend mit Ein- Scheiben-Säscharen ausgestattet (LINKE 1998).

Bei Zwei-Scheiben-Direktsaatmaschinen wird die Saatrille durch zwei in einem spitzen Winkel zueinander stehenden Scheiben erzeugt, in der auch das Saatgut abgelegt wird. Diese Maschinen werden vor allem bei konservierender Bodenbearbeitung (d.h. keine wendende Bodenbearbeitung) eingesetzt und nur selten bei Direktsaat (LINKE 1998).

Bei Drei-Scheiben-Direktsaatmaschinen durchschneiden zunächst die sogenannten Vorschneidscheiben die aufliegenden Pflanzenreste und ziehen dabei Schlitze in den Boden. Anschließend werden diese Schlitze von den Doppelhohlscheiben V- förmig geöffnet und das Saatgut in diese abgelegt (TEBRÜGGE U. BÖHRNSEN IN KTBL 1992). Drei- Scheiben-Maschinen sind für Reihenfrüchte am weitesten verbreitet (LINKE 1998).

Meißelschare bzw. Zinkenschare

Bei diesen Maschinen wird durch einen Zinken eine Saatrille aufgerissen und darin das Samenkorn platziert.

Der Vorteil dieser Maschinen liegt in der geringen Störung des Bodens bei gleichzeitiger intensiver Lockerung und Durchmischung der Saatrille.

Bei großen Strohmenngen neigt diese Technik eher zu Verstopfungen. Um den Boden möglichst wenig zu stören, werden schmale Zinken eingesetzt. Flügelschare, die den Boden ganzflächig durchmischen entsprechen nicht den Anforderungen der Direktsaat, sondern sind der konservierenden Bodenbearbeitung zuzuordnen (LINKE 1998).

Cross Slot:

Dieses System stellt eine Kombination von Scheiben und Zinken dar. Es besteht aus einer parallel zur Arbeitsrichtung laufenden, gezahnten Scheibe mit rechts und links angebrachten schmalen Zinken (siehe Abbildung 5). Die Scheibe schneidet den Boden senkrecht, während die Zinken den Boden in Saattiefe horizontal lockern, so dass eine, in Arbeitsrichtung gesehen, kreuzförmige Saatrille entsteht (LINKE 1998).



Abb. 14: Cross Slot Sähelement (Cross Slot 2010)

Bei dieser Art von Sätechnik wird gleichzeitig mit der Aussaat eine Unterflurdüngung durchgeführt.

Abschließend bleibt festzuhalten: „ A no- tillage drill is no more nor less than a device designed to service the functions of its openers“

Die Arbeitsqualität steht und fällt mit dem Sähschlitz. Daher ist es auch wichtig, dass eine Maschine perfekt eingestellt wird, um eine zufrieden stellende Arbeitsqualität sicherzustellen.

4. Bodenbearbeitung und Bodenschutz

Die Auswirkungen der Bodenbearbeitung auf den Boden sind vielfältig:

4.1. Bodenerosion

Wie in vorhergehenden Kapiteln beschrieben, ist die Erosion oftmals irreversible Folge unsachgemäßer Bewirtschaftung durch den Landwirt.

Alle Abtragsformen beruhen auf natürlichen Prozessen, die bei Überschreitung der mechanischen Stabilität einsetzen. Die Anordnung der Partikel und die Interpartikelkräfte, die zwischen den Bodenpartikeln wirken werden durch eine Reihe von Prozessen beeinflusst: Wasserinfiltration, Quellung, Schrumpfung bzw. Umverteilung der luft- und wassergefüllten Porenanteile im Boden (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2010).

Der Bodenerosionsprozess kann physikalisch gesehen als Interaktion zwischen den hydraulischen bzw. hydrologischen Kenngrößen bzw. der chemischen und biologischen Wechselwirkungen beschreiben werden (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2010).

Nach SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL läuft der Abtrag im allgemeinen entlang eines hydraulischen oder auch pneumatischen Gradienten: *Solange die Auftriebskräfte dominieren, kommt es zu einem Weitertransport der Bodenpartikel, bis das Gewicht der Körner und Schwerkraft eine erneute Sedimentation verstärken. Je größer die Viskosität des transportierenden Mediums ist, desto länger verbleiben die Partikel im Fließmedium.*

Aufgrund der unterschiedlichen Viskosität von Wasser und Luft, ist hier die Wassererosion als die gefährlichere Erosionsform einzustufen.

4.2. Verdichtungen und Bodenstruktur

Unter Bodenverdichtung versteht man die Reduzierung des Porenvolumens und der Luft- und Wasserleitfähigkeit bei einer Zunahme der Festigkeit des Bodens (LINKE 1998). Aus ökologischer Sicht ist ein Boden als schadverdichtet anzusehen, wenn - ausgelöst durch technische Überlastung - das Porensystem im Boden so weit reduziert ist, dass die Produktions-, Regulations- und Lebensraumfunktionen zeitweilig oder dauerhaft beeinträchtigt werden (MURER 2010).

Der Landwirt sieht sich hier mit zwei Tatsachen konfrontiert: Zum einen soll der Boden ein optimales Wachstum der Kulturpflanzen ermöglichen, zum anderen soll er die Befahrbarkeit sichern und dabei möglichst nicht verdichten. Das tückische an Verdichtungen ist, dass sie leider rasch auftreten, aber lange bleiben. Schon mit einigen unüberlegten Überfahrten kann die Fahrgasse massiv verdichtet werden. Alibimaßnahmen wie die Bearbeitung mit dem Tiefenlockerer tragen zwar zur Gewissenberuhigung bei, können jedoch das zerstörte Bodengefüge nicht gleich wieder herstellen. Es hätte im Vorhinein geholfen, wenn der Traktor mit der breitestmöglichen Bereifung (Zwillingsbereifung) oder mit einer Reifendruckregelanlage ausgestattet worden wäre. Gegen die Zwillingsbereifung spricht auf jeden Fall die Straßenverkehrsordnung, außer es werden nur arrondierte Flächen bewirtschaftet, gegen die Reifendruckregelanlage der Preis.

Direktsaat kann dem entgegenwirken: Das Bodengefüge von No Till Flächen unterscheidet sich wesentlich von regelmäßig bearbeiteten Flächen. Im Oberboden liegt der Unterschied im Grobporenvolumen: Es ist meist geringer. Mittel- und Feinporenvolumen bleiben unverändert. Die Grobporen sind allerdings wesentlich kontinuierlicher und tendenziell mehr vertikal ausgerichtet. Auch die Bodenaggregate sind größer und stabiler (LINKE 1998).

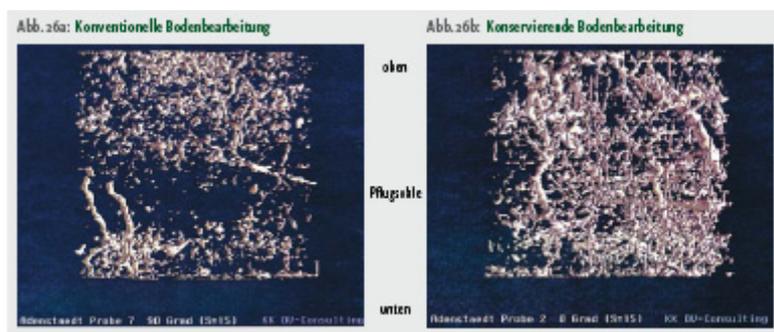


Abb. 15: Dreidimensionale Visualisierung des Makroporenraumes nach Röntgen-Computertomografie (nach ROGASIK et al, 1994) in BRUNOTTE 2009

4.3. Humus

Reduzierte Bodenbearbeitung unterscheidet sich bereits durch die Auflage von Erntematerial. Die Pflugvariante („reiner Tisch“) hat nur eine minimale Mulchschicht, die

Grubbervariante schon deutlich mehr und die Direktsaatvariante am meisten. Im hohen Ausmaß wird der Humusgehalt beeinflusst.

Tab. 4: Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf den Humusgehalt in % (LIEBHARD, 2006)

Bearbeitungs- variante	Bodentiefe in cm			
	0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm
Pflug	3,8	3,9	3,9	3,6
Mulchsaat	4,3	4,1	3,8	3,6
Direktsaat	4,5	4,1	3,8	3,6

Auffällig bei der Pflugvariante ist die fast idente Durchmischung der organischen Substanz durch alle Bodenschichten. Dies lässt dadurch leicht erklären, dass beim Pflügen (siehe Kapitel 3.1.) der Boden intensiv bearbeitet und gewendet wird.

Bei Direktsaat erfolgt eine Anreicherung in den oberen Bodenschichten – ein Faktum, welches parallel zur Pflugdurchmischung steht. Bei Direktsaat wird der Boden ja überhaupt nicht gewendet oder bearbeitet.

Der höhere Humusgehalt in der oberen Bodenschicht bei Direktsaat trägt entscheidend zur Stabilisierung des Bodengefüges bei, das heißt die erhöhte biochemische Aktivität im Oberboden bewirkt eine verstärkte Humifizierung (LINKE 1998).

4.4. Wasser

Wasser hat für die Pflanze eine vielfältige Wirkung. Nach AUFHAMMER (1998) wirkt sich der Wachstumsfaktor Wasser auf folgende Punkte aus:

- Keimungs- und Stoffwechselforgänge
- Evaporations-, Transpirations- und Gaswechselraten
- Nährstoffverfügbarkeit und -aufnahme

Für die Landwirtschaft ist in erster Linie das Bodenwasser von Interesse, welches sich folgendermaßen definiert: Als Bodenwasser wird der Wasseranteil bezeichnet, der durch Trocknen bei 105°C aus dem Boden entfernt werden kann (LÖSCH 2003).

Der Wassergehalt eines Bodens hängt von vielen Faktoren, wie Klima- und Witterungsbedingungen, dem Bewuchs und vor allem den Bodeneigenschaften ab (LINKE 1998) Mehrfach wird angeführt, dass Direktsaatflächen einen höheren Wassergehalt aufweisen, was auch meist beweisbar ist, doch sind die Einflussfaktoren darauf so vielfältig, dass die Auswirkungen der Bodenbearbeitungssysteme von anderen Faktoren überlagert werden können.

Es bleibt jedoch festzuhalten, dass Wasser einer der wichtigsten ertragsbildenden Faktoren ist, ein Zuviel oder Zuwenig führt immer zu Minderertrag bis Totalausfällen. Die Pflanzen reagieren auf diese Stresssituationen unterschiedlich. Laut PASSIOURA 2004 kann man den zeitlichen Ablauf dieser Anpassungsprozesse wie folgt gliedern:

Tab. 5: Einfluss von Wassermangel auf in der Pflanze ablaufende Anpassungsprozesse (PASSIOURA, 2004)

Prozesse	Zeitablauf	Lokation	Wasserabhängigkeit
Kohlenstofffixierungsrate bei konstanter Stomata Leitfähigkeit	Sekunden	Chloroplast	Moderat
Momentane Wechselrate von Kohlenstoff und Wasser	Minuten bis Stunden	Stomata	Moderat
Grenzflächeneffekte, Orientierung, Rollen	Sekunden bis Stunden	Blatt	Moderat
Austrocknungstoleranz	Stunden bis Tage	Ganze Pflanze	Gering
Harvest Index, Anpassung der Phänologie an die Wasserversorgung, Auswirkung von Wasserdefiziten auf die Fruchtbarkeit und die Nachlieferung von Assimilaten zur Ähre	Stunden bis Tage oder Wochen	Blühorgane	Groß
Zeitliche Veränderung der Blattmasse, Evapotranspiration, Effektive Tiefe der Wurzeln	Wochen bis Monate	Blatt, Wurzelsystem	Groß
Laterale Bewegung des Wasser: Aufwärts und Abwärts; räumliche Variabilität der Bodeneigenschaften und Pflanzenwachstum; Carry-over effects von	Eine bis mehrere Vegetationsperioden	Feld	Groß

verschiedenen Kulturen zwischen den Vegetationsperioden; Effektivität der Bewässerung; on- farm Lagerung			
--	--	--	--

Tabelle 5 zeigt die direkten Auswirkungen von Wassermangel auf die Pflanzenorgane. Wichtig sind dabei die zeitliche Eingrenzung, sowie der Einfluss von Wassermangel auf Pflanzenorgane bzw. Entwicklungsstadien.

4.4.1. Wasserverbrauch

Unter Evaporation wird die Verdunstung von Wasser bestimmt durch meteorologische Parameter wie z.B. Globalstrahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Wind, Form und Größe der Oberfläche, Topographie sowie andere Faktoren wie z.B. Bewuchs und die chemische Zusammensetzung des Wassers verstanden (LÖSCH 2003).

Der zeitliche Ablauf in einem Boden, in dem das Wasser nicht ersetzt wird verläuft nach HARTGE 1999 in drei Phasen:

In der ersten Phase erfolgt die Wassernachführung ungehindert. In dieser Phase ist die Evaporation hoch und vor allem durch die Eigenschaften der Bodenoberfläche und durch die meteorologischen Bedingungen bestimmt.

In der zweiten Phase trocknet der Boden zunehmend aus. Die Evaporation wird von den hydraulischen Eigenschaften des Bodens (in engeren Sinne der Wassertransport an die Bodenoberfläche) bestimmt und sinkt.

In der dritten Phase ist der Boden bereits ausgetrocknet und stellt eine weitgehende Sperre für Wasser aus tiefen, feuchteren Bodenschichten dar. Die Evaporation ist sehr gering und fast konstant.

Durch Bodenbearbeitung lassen sich nur die erste und zweite Phase beeinflussen. In der ersten Phase ist entscheidend, ob der Boden bedeckt ist, oder nicht. In der zweiten Phase kann die Bodenbearbeitung die hydraulischen Eigenschaften des Bodens beeinflussen. Die Auswirkungen von Bodenbearbeitungssystemen sind daher zeitlich begrenzt. Je nach Bedingungen dauert Phase 1 nur wenige Stunden bis mehrere Tage. Danach unterscheiden sich bedeckte oder unbedeckte Böden kaum mehr in ihrer Evaporation. In Phase 2 nimmt die Evaporation von unbearbeiteten Böden langsamer ab als auf bearbeiteten Böden (STEINER 1989).

Bei langanhaltenden trockenen Bedingungen bestehen fast keine Auswirkungen der Bodenbearbeitungssysteme auf Wasserverluste durch Evaporation. Bei kurzfristigen Trockenperioden ist hingegen die Evaporation von mulchbedeckten Oberflächen deutlich geringer (Linke 1998). Wenn sich trockene und feuchte Perioden abwechseln (das heißt die Böden wären noch in Phase 1), treten bei Direktsaatflächen deutlich geringere Wasserverluste auf als bei anderen (Linke 1998).

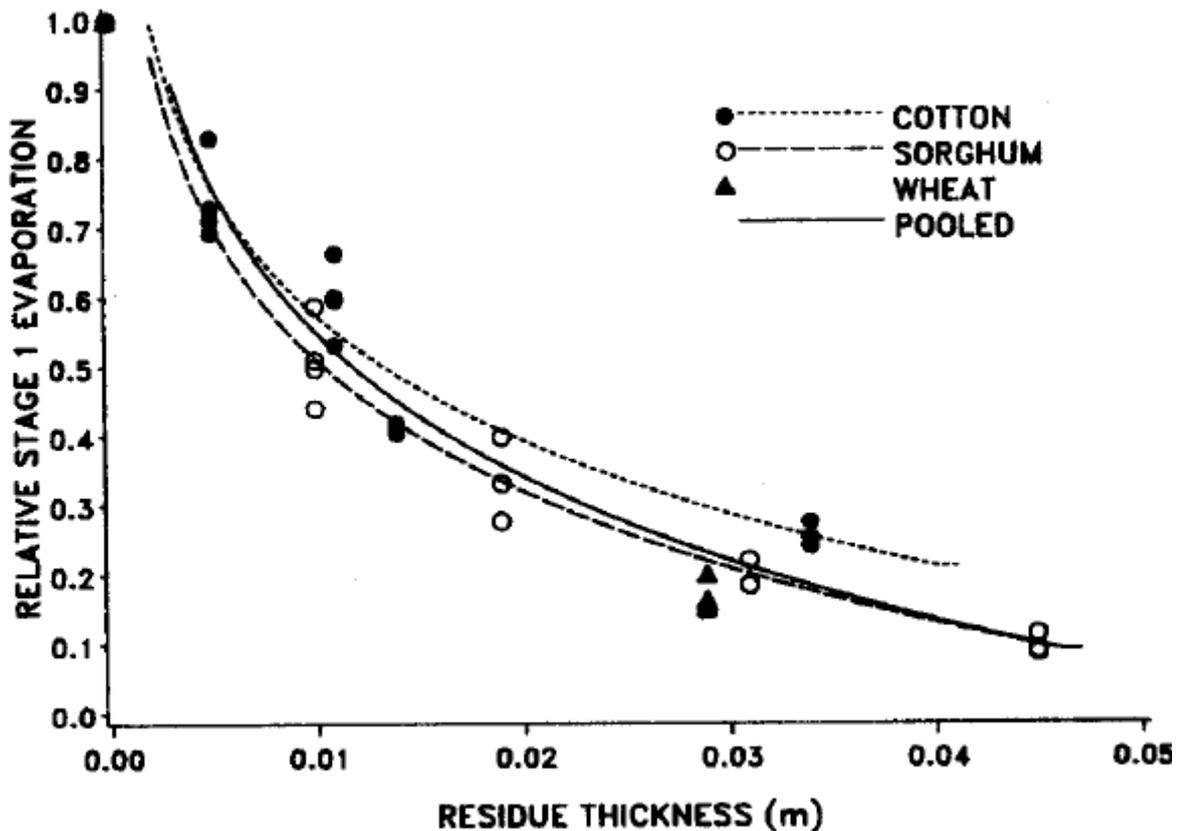


Abb. 16: Relative Evaporation in Phase 1 in Abhängigkeit zur Mulchauflage (Steiner 1989)

Für den praktischen Landwirt zählen jedoch auch noch andere Größen:

Die Wasserabgabe eines Pflanzenbestandes setzt sich aus der Evaporation des Bodens (E) und der Transpiration der Pflanzen (T) zusammen. Da sich diese beiden Prozesse nur schwer meßtechnisch voneinander trennen lassen, werden sie häufig unter dem Begriff Evapotranspiration (ET) zusammengefasst. Für rationalen Pflanzenbau muss der Zusammenhang zwischen Wasserverbrauch und Ertragsbildung bekannt sein, schon deshalb, um den potentiell möglichen Ertrag in Abhängigkeit von einem begrenzten Wasserangebot abzuschätzen (BAEUMER 1992). Werden die zwei Größen Transpiration der Pflanzen (T) und Trockenmasseproduktionsrate (P) in Beziehung zueinander gesetzt, ergibt sich daraus der Transpirationskoeffizient. Dieser Wert drückt die Wassernutzungseffizienz

der Pflanze aus, indem er angibt wieviel Liter Wasser pro produzierter Einheit Trockenmasse verbraucht werden.

Tab. 6: Transpirationskoeffizient (LOISKANDL 2010)

Transpirationskoeffizient (mm H ₂ O / kg TM) <small>(TK oft sehr hoch angegeben aus alten Versuchsergebnissen in den USA; neuere Ergebnisse aus Deutschland in rot)</small>	Kulturart
200 – 300	Hirsen
300 – 400 <i>(250)</i>	Mais, Beta-Rübe
400 – 500 <i>(220-320)</i>	Gerste, Roggen, Durum Weizen
500 – 600 <i>(350-400)</i>	Kartoffel, Sonnenblume, Weichweizen
600 - 700	Raps, Erbse, Ackerbohne, Hafer
> 700	Luzerne, Soja, Lein

Große Unterschiede im Transpirationskoeffizienten bestehen zwischen C4- Pflanzen mit niedrigem CO₂- Kompensationspunkt, die mit jeder Einheit transpirierten Wassers mehr Trockenmasse produzieren können als C3 Pflanzen (BAEUMER 1992)

4.4.2. Unkräuter

Unkräuter werden durch Bodenbearbeitung bzw. Bodenbearbeitungssysteme direkt beeinflusst (KTBL 1998).

Das wichtigste Ziel von Unkrautkontrollmaßnahmen ist, die Konkurrenz zwischen Unkraut und Nutzpflanzen um Wachstumsfaktoren zugunsten der Nutzpflanzen zu verändern und auf ein wirtschaftlich tragbares Maß zu verringern. Außerdem werden Zwischenwirte für Krankheiten oder Schädlinge beseitigt (KÖLLER 2001).

Pflugverzicht bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, dass Wurzelunkräuter einseitig zunehmen, nur weil auf die wendende Bodenbearbeitung verzichtet wird. Mit gezielter Herbizidanwendung sind auch diese Probleme leicht beherrschbar. Vielmehr verändert sich das gesamte Unkrautspektrum. Auf in Direktsaat bewirtschafteten Flächen ist stets ein höherer Anteil von monokotylen Unkräutern und ein entsprechend geringerer Anteil an dikotylen Unkrautpflanzen zu beobachten. Außerdem werden weniger annuelle, dafür mehr perennierende Unkräuter gefunden (CEDELL 1984).

In Österreich treten Ackerkratzdistel, Acker- und Zauwinde, die Quecke, teilweise Ackerschachtelhalm u.ä. vermehrt auf. Auch verschiedene einjährige Ungräser nehmen nach

längerem Pflugverzicht zu. Dies trifft z.B. auf die konkurrenzstarken Trespen, das Ausfallgetreide oder den Ackerfuchsschwanz und die konkurrenzschwache einjährige Rispe zu (SHALA-MAYRHOFER 2005).

5. Material und Methoden

5.1. Standort

5.1.1. Versuchsstandort Raasdorf

Die Versuchsfläche befindet sich im nordöstlichen Flach- und Hügelland in Groß- Enzersdorf, ca. 5 km östlich von Wien im Marchfeld und wird als konventioneller Marktfruchtbetrieb geführt. Rund 60 ha der Betriebsfläche sind arrondiert, 80 ha liegen im 5 km entfernten Raasdorf.

Die Versuchsanlage gehört zur Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur (IFÖL BOKU 2010).

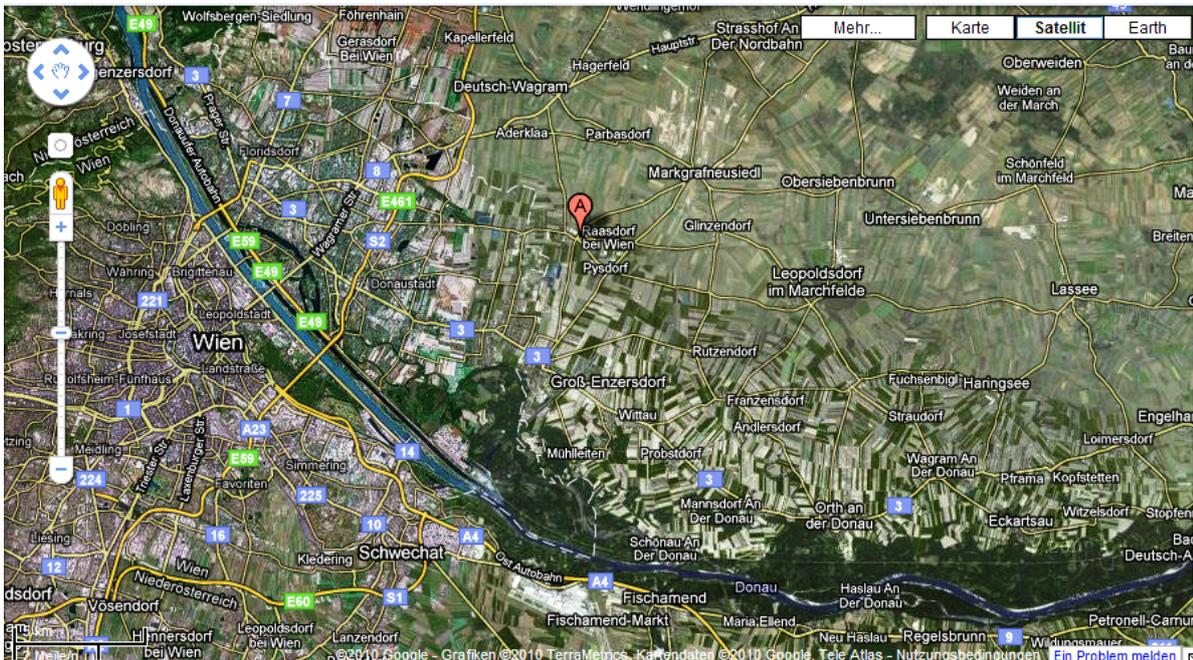


Abb. 17.: Übersichtskarte Raasdorf bei Wien. (www.maps.google.de)

Die Versuchsflächen werden im Rahmen eines langjährigen Bodenbearbeitungsversuches betreut.

5.1.2. Boden

Die Böden der Region um Raasdorf werden als Tschernoseme angesprochen, die aus kalkhaltigen Feinsedimenten des Quartärs entstanden sind. Sie sind Teil der Praterterrasse und liegen auf 156m ü. Seehöhe. Die Tiefgründigkeit des Bodens ist nicht gleichmäßig, es treten Teilflächen mit hoch anstehenden Schotterlagen auf (in ca. 90 cm Tiefe Übergang zum schottrigen D-Horizont). Der A-Horizont besteht aus lehmigem Schluff mit einem Humusgehalt von 2,5 bis 4,8%. Die Bodenreaktion liegt im alkalischen Bereich (pH 7,5 – 7,6). Die Böden sind mit Phosphor, Kalium und Magnesium ausreichend bis gut versorgt (IFÖL 2010).

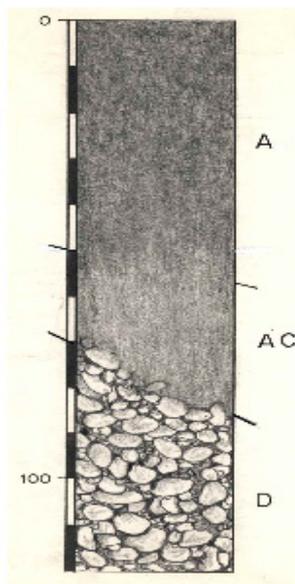


Abb. 18: Bodenprofil Tschernoseme (www.bodenkarte.at)

Aus landwirtschaftlicher Sicht wird der Boden als mittelwertiges Ackerland beschrieben. Aufgrund des erhöhten Schluff- und Feinsandgehalt ist hier von einer höheren Erosionsgefährdung (Winderosion) und Verschlammungsgefahr auszugehen.

5.1.3. Klima

Die Versuchswirtschaft liegt im pannonischen Klimagebiet, im Kleinproduktionsgebiet Marchfeld. Das Marchfeld liegt im nördlichen Teil des Wiener Beckens, einer der größten Ebenen Österreichs. Es grenzt nordöstlich an die Bundeshauptstadt an und wird im Süden von der Donau, im Osten von der March, im Norden vom Hügelland und im Westen vom Bisambergzug umrahmt. Die Felder liegen in windoffener Lage. Der Klimaraum ist durch heiße, trockene Sommer und kalte, schneearme Winter geprägt. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 9,8 °C, die mittlere Niederschlagssumme 554 mm. Besonders im Sommer zeichnet sich das Klima durch geringe Luftfeuchtigkeit und wenig Taubildung aus. (IFÖL 2010)

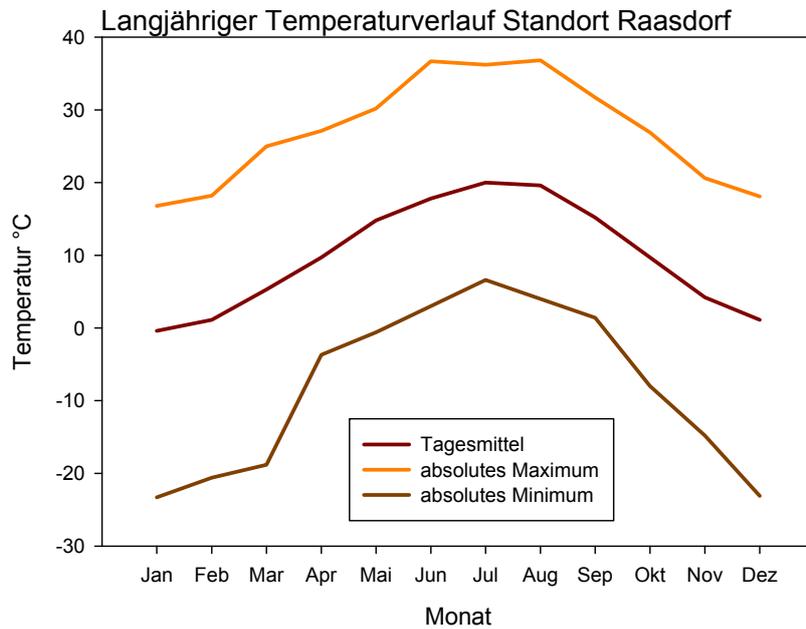


Abb. 19: Langjähriger Temperaturverlauf sowie absolutes Minimum bzw. Maximum Raasdorf (ZAMG)

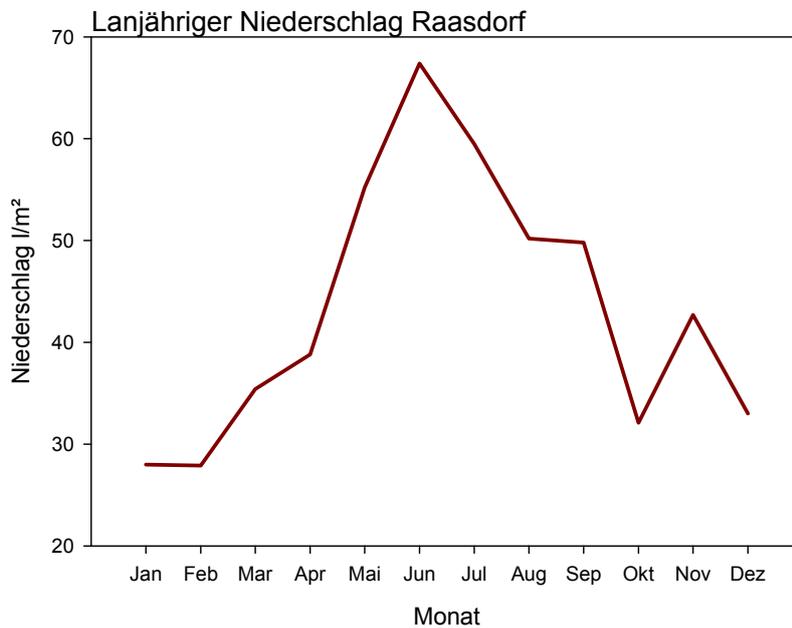


Abb. 20: Langjähriger Monatsniederschlag in l/m² Standort Raasdorf (ZAMG)

In Abb. 8 sind die langjährigen Temperatur und Niederschlagsverläufe für den Standort Groß Enzersdorf angeführt. Dabei handelt es sich um Monatsdurchschnittswerte

Im Vergleich dazu war die Vegetationsperiode 2009/2010 geprägt von sehr hohen Niederschlagsmengen, teilweise eher ungleichmäßig verteilt. Verbunden mit kühlen

Temperaturen war diese Vegetationsperiode nicht ideal für das Wachstum und die Ertragsbildung der Weizenpflanzen.

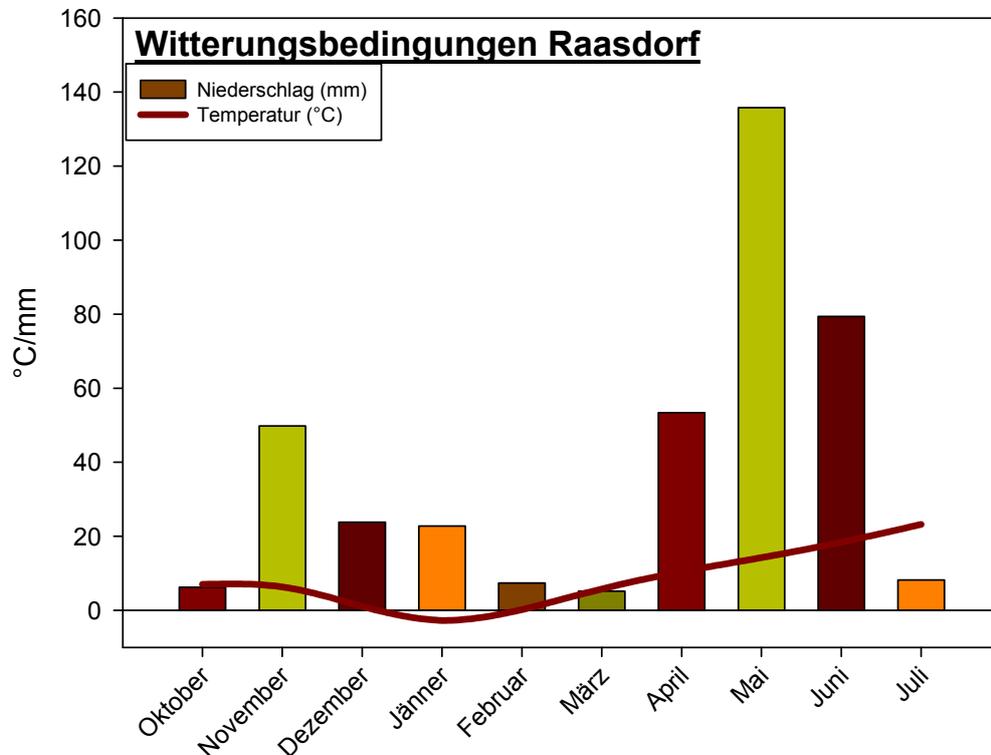


Abb. 21: Niederschlag und Temperatur Vegetationsjahr 2009/2010 in Raasdorf

Aus Abbildung 9 sind die Daten der Klimastation in Raasdorf abgebildet. Es zeigt sich, dass es im Frühjahr bei eher geringer Temperatur hohe Niederschlagssummen gab. Die Daten wurden ab 17. Oktober 2009 (Saattermin) bis 15. Juli 2010 täglich gemessen. Die hier angeführten entsprechen den Monatsdurchschnitten.

5.2. Versuchsanlage

Das Versuchsfeld in Raasdorf ist als split plot design angelegt. Zwei unterschiedliche Feldfrüchte wurden mittels fünf verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen angebaut. Jede Bodenbearbeitungsvariante wird vier Mal wiederholt. Folgende Bodenbearbeitungssysteme wurden dabei untersucht: Mulchsaat, Direktsaat, Lockerboden („Pflugvariante“), Festboden-Mulchwirtschaft, wechselnde Bewirtschaftung. Insgesamt konnten somit 40 Parzellen beprobt werden (2 Fruchtfolgen x 5 Bodenbearbeitungssysteme x 4 Wiederholungen).

In der angeführten Arbeit wurden einerseits der Winterweizenertrag über den bisherigen Versuchsverlauf ausgewertet, andererseits erfolgte eine genauere Beurteilung der Biomasseentwicklung für das Vegetationsjahr 2009/2010.

Dabei wurden folgende Varianten untersucht:

- Lockerbodenwirtschaft („Pflugvariante“)
- Direktsaat
- Lockerboden- Mulchwirtschaft („Grubbervariante“)

Versuchsplan:



2B	108 2A	5A	5B	4B	4A	113 3A	3B	1B	116 1A +
4A	4B	3B	100 3A +	101 1A +	1B	5B	5A	105 2A +	2B
5B	5A	4A	4B	2B	92 2A +	93 1A +	1B	3B	96 3A +
77 1A	1B	2B	80 2A +	81 3A +	3B	4B	4A	5A	5B

● Wetterstation
+ Siebrohr



1 Lockerbodenwirtschaft
2 Festbodenwirtschaft
3 Lockerboden-Mulchwirtschaft
4 Festboden-Mulchwirtschaft
5 wechselnde Bodenwirtschaft

□ Pflug
■ Direktsaat
▨ Grubber

Abb. 22: Versuchsplan Standort Raasdorf

In der Diplomarbeit wurden jedoch nur 3 der 4 möglichen Wiederholungen beprobt.

Der Winterweizen der Sorte Josef wurde am 17. Oktober 2009 mit einer Drillmaschine der Marke „Väderstad Rapid“ gesät.

Tab. 7 : N- Düngungsstrategie bei Winterweizen; Versuch Raasdorf

Jahr	Datum	Menge	Düngerform
2009	25.03.2009	50 kg/ha N	Harnstoff
2008	20.02.2008	54 kg/ha N	NAC
2008	28.04.2008	49 kg/ha N	NAC
2007	12.03.2007	81 kg/ha N	NAC
2007	21.05.2007	51,3 kg/ha N	NAC
2006	04.04.2006	80 kg/ha N	NAC
2006	01.06.2006	40 kg/ha N	NAC
2004	30.03.2004	81 kg/ha N	NAC
2004	05.05.2004	40,5 kg/ha N	NAC
2002	06.03.2002	59,8 kg/ha N	NAC
2002	02.05.2002	59,8 kg/ha N	NAC
2000	29.02.2000	200 kg	NS (24N+6S)
2000	13.04.2000	180 kg	NS (24N+6S)
1998	17.02.1998	150 kg	NAC
1998	20.04.1998	100 kg	NAC
1998	13.05.1998	200 kg	NAC

Tab. 8: Pflanzenschutz Versuch Raasdorf

Jahr	Datum	Menge	PS Mittel	H2O l/ha
2009	06.04.2009	30 g	Oratio	200
2009	06.04.2009	75 ml	Priumus	
2008	07.04.2008	170g	Zoom	300
2008	07.04.2008	30g	Oratio	
2007	12.04.2007	40g	Express	300
2007	12.04.2007	0,5 l	Starane	
2006	04.05.2006	80g	Harmony extra	300
2004	22.04.2004	3l	Banvel M	270
2004	22.04.2004	1 kg	Harnstoff	
2002	27.10.2001	3l	Reglone	300
2002	27.10.2001	10kg	Harnstoff	
2002	17.04.2002	4l	Banvel M	200
2000	13.04.2000	4l	Banvel M	200
2000	13.04.2000	2 kg	Harnstoff	
1998	17.04.1998	4l	Banvel M	200

Die Versuchflächen werden nach der guten fachlichen Praxis (Cross Compliance) bewirtschaftet, das heißt es darf z.B. nur eine Höchstmenge an Stickstoff ausgebracht werden, oder es dürfen nur bestimmte, für die Kultur zugelassene Pflanzenschutzmittel ausgebracht werden.

5.3. Methoden - Langjährig

5.3.1. N-min

Die N_{\min} Analyse erfolgte nach ÖNORM von der Versuchswirtschaft Groß Enzersdorf vorgenommen. Die Probennahme erfolgte mittels Bodenbohrer in folgenden Bodentiefen: 0-30 cm, 30- 60 cm, 60- 90 cm. Für N_{\min} - Untersuchungen kommt in Österreich das Extraktionsverfahren mittels stark verdünnten Salzlösungen (CaCl_2 - Lösung) nach Önorm L 1091 zur Anwendung.

5.3.2. Bodenwasser

Wie auch die N_{\min} Untersuchung wurde das Bodenwasser nach ÖNORM standardisiert bestimmt. Diese Feststellung erfolgte im Zuge der N_{\min} Untersuchung. Dabei wurde der Gravimetrische Bodenwassergehalt bestimmt:

Gravimetrischer Bodenwassergehalt $[\theta_g]$

$$[\theta_g] = \frac{\text{Feuchtegewicht} - \text{Trockengewicht}}{\text{Trockengewicht}} * 100 \quad (2)$$

Und auf Grundlage der vorher gemessenen Lagerungsdichten auf den Volumetrischen Bodenwassergehalt umgerechnet:

Volumetrischer Bodenwassergehalt $[\theta]$

$$[\theta] = \text{Gravimetrischer Wassergehalt} * \text{Lagerungsdichte} \quad (3)$$

5.3.3. Ertrag

Der Kornertag wurde mittels Parzellen- Mährescher ermittelt. Die Ernte erfolgte am 15. Juli 2010. Die Erträge der einzelnen Varianten sind im Kapitel 6 in Tabelle 22 ersichtlich.

5.4. Methoden Vegetationsjahr 2009/2010

5.4.1. Biomasse

Es wurden an fünf Terminen (2. Dezember, 20. April, 10. Mai, 7. Juni, 29. Juni, 15. Juli) im Vegetationsjahr 2009/2010 jeweils von einem Quadratmeter alle Weizenpflanzen in 5 mm Höhe abgeschnitten. Diese wurden in Papiersäcken, nach Varianten getrennt, für 24 Std. im Trockenschrank belassen und anschließend abgewogen.

An den Terminen 10. Mai und 7. Juni wurden die Pflanzen in Blatt und Stängel aufgetrennt und abgewogen. Nach Ausschleiben der Ähren wurde auch dies berücksichtigt, so wurde an den Terminen 29. Juni und 15. Juli auch das Ährengewicht ermittelt.

5.3.5. LAI

Der Blattflächenindex kann sowohl direkt, d.h. destruktiv durch Blattprobenahme, als auch indirekt ermittelt werden.

Für die Datenerhebung im Bestand wurde das Messgerät LAI-2000 der Firma LI-COR, Nebraska USA verwendet. Das Messgerät erfasst mit einer optischen Einheit die Intensität der Lichtstrahlung im Bereich von 320 bis 490 nm.

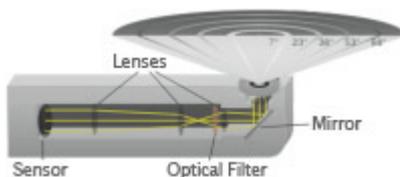


Abb. 23: Sensor LAI 2000 (LI-COR USA)

Das Prinzip der Blattflächenbestimmung besteht darin, dass die Strahlung oberhalb (Referenzwert) und unterhalb des Bestandes verglichen wird. Aus der Differenz, die sich durch die Reflexion und Absorption des Lichtes durch den Bestand ergibt, wird die Blattfläche errechnet (IFZ Göttingen).

5.3.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit Hilfe des Programms SAS mittels der Prozedur PROC MIXED. PROC MIXED erlaubt in der Varianzanalyse die Berücksichtigung wiederholter Messpunkte, für die die Unabhängigkeitsannahme nicht zutrifft (zeitliche Wiederholungen, Tiefen). Die optimale Korrelationsstruktur wurde über das

Akaike Informationskriterium (AIK) ermittelt (PIEPHO et al., 2004). Mittelwerte, welche im Rahmen dieser Arbeit in derselben Spalte bzw. Reihe angeführt sind und einen gemeinsamen Buchstaben aufweisen, sind nicht signifikant verschieden (t-Test, $\alpha = 5\%$).

5.3.7 Charakterisierung des Klimas

Um eine Vergleichbarkeit von Standorten zu erhalten, bedient man sich verschiedener Indexe. Zwei einfache Methoden wurden für diese Arbeit verwendet:

Klimawert K- Index:

Der Klimaindex charakterisiert die Humidität bzw. Aridität eines Gesamtjahres.

In der ursprünglichen Berechnung wurden nur Tage $>10^{\circ}\text{C}$ herangezogen. In der österreichischen Bodenschätzung werden hingegen nur Tage mit einer 14 Uhr Temperatur von mindestens 5°C bis maximal 15°C berücksichtigt (HARLFINGER 1999).

Der Klimaindex nach Celjaninov wird folgendermaßen berechnet:

$$(4) \quad KI = \frac{0,16 \sum t}{R} \quad \begin{array}{l} \sum t = \text{Temperatursumme} \\ R = \text{Jahresniederschlagsmenge} \end{array}$$

Trockenindex

Um die Häufigkeit von längeren Trockenperioden beschreiben zu können, verwendet man den Trockenindex TI. Hiermit kann die Verteilung der Trockenheit über die Vegetationsperiode bestimmt werden. Liegt der Wert über 1,5 so gilt der Monat als trocken. (HARLFINGER 1999).

$$(5) \quad TI = \frac{3t}{r}$$

$t = \text{Monatsmitteltemperatur}$
 $r : \text{Monatssumme Niederschlag}$

6. Ergebnisse und Diskussion

Um unterschiedliche Klimata besser beurteilen zu können, bedient man sich verschiedener Kenngrößen. Für diese Arbeit wurden zwei herangezogen: Ti- und K- Index. (Anm. siehe Ergebnisse)

6.1. Langjährige Untersuchungen

6.1.1. Klimatische Charakterisierung

K- Index

Der Klimaindex charakterisiert die Humidität bzw. Aridität eines Gesamtjahres.

In der ursprünglichen Berechnung wurden nur Tage $>10^{\circ}\text{C}$ herangezogen. In der österreichischen Bodenschätzung werden hingegen nur Tage mit einer 14 Uhr Temperatur von mindestens 5°C bis maximal 15°C berücksichtigt (HARLFINGER 1999).

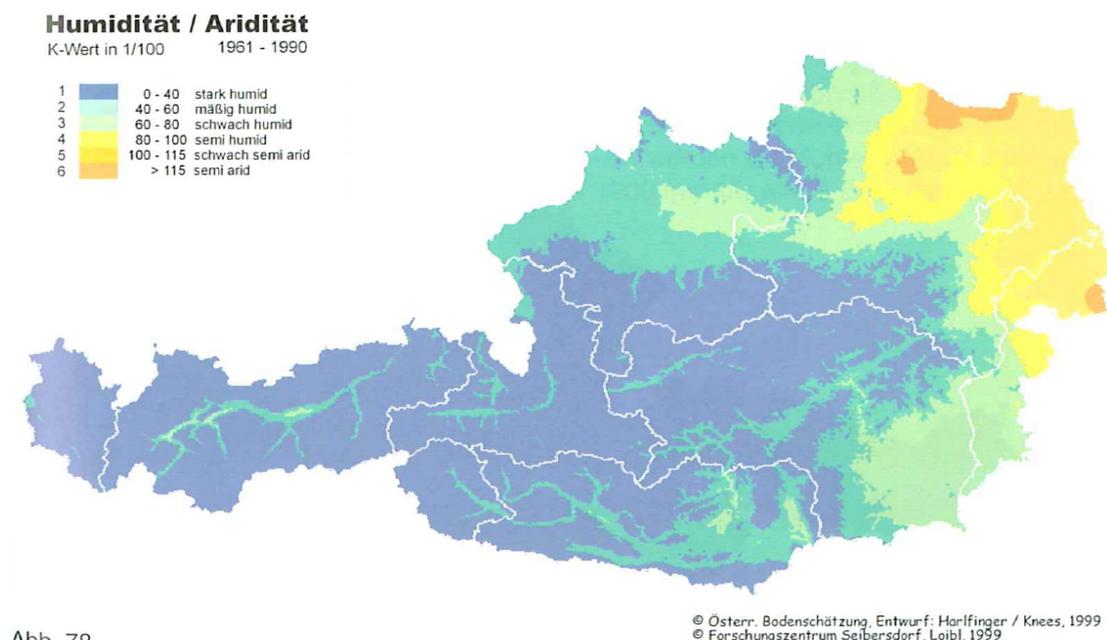


Abb. 78

Abb. 24: Klimaindex langjährig in Österreich (HARLFINGER 2009)

Wie aus der Abb. 22 Ersichtlich, liegt der Versuchsort Raasdorf im schwach semiariden Bereich.

KI Werte Raasdorf

Wie bereits angeführt, stellt der Klimaindex eine einfach zu errechnende Messgröße dar. Für Raasdorf wurden folgende Werte berechnet:

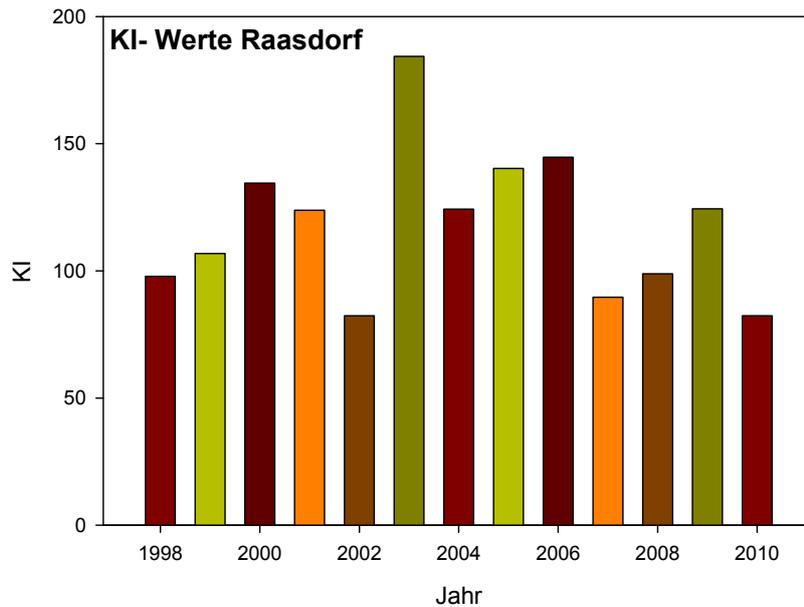


Abb. 25: Klimaindex Standort Raasdorf von 1998 bis 2010

Nach HARLFINGER (1999) stehen für die Interpretation der Ergebnisse Grenzwerte zur Verfügung:

Tab. 9: Grenzwerte Klimaindex (HARLFINGER 1999)

K- Wert (1/100)	Aridität/Humidität
<40	stark humid
40-59	mäßig humid
60-79	schwach humid
80-99	semi-humid
100-115	schwach semi-arid
>115	semi-arid

Trockenindex

Zur Beschreibung der Häufigkeit von trockenen Monaten verwendet man den Trockenindex TI. Hiermit kann leicht die Verteilung der Trockenheit über die Vegetationsperiode bestimmt werden.

Für Österreich wurden folgende, langjährige Werte berechnet:

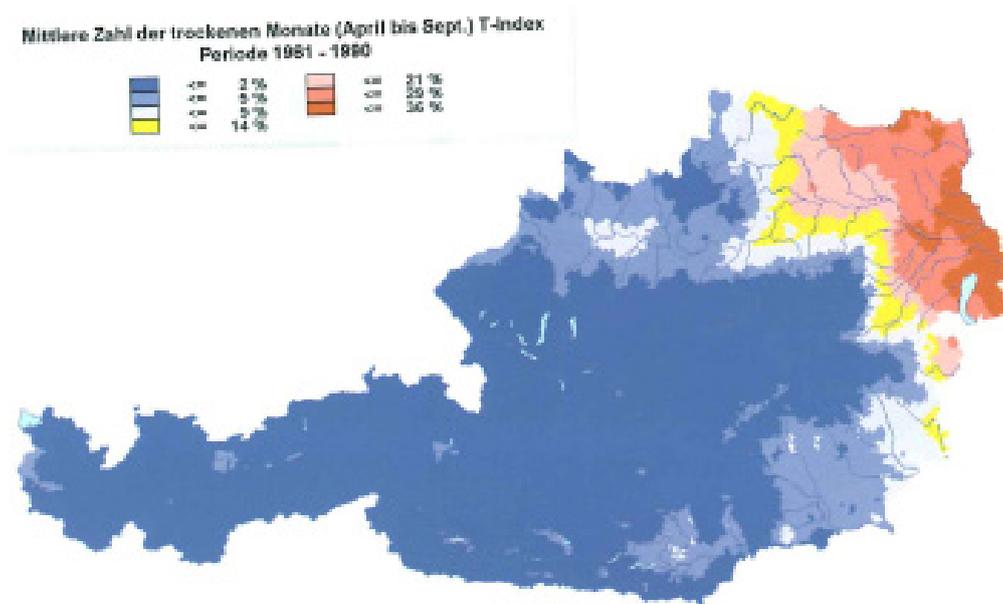


Abb. 80

Abb. 26: Langjährige TI Werte Österreich (in: HARLFINGER 2009)

Wie aus der Abbildung 25 zu entnehmen liegt auch hier der Versuchsort Raasdorf in den sehr trockenen Regionen. Als langjähriger Durchschnitt wurde 26,7% berechnet (für die Jahre 1980- 2009).

TI Werte Raasdorf

Tab. 10 : Temperaturindex Raasdorf nach Daten der ZAMG

Jahr	Trockenanteil
1998	16,7%
1999	0,0%
2000	8,3%
2001	25,0%
2002	8,3%
2003	41,7%
2004	25,0%
2005	25,0%
2006	33,3%
2007	16,7%
2008	33,3%
2009	25,0%
2010	16,7%

Speziell das Vegetationsjahr 2010 ist als feuchtes Jahr einzuordnen. Der errechnete TI Schnitt (1980- 2009) liegt bei 26,7%. Ein sehr trockenes Jahr war 2003 mit einem TI Wert von nur 41,7%.

Tab.11: Trockenindex- Werte Raasdorf 2010

2010	TI
Jänner	-0,4
Februar	0,1
März	3,3
April	0,6
Mai	0,3
Juni	0,7
Juli	0,8
August	0,5
September	0,6
Oktober	1,7
November	0,7
Dezember	-0,2
Trockenanteil	16,70%

Tabelle 11 zeigt die Verteilung der TI- Werte über das Jahr 2010. Wie bereits erwähnt ist das Jahr 2010 als eher humid einzuordnen, mit nur zwei trockenen Monaten, nämlich März und Oktober.

6.1.2. N_{\min} - Ergebnisse bei Winterweizen in den Vegetationsjahren 1999 bis 2010

Die Daten der nachfolgenden Abbildungen wurden am Versuchsstandort Raasdorf gewonnen. Anzumerken ist, dass von den Daten nur jeweils drei in diese Berechnungen einfließen; nämlich die Daten Herbst (Vorjahr), Frühjahr, Sommer. Da die Messungen nicht immer einheitlich zum selben Termin erfolgt sind, wurden die Daten nach praktisch nachvollziehbaren Gesichtspunkten und nach der, vom Zeitpunkt her größten Überschneidung, ausgewählt.

Für einen besseren Überblick ist mit der Abb. 26 die N_{\min} Dynamik der unterschiedlichen Entnahmetiefen dargestellt.

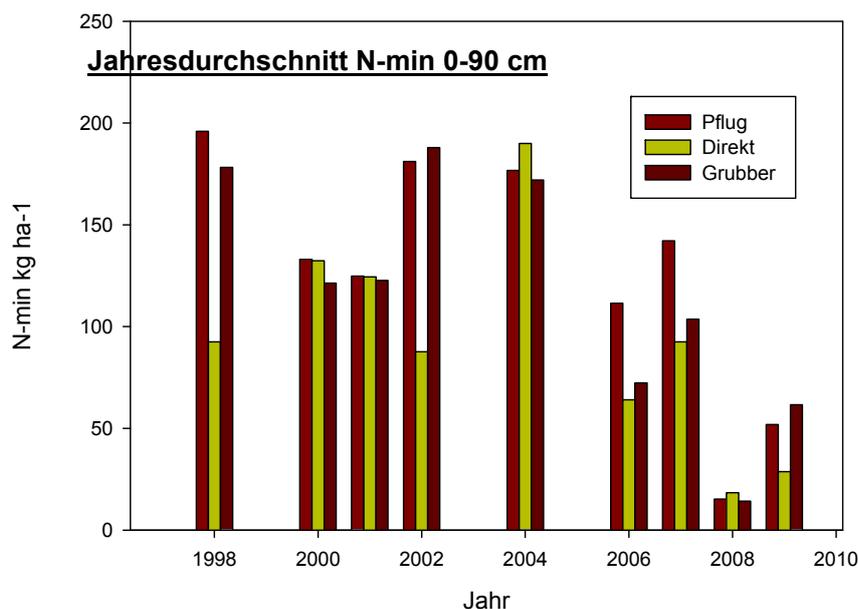


Abb. 27: Jahresmittel der N_{\min} Gehaltswerte von 0- 90 cm Bodentiefe Raasdorf

Wie aus Abbildung 27 ersichtlich ist, sind die Schwankungen zwischen den einzelnen Jahren sehr stark. In einigen Jahren (1998, 2002, 2009) liegt die Direktsaatvariante deutlich niedriger als die beiden anderen Varianten.

Der mineralisierbare Stickstoff (N-min) wurde in jeder Parzelle in drei verschiedenen Bodentiefen gemessen: 0-30, 30-60, 60-90 cm.

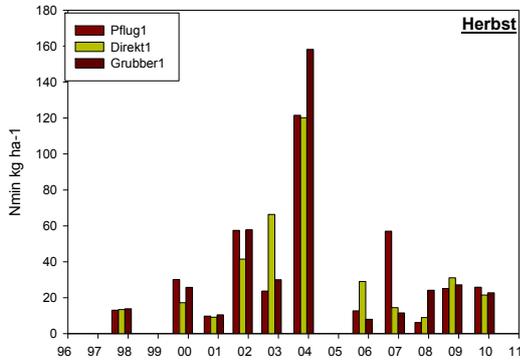


Abb. 28: Durchschnittliche Nmin Werte 0-30 cm Herbst

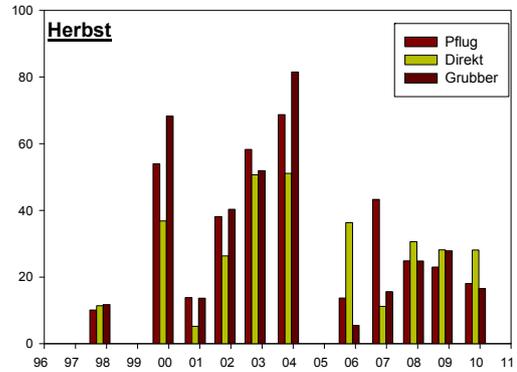


Abb. 29: Durchschnittliche Nmin Werte 0-90 Herbst

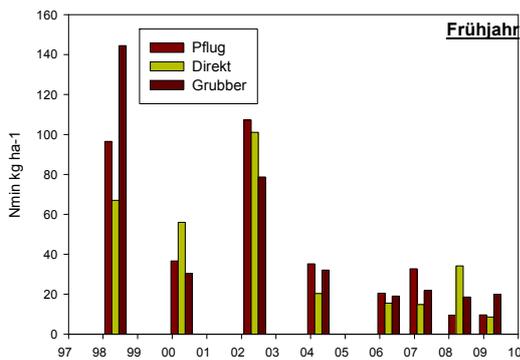


Abb. 30: Durchschnittliche Nmin Werte 0-30 cm Frühjahr

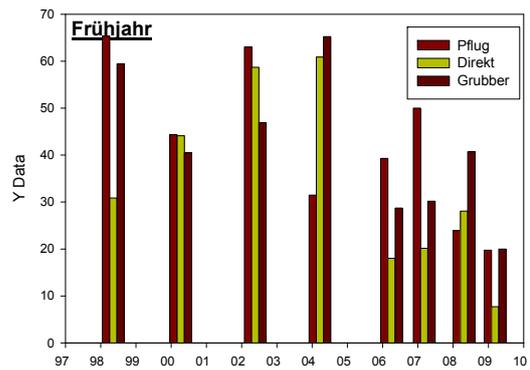


Abb. 31: Durchschnittliche Nmin Werte 0-90 Frühjahr

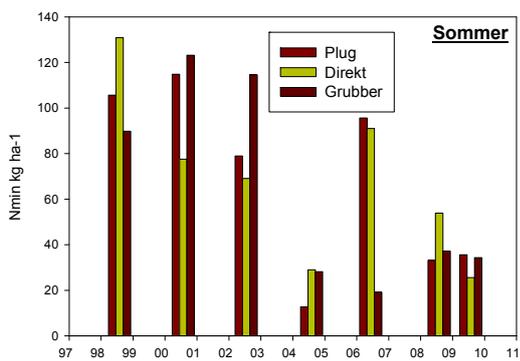


Abb. 32: Durchschnittliche N- min Werte 0-30 cm Sommer

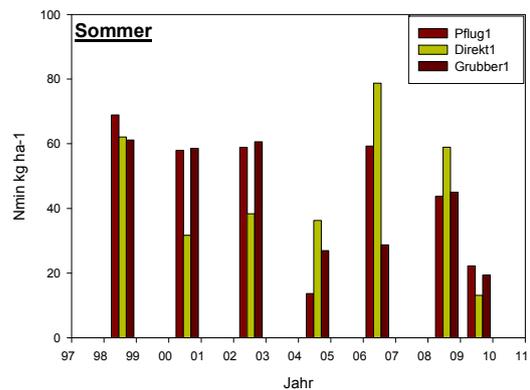


Abb. 33: Durchschnittliche Nmin Werte 0-90 Sommer

Da die jährliche Beprobung zum selben Datum erfolgte, sind die Abbildungen von links nach rechts zu beurteilen.

Tab. 12 Statistische Auswertung der N_{min}- Gehaltswerte in den Erntejahren 1998- 2004

Effekt	Zähler	Nenner	F-Statistik	Pr > F
	Freiheitsgrade	Freiheitsgrade		
JAHR	3	225	21,06	<0001
BB	2	12	4,33	0,0385
JAHR*BB	6	225	3,46	0,0028
TERMIN	3	225	9,08	<0001
JAHR*TERMIN	9	225	32,72	<0001
BB*TERMIN	6	225	1,62	0,1419
JAHR*BB*TERMIN	18	225	3,28	<0001
JAHR*WH	9	225	2,04	0,0365
TERMIN*WH	9	225	0,93	0,5026
JAHR*TERMIN*WH	27	225	2,33	0,0004

Tab. 13: Statistische Auswertung der N_{min}- Gehaltswerte in den Erntejahren 2006- 2010

Effekt	Zähler	Nenner	F-Statistik	Pr > F
	Freiheitsgrade	Freiheitsgrade		
JAHR	4	72,4	37,72	<0001
BB	2	10,5	2,74	0,1104
JAHR*BB	8	74,7	0,94	0,488
TERMIN	3	72,4	28,48	<0001
JAHR*TERMIN	7	72,4	11,98	<0001
BB*TERMIN	6	73,9	1,98	0,0787
JAHR*BB*TERMIN	14	73,8	1,85	0,0463
JAHR*WH	12	72,4	1,13	0,348
TERMIN*WH	9	72,4	1,58	0,1386
JAHR*TERMIN*WH	15	72,4	0,62	0,8484

Wie zu erwarten, gab es im Oberboden von 0- 30 cm die deutlichsten Unterschiede. Das lässt die Vermutung zu, dass es einen Einfluss der Bodenbearbeitung auf die N_{min} Dynamik gibt. Es wurden auch Proben in der Tiefe 30- 60 cm entnommen. Da diese Ergebnisse näher beieinander liegen und somit nicht so aussagekräftig sind, wurden sie nicht in die Arbeit aufgenommen. Besonders das Jahr 2004 fällt auf. Hier gab es im Herbst noch eine sehr hohe Stickstoffmenge im Boden. Leider wurden im Jahr 2005 auf diesen Parzellen andere Kulturen angebaut; somit konnte der weitere Verlauf nicht untersucht werden.

Die statistische Auswertung zeigt, dass sich die N_{min} Werte in den Jahren 1998- 2004 signifikant voneinander unterscheiden. Dieser Umstand trifft für die Jahre 2006- 2010 nicht mehr zu.

6.1.3. Bodenwasser

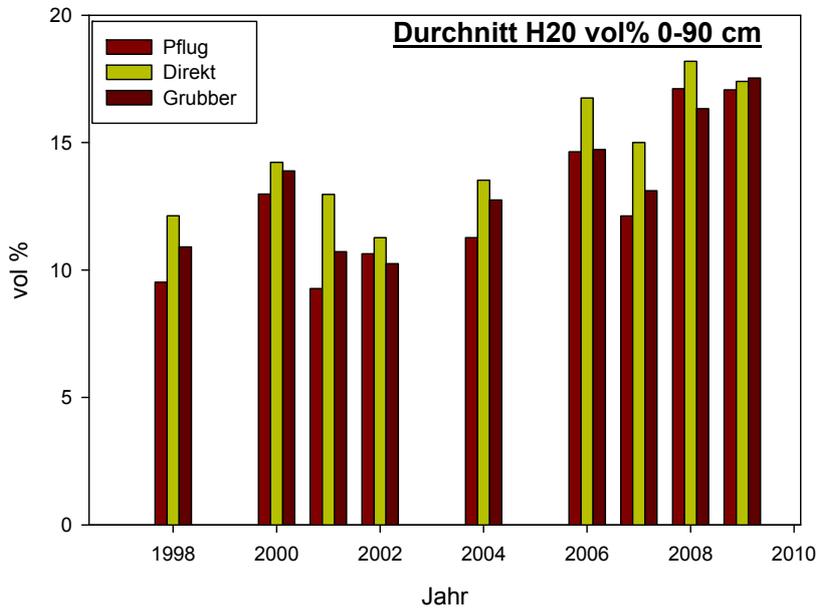


Abb. 34: Bodenwassergehalt in 0-90 cm Bodentiefe

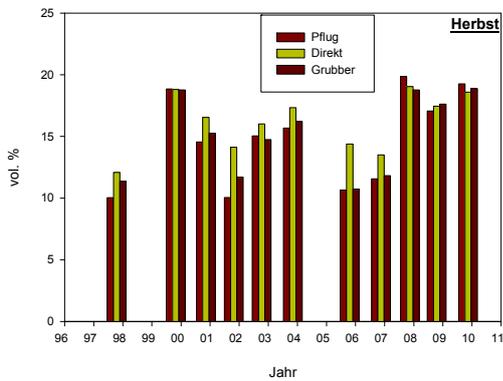


Abb. 35: Durchschnittliches Bodenwasser in 0-30 cm Herbst

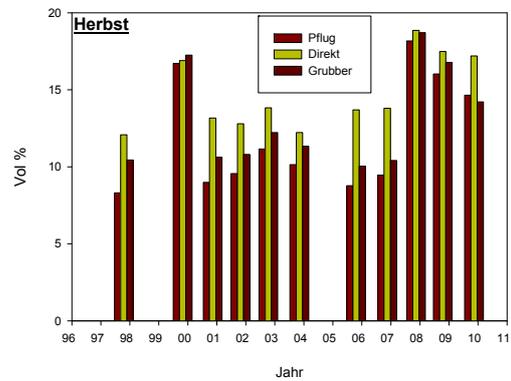


Abb. 36: Durchschn. Bodenw. 0-90 Herbst

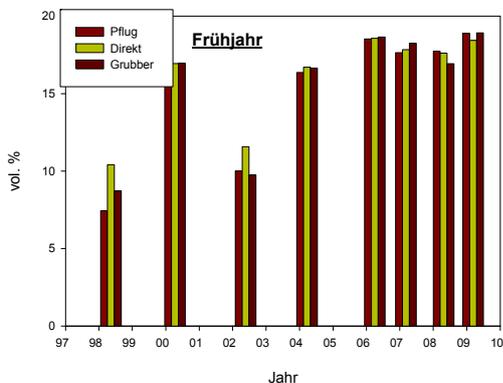


Abb. 37: Durchschnittliches Bodenwasser in 0-30 cm Frühjahr

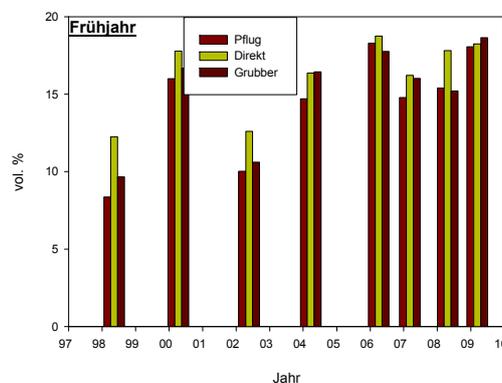


Abb. 38: Durchschn. Bodenw. 0-90 Frühjahr

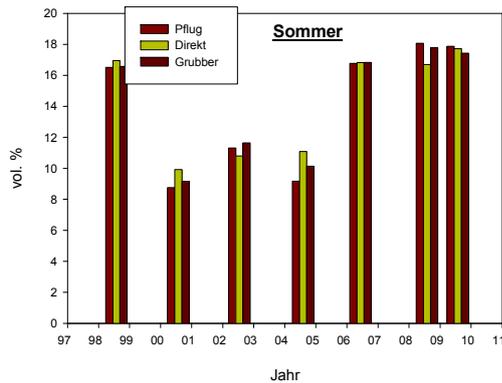


Abb. 39: Durchschnittliches Bodenwasser in 0-30 cm Sommer

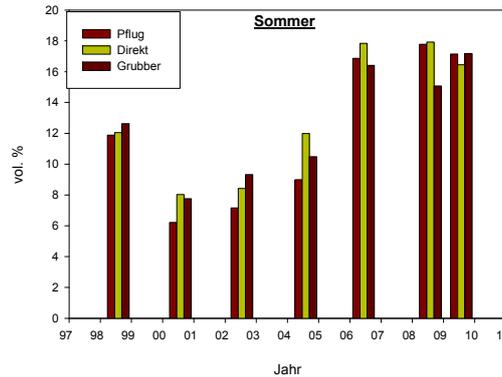


Abb. 40: Durchschn. Bodenw. 0-90 Sommer

Tab. 14: Statistische Auswertung Bodenwasser der Jahre 1998- 2004

Effekt	Zähler Freiheitsgrade	Nenner Freiheitsgrade	F-Statistik	Pr > F
Jahr	3	225	84,12	<0001
BB	2	12	8,45	0,0051
Jahr*BB	6	225	3,77	0,0014
TERMIN	3	225	794,81	<0001
Jahr*TERMIN	9	225	198,46	<0001
BB*TERMIN	6	225	1,77	0,1057
Jahr*BB*TERMIN	18	225	2,46	0,0012
Jahr*WH	9	225	4,11	<0001
TERMIN*WH	9	225	0,90	0,5232
Jahr*TERMIN*WH	27	225	1,43	0,0863

Tab. 15: Statistische Auswertung Bodenwasser der Jahre 2006- 2010

Effekt	Zähler Freiheitsgrade	Nenner Freiheitsgrade	F-Statistik	Pr > F
Jahr	4	72,4	79,50	<0001
BB	2	7,83	11,30	0,0049
Jahr*BB	8	73,2	23,08	<0001
TERMIN	3	72,4	118,01	<0001
Jahr*TERMIN	7	72,4	75,85	<0001
BB*TERMIN	6	72,9	8,50	<0001
Jahr*BB*TERMIN	14	72,9	12,80	<0001
Jahr*WH	12	72,4	8,97	<0001
TERMIN*WH	9	72,4	1,07	0,3962
Jahr*TERMIN*WH	15	72,4	2,57	0,0039

Die Werte für das Bodenwasser unterschieden sich in den Jahren 1998 bis 2004 signifikant voneinander. In den Folgejahren gab es nur in zwei Jahren (2007, 2009) keinen signifikanten Unterschied. Der volumetrische Bodenwassergehalt war in den vorangegangenen Jahren am Höchsten. Es zeigt sich, dass die Werte in der Tiefe 0- 30 cm und in der Tiefe 0 – 90 cm nahe beieinander liegen. Der Einfluss der Bodenbearbeitung dürfte hier also geringer sein,

als bei den N_{\min} - Werten. Einzig im Herbst, in der Tiefe 0- 90 cm zeigte sich bei Direktsaat der höchste volumetrische Bodenwassergehalt. Das könnte mit der Technik der Saat zusammenhängen, da bei Direktsaat der Boden nicht ganzflächig bearbeitet wird und somit mehr Wasser im Boden verbleibt.

Die Bodenbearbeitungsvarianten unterschieden sich in allen Jahren signifikant voneinander, wie aus den Tabellen 14 und 15 zu entnehmen ist.

6.1.4. Korn- Ertragsverhalten bei Winterweizen bei unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen

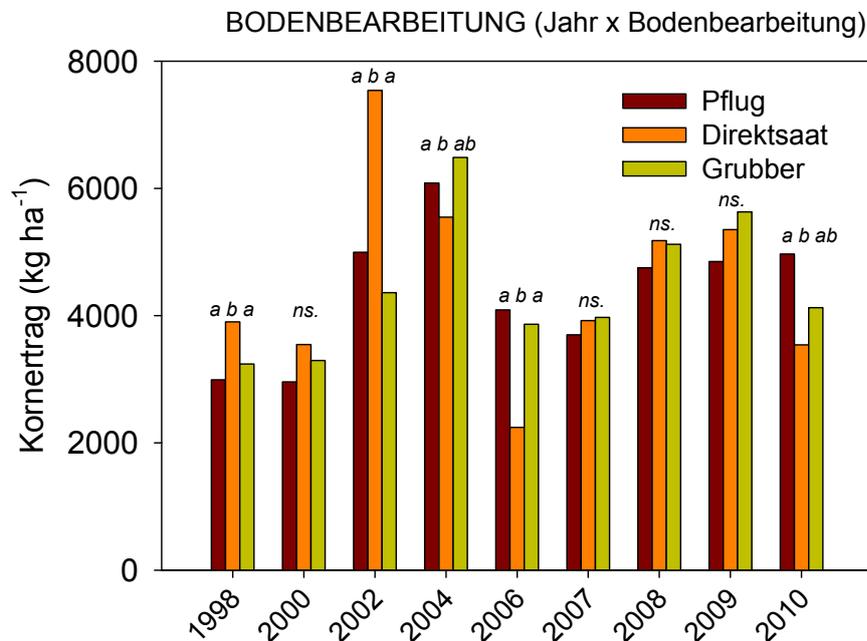


Abb. 41: Korntrug in kg/ha bei Winterweizen von 1998- 2010

Langjährig zeigt Abb. 41 interessante Ergebnisse: So war die Direktsaatvariante im Jahr 2002 mit großem Abstand die Beste, aber in nur 2 von 9 Jahren signifikant höher. Die Pflugvariante war nur in einem Jahr signifikant besser. Die Grubbervariante, war, wie die Pflugvariante auch, nur in einem Jahr signifikant besser. Die unterschiedlichen Erträge lassen natürlich viele Interpretationen zu. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass die Direktsaatvariante überrascht hat, da sie in zwei Jahren signifikant besser, bzw. in vier Jahren unsignifikant besser war.

Tabelle 16 verdeutlicht die starken Schwankungen der Ertragsergebnisse. Die größten Schwankungen um den Mittelwert treten bei der Direktsaatvariante auf. Dieser Umstand zeigt sich auch bei Abbildung 41. Die große Schwankungsbreite wird wohl von mehreren Faktoren beeinflusst: In erster Linie wird der Ertrag durch den Aufgang nach der Saat festgelegt. Erst dann kann in trockenen Jahren der Effekt der Mulchschicht zum Tragen kommen. Auch der bei Direktsaat kühlere Boden kann zu einem verzögerten Wachstum führen. Aber auch Faktoren wie z.B. eine hohe Feldmauspopulation können zu geringeren Erträgen führen (SHALA- MAYRHOFER 2005).

Tab. 16: Variationskoeffizient langjähriger Ertrag

Var. Koeffizient			
Jahr	Pflug	Direkt	Grubber
1998	12,97	8,97	12,25
2000	5,88	8,08	2,41
2002	5,06	16,27	11,69
2004	6,05	9,19	4,35
2006	3,45	65,58	6,93
2007	18,96	5,03	14,71
2008	21,19	11,31	11,63
2009	8,44	11,36	4,49
2010	8,64	30,15	21,91
AV	10,07	18,44	10,04

Der durchschnittliche Variationskoeffizient ist bei der Direktsaatvariante am höchsten. Das heißt das, wie bereits erwähnt, die Erträge hier auch am stärksten schwanken. Am ertragsstabilsten erweist sich die Grubbervariante. Die Pflugvariante sticht im Jahr 2008 stark hervor. Jedoch unterscheiden sich gerade im Vegetationsjahr 2010 die Erträge nicht signifikant voneinander.

6.1.5. Erntefeuchte

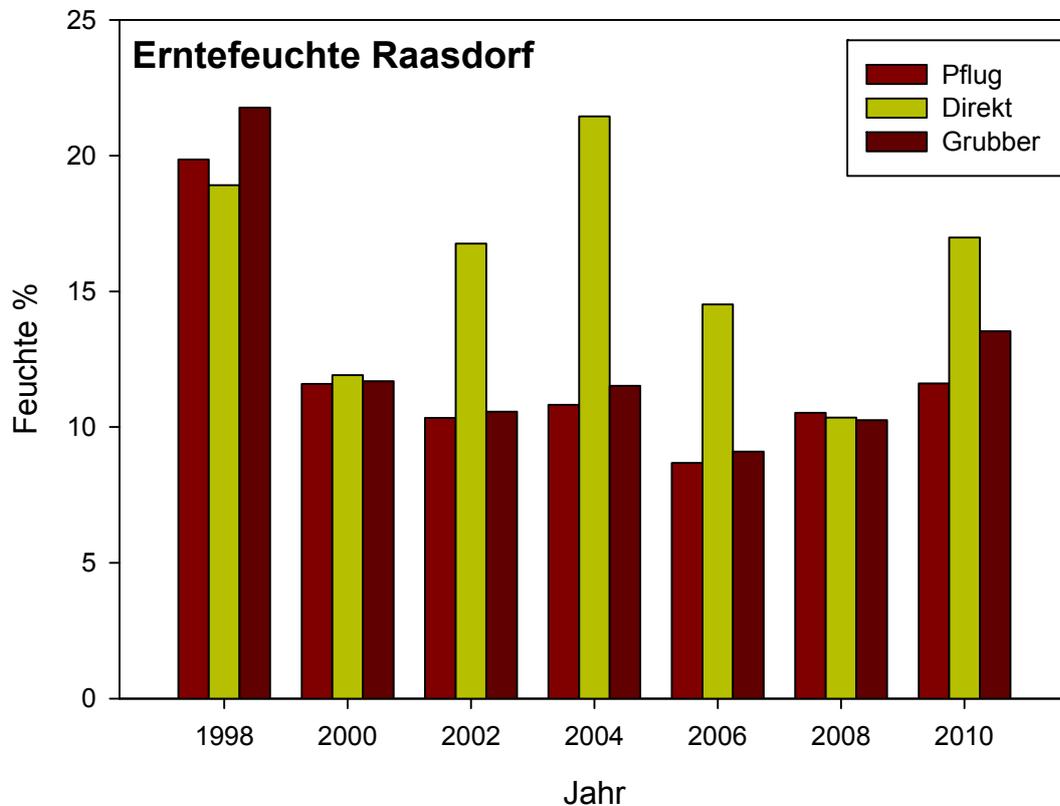


Abb. 42: Durchschnittlicher H₂O- Gehalt im Korn bei Winterweizen

Ein Ergebnis, welches man auch optisch erkennen konnte, ist, dass der direkt- gesäte Weizen länger grün bleibt bzw. später abreift. In Abbildung 42 kann man diesen Umstand erkennen. Die Direktsaatvariante wurde in den meisten Jahren mit sehr viel höheren Feuchtegehalten geerntet. Für die praktische Landwirtschaft muss dieser Umstand nicht unbedingt positiv sein, denn zu hohe Erntefeuchte bedeutet höhere Druschverluste bzw. Preisabzüge wegen hoher Trocknungskosten.

6.3. Biomasse oberirdisch

6.3.1. Gesamt Biomasse

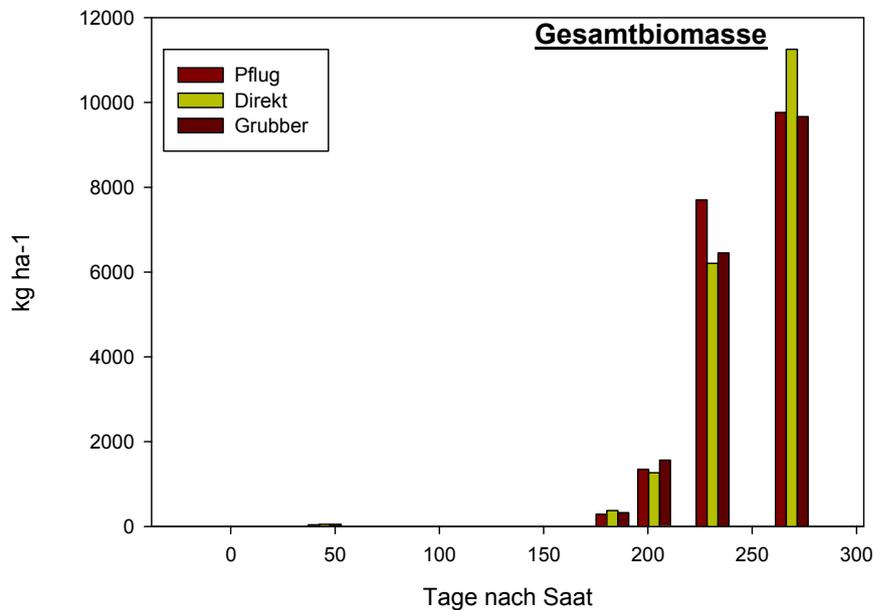


Abb. 43: Biomassebildung vom Aufgang bis zur Ernte bei Winterweizen

Tab. 17: Statistische Auswertungen Gesamtbiomasse im Vegetationsjahr

Effekt	Zähler Freiheitsgrade	Nenner Freiheitsgrade	F- Statistik	Pr > F
Bodenbearbeitung	2	6,9	0,54	0,606
Termin	3	12,3	287,74	<0001
Bobearb. x Termin	6	12,2	3,13	0,043
WH	2	6,9	1,32	0,327
WH*Termin	6	12,2	4,14	0,017

Der Biomasseverlauf über die Vegetationsperiode zeigte bei der Direktsaatvariante, entgegen der Erwartung, die größten Überraschungen. Gegen Ende der Vegetationsperiode setzte sich diese Variante mit den höchsten Biomasseerträgen durch. Aufgrund des visuellen Eindruckes, den die Direktsaatparzellen vermittelten, war dieses Ergebnis so nicht zu erwarten. Die einzelnen Direktsaat- Parzellen zeigten sehr lückige Bestände.

Der für den Landwirt wichtigste Output ist der Kornertrag. Für die durchgeführte Arbeit waren jedoch alle pflanzlichen Organe, welche die Grundlage der Ertragsbildung sind, außer der Wurzel von Bedeutung, um Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten feststellen zu können.

Tab. 18: Statistische Auswertung Gesamtbiomasse nach Termin

Termin	Bodenbearb.	df	Standardfehler	t- Wert	Pr > t
203	Pflug	15,5	226,66	2,56	0,0214
	Direkt	15,5	226,66	2,01	0,0624
	Grubber	15,5	226,66	2,79	0,0134
231	Pflug	15,5	226,66	26,76	<0,001
	Direkt	15,5	226,66	21,33	<0,001
	Grubber	15,5	226,66	23,21	<0,001
255	Pflug	15,5	226,66	21,13	<0,001
	Direkt	15,5	226,66	21,95	<0,001
	Grubber	15,5	226,66	20,81	<0,001
269	Pflug	15,5	226,66	14,14	<0,001
	Direkt	15,5	226,66	16,76	<0,001
	Grubber	15,5	226,66	14,81	<0,001

Tabelle 18 zeigt die statistische Auswertung nach Termin. Es zeigte sich, dass sich ab Termin 231 alle Ergebnisse signifikant voneinander unterscheiden. Hervorzuheben ist, dass die Direktsaatvariante am besten abschneidet. Interessanterweise erst am letzten Termin (269), wo hingegen die Pflugvariante am vorletzten Termin klar die meiste Biomasse gebildet hat.

6.3.2. Blatt

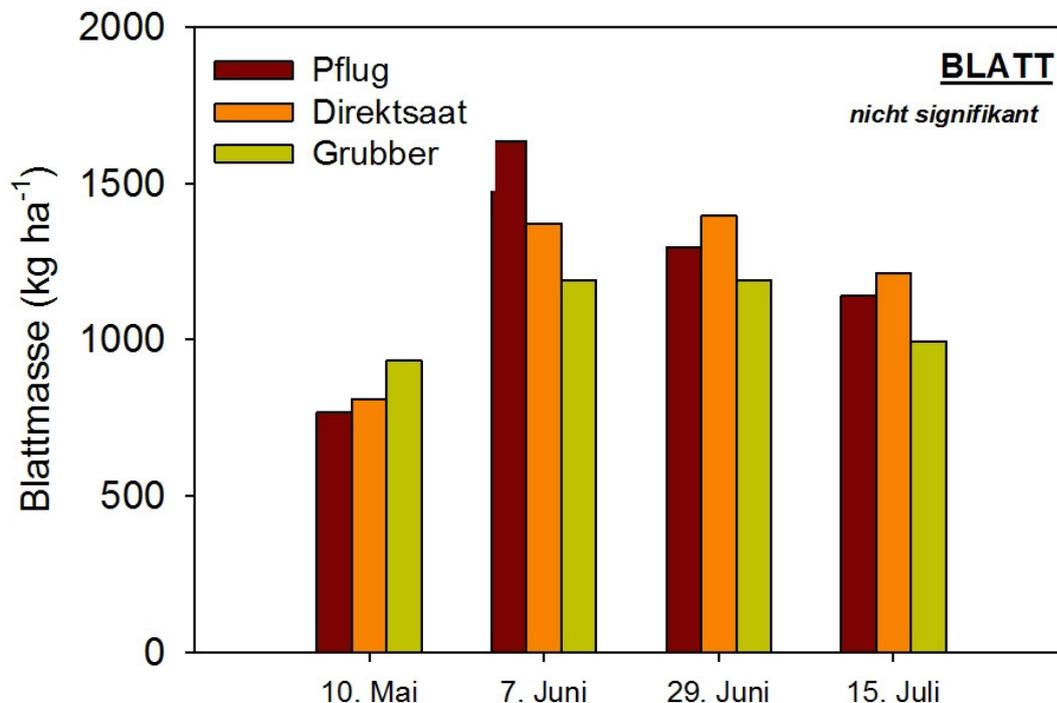


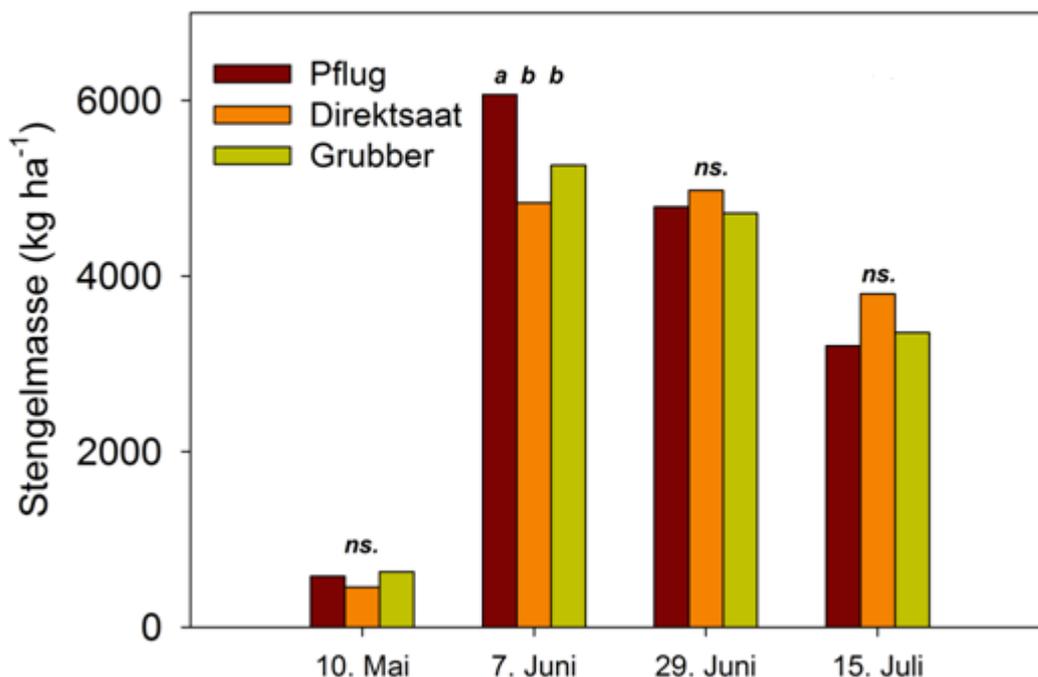
Abb. 44: Verlauf der Blattmassebildung in kg/ha bei Winterweizen von 10. Mai bis 15. Juli 2010

Tab. 19: Statistische Auswertung Blatttrockenmasse im Vegetationsjahr 2010

Zeit	MittelW	StabW	VarKoeff.
10.Mai	836,68	197,62	23,62
07.Jun	1397,73	369,78	26,46
29.Jun	1293,08	261,84	20,25
15.Jul	1115,31	121,42	10,89
Bobearb.	MittelW	StabW	VarKoeff.
Pflug	1209,22	376,52	31,14
Direkt	1196,6	321,24	26,85
Grubber	1076,38	282,22	26,22
Insgesamt	1160,7	325,12	28,01

Die Messung der Blattmasse ergab hinsichtlich der verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten keinen signifikanten Unterschied. Einzig am Termin 7. Juni stach die Pflugvariante hervor. An den nächsten Terminen ging dieser Effekt wieder verloren. Hinsichtlich der Unterdrückung von Unkräutern wäre dieser Effekt natürlich sehr interessant, aber diese, ist eher von der züchterischen Seite zu beeinflussen.

6.3.3. Stängel

Abb. 45: Trockenmasse Stängel in kg ha⁻¹ von 10. Mai bis 15. Juli 2010

Tab. 20: Statistische Auswertung Stängeltrockenmasse im Vegetationsjahr 2010

Zeit	MittelW	StabW	VarKoeff.
10.Mai	555,7	173,71	31,2596725
07.Jun	5387,6	940,48	17,4563813
29.Jun	4826,34	375,95	7,78954653
15.Jul	3453,48	368,99	10,6845848
Bobearb.	MittelW	StabW	VarKoeff.
Pflug	3659,88	2160,09	59,02
Direkt	3516,05	1978,61	56,27
Grubber	3491,47	1925,26	55,14
Insgesamt	3555,8	1966,59	55,31

Die Stängelgewichte (Halm) unterschieden sich nur an einem Termin (7. Juni) signifikant. Dabei war die Pflugsaat die Variante, mit dem höchsten Gewicht. An den weiteren Termin sind die Stängelgewichte sehr ähnlich.

Da alle Varianten mit der gleich hohen Stickstoffmenge gedüngt wurden, und auch die restlichen Maßnahmen gleich waren, kann hier der Einfluss des Stickstoffes ausgeschlossen werden.

Die an sich sehr ähnlichen Stängelgewichte widersprechen dem Eindruck bei der Probennahme. Hier lag die Direktsaatvariante am weitesten zurück. Dies wurde jedoch nicht verifiziert. Interessant ist die Tatsache, dass die Stängelgewichte zur Ernte hin abnehmen. Da alle Varianten vor dem Wägen getrocknet wurden, ist die abnehmende Feuchtigkeit auszuschließen.

6.3.4. Ähre und Harvest Index

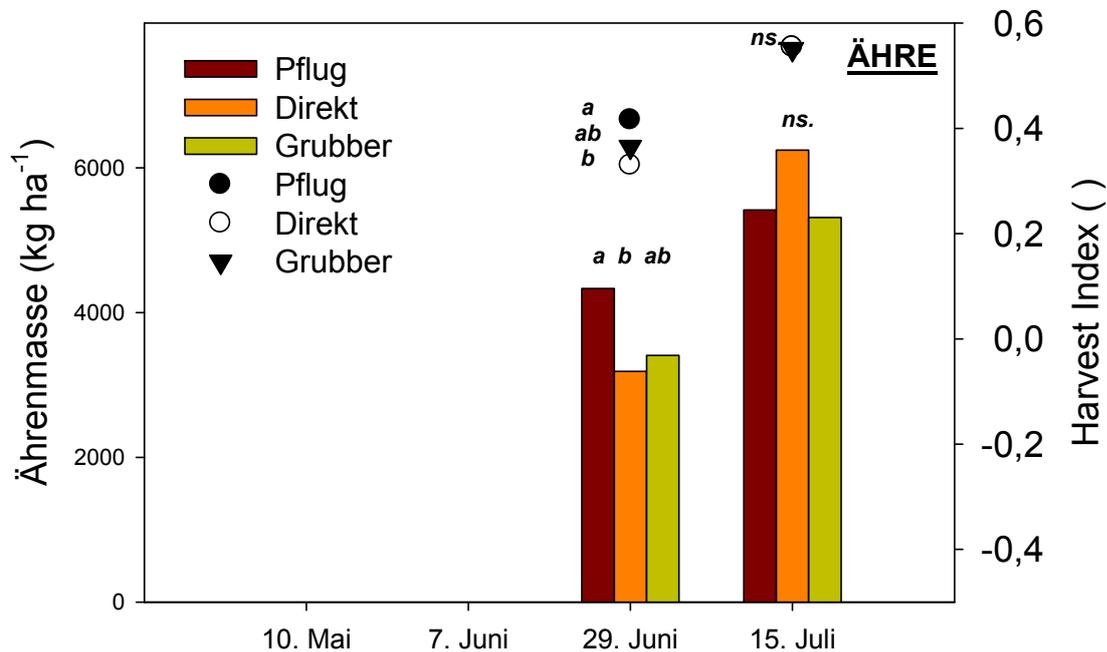


Abb. 46: Ährengewicht und Harvest Index

Tab. 21: Statistische Auswertung Ährentrockenmasse im Vegetationsjahr 2010

Zeit	MittelW	StabW	VarKoeff.
29.Jun	3.642,34	745,43	20,47
15.Jul	5.658,10	591,94	10,46
Bobearb.	MittelW	StabW	VarKoeff.
Pflug	4.875,13	683,53	14,02
Direkt	4.715,07	1.812,31	38,44
Grubber	4.360,47	1.090,17	25,00
Insgesamt	4.650,22	1.225,54	26,35

Wie im Kapitel 3 bereits erwähnt, wurden die Ährengewichte erst mit vollständigem Ausschleichen der Ähren erfasst (BBCH 51). Hierbei zeigten sich nur am Termin 29. Juni signifikante Unterschiede. Die Pflugvariante zeigte sich hier als die Variante mit dem höchsten Ährengewicht.

Der Harvest Index (Ernteindex) wird als der Anteil des Ernteproduktes an der Gesamttrockenmasse bezeichnet (BECKER 1993) und wurde für diese Messung als Quotient aus Ährengewicht und Pflanzengesamtgewicht ermittelt.

Der Harvest Index, gemessen an zwei Terminen, war am 29. Juni bei der Pflugvariante am höchsten.

Ab Termin 15. Juli ergab die Messung keine signifikanten Unterschiede.

Die Wurzelmasse wurde nicht berücksichtigt, da sie zwar einen Assimilat-Sink darstellt, jedoch der Assimilatstrom eher zum Sproß geht. Über das Jahr wird zur Ernte hin der

Zuwachs der Wurzeln gebremst weil die näher den Quellen gelegenen Senken (sink) eher und stärker die überschüssigen Assimilate auf sich ziehen (BAEUMER 1992).

6.3.5. Ertrag

Das wichtigste Ergebnis der Versuche entsprach den Erwartungen bzw. visuellen Eindrücken der Parzellen.

Tab. 22: Durchschnittlicher Kornertag in kg/ha

Jahr	Pflug	Direkt	Grubber
1998	2990,9	3902,2	3238,3
2000	2958,5	3546,6	3296,5
2002	4995,8	7540,7	4361,6
2004	6082,2	5547,9	6486,1
2006	4090,0	2242,8	3865,2
2007	3700,5	3922,8	3971,8
2008	4750,9	5178,9	5122,0
2009	4851,5	5352,1	5629,9
2010	4969,3	3542,3	4125,3

Der durchschnittliche Ertrag im Jahr 2010 lag bei 4.212,30 kg/ha. Als beste Variante dieses Jahres wurde die Pflugvariante ermittelt. Die Direktsaatvariante war 2010 die schlechteste (nicht signifikant).

Tab. 23: Kornertag in kg/ha im Jahr 2010

Wdh.	Bearbeitungsvarianten		
	Plug	Direkt	Grubber
1	5181,5	2090,1	4229,8
2	5223,5	4424,6	4879,4
3	4327,1	4259,2	2829,4
4	5145,1	3395,6	4562,5
Durchschn.	4969,3	3542,3	4125,3

Das Jahr 2010 zeichnete sich durch sehr hohe Niederschlagsmengen verbunden mit kühlen Temperaturen aus. Dies könnte, neben weiteren Ursachen, den niedrigen Ertrag verursacht haben. Weiters sind die Ursachen vielleicht im schlechten Aufgang zu suchen bzw. auch in der etwas geringeren Bestockung der Direktsaatvarianten. Da es im Jahr 2010 hohe Niederschläge gab, liegt die Vermutung nahe, dass die vorhandenen Fusarien- Infektionen auch einen Minderertrag verursacht haben könnten. Dies wurde jedoch nicht untersucht.

Man geht aber davon aus, dass das Vorkommen von Fusariuminfektionen wesentlich von der Witterung zur Blüte geprägt wird (ELLNER 2001). Für das Versuchsjahr würde diese Behauptung zutreffen, da es insbesondere zur Blüte in der KW 22 hohe Niederschläge gab.

6.3.6. Leaf Area Index

Um, bezüglich der Strahlungsaufnahme, die Dichte der Bestände beurteilen zu können wurde bei jedem Probetermin auch der LAI ermittelt. Der LAI (leaf area index) ergibt sich aus der zur Photosynthese befähigten Blattfläche eines Pflanzenbestandes bezogen zu seinem Standraum an Bodenoberfläche, d.h. ist er ein Indikator für die Strahlungsaufnahme des Bestandes ergo der Dichte. In voll entwickelten Pflanzenbeständen werden Werte von mindestens 3 bis 4 gemessen, d.h. die Blattfläche bedeckt die Bodenoberfläche drei- bis vierfach.

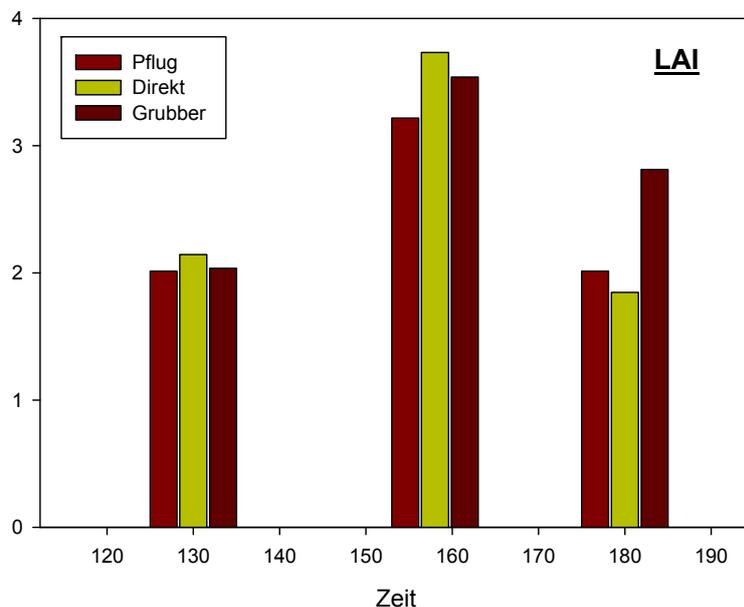


Abb. 47: LAI- Werte Raasdorf

Die LAI- Werte weisen keine signifikanten Unterschiede auf (siehe Abb. 47). Beim letzten Termin sticht die Grubbervariante hervor; jedoch nicht signifikant. Somit konnte in diesem Fall kein Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Blattfläche ermittelt werden. Dies bestätigen die in Abb. 47 gemessenen Werte. Hier konnten in der spezifischen Bodenbedeckung pro Hektar keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

6.5. Hypothesen

Die vorgegebenen Hypothesen wurden auf Basis der vorhandenen Messergebnisse geprüft.

6.5.1. Niederschlag und Ertrag

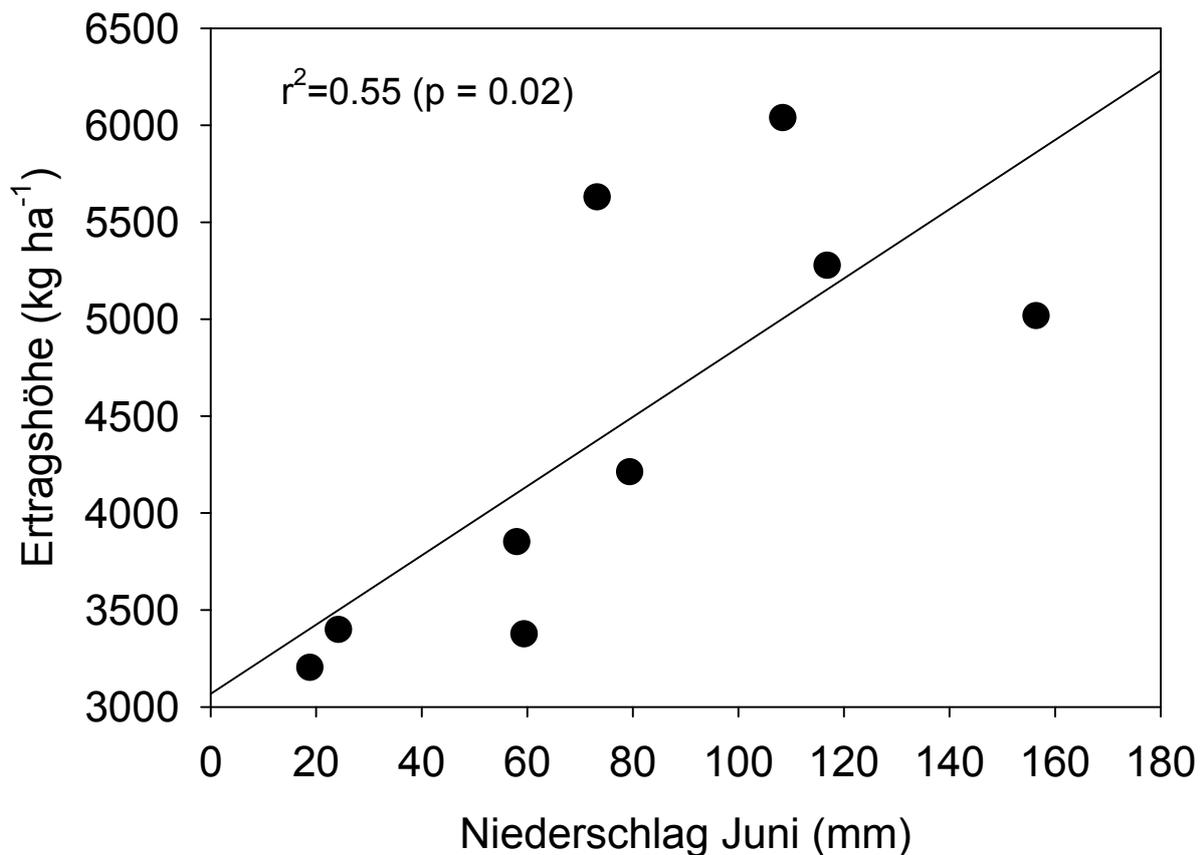


Abb. 48: Hypothese Niederschlag/Ertrag

Über Regressionsanalyse wurde die Wechselwirkung von Niederschlag und Ertrag getestet. Die Abbildung 48 zeigt die Auswirkung des Niederschlages auf die Ertragshöhe. Der Monat Juni zeigte als einziger einen Zusammenhang mit dem Kornertrag. Bei anderen Monaten war der Zusammenhang nicht signifikant. Daraus ist zu schließen, dass Weizen in der Kornfüllungsphase erhöhten Wasserbedarf hat. Wassermangel wirkt sich in diesem Stadium demnach besonders schlecht aus.

6.5.2. Mulchschicht

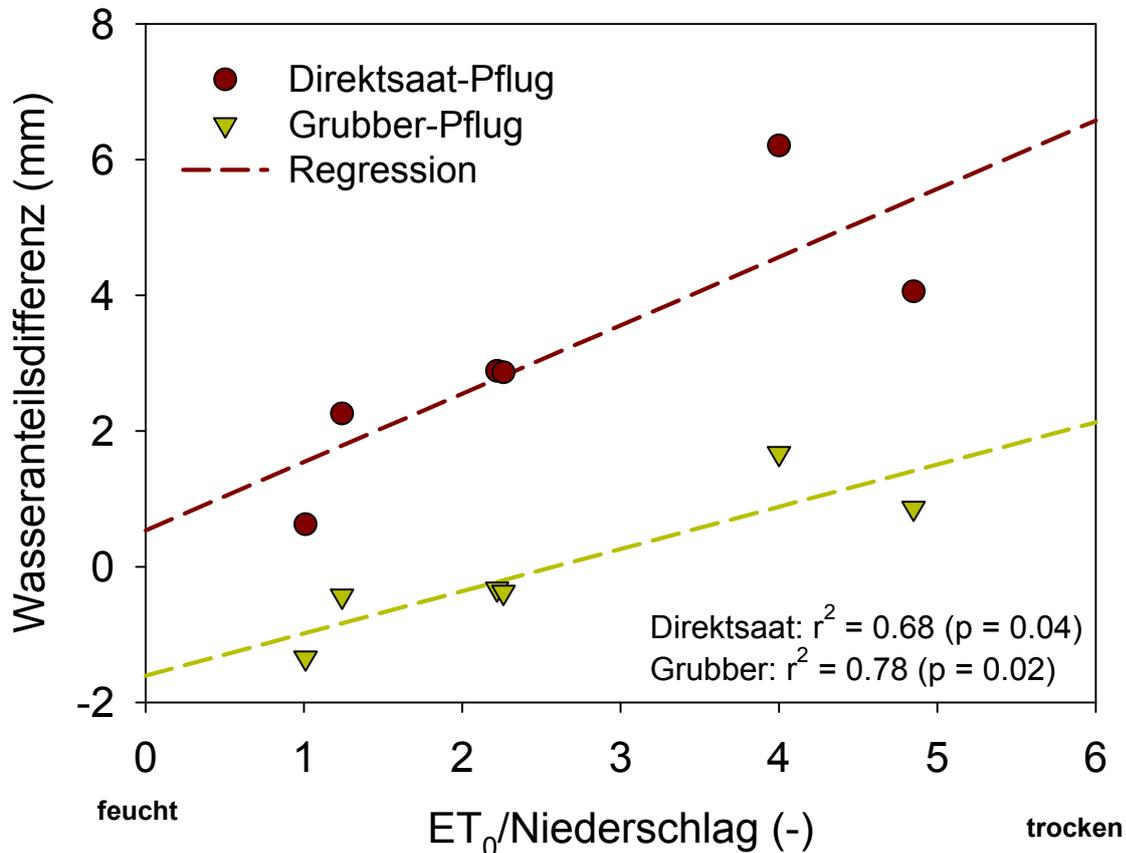


Abb. 49 : Einfluss des Niederschlages und der Evapotranspiration auf die Wasseranteilsdifferenz in mm

Abbildung 49 zeigt den Einfluss der Trockenheit auf die Wasseranteilsdifferenz der Versuchsvarianten. Die Trockenheit wurde hier als Quotient aus Evapotranspiration und Niederschlag qualifiziert. Dabei fällt die Differenz aus Direktsaat zu Pflug am deutlichsten aus (rote Linie). In dieser Abbildung wirkt sich die verminderte Evapotranspiration (Evaporation und Transpiration werden oftmals zusammengefasst) sehr stark auf die Wasseranteilsdifferenz aus. Dies lässt die Vermutung zu, dass wie auf der x- Achse aufgetragen, bei Direktsaat der Quotient aus Evapotranspiration und Niederschlag kleiner ist und somit eine größere Wasseranteilsdifferenz zu sehen ist. Nicht so stark ist dieser Effekt bei Grubber - Pflug.

Hervorzuheben ist, dass die reduzierte Bodenbearbeitung mit der obligatorischen Mulchschicht die Verdunstung mindern kann, was sich in höheren Wassergehalten widerspiegelt. Anders gesagt: Bei gleicher Trockenheit gibt es weniger Wasserverlust bei Direktsaat.

6.5.3. Ertragsdifferenz als Funktion der Wasserersparnis

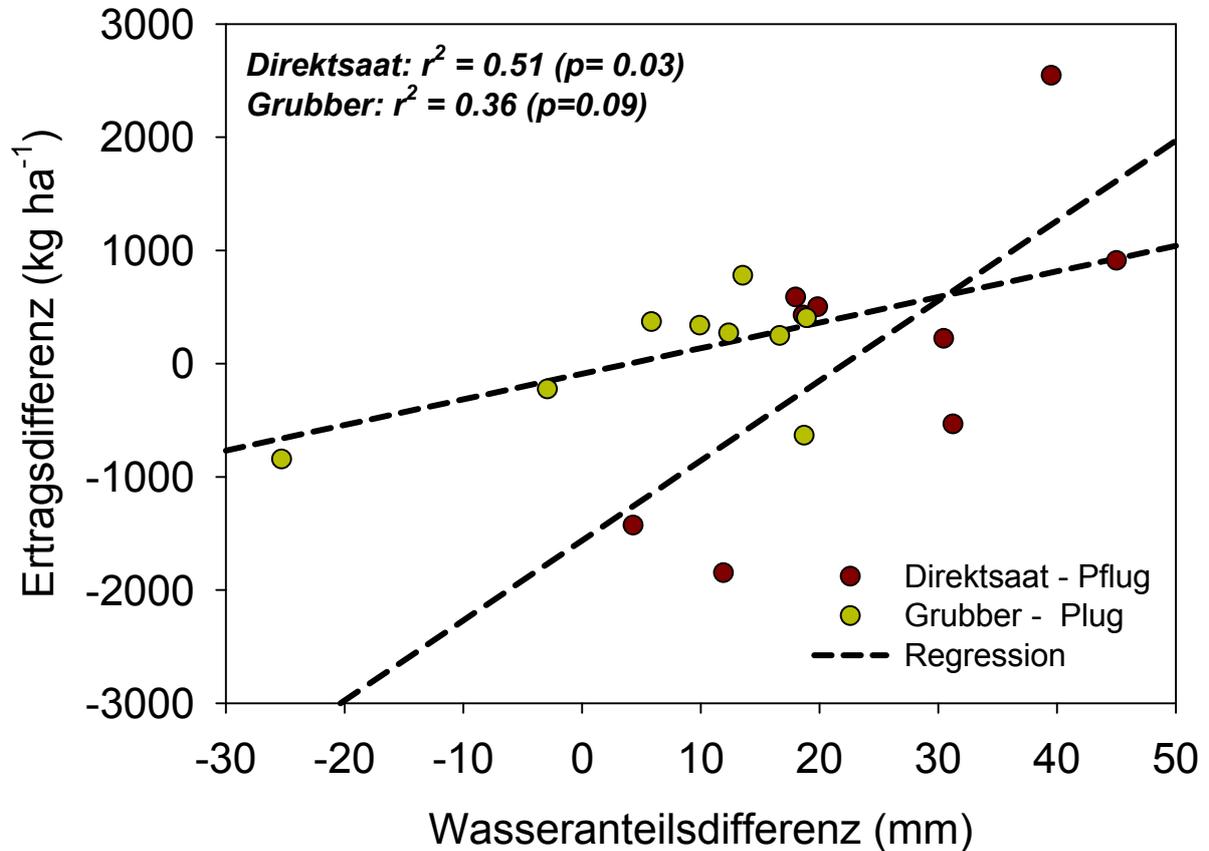


Abb. 50: Hypothese Ertrag in kg/ha versus Wasseranteilsdifferenz in mm

Die Tendenz eines höheren Ertrages als Funktion der höheren Wasserverfügbarkeit lässt sich aus Abbildung 50 erkennen. Hier ergibt die bessere Wasserversorgung einen signifikant höheren Ertrag bei der Variante Direktsaat. Eine Vermutung wäre die bessere Einzelpflanzenentwicklung, die verbunden mit dem schlechteren Feldaufgang, zu weniger Pflanzen pro Hektar führt. Eine weitere Vermutung wäre der unterschiedliche Bodenzustand nach langjähriger Direktsaat. So ist der Humusgehalt meist höher bzw. die Bodenstruktur stabiler, was sich auf die Wasserhaltefähigkeit auswirken könnte.

7. Schlussfolgerung

Das Ziel der Arbeit war die Analyse der Ertragsunterschiede unter langjährig verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen. Beurteilt wurden die drei verschiedenen Varianten konventionelle Bodenbearbeitung (Pflug), Grubber und Direktsaat langjährig getestet. Im Vegetationsjahr 2009/2010 wurden zusätzliche Parameter untersucht. Für die langjährigen Untersuchungen waren der mineralisierbare Stickstoff (N_{\min}) sowie das Bodenwasser von zentraler Bedeutung, vor allem hinsichtlich der Reduzierung der Verdunstungswassermenge. Als Ergebnisse sind anzuführen: Die Direktsaat konnte im Ertrag langjährig überzeugen, nämlich in 2 Jahren signifikant. Obwohl dieser Trend im Versuchsjahr (2010) nicht bestätigt werden konnte, kann anhand der langjährigen Untersuchungen davon ausgegangen werden, dass reduzierte Bodenbearbeitung zumindest im Durchschnitt der Jahre keine geringeren Erträge bringt, als konventionelle Bodenbearbeitung. Da das Jahr 2010 kein Trockenjahr war, sondern relativ feucht, kam hier der Effekt der Multschicht nicht so stark zu tragen. Die N_{\min} Werte unterschieden sich wider Erwarten, nicht sonderlich. Lediglich in den Jahren 1998- 2004 war ein signifikanter Unterschied feststellbar. Im Zeitraum 2006- 2010 konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Der Bodenwassergehalt unterschied sich im Gegensatz zur Direktsaat im gesamten Untersuchungszeitraum signifikant. Wobei der Unterschied kleiner als erwartet war.

Ob das Direktsaatsystem die Verdunstung reduzieren kann, wurde durch die angeführten Daten belegt und auch schon in der Literatur bestätigt. Insbesondere für Produktionsgebiete in ariden bzw. semiariden Klimagebieten, stellt dieses Bodenbearbeitungssystem eine interessante Alternative zu konventioneller Bodenbearbeitung dar.

Entgegen der Erwartung war die Erntefeuchte im Korn bei den Direktsaatparzellen höher. Sie war in fünf Jahren deutlich höher als jene in den Vergleichsparzellen. Eine höhere Kornfeuchte ist für den Produzenten meist von Nachteil, doch lässt es die Vermutung zu, dass es eine verzögerte Abreife geben könnte.

Der Multschicht kommt eine besondere Bedeutung in Trockenjahren zu, wie aus Kapitel 4.3.2. zu entnehmen. Der Effekt ist am größten, wenn die konventionelle Bodenbearbeitung mit der Direktsaat verglichen wird, jedoch kleiner, wenn die reduzierte Bodenbearbeitung (Grubber) mit Direktsaat verglichen wird. Ein Indiz für den wassersparenden Effekt einer zunehmenden Multschicht.

Die zweite Hypothese, dass dieser Effekt besonders in Trockenjahren zur Geltung kommt konnte bei der Variante Direktsaat nachgewiesen werden. Hier ergab ein höheres Wasserangebot einen höheren Ertrag.

Reduzierte Bodenbearbeitungsverfahren stellen eine höhere Anforderung an die Sähetechnik. Das ganze System Direktsaat ist abhängig von der Qualität der Direktsaatmaschine, vom Fahrer und von den Bodenbedingungen. Es bedarf sehr viel Know-How, dieses Verfahren in der Praxis einzusetzen. Dies ist auch ein Grund, warum es sich in Österreich noch nicht wirklich durchgesetzt hat. Vergessen darf man keinesfalls, dass aufgrund höherer Erträge die Strohmenge parallel dazu steigen. Bei hohen Strohmenge versagen viele Maschinen und legen das Saatgut nur oberflächlich ins Stroh, wo es unzureichende Keimbedingungen vorfindet und somit verloren ist. Wenn dazu noch ein zu feuchter, verschmierter Boden kommt, resultieren daraus fast immer Mindererträge (LINKE 1998).

Bereits bei der visuellen Bonitur der Parzellen fielen die Direktsaatparzellen durch einen eher lückigen Bestand auf. Man hätte meinen können, dass diese Parzellen so gut wie keinen Ertrag bringen können. Ein weiteres Problem ergibt sich aufgrund eben dieser lückigen Bestände, hinsichtlich Unkrautwachstum. Die Unkräuter finden in den Lücken ideale Wachstumsbedingungen. Mit einer optimierten Sähetechnik und angepasster Herbizidstrategie ist dieses Problem aber in den Griff zu bekommen.

Direktsaat bietet längerfristig einige Vorteile, die in dieser Diplomarbeit nicht aufgezeigt wurden. So ist das große Problem des Bodenabtrages durch Erosion mit der richtigen Saatechnik leicht in den Griff zu bekommen. Man geht davon aus, dass in Europa 218 Mio. ha (23% der Gesamtfläche) von Bodenerosion bedroht sind (OLDEMANN 1996). Bei möglichen jährlichen Bodenverlusten von 8 Mio. Tonnen (bezogen auf 380.000 ha in Österreich) und jährlichen Stickstoffverlusten von 16.000 t Gesamtstickstoff (STALZER 1995), ist das Verbesserungspotential erheblich. Im Vergleich schneidet das System No Till punkto Erosion am besten ab: 1,23 t Boden/ha/Jahr. Nicht dass diese Zahl nicht schon hoch genug wäre, liegt der Bodenabtrag bei konventioneller Bewirtschaftung bei 6,97 t Boden/ha/Jahr und bei konservierender Bodenbearbeitung bei 2,22 t Boden/ha/Jahr (KLIK et. al. 2004). Laut Klik entsprechen 10 t Bodenabtrag 1mm Boden! Diese Bodenmenge ist nicht zurückführbar und steht für die landwirtschaftliche Produktion nicht mehr zur Verfügung.

Aber nicht nur Bodenabtrag und somit Degradation werden in Zukunft eine große Rolle spielen – auch die CO₂ Freisetzung muss gesondert betrachtet werden. Hier schneidet Direktsaat signifikant besser ab, als konventionelle Bewirtschaftung; bei konservierender Bodenbearbeitung kann kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (KLIK 2010).

Kürzungen der landwirtschaftlichen Direktzahlungen (Stand 2011) sollte uns vermehrt in Richtung Extensivierung der landwirtschaftlichen Produktion denken lassen. Dass dabei aktiver Erosionsschutz betrieben wird verbessert die Sicht auf diese Produktionstechnik erheblich. Es sollte im ureigensten Interesse eines Landwirtes sein, seinen Boden unter allen

Umständen zu erhalten und zu schützen. Wenn dabei der Ertrag zumindest gleich wie bei konventioneller Bodenbearbeitung bleibt überwiegen die Vorteile bei weitem.

8. Zusammenfassung

Die Landwirtschaft unterliegt ständiger Veränderungen. Es gelten Dogmen, wie sie für unsere Vorgänger selbstverständlich waren, nicht mehr. Neue Maschinen, bessere Technik und der Zwang immer kostengünstiger zu produzieren erfordert ein Umdenken und Anpassen der Produktionsstrategie.

Die vorliegende Arbeit vergleicht die Ertragsunterschiede bei Winterweizen (*Triticum aestivum* L.) unter langjährig verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen. Weiters wurden im Jahr 2010 noch umfangreichere Untersuchungen durchgeführt. Es wurden dabei drei Bodenbearbeitungssysteme, die sich in ihrer Bearbeitungsintensität unterscheiden beurteilt: Die Pflugvariante, die Grubbervariante bzw. reduzierte Variante und die Direktsaatvariante. Der Feldversuch in Raasdorf in Niederösterreich war Grundlage (seit 1996) statt. Der Ertrag, N_{\min} , Erntefeuchte und der Bodenwasserhaushalt wurden speziell untersucht. Für das Jahr 2010 wurde zusätzlich noch die Zunahme der Biomasse für die unterschiedlichen Varianten ausgewertet.

Die langjährigen Ergebnisse zeigen, dass die Direktsaat im Mittel der Jahre keine geringeren Erträge bringt als die übrigen Varianten. Beim Aspekt der Erntefeuchte konnten die höchsten Werte bei Direktsaat gemessen werden. Dies ist ein Indiz für eine spätere Abreife. Die N_{\min} Werte unterschieden sich nur in den Jahren 1998- 2004. Ab dem Jahr 2004 konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Der Bodenwassergehalt war bei der Direktsaat im gesamten Untersuchungszeitraum signifikant verschieden. Wobei der Unterschied kleiner als erwartet war.

Die Frage, ob die Direktsaat die Verdunstung reduzieren kann, kann mit Ja beantwortet werden. Insbesondere in ariden bzw. semiariden Klimagebieten. Die Direktsaat ist eine interessante Alternative zur konventionellen Bodenbearbeitung.

9. Abstract

Agriculture is changing constantly. Today's dogmas are as our predecessors took for granted, not more. New machinery, better technology and budgetary constraints require a rethinking and adjusting of production strategies. The present study compares the differences in yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under different tillage systems for many years. Furthermore more extensive investigations took place in the year 2010. Three tillage systems have been tested vary in their intense of operation: the plough variant, the conservation variant and the no till variant. All sampling took place in Raasdorf in Lower Austria. The individual variants were cultivated over many years on a land parcel of the experimental farm of the University of Agricultural Sciences Vienna. The yield, N_{\min} , grain moisture and soil moisture were carefully examined. For the year 2010 the increase in biomass has been evaluated in addition due to the long-term studies. It can be assumed that the no till variant is not lower in average yield than the others. At the point of grain moisture content the no till variant was significantly (5 years) higher. This may be an indication for later ripening. The N_{\min} values differed only in the years 1998 - 2004. From 2004 there was no significant difference found. The ground water was different as opposed to the N_{\min} . The direct seeding variant was higher in the entire study period significantly. Although the difference was smaller than expected. The question of whether no-tillage can reduce evaporation, must be answered unequivocally with yes. Especially for arid and semiarid areas of production the no till system provides an interesting alternative to conventional tillage.

10. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Development of Conservation Agriculture over the last 20 years by world region in total area (ha) and as average percentage across the adopting countries of the respective region (from FAO, 2008) in: KASSAM 2009	11
Abb. 2: Aufbau eines idealen Saatbetts von Zuckerrüben/Mais nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung in erosionsgefährdeten	13
Abb. 3: Effekt der Bodenbedeckung auf die Erosionsgefahr (DERPSCH)	14
Abb. 4: Ablauf des Erosionsprozesses (DERPSCH)	15
Abb. 5: Bodenabtragsverluste in Österreich basierend auf USLE in VAN-CAMP et. al. 2004 .	16
Abb. 6 Erosionsrisiko für Süd- Europa basierend auf GLASOD in VAN- CAMP et. al. 2004 ...	17
Abb. 7: Potentielle Wassererosion in Europa basierend auf GLASOD in VAN- CAMP et. al. 2004	17
Abb. 8 : Mögliche Gefährdung durch Erosion in Europa (EEA, EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY 2000)	18
Abb. 9: Übersicht über mögliche Bestellverfahren (KTBL) in BRUNOTTE et. al. 2009.....	19
Abb. 10: Wirkungsweise des Streichblechpfluges (Feuerlein 1966) aus BAEUMER 1992	20
Abb. 11: Grubber (Pöttinger)	21
Abb. 12: Kurzscheibenegge (Pöttinger)	22
Abb. 13: Direktsaatmaschine (John Deere)	23
Abb. 14: Cross Slot Sähelement (Cross Slot)	24
Abb. 15: Dreidimensionale Visualisierung des Makroporenraumes nach Röntgen-Computertomografie (nach ROGASIK et al, 1994) aus BRUNOTTE 2009	26
Abb. 16: Relative Evaporation in Phase 1 in Abhängigkeit zur Mulchauflage (Steiner 1989)	30
Abb. 17.: Übersichtskarte Raasdorf bei Wien. (www.maps.google.de).....	32
Abb. 18: Bodenprofil Tschernosem (bodenkarte.at).....	33
Abb. 19: Langjähriger Temperaturverlauf sowie absolutes Minimum bzw. Maximum Raasdorf (ZAMG).....	35
Abb. 20: Langjähriger Monatsniederschlag in l/m ² Standort Raasdorf (ZAMG).....	35
Abb. 21: Niederschlag und Temperatur Vegetationsjahr 2009/2010 in Raasdorf	36

Abb. 22: Versuchsplan Standort Raasdorf	37
Abb. 23: Sensor LAI 2000 (LI-COR USA)	40
Abb. 24: Klimaindex langjährig in Österreich (in: HARLFINGER 2009).....	42
Abb. 25: Klimaindex Standort Raasdorf von 1998 bis 2010	43
Abb. 26: Langjährige TI Werte Österreich (in: HARLFINGER 2009)	44
Abb. 27: Jahresmittelwerte N-min Werte Raasdorf	46
Abb. 28: Durchschnittliche Nmin Werte 0-30 cm Herbst	47
Abb. 29: Durchschnittliche Nmin Werte 0- 90 cm Herbst	47
Abb. 30: Durchschnittliche Nmin Werte 0-30 cm Frühjahr	47
Abb. 31: Durchschnittliche Nmin Werte 0- 90 cm Frühjahr	47
Abb. 32: Durchschnittliche Nmin Werte 0-30 cm Sommer	47
Abb. 33: Durchschnittliche Nmin Werte 0- 90 cm Sommer	47
Abb. 34: Bodenwasser 0-90 cm	49
Abb. 35: Durchschnittliches Bodenwasser in 0- 30 cm Frühjahr	49
Abb. 36: Durchschnittliches Bodenwasser 0- 90 cm Frühjahr.....	49
Abb. 37: Durchschnittliches Bodenwasser 0- 30 cm Herbst	49
Abb. 38: Durchschnittliches Bodenwasser 0- 90 cm Herbst	49
Abb. 39: Durchschnittliches Bodenwasser 0- 30 cm Sommer	49
Abb. 40: Durchschnittliches Bodenwasser 0- 90 cm Sommer	49
Abb. 41: Kornertag in kg/ha bei Winterweizen von 1998- 2010	52
Abb. 42: Durchschnittlicher H ₂ O- Gehalt im Korn bei Winterweizen	54
Abb. 43: Biomassebildung vom Aufgang bis zur Ernte bei Winterweizen.....	55
Abb. 44: Verlauf der Blattmassebildung in kg/ha bei Winterweizen von 10. Mai bis 15. Juli 2010	56
Abb. 45: Trockenmasse Stängel in kg ha ⁻¹ von 10. Mai bis 15. Juli 2010	57
Abb. 46: Ährengewicht und Harvest Index	59
Abb. 47: LAI- Werte Raasdorf	61
Abb. 48: Hypothese Niederschlag/Ertrag	62

Abb. 49 : Einfluss des Niederschlages und der Evapotranspiration auf die Wasseranteilsdifferenz in mm63

Abb. 50: Hypothese Ertrag versus Wasseranteilsdifferenz in mm64

11. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Führende Direktsaatnationen 2007/2008 aus Derpsch et. al.....	12
Tab. 2: No tillage Fläche nach Kontinent (DERPSCH 2010)	12
Tab. 3: Bodenabtragsformel (WISCHMEIER 1987).....	15
Tab. 4: Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf den Humusgehalt in % (LIEBHARD, 2006).....	27
Tab. 5: Einfluss von Wassermangel auf in der Pflanze ablaufende Anpassungsprozesse (PASSIOURA, 2004)	28
Tab. 6: Transpirationskoeffizient (LOISKANDL)	31
Tab. 7 : N- Düngungsstrategie bei Winterweizen	38
Tab. 8: Pflanzenschutz Versuch Raasdorf	38
Tab. 9: Grenzwerte Klimaindex	43
Tab. 10 : Temperaturindex Raasdorf	45
Tab.11: Ti - Werte Raasdorf 2010.....	45
Tab. 12 Statistische Auswertung der Nmin- Gehaltswerte in den Erntejahren 1998- 2004 ...	48
Tab. 13: Statistische Auswertung der Nmin- Gehaltswerte in den Erntejahren 2006- 2010 ..	48
Tab. 14: Statistische Auswertung Bodenwasser der Jahre 1998- 2004.....	50
Tab. 15: Statistische Auswertung Bodenwasser der Jahre 2006- 2010.....	50
Tab. 16: Variationskoeffizient langjähriger Ertrag	53
Tab. 17: Statistische Auswertungen Gesamtbiomasse im Vegetationsjahr 2010	55
Tab. 18: Statistische Auswertung Gesamtbiomasse nach Termin	56
Tab. 19: Statistische Auswertung Blatt.....	57
Tab. 20: Statistische Auswertung Stängel.....	58
Tab. 21: Statistische Auswertung Ähre	59
Tab. 22: Durchschnittlicher Kornertrag in kg/ha	60
Tab. 23: Durchschnittlicher Kornertrag in kg/ha im Jahr 2010	60

12. Literaturverzeichnis

ANONYM: Tillage Type Definitions. <http://ctic.paqinteractive.com/CRM/>, abgerufen am 30.7.2010

AUFHAMMER, W. (1998): Getreide- und andere Körnerfruchtarten; Bedeutung, Nutzung und Anbau. Ulmer, Stuttgart. 194-195

BAEUMER, K. (1992): Allgemeiner Pflanzenbau, Ulmer, Stuttgart: 259, 55-56, 89

BAKER et. al. (2006): The "What" and "Why of No- Tillage Farming in: No tillage seeding in conservation agriculture 2nd Edition. Food and agriculture organization of the United Nations, Rom. 2ff.

BAKER, C.J. (1996): No- Tillage Seeding, CAB INTERNATIONAL, Wallingford (UK): 175

BECKER, H. (1993): Pflanzenzüchtung, Eugen Ulmer GmbH & Co, Stuttgart: 42

BRUNOTTE et. al. (2009): Konservierende Bodenbearbeitung aus Sicht der Wissenschaft. Amazone Werke, Hasbergen- Gaste: 110- 114

CEDELL, T. (1984).: Effect of direct-drilling of oilseeds on occurrence of weeds. 25th Swedish Weed Conference, Bd. 1, Upsalla: 163- 166

DERPSCH: UNDERSTANDING THE PROCESS OF SOIL EROSION AND WATER INFILTRATION. www.rolf-derpsch.com, abgerufen am: 12.04.2010

DIEPENBROCK et.al. (2009): Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Eigen Ulmer GmbH & Co, Stuttgart: 146

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY: Down to earth: Soil degradation and sustainable development in Europe Environmental issues series No 16, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 22

FAULKNER (1947): Plowmens folly and a second look. Reprint. Originally published: Norman : University of Oklahoma Press, 1947: 142

HARLFINGER, O. (2009): Klimahandbuch der österreichischen Bodenschätzung, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck: 109, 114

IFÖL, (2010): Information_Versuchswirtschaft_Großenzersdorf.pdf,

IFZ GÖTTINGEN: Ermittlung des Blattflächenindex, Internet. <http://www.ifz-goettingen.de/site/de/223/blattflaechenindex.html>. abgerufen am: 01.04.2011

KASSAM, A. (2009): The spread of Conservation Agriculture: Justification, sustainability and uptake. International Journal of agricultural sustainability 7(4) 2009: 292-320

KLIK et. al. (2004): Bodenerosion durch Wasser, Ländlicher Raum 6/2004: 1 www.laendlicher-raum.at/filemanager/download/33533/ abgerufen am 28.02.2011

KLIK et. al. (2010): Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf Kohlenstoffdynamik, CO₂-Emissionen und das Verhalten von Glyphosat und AMPA im Boden. Vortrag an der Hochschule für Agrar- und Umweltpädagogik Wien: 31
www.leaderaustralia.at/umwelt/veranstaltungen/boden.../truempel_tulln abgerufen am: 27.02.2011

KÖLLER (1992) in KTBL: Ergebnisse von Versuchen zur Bodenbearbeitung und Bestellung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Darmstadt

KÖLLER et. al. (2001): Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug. DLG Verlags-GmbH, Frankfurt: 12-15, 115, 57

KTBL (1998): Bodenbearbeitung und Bodenschutz – Schlußfolgerungen für gute fachliche Praxis. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Darmstadt

LIEBHARD, P. (2006): Ausgewählte Bodenschutzmaßnahmen und Bodenschutzkriterien, Studienbehelf Skriptum der LV Bodenbearbeitung und Bodenschutz, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Universität für Bodenkultur Wien. 10 - 16

LINKE (1998): Direktsaat – eine Bestandsaufnahme unter besonderer Berücksichtigung technischer, agronomischer und ökonomischer Aspekte. Dissertation. Eigenverlag: 23-26, 230, 16, 165, 171- 178

LOISKANDL, W.: Wasserwirtschaft. Vorlesungsunterlage.
www.wau.boku.ac.at/fileadmin/_/H81/H815/.../SPAC.pdf abgerufen am 03.04.2011

LÖSCH, R. (2003): Wasserhaushalt der Pflanzen, 2. Auflage, Quelle & Meyer Verlag, Wiesbaden. 94, 252

MURER, E. (2010): Boden- und Gewässerschutz in der Landwirtschaft, Vortrag Gumpenstein 3.3.2010, http://www.raumberggumpenstein.at/c/index.php?option=com_content&view=article&id=1157%3A2-umweltoekologisches-symposium2010&catid=158%3Averanstaltungen&Itemid=100139&lang=de

OLDMANN, L.R. (1996): Global and regional databases for development of state and land quality indicators: The soter and glasod approach, Discussion note prepared for FAO Workshop on Land Quality Indicators for Sustainable Land Resources Management, 25-26 January, 1996: 3

PIEPHO, H.P., A. BUCHSE, C. RICHTER (2004): A Mixed Modelling Approach for Randomized Experiments with Repeated Measures; Institut für Pflanzenbau und Grünland, Universität Hohenheim, Stuttgart, Germany. In: J. Agronomy & Crop Science 190, Blackwell Verlag, Berlin. 230 - 247

SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (2010): Lehrbuch der Bodenkunde, 16. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg: 506ff.

SHALA-MAYRHOFER, V. (2005): Pflanzenschutzprobleme bei Weizen, Mais, Sonnenblume und Raps durch reduzierte Bodenbearbeitung, Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien. 123,192

STALZER, W. (1995): Rahmenbedingungen für eine gewässerverträgliche Landbewirtschaftung. In: Bundesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): Gewässerverträgliche

Landbewirtschaftung. Konsequenzen für die Land-, Forst- und Wasserwirtschaft. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Bd. 1, 1 – 24.

STEINER, J.L. (1989): Tillage and surface residue effects on evaporation from soils. Soil Science Society of America Journal, Volume 53. 914

www.isric.org/isric/webdocs/Docs/ISRIC_Report_96_02.pdf, abgerufen am 28.02.2011

VAN-CAMP. L., BUJARRABAL, B., GENTILE, A-R., JONES, R.J.A., MONTANARELLA, L., OLAZABAL, C. and SELVARADJOU, S-K. (2004). Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/2, 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 45- 50