

Masterarbeit

im Studiengang Agrarwissenschaften
Fachrichtung Nutzpflanzenwissenschaften

VORFRUCHTABHÄNGIGE WURZEL- UND SPROSSENTWICKLUNG VON WINTERWEIZEN IM JUGENDSTADIUM

von

Tobias Erven

Kiel, im Oktober 2006

1. Prüfer

Prof. Dr. Hennig Kage

2. Prüfer

PD Dr. Klaus Sieling

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	7
1. Einleitung	8
2. Literaturübersicht	10
2.1 Fruchtfolgebedingte Pflanzenentwicklung	10
2.2 Fruchtfolgebedingte Ertragsunterschiede	11
2.3 Stickstoffeffekte und Bodenbearbeitungssysteme	12
2.4 Einfluss von Bodenverdichtungen auf die Jungpflanzenentwicklung	14
2.5 <i>Gaeumannomyces graminis</i>	15
2.5.1 Bedeutung der Vorfrucht	17
2.5.2 Einfluss der Bodenbearbeitung	18
2.6 Allelopathie	19
2.6.1 Nachweise von allelopathischen Substanzen	21
2.7 Parameter des Pflanzenwachstums	23
2.7.1 Das Wurzelsystem	24
2.7.1.1. Bodenbearbeitung	25
2.7.1.2. Trockenstress	26
2.7.2 Spross:Wurzel-Verhältnis	26
2.7.3 Nährstoffaufnahme	27
3. Material und Methoden	29
3.1 Standortbeschreibung	29
3.2 Charakterisierung der ausgewählten Böden	30
3.2.1 Befüllen der Mitscherlichgefäße	31
3.3 Arbeitsablauf im Gewächshaus	31
3.4 Wachstumsbedingungen Gewächshaus	35
3.5 Datenerhebung	37
3.5.1 Bodenstickstoffanalyse	37
3.5.2 Sprossanalyse	37

3.5.3	Wurzelanalyse	38
3.6	Auswertung der Daten	39
4.	Ergebnisse	40
4.1	Pflanzenentwicklung	40
4.1.1	EC-Stadien	40
4.1.2	Anzahl der Triebe	42
4.2	Ergebnisse der Bodenstickstoffanalysen	43
4.3	Übersicht über die Parameter	44
4.4	Erhobene Parameter	46
4.4.1	Blatt- und Stängeltrockenmasse	46
4.4.2	Blatt- und Stängelfläche	47
4.4.3	N-Konzentration der Blätter und Stängel	47
4.4.4	Wurzeltrockenmasse und Wurzellänge	48
4.4.5	Gesamtrockenmasse	50
4.5	Abgeleitete Parameter	50
4.5.1	Bestandesflächenindex	51
4.5.2	Leaf area ratio, Specific leaf area und Leaf weight ratio	52
4.5.3	Relative Wachstumsrate	54
4.5.4	Specific root length	55
4.5.5	Root length density und root weight density	56
4.5.6	Spross:Wurzel-Verhältnis	57
4.5.7	N-Aufnahme und N-Influx	58
5.	Diskussion	61
5.1	Methodik	61
5.2	Diskussion der Ergebnisse	62
5.2.1	Vorfruchtvarianten Raps und Weizen Standort W1	64
5.2.2	Vorfruchtvarianten Raps und Weizen Standort W2	65
5.3	Parameterdiskussion	66
5.3.1	Sprossparameter (Standort W1)	66
5.3.2	Wurzelparameter (Standort W1)	67
5.3.3	Spross:Wurzel-Verhältnis (Standort W1)	68
5.3.4	Spross- und Wurzelparameter (Standort W1 und W2)	69
5.4	Allelopathische Effekte	70
5.5	Ausblick	71

6. Zusammenfassung	72
7. Literaturverzeichnis	74

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	System der Aufstellung der Mitscherlichgefäße im Gewächshaus	32
Abb. 2:	Auszug aus der Boniturliste zur Dokumentation der EC- Stadien.....	33
Abb. 3:	Temperaturverlauf im Gewächshaus [°C] während des Versuchszeitraums (Mittelwerte, Min- und Maxwerte)	36
Abb. 4:	Verlauf der Luftfeuchtigkeit [%] im Gewächshaus während des Versuchszeitraums (Mittelwerte, Min- und Maxwerte).....	36
Abb. 5:	Strahlungsverlauf [$\mu\text{mol Photonen}/(\text{m}^2 \cdot \text{sec})$] im Gewächshaus während des Versuchszeitraums (Mittelwerte, Min- und Maxwerte).....	36
Abb. 6:	Pflanzenwachstum über den gesamten Versuchszeitraum nach EC- Stadien	41
Abb. 7:	Anzahl der Triebe pro m^2 über den gesamten Versuchszeitraum in Tagen nach der Aussaat.....	42
Abb. 8:	Mittelwerte der Gesamttrockenmasse der Pflanzen in [mg/Pfl.] der drei Varianten zu den drei Probeterminen	50
Abb. 9:	Bestandesflächenindex (BFI) der drei Varianten zu den drei Probeterminen (Blattfläche [cm^2] pro Bodenfläche [cm^2])	51
Abb. 10:	Leaf area ratio (LAR) der drei Varianten zu den drei Probeterminen (Blattfläche [cm^2] pro gesamter Trockenmasse [mg])	52
Abb. 11:	Specific leaf area (SLA) der drei Varianten zu den drei Probeterminen (Blattfläche [cm^2] pro Trockenmasse Blatt [mg])	53
Abb. 12:	Leaf weight ratio (LWR) der drei Varianten zu den drei Probeterminen (Trockenmasse Blatt [mg] pro gesamter Trockenmasse [mg])	54
Abb. 13:	Relative Wachstumsraten (RGR) der drei Varianten über die drei Probetermine	55
Abb. 14:	Specific root length (SRL) der drei Varianten zu den drei Probeterminen (Wurzellänge [cm] pro Trockenmasse Wurzel [mg]).....	56
Abb. 15:	Root length density (RLD) der drei Varianten zu den drei Probeterminen (Wurzellänge [cm] pro Bodenvolumen [cm^3])	57
Abb. 16:	Root weight density (RWD) der drei Varianten zu den drei Probeterminen (Trockenmasse Wurzel [mg] pro Bodenvolumen [cm^3])	57
Abb. 17:	Spross:Wurzel-Verhältnis der drei Varianten zu den drei Probeterminen	58
Abb. 18:	N-Aufnahme des Sprosses der drei Varianten zu den drei Terminen (relative N-Aufnahmeraten fett gedruckt).....	60

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Zeitlicher Ablauf des Versuchs	29
Tab. 2:	Übersicht der Vorfruchtvarianten	30
Tab. 3:	Wiegetermine der Töpfe im Gewächshaus.....	33
Tab. 4:	Summe der gegeben Wassermengen in den drei Varianten bis zu der jeweiligen Probenahme in [ml].....	34
Tab. 5:	Wassergaben ab Aussaat des Weizens in [ml].....	35
Tab. 6:	Zuordnung von Probetermin, Datum, Tage nach der Aussaat und der Temperatursumme	40
Tab. 7:	Anteil der Pflanzen in EC 10 bzw. EC 11 in den drei Varianten für 5, 7 und 9 Tage nach der Aussaat (TnA).....	41
Tab. 8:	Ergebnisse der Analyse der Bodenproben der drei Varianten zu den fünf Terminen (N-min, NO ₃ , NH ₄ , Bodenwassergehalt (WAS)).....	43
Tab. 9:	Erhobene und abgeleitete Spross- und Wurzelparameter	44
Tab. 10:	Signifikanzniveaus der Varianzanalyse für die untersuchten Parameter zu den drei Probeterminen.....	45
Tab. 11:	Mittelwerte der Blatt- und Stängeltrockenmasse der drei Varianten zu den drei Probeterminen	46
Tab. 12:	Mittelwerte der Blatt- und Stängelfläche der drei Varianten zu den drei Probeterminen	47
Tab. 13:	N-Konzentrationen von Blatt und Stängel der drei Varianten zu den drei Probeterminen	48
Tab. 14:	Mittelwerte der Wurzeltrockenmasse und der Wurzellänge der drei Varianten zu den drei Probeterminen	49
Tab. 15:	Prozentuale Anteile der Wurzellänge der Varianten B und C bei Variante A = 100% an den drei Probeterminen	49
Tab. 16:	N-Aufnahme der Blätter und Stängel [gN/m ²], sowie des Sprosses [kgN/ha] der drei Varianten zu den drei Probeterminen.....	59
Tab. 17:	N-Aufnahmerate und N-Influx der drei Varianten zwischen dem 1. und 3. Probetermin	60

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
BFI	Bestandesflächenindex
Bl	Blatt
Bo	Boden
cm	Zentimeter
CT	konventionelle Bodenbearbeitung
dt	Dezitonnen
EC-Stadium	Einteilung der Wachstumsstadien nach dem BBCH- Code
ha	Hektar
kg	Kilogramm
LAI	Leaf area index
LAR	Leaf area ratio
LF	Luftfeuchte
LT	Lufttemperatur
LWR	Leaf weight ratio
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
mg	Milligramm
mm	Millimeter
N	Stickstoff
NT	Direktsaat (keine Bodenbearbeitung)
PT	Probetermin
RWR	Root weight ratio
RGR	Relative Wachstumsrate
SLA	Specific leaf area
Sp	Spross
SRL	Specific root length
St	Stängel
s.u.	siehe unten
Tab.	Tabelle
TnA	Tage nach Aussaat
u.a.	unter anderem
UM	Strahlungsintensität
Vgl.	Vergleich
z.B.	zum Beispiel

1. Einleitung

Die Vorfruchtwirkung von Raps in Weizenfruchtfolgen wurde in den letzten Jahren in zahlreichen Feldversuchen und Studien analysiert (CHRISTEN 1998, CHRISTEN et al. 1992, KRIEGER 1994, POMMER 1994, THEUER 1997, WINKELMANN 1999). Grundsätzlich kann die Vorfruchtwirkung von Raps auf einen folgenden Weizen als positiv bewertet werden. Dies verdeutlichen die Mehrerträge, die bei POMMER (1994) 13,0 bis 19,9 dt/ha betragen und bei CHRISTEN (2001) 8,9 bis 11,8 dt/ha.

Ursachen für vorfruchtbedingten Ertragsverluste können auf einen Mangel an Nährstoffen, einen hohen Unkrautbesatz, Krankheitsepidemien, schlechte Bodenstrukturen, geringe Aktivität der Bodenmikroorganismen (unzureichende Umwandlung von Pflanzenrückständen) oder eine erhöhte Konzentration an phytoinhibitorischen Substanzen aus den Abbauprodukten von Pflanzenresten der Vorfrucht zurückgeführt werden (SIELING et al. 2005).

Der bodenbürtige Krankheitserreger *Gaeumannomyces graminis* kann besonders in getreidereichen Fruchtfolgen durch eine Zerstörung des Wurzelsystems zu einer Ertragsminderung führen (COTTERILL & SIVASITHAMPARAM 1988c, CUNFER & BUNTIN 2006, DE BOER et al. 1993, SIELING & HANUS 1992). Der Einfluss einer Primärinfektion auf die Wurzelentwicklung im Jugendstadium der Pflanzen sollte daher durch eine getrennte Analyse des Spross- und Wurzelbereiches bestimmt werden, indem die ausgewaschenen Wurzeln auf sichtbare Läsionen hin untersucht wurden. In vielen Veröffentlichungen wird über einen Einfluss der Vorfrucht auf die Befallsstärke mit *G. graminis* berichtet. Bei CUNFER & BUNTIN (2006) und DE BOER et al. (1993) traten nach Raps bzw. Lupinen signifikant weniger Infektionen auf als bei einem fortgeführten Weizenanbau. Es werden jedoch keine Aussagen über einen frühen Befall der Wurzeln im Jugendstadium vorgenommen.

Nach McCALLA & NORSTADT (1974), WOLF & HÖFLICH (1985) oder BRUCE & CHRISTEN (2001) geht von Pflanzenresten eine allelopathische Wirkung auf die folgende Kultur aus. Jedoch ist dieses Gebiet sehr komplex und Untersuchungen waren im Rahmen dieser Arbeit nicht eingeplant.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollte untersucht werden, anhand welcher Spross- und Wurzelparameter ein positiver Vorfruchteffekt von Raps im Gegensatz zu Weizen bereits in der Jugendentwicklung des folgenden Weizens beurteilt werden kann. Dazu wurde Winterweizen in mit Ackerboden gefüllten Mitscherlichgefäßen

ausgesät und im Gewächshaus unter kontrollierten Bedingungen bis zum Ende der Bestockung kultiviert. Es wurde besonders darauf geachtet, dass keine Abweichungen in der Methodik auftraten, um ungewünschte Effekte auf die Pflanzenentwicklung ausschließen zu können.

Neben den Analysen im Spross- und Wurzelbereich wurden Bodenproben für die Bestimmung des Stickstoff- und Wassergehaltes gezogen.

2. Literaturübersicht

Jede landwirtschaftliche Kultur wird in Abhängigkeit von den regionalen Boden- und Klimaeigenschaften, sowie dem gewählten Anbausystem von der Vorfrucht mehr oder weniger stark beeinflusst (SIELING et al. 2005).

2.1 Fruchtfolgebedingte Pflanzenentwicklung

Ein positiver Effekt der Vorfrucht Raps zu Weizen wird schon in der frühen Herbstentwicklung beobachtet. In Ostengland wurden von THORNE et al. (1988) die Vorfruchteffekte von Raps und Hafer auf Weizen miteinander verglichen. Die Raps-Pflanzenreste erhöhten in den drei Versuchsjahren die NO_3 -Menge um 40 bis 60 kg/ha im Vergleich zu Haferstroh. Nach Raps entwickelten sich die ersten 12 Primordien schneller als nach Hafer und die ersten 5 Blätter erschienen früher. Die gesamte Anzahl an Blättern und Ährchen war ebenfalls höher und das Doppelringstadium (EC 25) wurde acht bis vier Tage früher erreicht. Die Entwicklung im Herbst war unbeeinflusst von einer N-Gabe, obwohl eine erhöhte N-Aufnahme festgestellt wurde.

THEUER (1997) konnte für die Entwicklung der Biomasse der Weizenpflanzen nach Raps, sowie im zweiten und dritten Weizen für alle Probetermine dieselbe Abstufung der Biomasseerträge feststellen. Zum 1. Termin in der 4. Woche nach dem Auflaufen hatten die Pflanzen nach Raps bereits mehr Biomasse gebildet als die des zweiten Weizens und diese mehr im Vergleich zu dem dritten Weizen.

In einem zweijährigen Vergleich einer 15 jährigen Weizen-Monokultur zu einer Fruchtfolge mit 25% Blattfrüchten traten vorfruchtbedingte Unterschiede auf. In den Bereichen Anzahl Triebe pro m^2 und Ähren pro m^2 , oberirdische Trockenmasse vor und nach der Bestockung, sowie im Stroh- und Kornertrag wurden bei der Monokulturvariante immer niedrigere Werte erhoben als in der Rotation mit Blattfrüchten. Schwankungen innerhalb eines Anbausystems wurden anhand jahresklimatischer Bedingungen erklärt (SCHÖNHAMMER & FISCHBECK 1987).

Die Wurzeltrockenmasse war in der Weizen-Monokultur am niedrigsten und die Durchwurzelung des Bodens im Fruchtfolgewechsel am höchsten. Sie fanden eine hohe Korrelation zwischen dem Ertrag und der Wurzeldichte in Abhängigkeit von dem Anbausystem. Die Ursachen für die Unterschiede im Wurzelwachstum wurden

nicht untersucht. Aufgrund eines kleineren Wurzelsystems sind die Pflanzen der Monokultur anfälliger gegenüber Stress während der gesamten Wachstumsperiode (SCHÖNHAMMER & FISCHBECK 1987).

SOON et al. (2001) zeigten, dass durch Hülsenfrüchte als Vorfrucht zu Weizen die N-Aufnahme aufgrund einer erhöhten N-Mineralisation der organischen Masse während der Entwicklung signifikant höher war im Vergleich zu einer Weizenmonokultur.

POMMER (1994) konnte in einem Fruchtfolgeversuch feststellen, dass Weizen nach Raps oder Bohnen ein besseres Wurzelsystem entwickelte im Vergleich zu einer fortgeführten Weizenmonokultur. Besonders stark zeigte sich dieser Effekt in der Periode der Hauptwachstumsphase der Wurzeln (zwischen Bestockung und Schossen).

2.2 Fruchtfolgebedingte Ertragsunterschiede

Für die vorfruchtabhängige Abstufung des Kornertrags und der Biomasse konnten von SIELING et al. (2005) keine Abhängigkeit zwischen einem frühen und späten Saattermin erkannt werden.

Für die Region Kiel wurden in Untersuchungen der Vorfruchteffekte von Raps und Weizen auf eine folgende Weizenkultur eine Reduktion der Ertragskomponenten Anzahl Ähren pro m² und Tausendkornmasse für einen geringeren Ertrag im fortgeführten Weizenanbau beobachtet (CHRISTEN 1998, SIELING et al. 2005).

Bei den Ertragsmessungen von SIELING et al. (2005) wurde der höchste Ertrag nach der Vorfrucht Raps erreicht und der geringste mit etwa 20% weniger im dritten Anbaujahr von Weizen.

Durch eine N-Düngung konnte bei jeder Vorfruchtkombination der maximale Ertrag zwar erhöht werden, jedoch waren im dritten Weizen 60 kgN/ha mehr nötig und es wurde trotzdem ein um 1,7 t/ha geringerer maximaler Ertrag erreicht im Vergleich zu der Vorfrucht Raps. Durch eine erhöhte N-Düngung konnten vorfruchtbedingte Nachteile demnach nicht vollständig kompensiert werden (SIELING et al. 2005). Wurzelpathogene konnten aufgrund des geringen Auftretens als Ursache des geminderten Ertrags ausgeschlossen werden. Stattdessen wurde eine nachteilige Wirkung ausgehend von höheren Konzentrationen an allelopathisch wirkenden Substanzen für die schwächere Pflanzenentwicklung vermutet. Die Menge an

phytoinhibitorischen Substanzen, die auf Pflanzen einwirken, unterliegt jahresabhängigen Schwankungen, da witterungsbedingt die Verrottung der Pflanzenreste und der Aufbau allelopathischer Substanzen variieren kann. (SIELING et al. 2005).

Anhand der Daten einer 10-jährigen Weizenmonokultur für einen Standort in Norddeutschland haben SIELING & HANUS (1990) mit Hilfe einer multiplen Regression den Decline-Effekt beschrieben. Im dritten und vierten Jahr des aufeinander folgenden Weizens konnten drastische Ertragseinbrüche von 30 bis 40% berechnet werden, bevor der Ertrag wieder anstieg (jedoch nicht das Ausgangsniveau erreichte). Bodentypen mit einem unterschiedlichen Ertragspotential hatten einen geringen Effekt auf die Ertragsentwicklung, ausgenommen dass die simulierte Ertragserholung in dem weniger fruchtbaren Boden größer war.

2.3 Stickstoffeffekte und Bodenbearbeitungssysteme

BOESE et al. (1991) sind durch ihre Versuche zum optimalen Zeitpunkt der N-Gabe im Frühjahr zu der Aussage gelangt, dass bei einer N-Gabe erst zum Ende der Bestockung der Ertrag generell reduziert wird. Der optimale Termin ist zu Beginn der Vegetationsperiode im Frühjahr.

Das optimale Düngungsniveau für Weizen hängt von der Vorfrucht und der Bodenproduktivitätsrate ab, wie BECKER & LANG (1982) aus ihren Versuchen zur N-Düngung im Frühjahr folgerten. Im Vergleich zu fixen Empfehlungen für die N-Düngung im Frühjahr wird bei einer Düngung nach der N-min Methode häufiger der maximale Ertrag erreicht, wodurch es die sicherere Methode ist.

WIDDOWSON et al. (1985) zeigten in umfangreichen Versuchen mit variierten N-Applikationsterminen zu Winterweizen, dass eine N-Gabe im März die Anzahl der Triebe im April deutlich steigern konnte, jedoch keine Auswirkungen auf die endgültige Anzahl von Ähren hatte. Allgemein waren die Kornerträge nach Bohnen höher als nach Weizen, aufgrund einer höheren Anzahl an Ähren und einer gestiegenen Tausendkornmasse, die durch einen geringeren Befall mit *G. graminis* nach Bohnen begründet werden.

In einem Versuch zur Abhängigkeit des Ertrages von dem Verlauf der N-Aufnahme, konnten VIELEMEYER et al. (1987a) in einem groß angelegten Versuch mit Wintergetreide zeigen, dass bei einem hohen Ertragspotential die N-Aufnahme bis zur Reife kontinuierlich ansteigt. Nach dem Ährenschieben wurden noch 40% der Gesamtstickstoffmenge aufgenommen, während bei einem niedrigen Ertragspotential bereits zum Ährenschieben oder zur Blüte die gesamte N-Menge aufgenommen war. Des Weiteren hatte das Jahr einen starken Einfluss auf den N-Aufnahmeverlauf. Für ein bestimmtes Ertragsniveau konnten keine standortabhängigen Unterschiede in der N-Aufnahme vor der Blüte festgestellt werden, lediglich während der Kornfüllungsphase traten Unterschiede auf (VIELEMEYER et al. 1987b).

Die Direktsaat ist die extremste Form der reduzierten Bodenbearbeitung. Unter kühl-gemäßigten Klimabedingungen in Mitteleuropa kann es bei diesem Bestellsystem zu einer negativen Beeinflussung der Bestandesentwicklung und der Ertragsbildung kommen. Tiefe Temperaturen in den oberen Bodenschichten können den Gehalt an mineralischem Stickstoff reduzieren.

Ergebnisse von Studien zu Bodenbearbeitungseffekten auf den mineralischen Bodenstickstoffgehalt zeigen kein einheitliches Ergebnis, da die Effekte von lokalen Boden- und Klimabesonderheiten mit berücksichtigt werden müssen. In SOON et al. (2001) werden die Ergebnisse von verschiedenen Versuchsanstellern diskutiert. Bei dem Vergleich von ausbleibender Bodenbearbeitung (Direktsaat) und konventioneller Bodenbearbeitung (Pflügen im Herbst) wird sowohl über Ergebnisse ohne Effekte der Bodenbearbeitung auf den NO_3 -Gehalt zur Aussaat, als auch über einen gesteigerten NO_3 -Gehalt nach konventioneller Bodenbearbeitung berichtet.

SOON et al. (2001) konnten eine höhere N-Aufnahme in den Varianten ohne Bodenbearbeitung ausmachen, da 50 kgN/ha mehr während des Wachstums mineralisiert wurden. Der Oberboden hatte bei diesem System eine höhere mikrobielle Biomasse, gesteigerte Gehalte an organischem und mineralisiertem N, sowie eine effektivere Regeneration von N im Vergleich zu einem gepflügten Boden zur Aussaat. In der Bodenschicht von 15 bis 60 cm konnte zur Aussaat aufgrund einer Stimulation der N-Mineralisation im Herbst mehr NO_3 in der gepflügten Variante nachgewiesen werden. Im Laufe der Vegetationszeit ergaben sich keine Unterschiede mehr.

In der Arbeit von RIEGER (2001) wird über eine Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums im Herbst durch die Direktsaat berichtet. Die Biomasseproduktion und die N-Aufnahme waren in diesem Stadium um 50% geringer im Vergleich zu der Variante mit konventioneller Bodenbearbeitung (Pflug), wobei ein N-Mangel als Ursache ausgeschlossen werden konnte. Diese Unterschiede verringerten sich jedoch bis zur Ernte.

Die Vorfrucht hatte bei RIEGER (2001) signifikante Auswirkungen auf den Weizen. Nach Raps waren die Pflanzen grundsätzlich besser entwickelt als nach Mais. Im Vergleich von Direktsaat und konventioneller Bodenbearbeitung waren die Weizenerträge nach Raps in der Direktsaatvariante schlechter. Beim Mais wurden keine Unterschiede zwischen den Bestellsystemen festgestellt.

Die Befallshäufigkeit und die Befallsstärke von *G. graminis* konnten bei DE BOER et al. (1993) in jedem von drei Versuchsjahren auf einem sandigen Lehm in Australien durch die Direktsaat im Gegensatz zu der konventionellen Bestellmethode mit dem Pflug reduziert werden. Ein Abbrennen der Stoppel hatte keinen Effekt auf den Befall mit *G. graminis*, jedoch konnte dadurch ein Befall mit *P. herpotrichoides* minimiert werden.

2.4 Einfluss von Bodenverdichtungen auf die Jungpflanzenentwicklung

Bodenverdichtungen haben einen entscheidenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit verschiedener Pflanzenarten. Wird das erschließbare Bodenvolumen von Wurzeln eingeschränkt, so ist die Sprossentwicklung stärker beeinträchtigt als das Wurzelwachstum. MASLE & PASSIOWA (1987) beobachteten diese Differenzierung an Weizenpflanzen in verdichtetem und losem Boden. Da Effekte ausgehend von der Nährstoffkonzentration im Boden oder der Wasserverfügbarkeit ausgeschlossen wurden, konnten ihrer Ansicht nach nur von der Wurzel in den Spross verlagerte Stoffe (Hormone) die Sprossentwicklung reduziert haben. Weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet unternahm ATWELL (1990a), in denen er eine stärkere Beeinflussung der Wurzellänge im Vergleich zur Wurzelmasse durch eine mechanische Beeinträchtigung feststellte. In verdichtetem Boden war die Wurzelmasse von Weizenpflanzen (Untersuchungen fanden zwischen 33 und 62 Tagen nach der Aussaat statt) geringer als im losen Boden, wobei er anhand

verschiedener Literaturangaben Unterschiede zwischen Pflanzenarten und Bodentypen nicht ausschloss. Bei den Weizenpflanzen in seinem Versuch waren die Wurzeln in verdichtetem Boden um 66% kürzer, dicker und verdrehter im Vergleich zu den Wurzeln in losem Boden. Der Durchmesser der Leitbündel war in verdichtetem Boden jedoch nicht beeinträchtigt. Nach ATWELL (1990b) ist die Konzentration verschiedener gelöster Substanzen in den samenbürtigen Wurzeln (hier wurden lösliche Zucker, freie Aminosäuren und 7 Nährelemente betrachtet) in verdichtetem Boden um 19 bis 31% geringer im Vergleich zu losem Boden. Da der Anteil an löslichem Zucker im Spross in den in verdichtetem Boden gewachsenen Pflanzen insgesamt um 21% größer war, führte er die geringe Sprossentwicklung nicht auf einen Mangel an Kohlenhydraten zurück. ATWELL (1990a) vermutete als Ursache der Abnahmen des Sprossgewichtes und der Anzahl der Bestockungstriebe in verdichtetem Boden eine geringere Menge an Nährstoffen, die von den Wurzeln aufgenommen wurden.

Unabhängig von der Stärke der Bodenverdichtung verringerten sich die Blattfläche und die Trockenmassen von Blatt und Stängel, wobei das Wurzelwachstum weniger beeinflusst wurde als das Sprosswachstum (MASLE & PASSIOWA 1987). Wurzeln beeinflussen über Wachstumsregulatoren direkt negativ das Blattwachstum, wenn sie im Boden auf einen hohen mechanischen Widerstand treffen. Schon für das erste sich bildende Blatt konnte eine verzögerte Entwicklung beobachtet werden.

2.5 *Gaeumannomyces graminis*

Eine der weltweit wichtigsten vorfruchtbedingten Weizenkrankheiten ist die Schwarzbeinigkeit. Sie wird verursacht durch den bodenbürtigen Krankheitserreger *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) v. Arx et H.Olivier var. *tritici* J. Walker (Anamorph *Phialophora radicola* Lemaire et Ponchett 1963). *G. graminis* var. *tritici* gehört innerhalb der Unterabteilung Ascomycotina zur Klasse der Pyrenomycetes, Ordnung der Diaporthales, Familie der Diaporthaceae (HOFFMANN & SCHMUTTERER 1999). Bei hohem Befall beträgt der Ertragsrückgang durchschnittlich 25%, bei Koinzidenz von hohem klimatischem und hohem Fruchtfolgerisiko sind in Einzelfällen 50% Ertragsrückgang beobachtet worden. Das wichtigste Symptom sind verschwärzte Wurzeln (MINDT 1999).

Zum Wirtskreis des Erregers gehören viele Gramineen, darunter auch einige Gräser, wie z.B. die Quecke. Ein hohes Risiko einer Infektion besteht bei den Kulturpflanzen Weizen, Gerste und Triticale als Vorfrucht zu Weizen. Ein mittleres Vorfruchtrisiko wird Mais und Gräsern zugeschrieben und ein geringes Risiko einer Infektion des Weizens liegt bei Zuckerrüben, Kartoffeln und Raps als Vorfrucht (HOFFMANN & SCHMUTTERER 1999).

Die Befallsstärke wird von klimatischen Faktoren und der Fruchtfolge stark beeinflusst. Je höher der Anteil von Weizen, Gerste oder Triticale ist, desto höher ist das Fruchtfolgerisiko einzustufen. Ein Anbau von Gesundfrüchten in einer Getreidefruchtfolge kann die Primärinfektion verringern (MINDT 1999). Der Pilz unterbricht durch einen Befall der Wurzeln den Nährstoff- und Wassertransport in die oberen Pflanzenteile. Aufgrund der Temperaturabhängigkeit von *G. graminis* entwickelt sich eine Infektion im Herbst nur auf einem geringen Niveau. Erst bei höheren Bodentemperaturen im Frühling und Frühsommer ist mit einem Anstieg der Epidemie zu rechnen (WONG 1984).

SMILEY et al. (1986) untersuchten die Befallsstärke von *G. graminis* an Weizen, Gerste und Hafer bei konstanten Temperaturen von 14, 24 und 29°C. Weizen zeigte den stärksten Befall bei Temperaturen von 14 und 24°C.

COTTERILL & SIVASITHAMPARAM (1988b) konnten eine positive Beziehung zwischen der Anzahl an Infektionshyphen auf die Befallshäufigkeit und die Befallsstärke ableiten. Die Infektiosität und die Anzahl an Infektionshyphen waren korreliert mit der Luft- und Bodentemperatur, sowie mit der Bodenfeuchte. Die saprophytische Überlebensdauer von *G. graminis* im Boden ist nach WONG & SOUTHWELL (1987) in den Monaten Februar bis Oktober bei regenreicher Witterung signifikant länger als bei trockenen Bodenverhältnissen (576,9 mm zu 321 mm Niederschlag).

Die N-Form hat auch eine Auswirkung auf die Befallsstärke von *G. graminis*. Bei einem niedrigen Inokulum-Level konnte die Befallsstärke von *G. graminis* durch eine N-Düngung in Form von Ammonium-Sulfat oder Ammonium-Nitrat im Vergleich zu reiner Nitratdüngung reduziert werden (COTTERILL & SIVASITHAMPARAM 1988a). Bei einem hohen Inokulum-Level zeigte die Form der N-Dünger keinen Effekt mehr.

2.5.1 Bedeutung der Vorfrucht

In Versuchen nach SIELING & HANUS (1992) stieg der Anteil der mit *G. graminis* befallenen Wurzeln erst nach EC 51 stark an und erreichte zur Ernte das Maximum. Auf die Stärke des Auftretens von *G. graminis* hatten die Parameter Vorfrucht und Saatzeitpunkt (früh/spät) den größten Einfluss, während die Sorte und die Aussaatstärke keine nachweisbaren Effekte zeigten. Eine Verlegung des Aussaattermins um drei bis vier Wochen nach hinten beugte einer Infektion mit *G. graminis* im Herbst vor und reduzierte die Befallsstärke in der folgenden Wachstumsperiode. Bei einem Befall von mehr als 30% des Wurzelsystems ist mit hohen Ertragsverlusten zu rechnen (SIELING & HANUS 1992).

CUNFER & BUNTIN (2006) konnten nach Raps als Vorfrucht zu Weizen eine signifikante Reduktion der Befallshäufigkeit und der Befallsstärke von *G. graminis* feststellen, wodurch die Erträge gleich derer in den Kontrollparzellen (mit wenig oder ganz ohne Befall von *G. graminis*) waren. Weiterhin wurde festgestellt, dass zwei aufeinander folgende Jahre Raps vor Weizen keinen größeren Einfluss auf die Befallsstärke von *G. graminis* oder den Ertrag hatte als ein Jahr Raps vor Weizen.

Bei DE BOER et al. (1993) traten signifikant weniger Infektionen von *G. graminis* am nachfolgenden Weizen bei Lupinen als Vorfrucht auf im Vergleich zu einem fortgeführten Weizenanbau. Eine Rotation von Weizen und Lupinen beugte dem Aufbau immer stärkerer Epidemien von *G. graminis* und *P. herpotrichoides* vor. In trockenen Jahren in Australien konnten Lupinen als Vorfrucht zu Weizen jedoch nicht die Epidemien von *G. graminis* und *P. herpotrichoides* beeinflussen.

Verschiedene Vorfrüchte können das Pathogen unterschiedlich stark unterdrücken. In einem Versuch mit Lupinen, Hafer und Felderbsen konnten COTTERILL & SIVASITHAMPARAM (1988c) bei Abwesenheit der Wirtspflanzen und dem Anbau von Felderbsen bereits nach der ersten Saison eine Wachstumshemmung des Pathogens im Boden nachweisen. Für Lupinen und Hafer wurde nach der zweiten Saison ebenfalls ein reduziertes Inokulum dokumentiert.

Die Befallshäufigkeit von *G. graminis* stieg in einer fortgesetzten Weizenkultur bei CHRISTEN et al. (1992) an und hat einen Ertragsunterschied zwischen 19 und 43%

in drei Versuchsjahren im Vergleich zu einer Rapsvorfrucht verursacht. Um 40 kg/ha höhere N-Gaben konnten den ertragsmindernden Einfluss nicht beheben.

2.5.2 Einfluss der Bodenbearbeitung

MIELKE (1983) berichtet nach seinen Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf Getreidefußkrankheiten, dass nach Tiefgrubbern ein höheres Infektionspotential an der Bodenoberfläche aufgrund der verbleibenden Stoppeln zu finden ist als nach tiefem oder flachem Pflügen. Jedoch war für *P. herpotrichoides* das geringste Infektionspotential am häufigsten nach Tiefgrubbern aufgetreten. Bezüglich *G. graminis* konnte kein signifikanter Einfluss der verschiedenen Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf das Infektionspotential erkannt werden. Allgemein ist ein signifikant niedrigerer Ertrag nach Tiefgrubbern im Vergleich zum Pflügen aufgetreten.

ROTHBROCK (1987) hat anhand der Daten eines dreijährigen Versuchs nachgewiesen, dass die Befallshäufigkeit und die Befallsstärke in den Varianten mit konventioneller Bodenbearbeitung immer höher waren im Vergleich zur Direktsaat. Des Weiteren hat er die Anbausysteme Weizen-Monokultur und Weizen-Sojabohnen-Doppelkultur verglichen und keinen Einfluss auf den Befall des Weizens mit *G. graminis* feststellen können.

WONG & SOUTHWELL (1987) konnten in einem Jahr mit hoher Bodenfeuchte einen signifikanten Unterschied zwischen konventioneller und ausbleibender Bodenbearbeitung vor der Aussaat feststellen. Ein Einarbeiten der Stoppeln um 5 bis 15 cm verringerte die Überlebensraten des Pilzes im Vergleich zu auf der Oberfläche verbliebenen Stoppeln. MOORE & COOK (1984) ergänzen dazu stimmig, dass ein größeres Inokulumpotential bei ausbleibender Bodenbearbeitung vorhanden war.

In Untersuchungen von ROVIRA et al. (1985) in Australien entwickelte sich bei Direktsaat ein höheres Befallsniveau von an *G. graminis* und Rhizoctonia Wurzelfäule im Vergleich zu Weizen nach Tiefgrubbern. Sie sind der Meinung, dass *G. graminis* durch einen Fruchtfolgewechsel bei Direktsaat reduziert werden kann, nicht jedoch Rhizoctonia, aufgrund der hohen Anzahl an Wirtspflanzen.

Der Einfluss der Direktsaat von Weizen auf *G. graminis* wird in der Literatur sehr kontrovers diskutiert. BROOKS & DAWSON (1968) berichten, dass bei Direktsaat

das Pathogen in den UK reduziert wurde, wohingegen MOORE & COOK (1984) in Australien einen Anstieg des Schaderregers bei Direktsaat beobachten konnten.

COTTERILL & SIVASITHAMPARAM (1987) berichten, dass das Inokulum in den oberen 3,3 cm nach Direktsaat infektiöser war im Vergleich zu der gegrubberten Variante, in der das Inokulum gleichmäßiger verteilt vorlag. Den geringeren Befall mit *G. graminis* nach der Direktsaat erklären sie dadurch, dass die Keimwurzeln nicht in die Hauptinfektionsschicht wachsen. BROOKS & DAWSON (1968) geben zusätzlich den Hinweis, dass stärkere Verdichtungen bei der Direktsaat ein Wachstum der Infektionsstrukturen behindern im Vergleich zu einer gegrubberten Variante. Stimmig dazu berichten MOORE & COOK (1984), dass Läsionen in gepflügtem Boden an der gesamten Wurzel zu finden waren, während nach Direktsaat das Schadbild nur im Bereich der Wurzelkrone auftrat.

2.6 Allelopathie

Viele verschiedene phytotoxische Substanzen werden von unzähligen Mikroorganismen und höheren Pflanzen produziert. Kenntnisse über die chemische Natur dieser Substanzen können Erklärungsansätze für verschiedene Fruchtfolgeeffekte geben (McCALLA & NORSTADT 1974). Aufgrund der großen Komplexität dieses Gebietes sind noch viele Untersuchungen notwendig, damit die Interaktionen zwischen phytotoxischen Substanzen und Pflanzen und Mikroorganismen besser verstanden werden können. Viele Studien gehen jedoch davon aus, dass Ertragsreduktionen in engen Getreidefruchtfolgen oder in Monokulturen zumindest teilweise durch den Einfluss von allelopathischen Substanzen verursacht werden, die in dem Zeitraum des Abbaus von Pflanzenresten vermehrt nachgewiesen wurden (McCALLA & NORSTADT 1974, WOLF & HÖFLICH 1985). Jedoch ist der genaue Beitrag von allelopathischen Substanzen auf einen verminderten Ertrag noch unbekannt.

In Untersuchungen von McCALLA & NORSTADT (1974) veränderte sich die Menge an toxischen Substanzen im Boden, sobald die Verwitterung und der Abbau von Pflanzenresten einsetzten. Nach acht Wochen waren alle toxischen Substanzen, die aus den Abbauprodukten von Weizen und Hafer stammten, nicht mehr nachweisbar.

Toxische Substanzen von Maisresten waren zu diesem Zeitpunkt noch zu finden und bis zur 16. Woche giftige Substanzen von Sorghum-Pflanzenresten, die eine Reduktion von 37 bis 85% auf das Wurzelwachstum verursachten.

Im Gegensatz dazu berichten BEN-HAMMOUDA et al. (2001) neben einer hemmenden Wirkung von Gerstenresten auf das Wachstum junger Brotweizenpflanzen auch von einer stimulierenden Wirkung auf Durumweizen.

Getreidestroh enthält wasserlösliche phytoinhibitorische Substanzen. Die Konzentration von phytoinhibitorischen Metaboliten steigt durch die Strohrotte im Boden an. In einem Gefäßversuch reduzierte sich besonders in der Rhizosphäre der phytoinhibitorische Effekt 4 bis 6 Wochen nach Beginn der Abbauprozesse. Eine Düngergabe zu diesem Zeitpunkt förderte die Wurzelentwicklung. Diese war jedoch nicht mit einer höheren Sprossentwicklung korreliert (WOLF & HÖFLICH 1985).

Eine andere Erklärung für eine schlechtere Pflanzenentwicklung und geminderte Erträge im Anbausystem Weizen nach Weizen liefern COOK & HAGLUND (1991). Sie sind durch ihre Versuche zu dem Ergebnis gelangt, dass die Mindererträge durch bodenbürtige Mikroorganismen verursacht wurden und nicht durch phytoinhibitorische Substanzen ausgehend von Stroh- und Stoppelresten. Sie erklären die Ergebnisse anderer Versuchsansteller dadurch, dass die Stroh- und Stoppelreste eine Energiequelle für Phytium-Erreger bieten, die die Pflanzen schädigen. In einem begasten Boden mit einer normalen Strohaufgabe traten keine Wachstums- und Ertragsdepressionen auf. Es konnte hingegen ein positiver Effekt auf die Anzahl der Bestockungstriebe nachgewiesen werden und ein gleichmäßiger entwickelter Bestand. Die Pathogene, die Schäden an den Pflanzen verursachen sind in erster Linie *Gaeumannomyces graminis*, *Rhizoctonia solani* und *Pythium* spp., deren sichtbaren Symptome dieselben sind, wie sie bei der Wirkung von phytoinhibitorischen Substanzen in der Literatur beschrieben werden (verkümmerte und dürre Pflanzen, Vergilbung der Blätter und geringe Bestockung)(COOK & HAGLUND 1991).

2.6.1 Nachweise von allelopathischen Substanzen

Unterschiedliche Konzentrationen von sieben verschiedenen phenolischen Säuren an einer weltweiten Sammlung von 58 Weizen- Neuzüchtungen haben WU et al. (2001) mit Gaschromatograph und Massenspektrometer nachgewiesen. Anhand von 17 Tage alten Weizenpflanzen wurde festgestellt, dass fünf der chemischen Substanzen gleichmäßig verteilt waren und zwei Substanzen Schwankungen zeigten. Insgesamt variierte die Konzentration der gesamten analysierten phenolischen Säuren im Spross der Pflanzen von 93,2 bis 453,8 mg/kg. Des Weiteren berichten WU et al. (2001), dass der Gehalt jeder phenolischen Säure oder Gruppe stark mit der gesamten Menge an phenolischen Säuren verknüpft war.

BEN-HAMMOUNDA et al. (2001) untersuchten die Wirkung von Wurzel-, Stängel- und Blattextrakten, die von Gerstenpflanzen in verschiedenen Entwicklungsstadien gewonnen wurden, auf die Keimung und Jugendentwicklung von Brot- und Durumweizen. Die Blätter und Wurzeln zeigten das größte allelopathische Potential, das bei reifen Gerstenpflanzen am stärksten ausgeprägt war. Das Wachstum der Keimwurzeln war stärker beeinflusst als das Wachstum der Koleoptile, wobei Unterschiede zwischen den beiden Weizenarten auftraten. Die Beeinflussung von Brot- und Durumweizen ist demnach abhängig von der Quelle der allelopathischen Substanzen (Pflanzenteil) und dem Wachstumsstadium der Gerstenpflanzen.

BRUCE & CHRISTEN (2001) haben in mehreren Arbeitsschritten eine wässrige Lösung aus den Strohresten von drei Weizensorten gewonnen, die zur Untersuchung der allelopathischen Wirkung auf die Keimung und die Wurzelverlängerung von sechs verschiedenen Rapssorten diente. Es traten Differenzen sowohl in der Toxizität der Lösungen auf, als auch in der Empfindlichkeit der Rapssorten auf die Keimung und die Wurzelverlängerung. Die Lösung einer bestimmten Weizensorte verursachte bei allen sechs Rapssorten die größte Verzögerung bei der Keimung. Es konnte keine Korrelation zwischen dem Einfluss auf Keimung und Wurzelverlängerung in Abhängigkeit der verschiedenen Lösungen festgestellt werden. Die beteiligten Phytotoxine nahmen daher Einfluss auf verschiedene Prozesse bei der Pflanzenentwicklung. Ein parallel dazu durchgeführter Versuch mit einer Lösung, die ausschließlich Ferulasäure als allelopathisch wirkende Substanz enthielt, konnte nur einen Teil der hemmenden Wirkung auf Keimung und

Wurzelverlängerung erklären. Es waren demnach weiteren Substanzen in der Lösung aus den Stoppelresten enthalten, die eine phytotoxische Wirkung hatten.

Als ein Beispiel vieler untersuchter phytotoxischer Substanzen soll hier u.a. das Mykotoxin Patulin genannt werden, dessen Wirkung auf die Entwicklung von Weizenpflanzen 1977 von ELLIS et al. untersucht wurde. Eine Gabe zu den frühen Entwicklungsstadien im Herbst reduzierte die Keimung, das Pflanzenwachstum, die Überwinterung und die Bestockung. Bei einer Applikationen im Frühjahr konnte eine Reduktion der verschiedenen Ertragskomponenten nachgewiesen werden. Ein stärkerer negativer Effekt trat durch eine pflanzennahe Applikation auf, wobei die Stadien Keimung, Schossen und die Blüte besonders anfällig auf Patulin reagierten.

CHRISTEN & LOVETT (1993) haben die Wirkung von p-hydroxybenzoic-Säure, die zu der Gruppe der Phenole gehört, auf die Entwicklung von Gerste genauer untersucht. Zu Beginn der Pflanzenentwicklung konnte durch die Zugabe des Phenols eine in der Länge signifikant reduzierte Keimwurzel im Vergleich zur Kontrolle nachgewiesen werden. Da die Koeoptile weniger sensitiv auf die Einwirkung von p-hydroxybenzoic-Säure reagierte, wird eine unterschiedlich starke Wirkung auf Zellteilung und Zellstreckung angenommen. Ertragsreduktionen, verursacht durch eine geringe Einzelkornmasse aufgrund von Applikationen zur Keimung oder zum Doppelringstadium, verstärkten sich mit der Konzentration der phenolischen Säure. Allerdings waren die Konzentrationen in diesem Experiment höher als im Feld, andererseits jedoch werden dort viele verschiedene phenolische Säuren zu einem bestimmten Entwicklungsstadium freigesetzt.

STAMAN et al. führten 2001 einen Laborversuch an Gurken durch, in dem sie einen Beweis dafür fanden, dass phytotoxische Substanzen ausgehend von Weizengewebe durch den Boden zu anfälligen Pflanzen wandern. Sie zeigten, dass neben einer Hemmung des Wachstums der Gurkenkeimlinge gleichzeitig eine Stimulation von Phenolen nutzender Bakterien in der Rhizosphäre stattfand. Dies ist ein indirekter Beweis für die Wanderung von phytotoxischen Substanzen im Boden.

Eine allelopathische Wirkung geht nicht nur von den Extrakten der grünen Pflanzenteile bzw. Pflanzenreste aus, sondern auch von Wurzelexudaten. Die

chemische Substanz Sorgoleone wurde von HALLAK et al. (1999) aus den Wurzelausscheidungen von sieben Tage alten Sorghum- Pflanzen (*Sorghum bicolor* L.) extrahiert und in verschiedenen Konzentrationen an sieben Tage alten Bohnen (*Phaseolus vulgaris* L.) gegeben. Äußerlich traten nach einer Woche keine Hinweise auf eine phytotoxische Reaktion auf, jedoch zeigte die cytogenetische Analyse der Wirkung von Sorgoleone, dass die Anzahl der Zellen in allen Phasen der Mitose reduziert waren. Sorgoleone ist demnach ein Mitosehemmer.

2.7 Parameter des Pflanzenwachstums

Für die Charakterisierung von Pflanzenwachstum können verschiedene Parameter betrachtet werden, die vorfruchtbedingte Unterschiede verdeutlichen. Die Trockenmasse [mg] ist jener Bestandteil der Pflanzenmasse, die nach Abzug des Rohwassers übrig blieb. Trockenmassegehalt und Wassergehalt ergänzen sich zu 100%.

Der Bestandesflächenindex (BFI) setzt sich aus dem „leaf area index“ (LAI) von Blätter und Stängel zusammen. Er beschreibt das Verhältnis von Blatt- und Stängelfläche [cm²] pro Standraumfläche [cm²] einer Pflanze bzw. eines Bestandes.

Die „specific leaf area“ (SLA) beschreibt die photosynthetisch wirksame Blattfläche, bezogen auf die Blattmasse einer Pflanze ([cm²] Blattfläche pro [mg] Blattmasse). Die SLA gibt an, wie groß die Blätter sind, die mit einer bestimmten Menge an Trockensubstanz hergestellt wurden. In Versuchen an Weizen nach RAWSON et al. (1987) war eine hohe SLA mit einer schnelleren Blattflächenproduktion und größeren Blättern verbunden. Dies war jedoch nicht mit dem Chlorophyllgehalt, der Stomatafrequenz oder der CO₂-Austauschrate korreliert.

Die SLA kann beschrieben werden durch den Quotienten aus dem „leaf area ratio“ (LAR) und dem „leaf weight ratio“ (LWR). Der LAR ist ein ähnlicher Kennwert wie die SLA, die Blattfläche [cm²] bezieht sich allerdings auf die Gesamttrockenmasse [mg], integriert also auch die nicht assimilierenden unterirdischen Pflanzenteile. Schnellwachsende Pflanzen haben einen höheren LAR als langsamwachsende, die weniger Assimilate in die Blattfläche investieren. Das LWR bezieht die Blattmasse [mg] auf die Gesamtpflanzenmasse [mg] und drückt aus, welcher Anteil der Assimilate für das Blattwachstum verwendet wird.

POORTER & REMKES (1990) haben verschiedene Wachstumsparameter an 24 Wildpflanzen untersucht. Arten in einer nährstoffreichen Umgebung zeigten hohe Werte für SLA, LWR und LAR. Im Vergleich dazu war im nährstoffarmen Milieu das RWR (s.u.) erhöht und SLA und LAR niedriger.

Die relative Wachstumsrate (RGR) bezieht die absolute Wachstumsrate auf die vorhandene Pflanzentrockenmasse und charakterisiert so das Wachstum in Relation zur Masse. Die relative Wachstumsrate nimmt bei einer Stickstoff- Unterversorgung ab (HIROSE 1986, HIROSE & KITAJIMA 1986). Stickstoffmangel reduziert die Wachstumsrate hauptsächlich aufgrund des reduzierten Wachstums der Blattfläche.

2.7.1 Das Wurzelsystem

Wurzelentwicklung und Wurzelverteilung im Boden liefern wichtige Informationen über die Wasser- und Nährstoffaufnahme bei Untersuchungen der Zusammenhänge von Boden und Pflanzenwachstum (ZUO et al. 2004).

Die „root length density“ (RLD) beschreibt das Verhältnis von Wurzellänge [cm] zu dem verfügbaren Bodenvolumen [cm³] und beeinflusst die Größe der Austauschfläche zwischen Boden und Wurzeln (CLAASSEN & STEINGROBE 1999). Sie hängt stark von den Bodenbedingungen, der Pflanzenart, der Wachstumszeit und den Witterungsbedingungen ab (ZUO et al. 2004). Die räumliche Verteilung der Wurzeln gibt Auskunft über das Potential der Pflanzen Wasser und Nährstoffe aufzunehmen. In der oberen Bodenschicht gibt es mehr Wurzeln, wodurch die RLD in tieferen Bodenschichten abnimmt (QIN et al. 2004).

Nach Modellkalkulationen von BARRACLOUGH (1985) ist auch eine niedrige RLD immer ausreichend, um alles im Boden verfügbare Nitrat aufzunehmen. Eine Einlagerung von N während des vegetativen Wachstums ist wichtig für einen späteren Gebrauch in der generativen Phase (PAPONOV et al. 1999).

Die „root weight density“ (RWD) beschreibt das Verhältnis von Wurzelmasse [mg] zu dem verfügbaren Bodenvolumen [cm³] und ist ein Indikator für den Einfluss der Bodendichte auf das Wurzelwachstum und die Nährstoffaufnahme. Bei einer höheren Bodendichte ist die Wurzellänge reduziert und der Durchmesser der Wurzeln steigt an, wie Versuche von QIN et al. (2004) gezeigt haben.

Die „specific root length“ (SRL) ist ein Maß für die Ökonomie der Nährstoffaufnahme, d.h. die Höhe der Investitionskosten an Assimilaten für die Erschließung des Bodenraumes (BAUHUS & MESSIER 1999). Sie wird angegeben in Wurzellänge [cm] pro Wurzeltrockenmasse [mg]. Die Reaktion der „specific root length“ (SRL) auf N-Mangel ist sehr stark genotypabhängig (PAPONOV et al. 1999).

2.7.1.1. Bodenbearbeitung

In der Literatur beschreiben viele Studien den Einfluss von Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf das Wurzelsystem (besonders auf die RLD). Da bei der Entwicklung von Pflanzenbeständen neben der Vorfrucht auch die Bodenbearbeitung einen Einfluss hat und variieren kann, wird dieser hier kurz bezüglich der RLD dargestellt.

QIN et al. (2004) untersuchten Unterschiede in der RLD bei konventioneller (CT) und ausbleibender Bodenbearbeitung (NT). Im Mittel über alle untersuchten Bodentiefen war bei der NT-Variante ein etwas niedrigerer RLD gemessen worden im Vergleich zu der CT-Variante, dafür jedoch ein höherer Wurzeldurchmesser. Ab einer Bodentiefe von 30 cm traten keine Effekte auf die RLD in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung auf.

Bei ausbleibender Bodenbearbeitung ist die Lagerungsdichte des Bodens oft höher, wodurch ein höherer Bodenwiderstand das Wurzelwachstum behindern kann. Die Bildung von Wurzelverzweigungen wird stimuliert und das Wachstum der Hauptwurzelachse ist geringer, wodurch die Nährstoffaufnahme und letztendlich das Pflanzenwachstum behindert werden kann. Andererseits ist unter NT eine bessere Bodenstruktur vorzufinden mit einem umfangreichen System an Makroporen, die das Wurzelwachstum begünstigen (QIN et al. 2004).

Versuche von ELLIS & BARNES (1980) haben keine signifikanten Effekte auf die RLD im Vergleich der Bodenbearbeitungssysteme NT und CT ergeben. Bodenverdichtungen hatten den größten negativen Einfluss auf die RLD. Ein Vergleich von verschiedenen Untersuchungen bezüglich der RLD ist sehr schwierig, da die Bodenstruktur und die Bodendichte einen großen Einfluss zeigen (QIN et al. 2004). Sie ermittelten eine mittlere RLD zum Stadium der Reife in der Bodenschicht 0 bis 20 cm von 9,85 cm/cm³.

2.7.1.2. Trockenstress

Unter künstlichem Trockenstress von der Bestockung bis zur Reife wurde ein geringes Wurzelwachstum im Oberboden beobachtet und ein kompensatorisches Wachstum im Unterboden, wenn eine Stickstoffgabe erfolgte. Pflanzen im Trockenstress wurzelten tiefer, wobei der Anteil an Wurzeln in tieferen Zonen sehr gering war (BARRACLOUGH et al. 1989).

Relativ gesehen nimmt das Wurzelsystem bei Wasserknappheit stärker zu als die Sprossstrockenmasse. Insgesamt ist das gesamte Wurzelwachstum bei Wassermangel jedoch reduziert. In der Kontrollvariante mit einer guten Wasserversorgung konnten ASSENG et al. (1998) zwei Wochen vor der Reife des Weizens eine gesamte Wurzellänge pro Einheit Bodenfläche von 306 cm/cm² errechnen.

2.7.2 Spross:Wurzel-Verhältnis

Das Spross:Wurzel-Verhältnis ist ein Maß für die Biomassenallokation, also wie viele Assimilate der Blätter in die Wurzel transportiert werden. Ein beschleunigtes Wurzelwachstum konnte von HIROSE & KITAJIMA (1986) an *Polygonum cuspidatum* nur beobachtet werden, wenn vorher ein hohes Niveau an Stickstoff angeboten wurde. Stickstoffabnahme verursachte immer eine Verlagerung von verfügbarem Stickstoff von dem Spross in die Wurzeln.

Schnellwachsende Pflanzen haben ein höheres Spross:Wurzel-Verhältnis. Bei ausreichend Nährstoffen im Boden ist die Kapazität der Nährstoffabnahme des Sprosses der begrenzende Parameter für das Wachstum der Pflanze, in Abhängigkeit von den oberirdischen Wachstumsbedingungen und dem Wasserangebot (CHAPIN, 1980).

Das Spross:Wurzel-Verhältnis stieg in den Versuchen von BARRACLOUGH (1984) von 2,5 im Winter und im frühen Frühjahr auf 10 zur Blüte an. Es traten deutliche Unterschiede im Spross:Wurzel-Verhältnis für verschiedene Winterweizenarten während des Winters und des Frühlings auf, die teilweise mit Differenzen im verfügbaren Boden-N und dem Zeitpunkt der N-Düngung erklärt werden. Trockenstress hat negative Auswirkungen auf das Wachstum von Spross und

Wurzeln und somit auch auf den Ertrag von Winterweizen (YANG et al. 1997), wodurch das Spross:Wurzel-Verhältnis deutlich verschoben wird (YUAN et al. 2004).

An 36 Tage alten Winterweizenpflanzen in der Bestockungsphase wurde in den darauf folgenden 20 Tagen die NO_3^- - und K-Aufnahme der Keimwurzeln und der Adventivwurzeln bestimmt. Innerhalb dieser Zeit stieg die Pflanzentrockenmasse um den Faktor 20 an, während das Spross:Wurzel-Verhältnis und die Nährstoffverteilung konstant blieben. Die Aufnahmeraten pro Einheit Wurzellänge waren bei den Adventivwurzeln um das 2 bis 6-fache höher im Vergleich zu den Keimwurzeln und lag bei Werten zwischen 1 und 9 pmol/cm/s . Die Aufnahmerate pro Einheit Wurzel nahm mit dem Pflanzenalter ab, verursacht durch einen geringeren Sprossbedarf infolge einer Reduktion der relativen Wachstumsrate (KUHLMANN & BARRACLOUGH 1987).

2.7.3 Nährstoffaufnahme

Wenn Pflanzen mit der maximalen Rate aufgrund optimaler oberirdischer Bedingungen wachsen, müssen Wasser und Nährstoffe in Raten an die Wurzeloberfläche geliefert werden, die den Bedarf der Pflanze zu jeder Zeit decken. Dies ist abhängig von der Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung und der Menge an anwesenden Wurzeln (BARRACLOUGH 1985).

Nach BARRACLOUGH (1985) scheint es unwahrscheinlich, dass der Nährstofftransport die Aufnahme von Nährstoffen in feuchten und gut gedüngten Böden begrenzt. Das starke Sprosswachstum und die hohe Nährstoffaufnahme von Pflanzen unter diesen Bedingungen sind passend zu einem großen Wurzelwachstum. Daher sind die Aufnahmeraten und die Konzentrationen an Nährstoffen in der Bodenlösung die benötigt werden um das Wachstum aufrecht zu erhalten nicht sehr hoch.

In einem Versuch zur Schätzung des Beitrags von Massenfluss bei der Anlieferung der Nährstoffe, kamen GERGORY et al. (1979) zu dem Ergebnis, dass in dem Zeitraum von Mitte April bis Mitte Juni nur 50% der gemessenen N-Aufnahme über den Massenfluss den Pflanzen zur Verfügung gestellt wurde. Jedoch berichten sie auch von Perioden, in der die N-Anlieferung über Massenfluss durchaus für die

gemessene N-Aufnahme ausreichend war. Sie vermuten daher, dass sich die Bedeutung von Massenfluss und Diffusion innerhalb der Wachstumsperiode verändern kann. Während des Winters sanken die Raten der Nährstoffaufnahme ab, bevor sie im Frühjahr wieder anstiegen. Generell sank die Konzentration an Nährstoffen während des gesamten Wachstums ab, wobei Unterschiede im Verlauf bei verschiedenen Pflanzenteilen festgestellt wurden. Die Hauptperiode der Nährstoffaufnahme trat zwischen Mitte April und Mitte Juni auf (GERGORY et al. 1979).

Die Nährstoffabsorption der Wurzel hängt von dem Nährstoffangebot an der Wurzeloberfläche und der aktiven Absorption der Wurzelrindenzellen ab (CHAPIN 1980). Die Konzentration in der Bodenlösung wird beeinflusst von der Pufferkapazität des Bodens und der Rate der Nährstoffbewegung zur Wurzeloberfläche durch Diffusion oder Massenfluss. Stickstoff ist in der Bodenlösung so stark verdünnt, dass mit dem Massenfluss des Bodenwassers für den Ausgleich der Transpirationsverluste nur ein kleiner Teil der benötigten Menge für die Pflanzen angeliefert wird. Der Hauptteil wird daher über Diffusion der Pflanze zur Aufnahme zur Verfügung gestellt. Bei steigender Konzentration in der Bodenlösung sowie höherer Temperatur gewinnt der Massenfluss relativ zur Diffusion an Bedeutung für die Nährstoffaufnahme (CHAPIN 1980).

BARRACLOUGH (1985) berichtet, dass die höchsten Influxraten (Menge an absorbierten Nährstoffen pro Einheit Wurzellänge und Zeit) in den Monaten April oder Mai mit Werten von $13 - 34 \times 10^{-14}$ mol/cmWurzel/sec erreicht wurden. Für eine im Oktober gesäte Kultur entspricht das einer Konzentration von $165 \mu\text{M N}$ im Boden und für eine im September gesäte Kultur aufgrund eines größeren Wurzelsystems einer Konzentration von $106 \mu\text{M N}$, um die maximalen Aufnahmeraten aufrecht zu halten.

3. Material und Methoden

Im Herbst 2005 wurde der Versuch angelegt. Für den Topfversuch wurden Mitscherlichgefäße mit Ackerboden befüllt, der von dem Versuchsgut Hohenschulen stammte, und die Gefäße im Gewächshaus der Universität zu Kiel, Fachbereich Pflanzenbau, aufgestellt. Die Probetermine waren von Ende Oktober bis Mitte November, an denen ein Teil der Analysen bereits durchgeführt wurde. Im Frühjahr 2006 folgten die Laboranalyse und die Datenauswertung der oberirdischen Pflanzenteile und der ausgewaschenen Wurzeln.

In Tab. 1 ist der zeitliche Ablauf des Versuchs dargestellt.

Tab. 1: Zeitlicher Ablauf des Versuchs

23.9/24.9.05	Entnahme des Bodens, 20 Gefäße je Variante (3 Varianten), Aufstellen im Gewächshaus
07.10.2005	Aussaat des Weizens in die Mitscherlichgefäße
26.10.2005	1. Probetermin, Analyse Blatt- und Stängelfläche, Wurzeln ausgewaschen, Trockenmasse Blatt & Stängel bestimmt
02.11.2005	2. Probetermin, Analyse Blatt- und Stängelfläche, Wurzeln ausgewaschen, Trockenmasse Blatt & Stängel bestimmt
14.11.2005	3. Probetermin, Analyse Blatt- und Stängelfläche, Wurzeln ausgewaschen, Trockenmasse Blatt & Stängel bestimmt
03.04.2006	Beginn der Wurzelanalyse im Labor, Wurzellängenbestimmung und Trockenmasse der Wurzeln Mahlen der Trockenmasse von Blatt & Stängel, Bestimmung der N-Gehalte

3.1 Standortbeschreibung

Das Versuchsgut Hohenschulen der Universität Kiel liegt geographisch gesehen ca. 15 km westlich von Kiel im östlichen Hügelland. Die sandig-lehmigen bis tonig-lehmigen Böden mit einer Mächtigkeit von 40 bis 70 cm sind aus dem Geschiebe der letzten Eiszeit entstanden. Als Bodentyp überwiegen lessivierte Parabraunerden, die Bodenart ist überwiegend als sandiger Lehm einzustufen. Die Ackerzahl liegt im Durchschnitt bei 52 Bodenpunkten, die jedoch aufgrund von bodenphysikalischen und bodenchemischen Eigenschaften auf kurzer Distanz schwanken kann. Das Klima ist maritim geprägt mit durchschnittlich 750 mm Niederschlag im Jahr und Jahresdurchschnittstemperaturen von 8,4°C. Charakteristisch für das Klima dieser

Region sind gleichmäßig verteilte Niederschläge zwischen Sommer- und Winterhalbjahr mit einem zögernden Temperaturanstieg im Frühjahr und wenigen Hitzetagen im Sommer (<http://www.hohenschulen.uni-kiel.de>).

3.2 Charakterisierung der ausgewählten Böden

Für den Versuch wurden ungestörte Bodenproben aus drei verschiedenen Flächen in Mitscherlichgefäße übertragen. Die Böden haben sich bezüglich des Standortes (W1 und W2), der Vorfrucht (Raps und Weizen), der Bodenbearbeitung und der Düngungsmaßnahmen unterschieden. Im Folgenden werden die drei Varianten mit W1-R, W1-W und W2-W bezeichnet (siehe Tab. 2). W1 und W2 geben dabei Auskunft über den Standort und der folgende Buchstabe über die Vorfrucht Weizen (W) bzw. Raps (R).

Tab. 2: Übersicht der Vorfruchtvarianten

Variante	Vorfrucht			Bodenbearbeitung***	Stroh	Herbstdüngung
	2002/03	2003/04	2004/05			
W1-R*	Raps	Raps	Raps	gegrubbert, 10-12cm		40 kgN/ha
W1-W*	Weizen	Weizen	Weizen	gegrubbert, 18cm	gehäckselt	keine
W2-W**	Weizen	Weizen	Weizen	gegrubbert, 18cm	gehäckselt	keine

* Vers. Nr. 68, Bockbergversuch. Rotation von 3 Jahren Raps und 3 Jahren Weizen (Weizensorte 2004/05 Drifter)
** Versuchsfläche der Hanse-Agro, 4 Jahre Weizenanbau (Weizensorte 2004/05 Biscay)
*** Bodenbearbeitung: im Herbst 2005 nach der Ernte vor Entnahme der Proben

Der Boden der Variante W1-W stammte aus der Fläche, die auf dem Versuchsgut Hohenschulen mit Bockbergversuch, Teilfläche VI bezeichnet wird. In dem Bockbergversuch rotieren im dreijährigen Wechsel die Kulturen Raps und Winterweizen auf sechs Teilflächen, die jeweils in Parzellen mit verschiedenen Düngungsstufen unterteilt sind. In dem Wirtschaftsjahr 2005/2006 wurde auf der Teilfläche VI Winterweizen angebaut. Die Vorfrucht der vorhergehenden drei Jahre war Raps.

Der Boden der Variante W1-W war ebenfalls aus dem Bockbergversuch entnommen, jedoch aus der Teilfläche III. Auf dieser Fläche wurde in den drei vorhergehenden Jahren Weizen angebaut und im Wirtschaftsjahr Jahr 2005/2006 Raps ausgesät.

Der Boden der Variante W2-W stammte von einer Versuchsfläche der Hanse-Agro auf dem Versuchsgut Hohenschulen. Dort war im Jahr 2004/2005 Winterweizen angebaut, der auf Befall mit Schwarzbeinigkeit hin bonitiert wurde. Für den Topfversuch wurde eine Variante ausgewählt, dessen Weizenpflanzen zur Ernte 2005 einen starken Befall mit Schwarzbeinigkeit zeigten. Im Wirtschaftsjahr 2005/2006 wurde dort der fünfte Winterweizen infolge gedrillt.

Bei den Varianten mit Weizen als Vorfrucht kann von einer beginnenden Monokultur gesprochen werden.

3.2.1 Befüllen der Mitscherlichgefäße

Das Befüllen der Mitscherlichgefäße mit den ausgewählten Böden erfolgte am 23. und 24.09.2005, kurz nach der Aussaat des Winterweizens auf den Flächen, von denen Proben für die Varianten W1-R und W2-W genommen wurden. Die jungen Rapspflanzen, die auf der Fläche der Variante W1-W standen, wurden entfernt.

Für jede Bodenvariante wurden 20 Proben aus einer Fläche von 9 m² entnommen und in Mitscherlichgefäße (Höhe: 20 cm, Durchmesser: 20 cm) übertragen. Die Entnahme der Proben erfolgte mit einem stabilen Stechzylinder, der 20 cm tief in den Boden geschlagen wurde. Anschließend wurde der Boden in ein Mitscherlichgefäß übertragen, in dem die Probe mit einer Scheibe aus dem Stechzylinder in den Topf gedrückt wurde. In den Gefäßen verblieb ein Rand von 1-2 cm an der Oberkante, damit das Gießwasser nicht überlaufen konnte. Durch diese Methode konnte der gewachsene Boden ohne eine Durchmischung und Zerstörung der Schichten in die Gefäße gefüllt werden.

3.3 Arbeitsablauf im Gewächshaus

Bereits im Vorfeld wurde festgelegt, dass an drei Terminen Pflanzenproben genommen werden, von denen die oberirdische Masse und die Wurzeln analysiert

wurden. Die Töpfe wurden mit einem Code beschriftet, der Auskunft über die Variante (hierbei wurde die Bezeichnung A, B, C verwendet), den vorgesehenen Probetermin (1., 2. oder 3. Probetermin) und die Wiederholung (a-f) gab. Alle Mitscherlichgefäße waren in einer Reihe unter speziellen Lampen aufgebaut, die auf einen Tag-/Nachtrhythmus (6:00 Uhr an und 22:00 Uhr aus) eingestellt waren. Des Weiteren war die Lüftung auf 18°C eingestellt und geheizt wurde ab einer Temperatur unterhalb von 12°C.

Die Aufstellung der Töpfe erfolgte so, dass sich für jeden Probetermin eine gleichmäßige Verteilung der Töpfe im Gewächshaus ergab, um im Mittelwert der verschiedenen Varianten eventuelle Effekte durch das Mikroklima auszuschließen.

Abb. 1: System der Aufstellung der Mitscherlichgefäße im Gewächshaus

A1a	B2a	A3a	B1b	A2b	B3b	A1c	B2c	A3c	B1d	A2d	B3d	A1e	B2e	A3e	B1f	A2f	B3f	
	C1a	C2a	C3a	C1b	C2b	C3b	C1c	C2c	C3c	C1d	C2d	C3d	C1e	C2e	C3e	C1f	C2f	C3f
B1a	A2a	B3a	A1b	B2b	A3b	B1c	A2c	B3c	A1d	B2d	A3d	B1e	A2e	B3e	A1f	B2f	A3f	

Die Aussaat des Weizens (Sorte Dekan, 2005) erfolgte am 07.10.2005. Zur Bestimmung der Pflanzenanzahl pro Topf wurde von einer Saatstärke von ca. 200 angestrebten Pflanzen/m² ausgegangen. Bei einer Topffläche von 0,0314 m² entsprach dies sechs Pflanzen/Topf. Ausgesät wurden jedoch acht Pflanzen pro Topf, die später auf sechs Stück vereinzelt wurden, um eine gleichmäßige Anzahl an Pflanzen für jeden Topf sicherzustellen. Zur Aussaat wurde eine Schablone auf das Gefäß gelegt, die mit acht gleichmäßig verteilten Markierungen versehen war. Durch jede Markierung wurde ein 1,5 cm tiefes Loch in die Erde gebohrt, ein Weizenkorn abgelegt und anschließend das Loch mit Erde aufgefüllt.

Das Auflaufen konnte bei allen drei Bodenvarianten auf den 13.10.2005 datiert werden (50% der zu erwartenden Pflanzen aufgelaufen). Bei Variante W1-R waren zu diesem Termin (6 Tage nach der Aussaat) 66% der Pflanzen aufgelaufen, bei Variante W1-W 62% und bei der Variante W2-W 71%. Am 18.10.2006, elf Tage nach der Aussaat, wurden die Pflanzen in allen Töpfen auf sechs Stück reduziert, bis auf zwei Ausnahmen in Töpfen der Variante W1-W, in denen noch keine sechs Pflanzen vorhanden waren.

Die EC-Stadien der Pflanzen wurden täglich dokumentiert. In einer Liste wurde für jeden Topf die Anzahl der Pflanzen festgehalten, die sich in demselben EC-Stadium befanden. Ein Auszug dieser Listen ist in Abb. 2 dargestellt.

26.10	EC11	EC12	EC13	EC21	EC22	à
A1a				3	3	6
B1a		6				6
C1a			2	4		6
A2a		1		5		6
B2a		5		1		6
C2a			2	4		6
A3a		1		5		6
B3a	1	3		2		6
C3a				6		6

Abb. 2: Auszug aus der Boniturliste zur Dokumentation der EC- Stadien

Die Pflanzen wurden nach Bedarf gewässert. Die Wassermenge richtete sich nach der Trockenheit des Bodens. Bei höheren Temperaturen und im Laufe der Entwicklung der Pflanzen musste mehr Wasser gegossen werden. Zur Kontrolle wurden alle Töpfe einmal in der Woche gewogen und die Differenz zum Zielgewicht ermittelt. Das Zielgewicht, bis zu dem die Töpfe aufgewässert wurden, war der Wert der 1. Wiegung. In der Tab. 3 sind die Termine angegeben, an denen die Töpfe gewogen wurden. Die verwendete Waage der Marke „Sauter“ zeigte die Gewichte in [g] an, ohne Nachkommastellen. Die obere Gewichtsgrenze lag bei 10 kg. Die Töpfe hatten ein mittleres Gewicht von 9066 g (min- Wert 8064 g und max- Wert 9922 g).

Tab. 3: Wiegetermine der Töpfe im Gewächshaus

	Datum	Bemerkung
1	27.09.05	Aufstellen der Töpfe im Gewächshaus
2	07.10.05	Aussaat des Weizens in die Töpfe
3	14.10.05	
4	20.10.05	
5	27.10.05	1. Erntetermin
6	30.10.05	Wassergabe nach Zielgewicht
7	01.11.05	Wassergabe nach Zielgewicht (2.PT am 2.11.)
8	09.11.05	Wassergabe nach Zielgewicht
9	14.11.05	3. Erntetermin

Alle Töpfe erhielten ausgenommen der Termine, an denen nach dem Zielgewicht gewässert wurde, dieselbe Wassermenge. Die jeweiligen Mengen sind der Tab. 5 zu entnehmen. Das Wasser wurde in einem Messzylinder abgemessen und mittels einer PET-Flasche, in deren Drehverschluss sich 10 Löcher befanden, gleichmäßig auf der Oberfläche der Töpfe verteilt. Zu einigen Terminen am Anfang wurde die Oberfläche nur mit Wasser aus einer handelsüblichen Sprühflasche befeuchtet, um Rissbildung im Boden vorzubeugen. Der Tab. 4 sind die Gesamtmengen an Wasser zu entnehmen, die bis zu den jeweiligen Probeterminen gegeben wurden. Wenn nach dem Zielgewicht mehr als 200 ml Wasser gegeben werden mussten, wurde die restliche Menge am folgenden Tag gegossen. Dies war jedoch nur selten der Fall.

Tab. 4: Summe der gegebenen Wassermengen in den drei Varianten bis zu der jeweiligen Probenahme in [ml]

Variante	PT1	PT2	PT3
W1-R	1110	1845	2220
W1-W	1110	1784	2153
W2-W	1110	1863	2266

Das in den Töpfen gekeimte Unkraut wurde während der verschiedenen Arbeiten entfernt. Die Mitscherlichgefäße wurden auf passende Wasserauffangschalen gestellt, die überschüssiges Gießwasser auffangen sollten. Die Schalen waren zu jeder Kontrolle leer.

Tab. 5: Wassergaben ab Aussaat des Weizens in [ml]

Datum	gegossen	besprüht	Varianten der Probetermine
06.10.05	250 ml		1,2,3
07.10.05			1,2,3
08.10.05	100 ml		1,2,3
09.10.05	100 ml		1,2,3
10.10.05		15 ml	1,2,3
11.10.05	15 ml	15 ml	1,2,3
12.10.05	100 ml		1,2,3
13.10.05		15 ml	1,2,3
14.10.05		15 ml	1,2,3
15.10.05	100 ml		1,2,3
16.10.05		15 ml	1,2,3
18.10.05	100 ml		1,2,3
20.10.05	100 ml		1,2,3
22.10.05	100 ml		1,2,3
24.10.05	100 ml		1,2,3
26.10.05	100 ml		2,3
27.10.05	100 ml		2,3
29.10.05	100 ml		2,3
30.10.05	nach Berechnung, Mittel: 170 ml		2,3
31.10.05	100 ml		2,3
01.11.05	nach Berechnung, Mittel: 138 ml		2,3
04.11.05	150 ml		3
08.11.05	150 ml		3
09.11.05	nach Berechnung, Mittel: 83 ml		3

3.4 Wachstumsbedingungen Gewächshaus

Im Gewächshaus wurden die Lufttemperatur (LT), die Luftfeuchtigkeit (LF) und die Strahlungsintensität (UM) gemessen. Zur Messung der Strahlung wurde der Line Quantum Sensor „LI-191SA“ (LI-COR, USA) verwendet und für die LT und LF der Kombifühler „Rotronic MP 103A“ (Rotronic Messgeräte GmbH, Deutschland). Die Sensoren waren an einen Datenlogger angeschlossen, der die Werte speicherte.

In den folgenden Abbildungen sind für die gemessenen Klimaparameter der Verlauf der maximalen und minimalen Werte, sowie die Mittelwerte dargestellt.

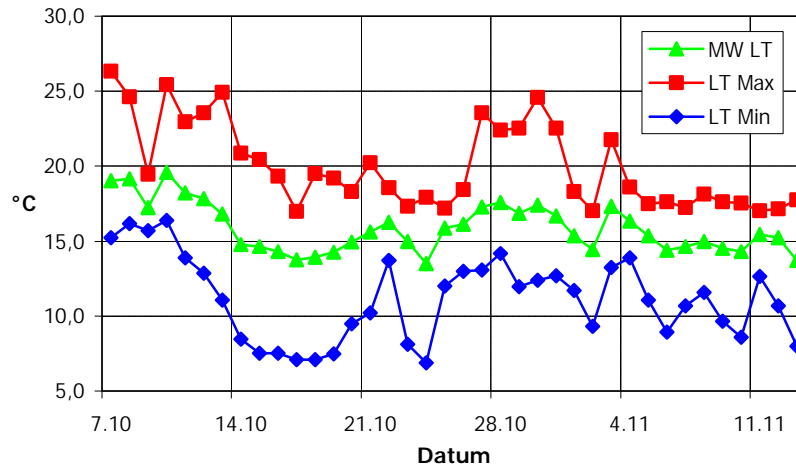


Abb. 3: Temperaturverlauf im Gewächshaus [°C] während des Versuchszeitraums (Mittelwerte, Min- und Maxwerte)

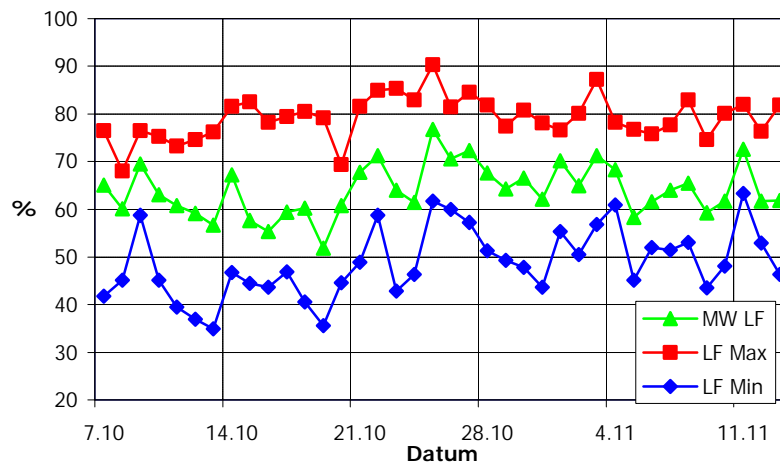


Abb. 4: Verlauf der Luftfeuchtigkeit [%] im Gewächshaus während des Versuchszeitraums (Mittelwerte, Min- und Maxwerte)

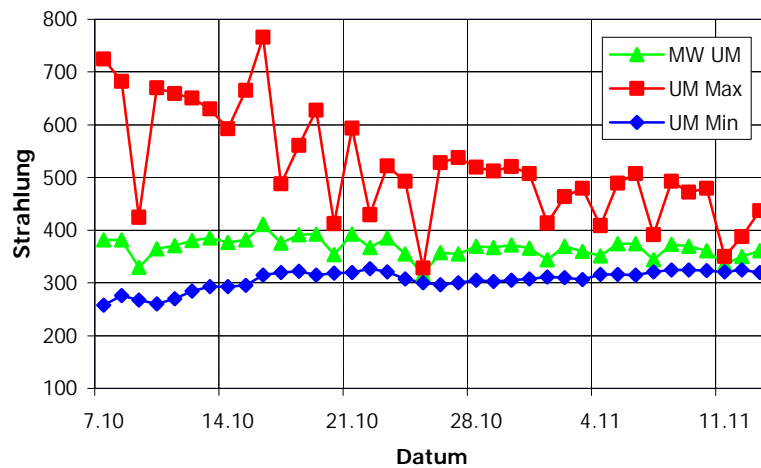


Abb. 5: Strahlungsverlauf [$\mu\text{mol Photonen}/(\text{m}^2 \cdot \text{sec})$] im Gewächshaus während des Versuchszeitraums (Mittelwerte, Min- und Maxwerte)

Bei Temperatur und Luftfeuchtigkeit wurden jeweils der maximale und minimale Wert von 24 Stunden ermittelt und die Mittelwerte über 24 Stunden berechnet (der Logger speicherte stündlich die Daten). Bei der Grafik der Lichtwerte beziehen sich der maximale und minimale Wert, sowie der Mittelwert auf die 16 Stunden Licht am Tag (7.00 Uhr bis 22.00 Uhr). In der Nacht waren die Werte durchgehend auf 0.

3.5 Datenerhebung

Zu den drei Probeterminen, die der Tab.1 zu entnehmen sind, wurde die oberirdische Sprossmasse abgeschnitten und die Wurzeln aus dem Boden ausgewaschen. Des Weiteren wurden Bodenproben für eine Stickstoff- Analyse genommen.

3.5.1 Bodenstickstoffanalyse

Die Bodenproben für eine N-Analyse wurden an fünf Terminen genommen. Die erste Probe wurde auf dem Acker parallel zum Befüllen der Mitscherlichgefäße gezogen; eine zweite Probe bei der Aussaat des Weizens und jeweils zu den Probeterminen. Für die notwendige Menge an Boden für die Analyse (250 g) wurde mit einem kleinen Probestab sechs Mal in einen Topf gestochen. Die Analyse auf Stickstoff und Bodenwassergehalt wurde im Labor des Instituts für Pflanzenbau der Universität Kiel durchgeführt.

Zur Aussaat standen pro Variante jeweils zwei Töpfe zur Verfügung, aus denen eine Mischprobe entnommen wurde. An den Probeterminen T1, T2 und T3 wurde aus jeder Variante ein Topf der Wiederholung a-f zufällig ausgewählt und für die Entnahme der Bodenprobe verwendet. Die Wurzeln aus diesen Töpfen wurden nicht ausgewaschen und die oberirdische Pflanzenmasse verworfen.

3.5.2 Sprossanalyse

Zu den drei Probeterminen wurden die grünen Pflanzen an der Bodenoberfläche abgeschnitten. Aus allen Töpfen konnten immer sechs Pflanzen geerntet werden. Die Pflanzenproben wurden nach Blatt und Stängel fraktioniert und mit dem

Blattflächenmessgerät „LI-3100C Area Meter“ der Firma LI-COR vermessen. Anschließend wurden die Proben bei 65°C Frischluft für 12 Stunden in einen Trockenschrank gestellt. Vor dem Auswiegen standen die Proben für vier Stunden bei 105°C Umluft im Trockenschrank. Das Auswiegen erfolgte auf einer geschlossenen Laborwaage, die das Gewicht einer Probe auf vier Nachkommastellen im Grammbereich anzeigte. Nach dem Auswiegen der Blatt- und Stängelproben wurden diese in einer Kugelmühle gemahlen und mit einem C/N-Analyser die Stickstoffkonzentrationen bestimmt. Aufgrund der geringen Mengen mussten aus allen fünf Unterproben einer Variante eine Mischprobe gebildet werden. Für die Parameter Sprossfläche und Sprosstrockenmasse gingen alle Wiederholungen einer Variante in die Auswertung mit ein.

3.5.3 Wurzelanalyse

Vor dem Auswaschen der Wurzeln wurden die Mitscherlichgefäße für ca. zwei Stunden in eine Wanne mit Wasser und Spülmittel gestellt, damit sich der Boden besser aus den Töpfen herauslöste. Die Wurzelwasch-Apparatur bestand aus drei Sieben verschiedener Maschenweite (Außenmaße 104 x 52 cm), die übereinander auf einer Auffangwanne für das Waschwasser lagen. Auf jeder der drei Ebenen wurde die Erde mit einem Wasserstrahl abgewaschen und die Wurzeln in eine Schale mit Wasser gelegt, die anschließend eingefroren wurde. Das erste Sieb hatte eine Maschenweite von 28 mm, danach folgten ein Sieb mit 0,6 mm und eines mit 0,15 mm. Bei diesem Arbeitsschritt fand nur eine grobe Reinigung der Wurzeln von Steinen, sowie von alten Pflanzen- und Wurzelresten statt.

Im April 2006 wurden die Proben von allen nicht- Weizenwurzelbestandteilen im Labor gereinigt. In einer Waschschüssel mit ausreichend Wasser konnten die groben unerwünschten Bestandteile mit einer Pinzette aus den Pflanzenwurzeln entfernt werden. Danach wurde der Wurzelknäuel in ca. 1 cm große Stücke zerschnitten, um kleinere Nichtwurzelbestandteile einfacher zu entfernen. Bis zur Analyse der Wurzellängen und der Trockenmassen wurden die gesäuberten Proben wieder eingefroren.

Zur Ermittlung der Wurzellängen wurde eine Unterprobe der Wurzeln einer Wiederholung in einer rechteckigen Glasschale mit etwas Wasser so verteilt, dass

sich keine Wurzelstücke überlappten. Die Glasschale wurde auf einen Scanner gestellt und mit der Software „WinRHIZO 2002 a,b,c“ (Régent Instruments Inc.) das Wurzelbild eingescannt. Die Anzahl der Bilder für eine Wiederholung schwankte zwischen zwei und vier. Mit dem Programm „WinRHIZO“ konnte die Wurzellänge von einem Wurzelbild ermittelt werden. Mit den Daten der Wurzeltrockenmasse (s.u.) konnte die Gesamtwurzellänge über den Anteil der Trockenmasse der eingescannten Wurzeln berechnet werden.

Nach der Längenmessung wurden die Wurzeln mit Papiertüchern abgetrocknet und in einen Trockenschrank gestellt. Für jede Wiederholung gab es eine Papiertüte mit dem eingescannten Wurzelanteil und eine mit dem Rest der Probe. Bei 65°C Frischluft wurden die Wurzeln für 12 Stunden getrocknet. Vier Stunden vor dem Auswiegen wurde der Trockenschrank für vier Stunden auf 105°C Umluft eingestellt. Die Trockenmassen der Wurzeln wurden auf einer Laborwaage bestimmt (in [g] mit vier Nachkommastellen).

3.6 Auswertung der Daten

Das anfallende Datenmaterial wurde an einem PC mit dem Tabellenkalkulationsprogramm „EXCEL“ in eine übersichtliche und auswertbare Form überführt. Die anschließende varianzanalytische Auswertung wurde mit dem Statistikprogramm „SAS“ durchgeführt. Bei der Varianzanalyse wurde die Prozedur General Linear Model (GLM) mit dem Student-Newman-Keuls-Test verwendet. Die Tabellen und Grafiken sind mit „EXCEL“ erstellt worden.

4. Ergebnisse

Im Folgenden wird zuerst die Pflanzenentwicklung in Abhängigkeit von den EC-Stadien und der Anzahl der Triebe pro m² dargestellt, sowie die Ergebnisse der N-Analysen. Danach werden die erhobenen und abgeleiteten Parameter einzeln vorgestellt.

4.1 Pflanzenentwicklung

In der Tab. 6 ist die Zuordnung der Probetermine zu dem jeweiligen Datum, der Anzahl von Tagen nach der Aussaat und der bis dahin erreichten Temperatursumme abgebildet.

Tab. 6: Zuordnung von Probetermin, Datum, Tage nach der Aussaat und der Temperatursumme

	Datum	Tage nach Aussaat	Temperatursumme
1. Probetermin	26.10.2005	19	321
2. Probetermin	02.11.2005	26	436
3. Probetermin	14.11.2005	38	616

4.1.1 EC-Stadien

In der Abb. 6 ist die Entwicklung der Weizenpflanzen nach EC-Stadien für die drei Vorfruchtvarianten dargestellt. Ein EC-Stadium ist hierbei erreicht, wenn mindestens 50% der gesamten Pflanzen einer Variante das folgende EC-Stadium erreicht haben. Die Pflanzenentwicklung für die Varianten W1-R und W2-W war identisch. Für die ersten Tage nach der Aussaat ist in der Tab. 7 der Anteil an Pflanzen pro Variante in dem EC-Stadium 10 für den 5. und 7. Tag nach der Aussaat und für den 9. Tag der Anteil der Pflanzen in EC 11 zu sehen.

Tab. 7: Anteil der Pflanzen in EC 10 bzw. EC 11 in den drei Varianten für 5, 7 und 9 Tage nach der Aussaat (TnA)

Variante	EC 10	EC 10	EC 11
	12.10 5 TnA	14.10 7 TnA	16.10 9 TnA
W1-R	42,5%	73,3%	48,3%
W1-W	33,3%	75,0%	25,8%
W2-W	39,2%	77,5%	51,7%

Bereits fünf Tage nach der Aussaat war ein Unterschied zwischen den Varianten aufgetreten. In der Variante W1-W waren weniger Pflanzen als in den anderen beiden Varianten aufgelaufen. Zwei Tage später hatte die Variante W1-W zwar den vergleichbaren Anteil in EC 10, doch sie lag wieder deutlich zurück, wenn die Anteile der Pflanzen in EC 11 für den Zeitpunkt neun Tage nach der Aussaat betrachtet werden.

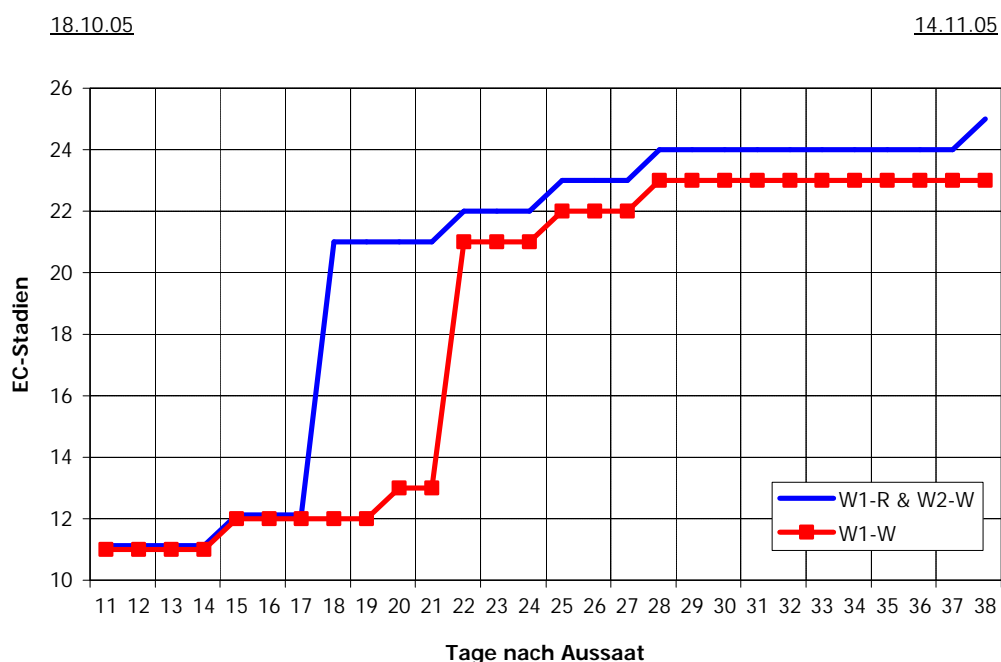


Abb. 6: Pflanzenwachstum über den gesamten Versuchszeitraum nach EC-Stadien

Ab dem 17. Tag nach der Aussaat war die Pflanzenentwicklung der Varianten W1-R und W2-W gegenüber W1-W um drei bis vier Tage voraus. Die Phase der

Bestockung begann in den Varianten W1-R und W2-W nach EC 12, während in der Variante W1-W die Bestockung erst vier Tage später und nach EC 13 einsetzte. Alle Varianten erreichten am 29. Tag nach der Aussaat das höchste EC-Stadium, das sie bis zum 3. Probetermin beibehielten (W1-R und W2-W: EC 24 und W1-W: EC 23). Zwei Tage vor dem letzten Probetermin erreichte die Variante W1-R noch ein folgendes EC-Stadium (EC 25), dem die Variante W2-W bei ansonsten identischer Entwicklung nicht folgte.

4.1.2 Anzahl der Triebe

Abb. 7 zeigt die Anzahl der Triebe pro m² zu den drei Probeterminen. Die Pflanzen der Varianten W1-R und W2-W hatten zu allen drei Terminen eine fast identische Anzahl an Trieben gebildet, wobei die Variante W1-R immer knapp über der Variante W2-W lag (an den letzten vier Tagen deutlich oberhalb).

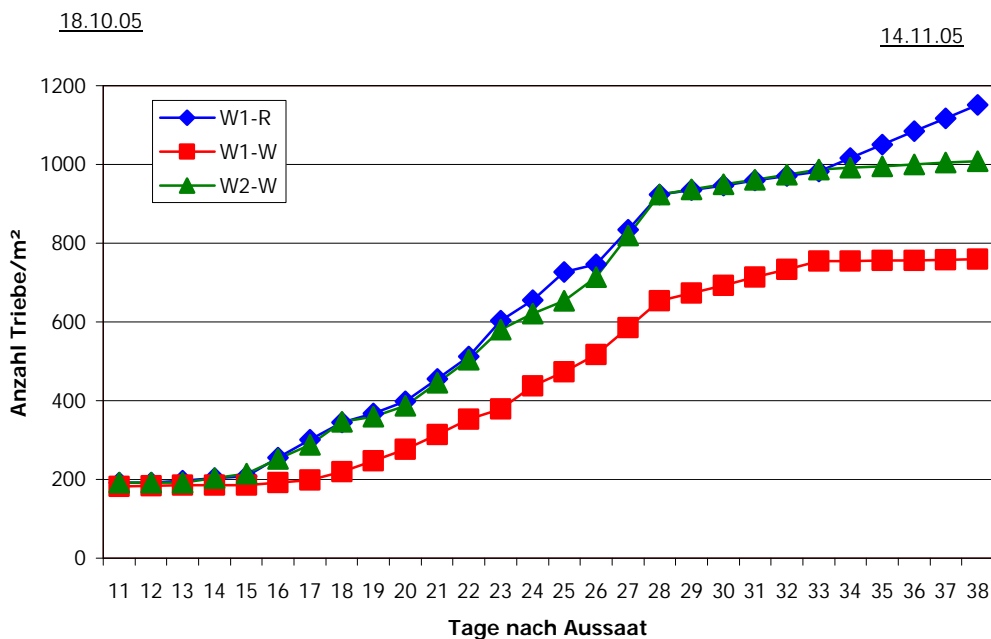


Abb. 7: Anzahl der Triebe pro m² über den gesamten Versuchszeitraum in Tagen nach der Aussaat

Die Pflanzen der Variante W1-W hatten deutlich weniger Triebe gebildet. Im Verhältnis zur Variante W1-R blieb der Anteil an weniger Trieben zur Variante W1-W mit ca. 32% über die drei Probetermine identisch. In den letzten acht Tagen des

Versuches stagnierte die Bestockung bei den Varianten W1-W und W2-W mit einer Differenz von 200 Trieben/m².

4.2 Ergebnisse der Bodenstickstoffanalysen

Die Ergebnisse der Analysen der Bodenproben sind in der Tab. 8 abgebildet. Dargestellt sind die N-min Werte (= NO₃-N + NH₄-N) in [kg/ha], sowie der Bodenwassergehalt in [mm] und in [l/m³] umgerechnet. Der Wassergehalt des Bodens variierte nur gering zwischen der Messungen der Feldprobe und zu den drei Probeterminen. Zur Aussaat waren die Werte etwas höher, da einen Tag vorher eine relativ hohe Wassermenge auf die Töpfe gegeben wurde, damit für die Keimung ausreichend Wasser zur Verfügung stand (siehe Tab. 5).

Tab. 8: Ergebnisse der Analyse der Bodenproben der drei Varianten zu den fünf Terminen (N-min, NO₃, NH₄, Bodenwassergehalt (WAS))

		N-min [kg/ha]	NO ₃ [kg/ha]	NH ₄ [kg/ha]	WAS [mm]	WAS [l/m ³]
24.09.05 Feldprobe (0-30cm)	W1-R	48	46	2	38	127
	W1-W	23	21	2	39	130
	W2-W	46	44	2	41	137
07.10.05 Aussaat (0-20cm)	W1-R	76	73	3	38	190
	W1-W	37	34	3	39	195
	W2-W	49	45	4	39	195
26.10.05 PT1 (0-20cm]	W1-R	93	90	3	28	140
	W1-W	29	27	2	31	155
	W2-W	54	52	2	28	140
02.11.05 PT2 (0-20cm)	W1-R	120	115	5	27	135
	W1-W	26	23	3	28	140
	W2-W	41	38	3	28	140
14.11.05 PT3 (0-20cm)	W1-R	29	27	2	24	120
	W1-W	11	9	2	28	140
	W2-W	35	31	4	27	135

Bei der Betrachtung der N-min Werte können starke Unterschiede zwischen den Varianten beobachtet werden. Zum Termin der Bodenentnahme im Feld lagen die N-min Werte für die Varianten W1-R und W2-W beide bei ca. 47 kgN/ha und bei der Variante W1-W wurde nur 23 kgN/ha gemessen. Im zeitlichen Versuchsablauf stiegen die N-min Werte der W1-R bis auf einen maximalen Wert von 120 kgN/ha zum 2. Probetermin an. Der maximale N-min Wert der Variante W1-W war zum

Termin der Weizenaussaat (37 kgN/ha) und bei der Variante W2-W konnte der höchste Wert zum 1. Probetermin gemessen werden (54 kgN/ha). Vom 1. bis zum 3. Probetermin sanken die N-min Werte der Varianten W1-W und W2-W ab und lagen bei Versucheende bei 35 kgN/ha für den Boden W2-W aus der Weizenmonokultur und bei 11 kgN/ha für die Variante W1-W.

4.3 Übersicht über die Parameter

Bei der Darstellung der Ergebnisse werden zunächst die erhobenen Parameter und danach die abgeleiteten Parameter vorgestellt. In beiden Teilen werden zuerst die Sprossparameter und dann die Wurzelparameter behandelt. Die Parameter werden der Reihenfolge aus Tab. 9 entsprechend besprochen.

Für die meisten abgeleiteten Parameter werden die englischen Bezeichnungen verwendet, da sie in der angelsächsischen Literatur so geläufig sind.

Tab. 9: Erhobene und abgeleitete Spross- und Wurzelparameter

Parameter	Spross	Wurzel
erhoben	Trockenmasse Blatt & Stängel	Trockenmasse Wurzeln
	Fläche Blatt & Stängel	Wurzellänge
	N-Konzentration Blatt & Stängel	
	Gesamt-trockenmasse	
abgeleitet	Bestandesflächenindex (BFI)	Specific root length (SRL)
	Leaf area ratio (LAR)	Root length density (RLD)
	Specific leaf area (SLA)	Root weight density (RWD)
	Leaf weight ratio (LWR)	
	Relative Wachstumsrate (RGR)	
	Spross:Wurzel-Verhältnis	
	N-Aufnahme und N-Influx	

Die Ergebnisse der Varianzanalyse sind in der Tab. 10 zu sehen. Die Signifikanz der F-Werte ist je nach Irrtumswahrscheinlichkeit (p) wie folgt bezeichnet:

nicht signifikant	(n.s.)	$p > 0,05$
signifikant	(*)	$p < 0,05$
hoch signifikant	(**)	$p < 0,01$
sehr hoch signifikant	(***)	$p < 0,001$

Tab. 10: Signifikanzniveaus der Varianzanalyse für die untersuchten Parameter zu den drei Probeterminen

	1. Termin	2. Termin	3. Termin
Tage nach der Aussaat	19	26	38
erhobene Parameter			
Blatt- und Stängeltrockenmasse	**	***	**
Blatt- und Stängelfläche	**	***	***
Wurzeltrockenmasse	n.s.	n.s.	n.s.
Wurzellänge	n.s.	**	n.s.
Gesamtrockenmasse	n.s.	***	**
abgeleitete Parameter			
Bestandesflächenindex	**	***	***
Leaf area ratio	**	*	n.s.
Specific leaf area	*	**	n.s.
Leaf weight ratio	**	*	*
Root length density	n.s.	**	n.s.
Root weight density	n.s.	n.s.	n.s.
Specific root length	*	***	**
Spross:Wurzel-Verhältnis	**	*	***
N-Aufnahme	**	***	***

Bei den grau unterlegten Feldern mit „n.s.“ war die Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als 10% ($p < 0,1$). Die sich aus der Varianzanalyse ergebenden Mittelwerte werden zur Kennzeichnung signifikanter Unterschiede mit verschiedenen (ohne Unterschiede mit gleichen) Kleinbuchstaben versehen.

4.4 Erhobene Parameter

4.4.1 Blatt- und Stängel trockenmasse

In der Tab. 11 sind die Trockenmassen der Blätter und Stängel sowie die gesamte oberirdische Trockenmasse abgebildet. Die statistische Untersuchung hat für alle Probetermine dieselben signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten ergeben. Jeweils Variante W1-R und W2-W befinden sich in einer Gruppe, die sich von der Variante W1-W signifikant unterscheidet. Bereits 19 Tage nach der Aussaat zum 1. Probetermin haben die Pflanzen, die im Boden des Standortes W1 nach Weizen gewachsen sind, weniger Trockenmasse im Blatt- und im Stängelbereich gebildet. Im Verhältnis zu der Variante W1-R sind es zu jedem Termin ca. 40% weniger Trockenmasse. Die Varianten W1-R und W2-W differenzieren sich nur geringfügig. Erst zum 3. Probetermin ist ein kleiner Vorsprung der Variante mit Raps als Vorfrucht zu erkennen.

Tab. 11: Mittelwerte der Blatt- und Stängeltrockenmasse der drei Varianten zu den drei Probeterminen

PT	Variante	TM Blatt	TM Stängel	TM Spross	
		[mg/Pfl.]	[mg/Pfl.]	[mg/Pfl.]	[g/m ²]
T1	W1-R	39,37 ^a	9,17 ^a	48,54 ^a	9,28
	W1-W	24,14 ^b	6,04 ^b	30,18 ^b	5,77
	W2-W	41,52 ^a	10,8 ^a	52,32 ^a	10,00
T2	W1-R	120,73 ^a	36,83 ^a	157,55 ^a	30,11
	W1-W	74,86 ^b	19,67 ^b	94,53 ^b	18,06
	W2-W	124,45 ^a	38,62 ^a	163,07 ^a	31,16
T3	W1-R	270,73 ^a	55,39 ^a	326,13 ^a	62,32
	W1-W	165,49 ^b	30,30 ^b	195,79 ^b	37,41
	W2-W	253,98 ^a	52,05 ^a	306,03 ^a	58,48

In der letzten Spalte der Tabelle ist die Sprosstrockenmasse in [g/m²] umgerechnet. Zum 3. Probetermin hat die Variante W1-R mit 62,3 g/m² die meiste Trockenmasse gebildet.

4.4.2 Blatt- und Stängelfläche

Tab. 12 zeigt die Mittelwerte der Fläche von Blätter und Stängel. Ausgenommen von dem Parameter Stängelfläche zum 2. Probetermin ergab die statistische Auswertung auf signifikante Unterschiede zwischen den drei Varianten zu den drei Terminen immer dieselben signifikanten Gruppen. Zum 2. und 3. Probetermin trat die größte Blatt- und Stängelfläche bei der Variante W1-R auf, die beim letzten Probetermin um 6 cm²/Pfl. (entspricht 14%) größer war im Vergleich zu W2-W. Der Unterschied von Variante W1-R zu W1-W zu diesem Termin beträgt 20 cm²/Pfl. (43% geringere Fläche bei W1-W).

Tab. 12: Mittelwerte der Blatt- und Stängelfläche der drei Varianten zu den drei Probeterminen

PT	Variante	FI Blatt [cm ² /Pfl.]	FI Stängel [cm ² /Pfl.]	FI Spross [cm ² /Pfl.]
T1	W1-R	7,39 ^a	0,78 ^a	8,17 ^a
	W1-W	4,46 ^b	0,54 ^b	5,00 ^b
	W2-W	9,53 ^a	0,90 ^a	10,43 ^a
T2	W1-R	27,30 ^a	2,33 ^a	29,63 ^a
	W1-W	15,44 ^b	1,22 ^b	16,65 ^b
	W2-W	25,32 ^a	2,30 ^a	27,61 ^a
T3	W1-R	43,33 ^a	3,56 ^a	46,89 ^a
	W1-W	24,67 ^b	1,84 ^c	26,50 ^b
	W2-W	37,83 ^a	2,70 ^b	40,52 ^a

Die Pflanzen, die in dem Boden mit Raps als Vorfrucht gewachsen sind bildeten die größte Fläche an Blättern und Stängeln aus. Diese setzten sich zum 3. Probetermin identisch dem Parameter Trockenmasse tendenziell von der Variante W2-W mit Weizen als Vorfrucht ab.

4.4.3 N-Konzentration der Blätter und Stängel

Die N-Konzentration in den Blättern und Stängeln war zu jedem Termin bei der Variante W1-R am höchsten und für die Variante W1-W wurde die niedrigste Konzentration gemessen (siehe Tab. 13). Bei der Betrachtung der Differenzen

zwischen dem 1. und 2. Termin, sowie zwischen dem 2. und 3. Termin weist die Variante des Standortes W2 mit Weizen als Vorfrucht die höchste Abnahme der N-Konzentration auf. Die geringste Abnahme zwischen den ersten beiden Probeterminen ist bei der Variante W1-W aufgetreten und zwischen dem 2. und 3. Probetermin bei der Variante W1-R.

Tab. 13: N-Konzentrationen von Blatt und Stängel der drei Varianten zu den drei Probeterminen

PT	Variante	Blatt %N	Stängel %N
T1	W1-R	6,28	4,92
	W1-W	5,68	4,10
	W2-W	6,02	4,64
T2	W1-R	5,71	4,39
	W1-W	5,21	3,66
	W2-W	5,35	4,02
T3	W1-R	4,43	4,22
	W1-W	3,80	3,29
	W2-W	3,85	3,38

Da für jede Vorfruchtvariante zu jedem Termin aufgrund der geringen Menge nur ein Mischwert für alle Wiederholungen gemessen wurde, konnte keine Varianzanalyse unter Betrachtung der Wiederholungen einer Variante durchgeführt werden. Ein Vergleich der Mittelwerte der Termine ergab für die N-Konzentration im Blatt keine signifikanten Unterschiede und für den Stängel drei Gruppen in der Reihenfolge der Varianten W1-R, W2-W, W1-W.

4.4.4 Wurzelrockenmasse und Wurzellänge

Bei der statistischen Analyse der Trockenmasse der Wurzeln traten zu keinem Probetermin signifikante Unterschiede auf ($p=0,096$ zum 3. Probetermin) und bezüglich der Wurzellänge nur für den 2. Probetermin ($p=0,074$ zum 3. Probetermin) (siehe Tab. 14).

Die Trockenmasse der Wurzeln ist vom 2. zum 3. Probetermin nicht mehr gestiegen, sondern in allen Varianten geringer geworden. In den Varianten W1-R und W1-W um 13% bzw. 10% und in der Variante W2-W nur um 1%.

Tab. 14: Mittelwerte der Wurzeltrockenmasse und der Wurzellänge der drei Varianten zu den drei Probeterminen

PT	Variante	TM Wurzel [mg/Pfl.]	Wurzellänge	
			[cm/Pfl.]	[cm/cm ²]
T1	W1-R	32,87 ^a	685,3 ^a	13,10
	W1-W	34,44 ^a	542,3 ^a	10,36
	W2-W	35,47 ^a	610,6 ^a	11,66
T2	W1-R	111,58 ^a	2636,4 ^a	50,35
	W1-W	91,11 ^a	1718,8 ^b	32,83
	W2-W	112,96 ^a	2106,5 ^{ab}	40,23
T3	W1-R	98,26 ^a	3019,2 ^a	57,66
	W1-W	82,55 ^a	2101,5 ^a	40,14
	W2-W	111,58 ^a	2446,8 ^a	46,73

Die maximale Differenz bei den Wurzellängen tritt beim Vergleich der Varianten W1-R und W1-W zu dem 2. und 3. Probetermin mit jeweils 918 cm/Pfl. auf. In der Tab. 15 sind die prozentualen Anteile der Wurzellängen für die Varianten W1-W und W2-W bei W1-R = 100% dargestellt. Bereits zum 1. Probetermin haben die Pflanzen der Variante W1-R 10% bzw. 20% längere Wurzeln gebildet. An den Probeterminen 2 und 3 haben die Pflanzen der Variante W2-W 20% weniger Wurzellänge gebildet als die Variante W1-R. Die Wurzeln der Variante W1-W sind um nochmals 10% kürzer zum 3. Probetermin. Es treten keine signifikanten Unterschiede auf, da die Streuung der Werte eine statistische Absicherung nicht zugelassen hat.

Tab. 15: Prozentuale Anteile der Wurzellänge der Varianten B und C bei Variante A = 100% an den drei Probeterminen

	PT1	PT2	PT3
W1-R	100%	100%	100%
W1-W	79%	65%	70%
W2-W	89%	80%	81%

4.4.5 Gesamttrockenmasse

In der Abb. 8 sind die Mittelwerte der Gesamttrockenmasse dargestellt. Obwohl die Varianzanalyse für den 1. Probetermin einen p-Wert von 0,0508 ergab, hat der Student-Newman-Keuls-Test signifikante Unterschiede zwischen den Varianten berechnet. Zu den beiden folgenden Probeterminen ist die Trockenmasse der Variante W1-W eindeutig niedriger.

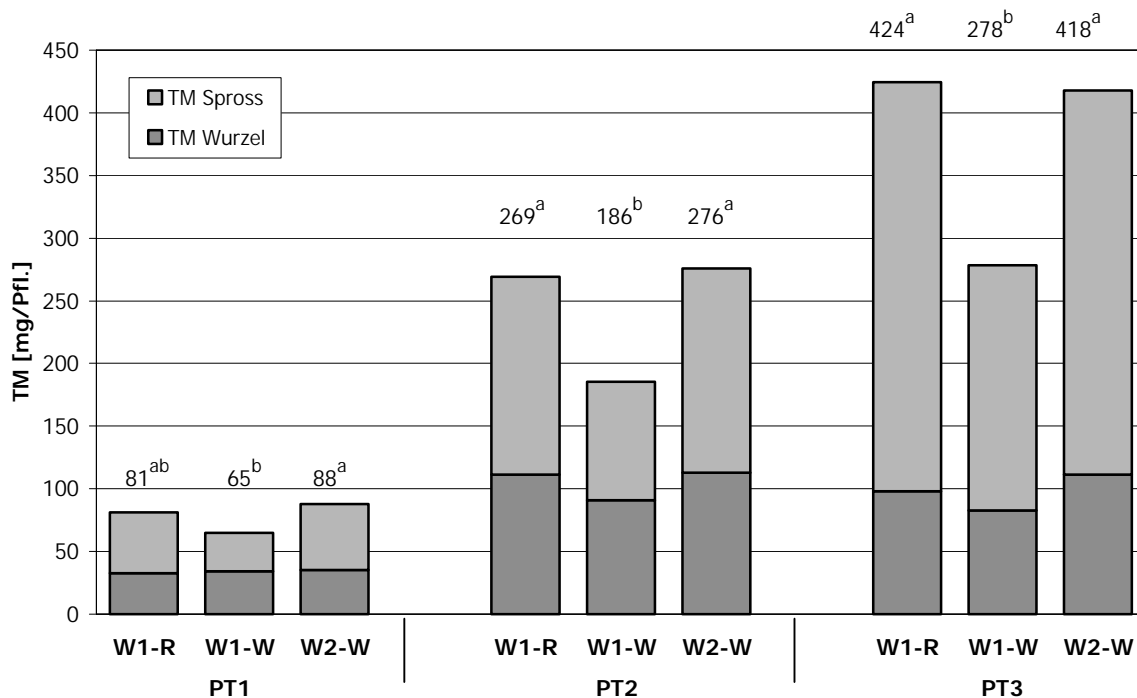


Abb. 8: Mittelwerte der Gesamttrockenmasse der Pflanzen in [mg/Pfl.] der drei Varianten zu den drei Probeterminen

Die Gesamttrockenmasse der Pflanzen mit Raps als Vorfrucht und der Variante mit Weizen als Vorfrucht, Standort W2, war zu jedem Probetermin sehr identisch. Die Unterschiede betragen nie mehr als 7 mg/Pflanze.

4.5 Abgeleitete Parameter

Der Tab. 10 ist zu entnehmen, dass die Varianzanalyse häufiger für die abgeleiteten Sprossparameter signifikante Unterschiede ergeben hat im Vergleich zu den abgeleiteten Wurzelparametern. In Kurvendiagrammen können neben den signifikanten auch die tendenziellen Unterschiede zwischen den Varianten in

Abhängigkeit von den Tagen nach der Aussaat übersichtlich dargestellt werden. Die Ergebnisse der Signifikanzanalyse werden im Text erwähnt und sind anhand der Abbildungen nachvollziehbar.

4.5.1 Bestandesflächenindex

Der Bestandesflächenindex (siehe Abb. 9) setzt sich aus dem LAI (leaf area index) Blatt und dem LAI Stängel zusammen. Signifikante Unterschiede sind jeweils zwischen der Variante W1-W im Vergleich zu W1-R und W2-W aufgetreten. Zum 3. Probetermin ergab sich zwar eine Aufteilung in drei signifikante Gruppen bezüglich des LAI Stängel, jedoch kommt dieser Effekt beim Bestandesflächenindex nicht zum tragen. Zum 3. Probetermin ist eine deutliche Abstufung zwischen den Varianten zu erkennen. Die Variante W1-W hat mit 0,51 den niedrigsten Bestandesflächenindex, mit einem Abstand von 0,27 zur Variante W2-W, während der Abstand zwischen W1-R und W2-W mit 0,12 geringer und nicht signifikant war.

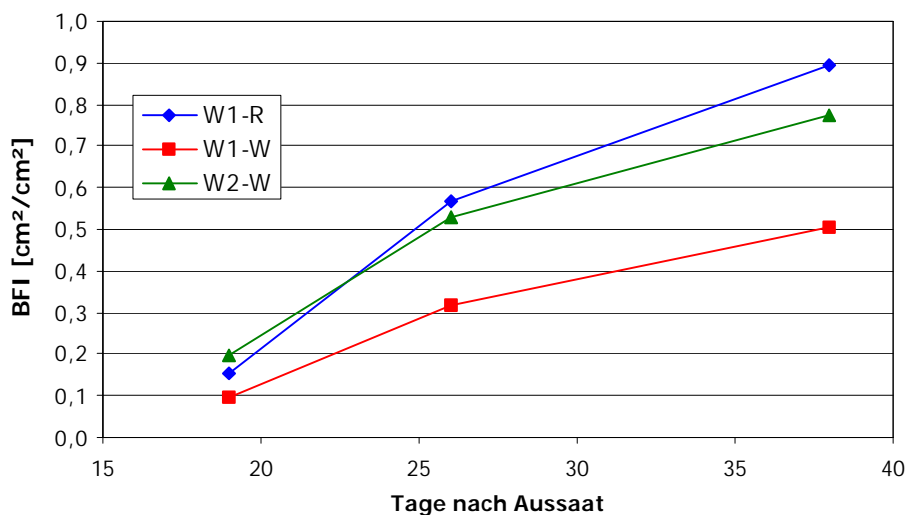


Abb. 9: Bestandesflächenindex (BFI) der drei Varianten zu den drei Probeterminen (Blattfläche [cm²] pro Bodenfläche [cm²])

Zum 1. Probetermin war der Bestandesflächenindex der Variante W2-W in der Tendenz etwas höher im Vergleich zur Variante W1-R. Die Pflanzen der Variante W1-W waren bereits zu diesem Zeitpunkt signifikant unter dem Niveau der Varianten W1-R und W2-W.

4.5.2 Leaf area ratio, Specific leaf area und Leaf weight ratio

Die Varianzanalyse hat die Unterschiede zwischen den Varianten für die Parameter LAR und SLA zum 3. Probetermin als nicht signifikant eingestuft, nur bei dem LWR ist mit einem p-Wert von 0,038 ein signifikanter Unterschied aufgetreten. Die erhobenen Parameter, die diesen zugrunde liegen, sind als hoch signifikant bzw. sehr hoch signifikant eingestuft worden.

Bei dem LAR sind zum 1. Probetermin die höchsten Differenzen zwischen den Varianten zu erkennen (siehe Abb. 10). Die Variante W2-W hat zum 1. Probetermin den höchsten Wert, jedoch befindet sie sich zum 3. Probetermin auf einem Niveau mit der Variante W1-W. Zum 2. Probetermin hat die Variante W1-R den höchsten LAR der bis zum 3. Probetermin konstant bleibt, die Varianten W2-W und W1-W verändern sich nur geringfügig zum 3. Probetermin.

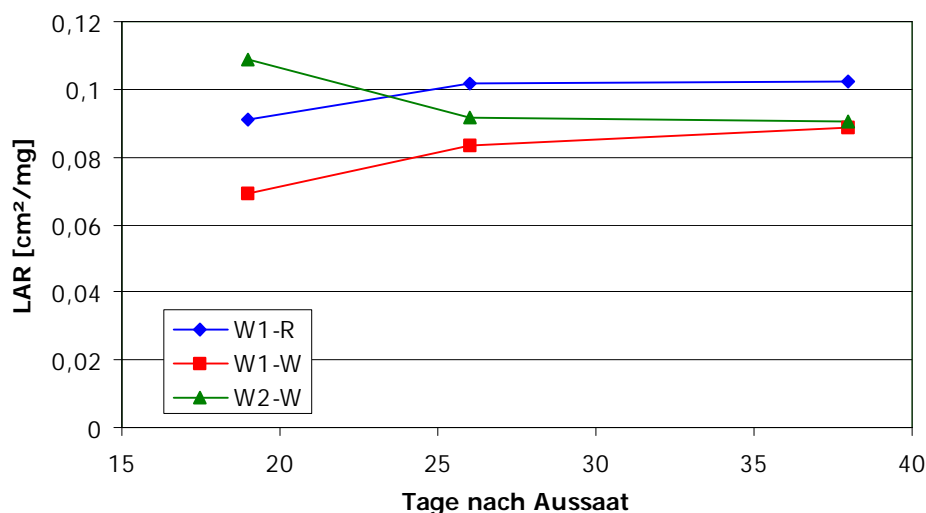


Abb. 10: Leaf area ratio (LAR) der drei Varianten zu den drei Probeterminen (Blattfläche [cm²] pro gesamter Trockenmasse [mg])

Der Anstieg vom 1. zum 2. Probetermin verläuft für die Varianten W1-R und W1-W relativ parallel. Der Unterschied zum 3. Probetermin im Mittel der Varianten W2-W und W1-W zur Variante W1-R beträgt 0,012 cm²/mg.

In der Abb. 11 der SLA sind nur geringe Differenzen zwischen den Varianten zu beobachten. Die Variante W1-R erreichte in der Tendenz für den 2. und 3. Probetermin wiederum etwas höhere Werte. Der SLA der Varianten W1-W und W2-W unterscheidet sich zum 2. und 3. Probetermin nur geringfügig. Zum 2. Probetermin

unterscheidet sich die Variante W1-R signifikant von den beiden anderen, jedoch zum 3. Probetermin nicht mehr.

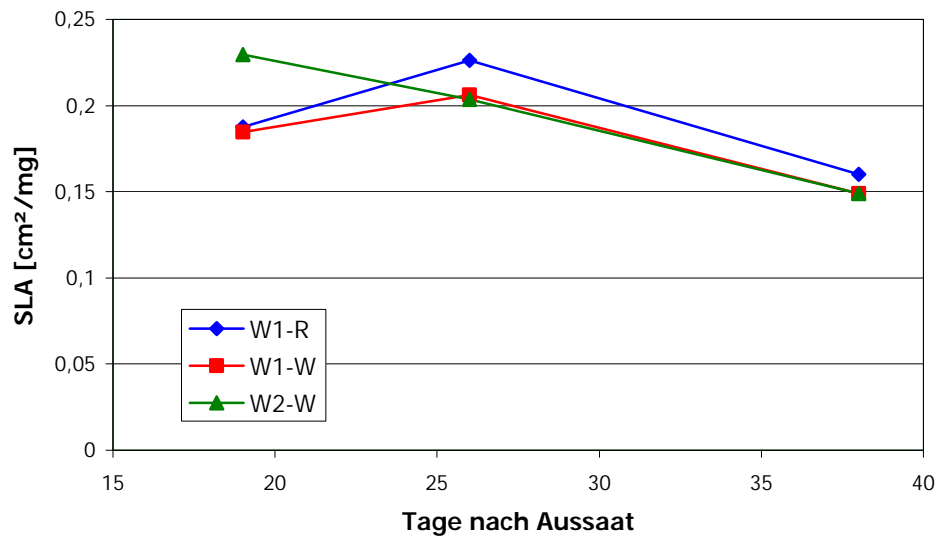


Abb. 11: Specific leaf area (SLA) der drei Varianten zu den drei Probeterminen (Blattfläche [cm²] pro Trockenmasse Blatt [mg])

Wie bei dem Parameter LAR hat die Variante W2-W zum 1. Probetermin einen auffällig hohen Wert, der sich zu den beiden folgenden Terminen nicht bestätigt.

Das LWR der drei Varianten nähert sich bis zum 3. Probetermin einem relativ identischem Wert. Die Varianten W1-R und W2-W unterscheiden sich nur zum 1. Probetermin signifikant von der Variante W1-W.

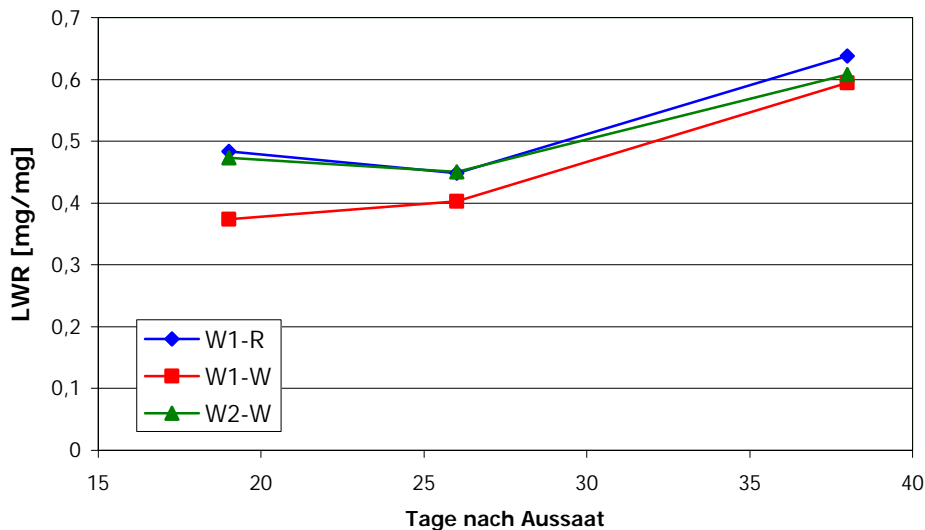


Abb. 12: Leaf weight ratio (LWR) der drei Varianten zu den drei Probeterminen (Trockenmasse Blatt [mg] pro gesamter Trockenmasse [mg])

Der hohe Wert der Variante W2-W bei den Parametern LAR und SLA ist hier nicht auffällig, da das LWR das Verhältnis der beiden vorherigen Parameter beschreibt.

Vom 2. und 3. Probetermin ist bei allen drei Varianten ein Anstieg des LWR auf ein Niveau zu erkennen, das im Mittel der Varianten 0,18 mg TMBl/mg TMgesamt beträgt. Der Anteil der Blatttrockenmasse an der Gesamttrockenmasse ist somit angestiegen.

4.5.3 Relative Wachstumsrate

Die relativen Wachstumsraten der drei Varianten unterscheiden sich nur sehr geringfügig (siehe Abb. 13). Für die Varianten des Standorts W1 konnten relative Wachstumsraten von 0,096 und 0,0944 berechnet werden. Für die Pflanzen des Standortes W2 betrug die RGR 0,0886.

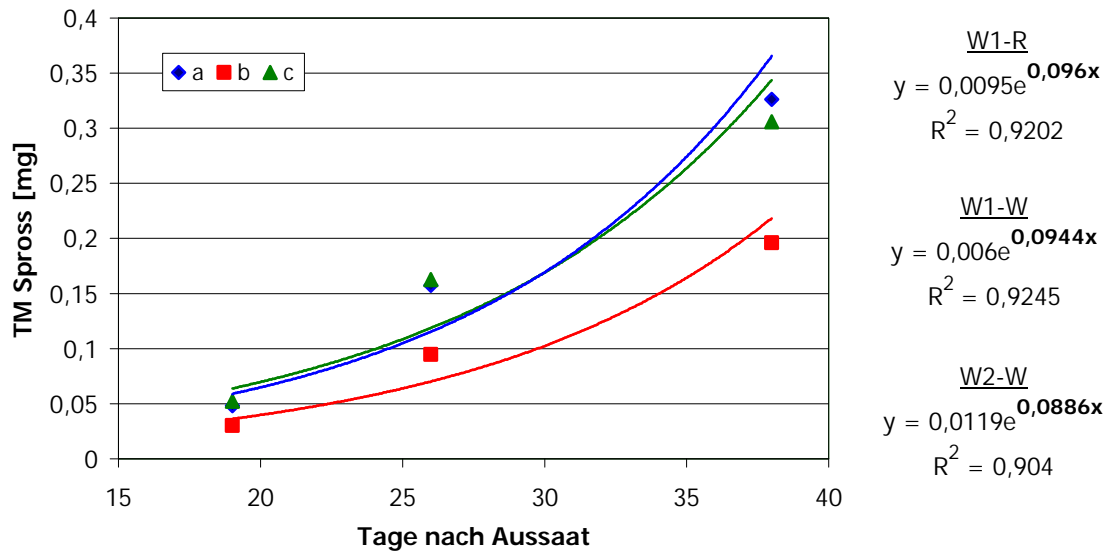


Abb. 13: Relative Wachstumsraten (RGR) der drei Varianten über die drei Probetermine

Relativ zur gebildeten Trockenmasse ist der tägliche Zuwachs in den Varianten W1-R und W2-W nicht höher gewesen im Vergleich zur Variante W1-W, obwohl sich die absoluten Trockenmassen signifikant voneinander unterscheiden.

4.5.4 Specific root length

Bei der SRL sind signifikante Unterschiede zu allen drei Terminen ermittelt worden, die immer im Vergleich der Varianten W1-W oder W2-W zur Variante W1-R aufgetreten sind. In der Abb. 14 ist zu erkennen, dass die SRL bei allen Varianten über die drei Termine ansteigt und zu Versuchende ihr Maximum erreichte.

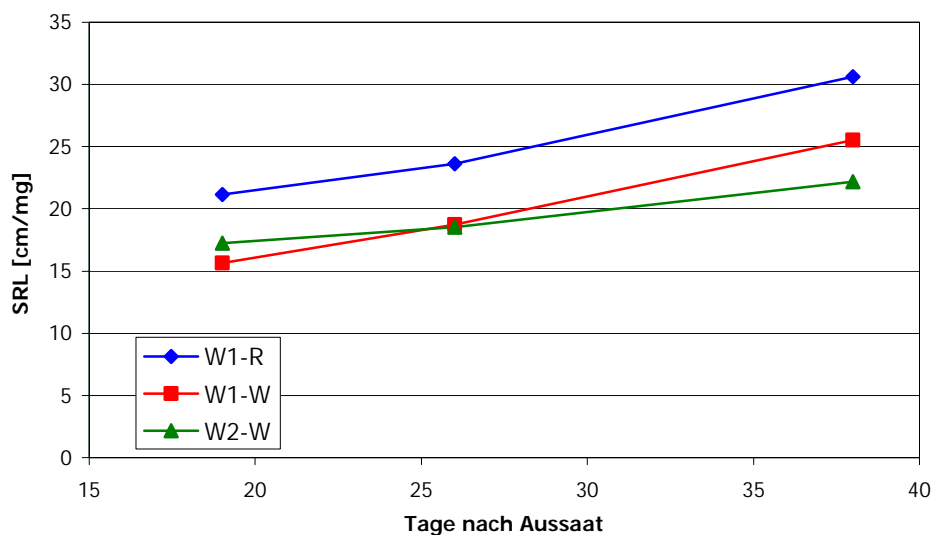


Abb. 14: Specific root length (SRL) der drei Varianten zu den drei Probeterminen (Wurzellänge [cm] pro Trockenmasse Wurzel [mg])

Die Weizenpflanzen, die in dem Boden mit Raps als Vorfrucht gewachsen sind, erreichen zu jedem Termin die höchste SRL. Sie haben demnach relativ gesehen mit derselben Wurzelmasse längere Wurzeln gebildet als die beiden anderen Varianten. Die Pflanzen aus den Varianten mit Weizen als Vorfrucht zeigen zum 1. und 2. Probetermin eine fast identische SRL. Zum letzten Probetermin konnte die Variante des Standortes W1 eine höhere SLR ausbilden im Vergleich zur Variante des Standortes W2.

4.5.5 Root length density und root weight density

Bei der RLD und der RWD sind bis auf eine Ausnahme keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fruchtfolgevarianten aufgetreten.

Alle drei Varianten zeigen zum 1. Probetermin eine ähnliche RLD. Diese differenziert sich deutlich bereits zum 2. Probetermin, wie in der Abb. 15 zu sehen ist und zeigt diese Abstufung auch zum 3. Probetermin. Signifikant abgesichert ist jedoch nur der 2. Probetermin, bei dem die Variante W2-W in beide Gruppen eingeordnet wird. Identisch bei allen drei Varianten ist ein stärkerer Abstieg hin zum 2. Probetermin als zum letzten, wobei die Variante W1-W die geringste Steigung vom 1. zum 2. Probetermin aufweist.

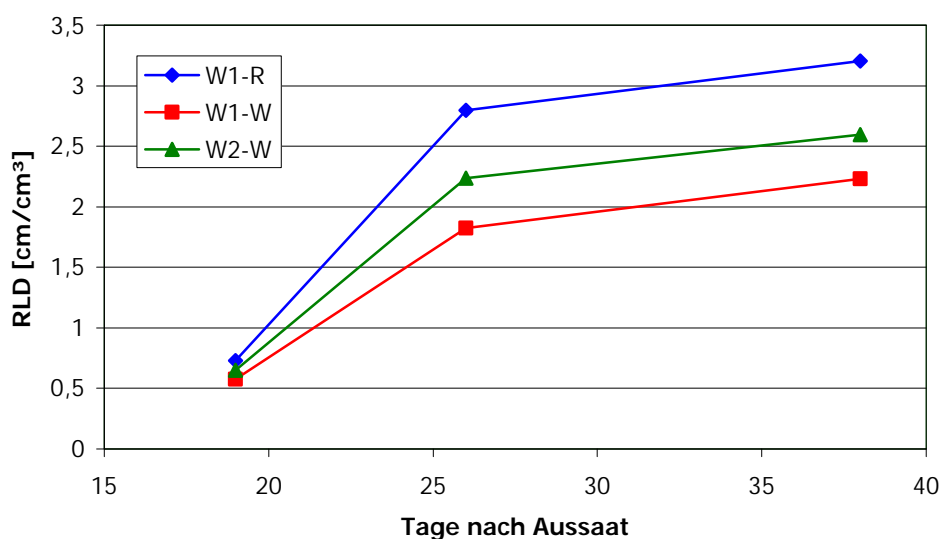


Abb. 15: Root length density (RLD) der drei Varianten zu den drei Probeterminen (Wurzellänge [cm] pro Bodenvolumen [cm³])

Der Unterschied zwischen der Variante mit Raps als Vorfrucht zu der Variante mit Weizen als Vorfrucht vom selben Standort beträgt zum 3. Probetermin knapp 1 cm Wurzel/cm³ Boden. Die Variante des anderen Standortes befindet sich immer zwischen den beiden anderen.

Die RWD war zu keinem Termin signifikant verschieden zwischen den Varianten. Zum 2. Probetermin ist für alle Varianten ein starker Anstieg in der Abb. 16 zu erkennen und zum letzten Probetermin hin ein geringer Abfall, der bei der Variante W1-R jedoch etwas ausgeprägter ist im Vergleich zu den anderen Varianten.

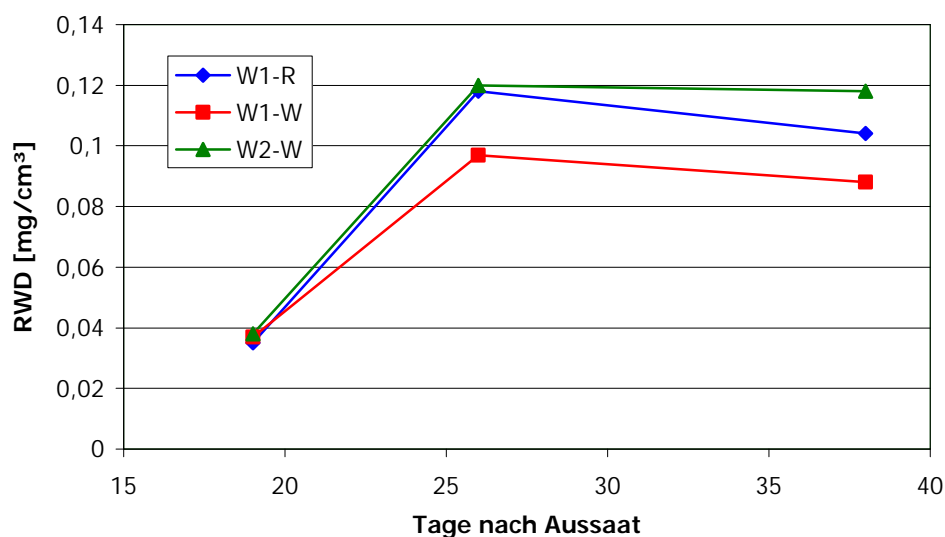


Abb. 16: Root weight density (RWD) der drei Varianten zu den drei Probeterminen (Trockenmasse Wurzel [mg] pro Bodenvolumen [cm³])

Die höchste RWD konnte zum letzten Probetermin bei der Variante W2-W berechnet werden. Die größte Differenz zu diesem Termin ist zwischen den Varianten W2-W und W1-W mit 0,03 mg Wurzel/cm³ Boden aufgetreten.

4.5.6 Spross:Wurzel-Verhältnis

Zwischen den Varianten traten bei der statistischen Analyse des Spross:Wurzel-Verhältnisses zu allen Terminen signifikante Unterschiede auf. Zum 1. und 2.

Probetermin waren die Varianten W1-R und W2-W signifikant verschieden zu der Variante W1-W. Der dritte Probetermin zeigt eine andere Verteilung der Gruppen. Die Variante W1-R hebt sich von den Varianten W1-W und W2-W ab. Wie in der Abb. 17 zu erkennen ist, sind zum 1. Probetermin nur geringe Unterschiede zwischen den Varianten W1-R und W2-W aufgetreten. Zum letzten Probetermin steigt das Spross:Wurzel-Verhältnis der Variante W1-R stärker an im Vergleich zu Variante W2-W. Variante W1-W befindet sich immer unterhalb der anderen Varianten.

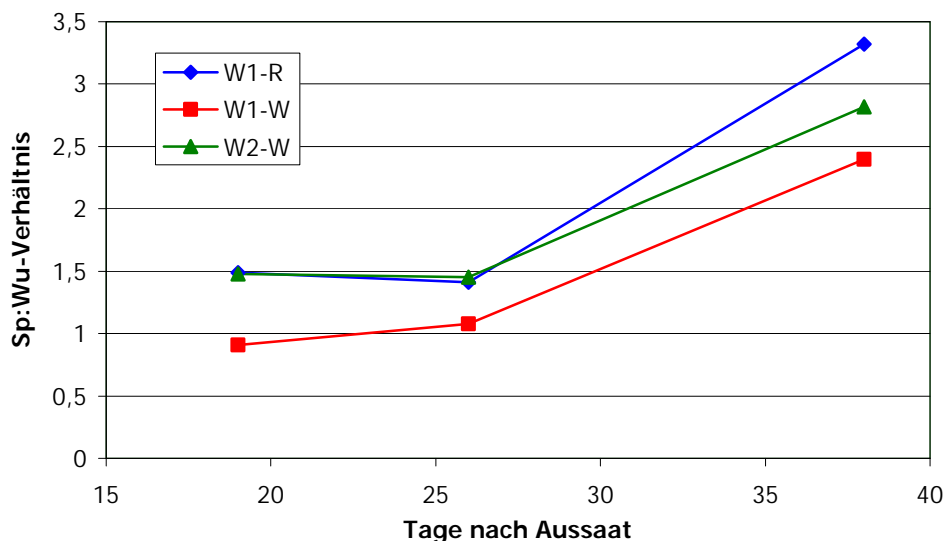


Abb. 17: Spross:Wurzel-Verhältnis der drei Varianten zu den drei Probeterminen

Bei der Variante mit der Vorfrucht Weizen des Standortes W2 und der Variante mit der Vorfrucht Raps ist vom 1. zum 2. Probetermin ein leichter Abfall der Werte zu sehen, wohingegen das Spross:Wurzel-Verhältnis der Variante mit Weizen als Vorfrucht des Standortes W1 ansteigt. Vom 2. zum 3. Probetermin ist die Steigung der Varianten W1-W und W2-W identisch, nur auf einem geringeren Niveau für W1-W. Variante W1-R hebt zum sich 3. Probetermin signifikant mit einem Wert von 3,32 ab, da eine höhere Sprosstrockenmasse gemessen wurde im Vergleich zu W2-W.

4.5.7 N-Aufnahme und N-Influx

Bei der Betrachtung der N-Aufnahme von Blättern und Stängeln, sowie der gesamten N-Aufnahme des Sprosses, unterscheidet sich Variante W1-W immer signifikant von

den beiden anderen Varianten (siehe Tab. 16). Ein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten W1-R und W2-W ist nur zum 3. Probetermin aufgetreten.

Für alle Varianten ist eine Steigerung der aufgenommenen Menge an Stickstoff bis zum letzten Probetermin für den gesamten Sprossbereich zu erkennen. In der Variante mit Weizen als Vorfrucht auf dem Standort W1 war die N- Aufnahme zu allen Terminen am geringsten.

Die Variante W1-R hat zum 3. Probetermin die höchste Menge an Stickstoff aufgenommen. Zum 1. Probetermin sind die N- Aufnahmen der Varianten W1-R und W2-W noch identisch, wohingegen sich die Variante W1-W durch eine niedrigere N- Aufnahme bereits zu diesem Termin signifikant unterscheidet. Die leichte Tendenz einer höheren N- Aufnahme der Variante W1-R zur Variante W2-W, die sich zum 2. Probetermin zeigt, verdeutlicht sich zum 3. Probetermin durch einen signifikanten Unterschied. Die Variante B hat bis zum letzten Probetermin nur die Hälfte der Menge an Stickstoff aufgenommen im Vergleich zu der Variante W1-R.

Tab. 16 N-Aufnahme der Blätter und Stängel [gN/m²], sowie des Sprosses [kgN/ha] der drei Varianten zu den drei Probeterminen

PT	Variante	N-Auf Blatt [gN/m ²]	N-Auf Stängel [gN/m ²]	N-Auf Bestand [kgN/ha]
T1	W1-R	0,472 ^a	0,086 ^a	5,58 ^a
	W1-W	0,262 ^b	0,047 ^b	3,09 ^b
	W2-W	0,478 ^a	0,096 ^a	5,73 ^a
T2	W1-R	1,318 ^a	0,309 ^a	16,26 ^a
	W1-W	0,745 ^b	0,138 ^b	8,83 ^b
	W2-W	1,271 ^a	0,297 ^a	15,67 ^a
T3	W1-R	2,293 ^a	0,446 ^a	27,39 ^a
	W1-W	1,200 ^c	0,190 ^c	13,90 ^c
	W2-W	1,867 ^b	0,336 ^b	22,03 ^b

In der Abb. 18 sind rechts die relativen N-Aufnahmeraten der drei Varianten den Gleichungen zu entnehmen, die aus der N-Aufnahme des Sprosses berechnet wurden. Die Werte der N-Aufnahmerate vom 1. bis zum 3. Probetermin sind in der Tab. 17 zu entnehmen.

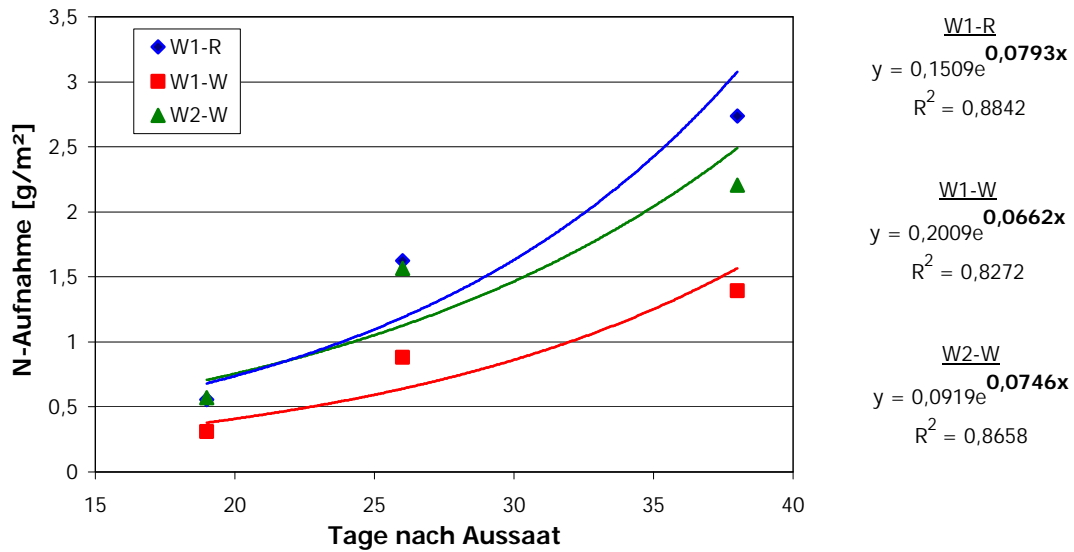


Abb. 18: N-Aufnahme des Sprosses der drei Varianten zu den drei Terminen (relative N-Aufnahmeraten fett gedruckt)

Die N-Aufnahmerate der Variante W1-R war mit 0,126 g/m²/Tag doppelt so hoch im Vergleich zu der Variante B. Die Variante W2-W hatte mit 0,094 eine N-Aufnahmerate, die in der Mitte der anderen beiden Varianten lag. Der N-Influx war bei der Variante W2-W um 5% geringer im Vergleich zu Variante W1-R und die Variante hatte einen Influxwert, der um 25% geringer war.

Tab. 17: N-Aufnahmerate und N-Influx der drei Varianten zwischen dem 1. und 3. Probetermin

	W1-R	W1-W	W2-W
N-Aufnahmerate [g/m ² /Tag]	0,126	0,062	0,094
N-Influx [x10 ⁻¹⁴ mol/cmWurzel/sec]	23,06	17,31	22,06

5. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen Unterschiede in der Pflanzenentwicklung zwischen den drei Varianten. Ein vermuteter Einfluss von Wurzelpathogenen, die bereits in der Jugendentwicklung das Wachstum negativ beeinflussen, konnte nicht bestätigt werden. Zu keinem Probetermin waren Verfärbungen an den ausgewaschenen Wurzeln sichtbar. Eine Schädigung des Wurzelsystems speziell durch *G. graminis* kann daher ausgeschlossen werden. Die starken Schäden des Pilzes in der vorherigen Saison auf dem Standort W2 wirkten sich auf die Jugendentwicklung nicht nachteilig aus. Dies wird besonders deutlich durch die geringen Unterschiede zu dem Standort W1, Vorfrucht Raps. CLARKSON & POLLEY (1981) hingegen berichten von primären Symptomen durch Wurzelverbräunungen bereits in der Keimungsphase, die über den Winter zu Pflanzenverlusten führten. Im Gegensatz dazu hatte THEUER (1997) zum ersten Boniturtermin zu Vegetationsbeginn nur eine geringe Symptomausprägung festgestellt. CHRISTEN (1998) hatte keine Beeinflussung der Jugendentwicklung durch *G. graminis* erkennen können, da der Befall im Frühjahr sehr gering war.

Ein Einfluss der Bodenbearbeitung auf das fehlende Auftreten von *G. graminis* in dem eigenen Versuch kann nach MIELKE (1983) ausgeschlossen werden. Er konnte in keinem Jahr eine signifikante Reduktion des Fußkrankheitsbefalls durch die Bodenbearbeitung feststellen.

5.1 Methodik

Das Ziel des Versuches war, speziell die vorfruchtbedingte Entwicklung von Winterweizen im Jugendstadium zu beurteilen. Der Einfluss von anderen Faktoren wurde für alle Varianten weitgehend konstant gehalten.

Alle drei Flächen, aus denen die Proben für den Versuch entnommen wurden, sind nach der Ernte im Sommer 2005 gegrubbert worden. DELROY & BROWDEN (1986) berichten nach ihrem Versuch zur Entwicklung und Ertrag von Weizen nach verschiedenen Vorfrüchten von einer gesteigerten Wurzelausdehnung in gegrubberten Varianten.

Ein Einfluss von Bodenbearbeitungseffekten auf die Pflanzenentwicklung in dem eigenen Versuch kann daher ausgeschlossen werden und die Bedingungen für das Wurzelwachstum im Boden aus Sicht der maschinellen Bearbeitung als gut

eingestuft werden. Durch die aufwendige Methode zum Befüllen der Mitscherlichgefäße ist die Bodenstruktur jeder Variante erhalten geblieben. Der Boden wurde nicht verschieden stark durchmischt oder gelockert.

Bei der Interpretation der Entwicklungsunterschiede zwischen den Varianten können klimatische Einflüsse auf das Pflanzenwachstum ausgeschlossen werden, da die Bedingungen im Gewächshaus für alle Pflanzen gleich waren. Wasser stand den Pflanzen immer in ausreichender Menge zur Verfügung. Es konnten keine großen Unterschiede im Bodenwassergehalt bei den Analysen festgestellt werden. In Versuchen von ROBINSON et al. (1994) wurde ein durchschnittlicher Wert von 24 Vol% Bodenwasser gemessen. Im eigenen Versuch wurde im Mittel über alle Varianten zu den drei Probeterminen ein Wert von 27 Vol% gemessen. Die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit und die Strahlung belegen konstante Wachstumsbedingungen für den gesamten Versuchszeitraum. Die mittlere Temperatur über den gesamten Versuchszeitraum lag bei 15°C und die mittlere maximale Tagestemperatur bei 20°C.

Die Datenerhebung für den späteren Vergleich der Parameter wurde mit großer Sorgfalt und Genauigkeit durchgeführt, da die zu analysierenden Mengen sehr gering waren. Für alle Varianten wurde zu allen Probeterminen dasselbe Verfahren angewendet.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Unterschiede in der Pflanzenentwicklung sind durch Vorfrucht- und Stickstoffeffekte sowie dem Standort zu erklären. Sicherlich spielen auch andere Nährelemente eine wichtige Rolle, jedoch bleiben diese hier unberücksichtigt, da sie nicht gemessen wurden.

In dem eigenen Versuch kann durch einen Vergleich der Variante mit Raps als Vorfrucht und der Variante mit Weizen als Vorfrucht, Standort W1, eine deutliche Trockenmassendifferenzierung in der Jugendentwicklung belegt werden. Es sind zu jedem Probetermin signifikante Unterschiede aufgetreten.

Zwischen der Variante mit Raps als Vorfrucht und der Variante mit Weizen als Vorfrucht, Standort W2, sind einschließlich des 3. Probetermins keine Unterschiede in dem Trockenmassegehalt aufgetreten.

CHRISTEN et al. (1992) und KRIEGER (1994) konnten in einem Feldversuch keine vorfruchtbedingten Unterschiede zwischen Weizen und Raps bezüglich der Trockenmasse des folgenden Weizen vor Winter feststellen. Erst im Frühjahr traten signifikante Unterschiede in den Trockenmassen auf, jedoch nur in einem von drei Jahren (CHRISTEN et al. 1992). SCHÖNHAMMER & FISCHBECK (1987) berichten von deutlichen Unterschieden in der vorfruchtabhängigen Trockenmassenbildung ab EC 27. In den Stadien EC 13/14 war auch bei ihnen keine Trockenmassendifferenzierung möglich.

CHRISTEN (1990) konnte zwar Tendenzen bereits einige Wochen nach der Aussaat beobachten, signifikante Unterschiede bezüglich der Trockenmasse aber erst nach dem Winter.

Nach THORNE et al. (1988) ist bei einem Weizen nach Raps schon in der frühen Jugendentwicklung eine frühere Blattentwicklung zu beobachten und ein zeitigeres Erreichen des Doppelringstadiums. Ihrer Meinung nach sind die beobachteten Differenzen auf eine günstigere N-Versorgung in der frühen Entwicklungsphase zurückzuführen. Differenzen in der Trockenmasse von Weizen einen Monat nach der Aussaat sind von der Vorfrucht Weizen zu Klee und Lupinen bei DELROY & BOWDEN (1986) aufgetreten.

Durch Bodenverdichtungen können bereits in frühen Phasen der Pflanzenentwicklung Unterschiede im Wurzel- und Sprossbereich verursacht werden (ATWELL 1990a & 1990b, MASLE & PASSIOWA 1987). Bei der Betrachtung der Ergebnisse dieses Versuchs könnten auch Bodenverdichtungen die langsamere Entwicklung in der Variante W1-W erklären. Obwohl nur ca. 1/3 der Wurzelparameter signifikante Unterschiede zwischen den Varianten zeigen, sind bei den übrigen Wurzelparametern eindeutige Tendenzen einer beeinträchtigten Entwicklung für die Variante W1-W zu sehen. Da jedoch die Varianten W2-W und W1-W dieselbe Vorfrucht hatten und beide 18 cm tief gegrubbert wurden, sind in der verwendeten Bodenschicht von 0-20 cm keine Effekte durch Bodenverdichtungen zu erwarten. Das Bodengefüge der beiden Standorte wurde nicht untersucht. Daher können keine gesicherten Aussagen über einen möglichen Einfluss auf das Pflanzenwachstum

getroffen werden. Die Aussage, dass der Standort W2 ein „leichterer“ Boden ist, beruht nur auf mündlich überlieferten Erfahrungswerten.

5.2.1 Vorfruchtvarianten Raps und Weizen Standort W1

Die Pflanzenentwicklung der Vorfruchtvarianten Raps und Weizen (beide Standort W1) kann für den Zeitpunkt fünf Tage nach der Aussaat tendenziell differenziert betrachtet werden. Neun Tage nach der Aussaat hatte sich der Entwicklungsunterschied schon vergrößert, der abgesehen von leichten Schwankungen über den gesamten Versuchszeitraum relativ gesehen erhalten blieb. Ein Verhältnis von fünf zu drei war bei der Sprosstrockenmasse und Sprossfläche zu allen Probeterminen identisch. Zudem belegen die Ergebnisse des 1. Probetermins, dass Aussagen über die vorfruchtbedingte Entwicklung bereits wenige Tage nach der Aussaat getroffen werden können. Die relative Wachstumsrate der Variante mit Raps als Vorfrucht ist nur sehr geringfügig höher. Demnach müssen bereits wenige Tage nach der Aussaat Entwicklungsvorteile für die Pflanzen dieser Variante zu einer höheren Trockenmasse geführt haben, damit sie mit derselben relativen Wachstumsrate signifikant mehr Trockenmasse produzieren konnten. Die Werte der relativen Wachstumsraten sind stimmig im Vergleich mit den Ergebnissen von PAPONOV et al. (1999). In einem Nährlösungsversuch ermittelten sie relative Wachstumsraten zwischen 0,03 und 0,15 in der vegetativen Wachstumsphase von Weizen.

Neben der Vorfrucht unterscheiden sich die beiden Varianten in dem N-min Gehalt. Zudem war in der Variante W1-R bereits eine Düngergabe zu dem folgenden Weizen gefallen. Dies wird an den Ergebnissen der Bodenstickstoffanalyse deutlich. Die höhere Stickstoffmenge hätte bei der Keimung und dem Wachstum in den ersten Tagen nach der Aussaat einen Einfluss haben müssen, für den Fall, dass ein Zusammenhang zwischen dem Entwicklungsunterschied und der Stickstoffmenge besteht. Für einen Vergleich sind in der Literatur nur Studien zu späteren Zeitpunkten zu finden. Nach KRIEGER (1994) hatte eine erhöhte Startgabe zu Vegetationsbeginn nach Raps keinen signifikanten Einfluss auf den Trockenmasseertrag von Weizen. Eine vorfruchtbedingte spätere Bestockung war nicht durch eine Steigerung der Startgabe zu Vegetationsbeginn auszugleichen. Demnach muss die vorfruchtbedingte Differenzierung in diesen Versuchen bereits im Winter vorhanden

gewesen sein. THORNE et al. (1988) bestätigen, dass sich Raps nach Weizen unbeeinflusst von der N-Düngung besser entwickelt als Weizen nach Weizen.

Ein maßgeblicher Einfluss der N-Menge in dem eigenen Versuch kann auch nach der Aussage von CHRISTEN (1997) weitgehend ausgeschlossen werden. Seiner Ansicht nach können Differenzen in den N-min Werten keine Erklärung für die vorfruchtbedingten Ertragsunterschiede liefern, da für die Herbstentwicklung von Getreide nur ein geringer Bedarf von 15 kgN/ha besteht. Zum Termin der Aussaat und zum 1. Probetermin wurden in dem eigenen Versuch N-min Werte von 37 bzw. 29 kgN/ha gemessen.

Die N-Aufnahmerate zwischen dem 1. und 3. Probetermin war für die Variante der Rapsvorfrucht doppelt so hoch im Vergleich zu der Weizenvorfrucht, da diese zum 3. Probetermin auch eine um 40% höhere Sprosstrockenmasse hatte. Der N-Influx lag für beide Varianten in dem von BARRACLOUGH (1985) angegebenen Bereich, jedoch um 25% niedriger in der Weizenvorfrucht-Variante. Zum Versuchsende hin hat vermutlich ein geringer N-min Gehalt in dieser Variante den N-Influx herabgesetzt. Mit 11 kgN/ha war der N-Gehalt in der Bestockungsphase zu niedrig.

5.2.2 Vorfruchtvarianten Raps und Weizen Standort W2

Die Varianzanalyse der Varianten Rapsvorfrucht Standort W1 und Weizenvorfrucht-Variante Standort W2 hat nur bei wenigen Parametern zum 3. Probetermin signifikante Unterschiede ergeben. Dies ist auffällig im Vergleich zu den im Abschnitt 5.2.1 diskutierten Unterschieden.

Die Entwicklung bis einschließlich des 2. Probetermins verlief identisch. Die N-Aufnahme unterscheidet sich erst zum 3. Probetermin signifikant. Dies kann durch einen geringeren N-min Gehalt verursacht worden sein. Differenzen in der vorfruchtabhängigen Entwicklung wenige Tage nach der Aussaat sind nicht aufgetreten.

Die Ergebnisse geben keinen Hinweis darauf, warum der Boden des Standortes W2 eine sehr gute Pflanzenentwicklung ermöglicht hat. Für eine genaue Klärung dieses Phänomens könnten Informationen über die Bodenstruktur und das allelopathische Potential dieser Standorte einen Erklärungsansatz bieten. Diese Daten wurden im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht erhoben.

Nach dem eigenen Versuch ist festzuhalten, dass die Bodenstruktur nach mehrjährigem Weizenanbau nicht unbedingt ungünstig für die Entwicklung von Weizen sein muss, wenn nur die Jungendentwicklung betrachtet wird.

5.3 Parameterdiskussion

Im Folgenden werden die einzelnen Parameter im Hinblick auf die Vorfruchtvarianten des Standortes W1 diskutiert, inklusive der Aussagekraft bezüglich der Beurteilung einer vorfruchtbedingten Entwicklung im Jugendstadium; anschließend die beiden Vorfruchtvarianten Raps Standort W1 und Weizen Standort W2.

5.3.1 Sprossparameter (Standort W1)

Anhand der erhobenen Parameter Sprosstrockenmasse und Sprossfläche kann eine eindeutige vorfruchtabhängige Differenzierung vorgenommen werden. Da für eine höhere Trockenmassen- und Flächenbildung mehr Stickstoff von der Pflanze benötigt wird, verdeutlicht die N-Aufnahmerate die Unterschiede ebenfalls.

Des Weiteren sind anhand des BFI die Unterschiede der vorfruchtbedingten Pflanzenentwicklung abzuleiten, da die Blattfläche relativ zur Bodenfläche betrachtet wird. Der Vorteil bei diesem Parameter besteht darin, dass der Blattflächenindex sowie die N-Konzentration auch nicht destruktiv gemessen werden können. Zur Beurteilung der Aussagekraft von Daten, die in der Jugendentwicklung wenige Tage nach der Aussaat mit nicht destruktiven Methoden erhoben werden, bedarf es für eine Bewertung der vorfruchtabhängigen Entwicklung weiterer Untersuchungen.

Die BFI-Werte des eigenen Versuches sind vergleichbar mit denen von BARRACLOUGH (1985). In seinem Versuch betrug der BFI für einen früh gesäten Weizenbestand im Dezember 0,62. Für die Raps-Variante des eigenen Versuches ist der BFI zum letzten Probetermin höher, wobei berücksichtigt werden muss, dass ein Weizenbestand im Freiland einen Teil der Bestockung erst im Frühjahr realisiert.

Die Ergebnisse der Parameter SLA, LWR und LAR liegen zu allen drei Probeterminen in einem sehr engen Bereich. Sie eignen sich daher weniger für eine Beschreibung der Pflanzenentwicklung, wenn der Schwerpunkt auf die Vorfrucht

gelegt wird. Größere Unterschiede könnten bei einem Vorfruchtversuch mit verschiedenen Weizensorten auftreten, da die Pflanzenentwicklung vom Genotyp beeinflusst wird.

Für die Interpretation der starken Abnahme der SLA vom 2. zum 3. Probetermin wird in der Literatur kein passender Ansatz geliefert. PAPONOV et al. (1999) und HIROSE (1986) beschreiben eine Abnahme der SLA unter extrem geringer N-Verfügbarkeit. Der N-min Vorrat in der Raps-Variante des eigenen Versuches ist nach der Bodenanalyse ausreichend gewesen. Da in beiden Vorfruchtvarianten die SLA abgenommen hat, kann ein Stickstoffdefizit nicht die Hauptursache gewesen sein.

5.3.2 Wurzelparameter (Standort W1)

Bei der Betrachtung der Ergebnisse im Wurzelbereich sind eindeutige Tendenzen zwischen den Varianten zu erkennen. Diese sind jedoch bei der Varianzanalyse zum größten Teil als nicht signifikant eingestuft worden. Da die Irrtumswahrscheinlichkeit der Parameter Wurzeltrockenmasse, Wurzellänge, RLD und RWD für den 2. und 3. Probetermin immer $< 0,1$ ist, werden diese in die Diskussion mit eingeschlossen.

Tendenziell ist die Wurzeltrockenmasse zum 2. Probetermin in der Raps-Variante höher gewesen. Der Unterschied von 18% zu der Weizen-Variante tritt zwar auch zum 3. Probetermin auf, jedoch hat die Wurzeltrockenmasse in beiden Varianten um ca. 11% abgenommen. Die Wurzellänge hingegen ist weiter angestiegen, und für den 2. und 3. Probetermin konnte jeweils eine Differenz von 9 m pro Pflanze zwischen den Varianten bestimmt werden. Für diese Entwicklung kann anhand der Versuchsdaten keine Erklärung gefunden werden. Auch äußere Einflüsse oder methodische Fehler können ausgeschlossen werden. Diese Parameter eignen sich daher nur bedingt für eine Beurteilung der vorfruchtbedingten Entwicklung.

Für die SLR sind zu jedem Probetermin signifikante Unterschiede aufgetreten. Bereits für den 1. Probetermin konnte eine vorfruchtbedingt unterschiedliche SLR berechnet werden. Die Raps-Variante hat immer längere Wurzeln in Abhängigkeit von der Masse gebildet. Demnach war das Längenwachstum bei der Variante mit Weizen als Vorfrucht beeinträchtigt, was eine niedrigere Wurzeloberfläche zur Folge

hat, über die Nährstoff aufgenommen werden können. Die Steigerung vom 2. zum 3. Probetermin ist auf die Zunahme der Länge und die Abnahme der Wurzeltrockenmasse zurückzuführen.

Die Werte der SLR waren in dem eigenen Versuch höher im Vergleich zu den Ergebnissen von ROBINSON et al (1994). Sie beobachteten an 42 Tage alten Sommerweizenpflanzen eine SLR von 144-211 m/g. Bei den eigenen Ergebnissen befand sich die SLR nach 19 Tagen bereits in einem Bereich von 156-211 m/g und nach 38 Tagen bei 221-302 m/g.

Für die Diskussion der RLD werden Daten aus einem noch unveröffentlichten Gefäßversuch zum Wurzelwachstum von Sommerweizen aus dem Jahr 2004 von M. KOHL verwendet. Beim Vergleich muss beachtet werden, dass den Wurzeln eine Bodenschicht von 0-115 cm für das Wachstum zur Verfügung stand. Im Mittel über eine maximale Wurzeltiefe von 65 cm nach 28 Tagen betrug die RLD 0,7 cm/cm³. In dem eigenen Versuch wurde dieser Wert bei der Raps-Variante bereits nach 19 Tagen erreicht. Eine RLD von 2,7 cm/cm³ wurde in dem Versuch von KOHL nach 42 Tagen bei einer Durchwurzelungstiefe von 0-115 cm erreicht und im eigenen Versuch in der Raps-Variante nach 26 Tagen. Dies lässt vermuten, dass sich das Längenwachstum der Wurzeln durch einen in der Tiefe stark begrenzten Raum erhöht. Auch die Werte der Vorfruchtvariante mit Weizen lagen oberhalb derer von KOHL.

Die RLD zeigt ab dem 2. Probetermin eine vorfruchtbedingt unterschiedliche Wurzelentwicklung. Die Werte in der Weizen-Variante sind um 30 bis 35% geringer gewesen im Vergleich zu der Raps-Variante.

Die Unterschiede zwischen den Varianten sind für die RWD geringer als für die RLD. Die RWD ist für eine Beurteilung der vorfruchtbedingten Entwicklung im eigenen Versuch weniger geeignet, da neben den geringen Differenzen die ungeklärte Entwicklung der Wurzeltrockenmasse zum 3. Probetermin berücksichtigt werden muss.

5.3.3 Spross:Wurzel-Verhältnis (Standort W1)

Bei einem N-Mangel ist die Tendenz zu beobachten, dass relativ gesehen mehr Biomasse in den Wurzeln im Vergleich zum Spross gebildet wird. Aus einer hohen N-

Versorgung resultiert ein hohes Spross:Wurzel-Verhältnis. Auf das „root weight ratio“ (RWR = Wurzelrockenmasse/Gesamtrockenmasse) bezogen haben PAPONOV et al. (1999) bei einer guten N-Versorgung einen RWR von 25% und unter N-Mangel einen RWR von 60% erhalten.

In dem eigenen Versuch ist das Spross:Wurzel-Verhältnis angestiegen und folglich das RWR bis zum letzten Probetermin gesunken (Grafik nicht abgebildet). Auch in der Weizen-Variante ist das RWR von anfänglich 52% auf 30% zum 3. Probetermin gesunken. Bei einem N-Mangel als Ursache für eine geringere Sprosstrockenmasse hätte das RWR ansteigen müssen.

Der Grund für das Ansteigen des Spross:Wurzel-Verhältnisses in dem eigenen Versuch ist die rückläufige Entwicklung der Wurzelrockenmasse. CHAPIN (1980) berichtet, dass die Nährstoffaufnahme mehr von der Wurzellänge als vom Wurzelgewicht anhängig ist. Das könnte u.a. eine Begründung dafür sein, dass die N-Aufnahme vom 2. zum 3. Probetermin fast linear angestiegen ist, trotz stagnierender bis rückläufiger Wurzelrockenmasse und steigender Wurzellänge.

Das Spross:Wurzel-Verhältnis war in dem eigenen Versuch zu allen drei Probeterminen in der Raps-Variante höher im Vergleich zu der Weizen-Variante. Die vorfruchtbedingte Jugendentwicklung von Weizen kann anhand dieses Parameters beurteilt werden.

5.3.4 Spross- und Wurzelparameter (Standort W1 und W2)

Anhand der Sprossparameter der Raps-Variante und der Weizen-Variante Standort W2 ist keine vorfruchtbedingte differenzierte Betrachtung der Pflanzenentwicklung möglich.

Bei der Wurzelrockenmasse und der Wurzellänge sind keine signifikanten Unterschiede aufgetreten. Bei der Raps-Variante kann jedoch von tendenziell längeren Wurzeln gesprochen werden, da sie für den 2. und 3. Probetermin jeweils um 5,5 m pro Pflanze länger waren.

Die SRL ist der einzige Parameter, bei dem zu jedem Probetermin ein signifikanter Entwicklungsunterschied der Wurzeln festgestellt wurde. Diese Unterschiede sind bei der N-Aufnahme jedoch nicht zu erkennen. Nur für den 3. Probetermin war die N-Aufnahme signifikant verschieden. Die N-Aufnahmerate über den gesamten

Versuchszeitraum war zwar um 25% geringer in der Weizen-Variante, in der Gesamttrockenmasse sind aber keine Unterschiede aufgetreten.

Des Weiteren ist auffällig, dass sich die beiden Varianten mit Weizen als Vorfrucht nur bezüglich der SLR auf demselben Niveau befinden.

Die RLD zeigt zwar in der Abb. 15 ebenfalls eindeutige Differenzen, jedoch sind diese nicht signifikant gewesen.

5.4 Allelopathische Effekte

Phytotoxische Substanzen aus den verrotteten Pflanzenresten oder im Boden natürlich vorhandene, sowie aus der Aktivität von Mikroorganismen stammende, können ursächlich für vorfruchtbedingte Entwicklungsunterschiede sein (McCALLA & NORSTADT 1974). Da sie in dem eigenen Versuch nicht gemessen wurden, ist es schwierig den Einfluss abzuschätzen. Wenn phytotoxische Substanzen in dem eigenen Versuch für die Entwicklungsunterschiede eine entscheidende Rolle gespielt haben, müssen auf den beiden Standorten starke Konzentrationsunterschiede vorgelegen haben. Des Weiteren muss bereits in den ersten Tagen nach der Aussaat ein allelopathischer Effekt aufgetreten sein.

Unter der Annahme, dass eine phytotoxische Hemmung vorlag, sind nicht nur Konzentrationsunterschiede eine mögliche Erklärung, sondern auch die chemische Struktur von im Boden vorhandenen und gebildeten Substanzen kann verschieden auf den beiden Standorten gewesen sein. Nach McCALLA & NORSTADT (1974) ist die Konzentration an bodenbürtigen phytotoxischen Substanzen zwar relativ gering, jedoch schließen sie nicht aus, dass an anderen Standorten weitere und höher konzentrierte phytotoxische Substanzen im Boden nachweisbar sind, die das Pflanzenwachstum in bestimmten Phasen beeinflussen können. SIQUEIRA et al. (1991) berichten, dass die meisten in Pflanzenresten vorhandenen phenolischen Substanzen auch natürlich im Boden vorkommen. Jedoch kann die Konzentration in Anhängigkeit des Bodentyps, der Menge an organischem Material, der Vorfrüchte und der Mengen der verbliebenen Reste erheblich variieren.

Des Weiteren produzierten 40% aller von McCALLA & NORSTADT (1974) untersuchten Mikroorganismen Substanzen, die das Wurzel- und Pflanzenwachstum beeinträchtigen können. Jedoch haben bestimmte von Mikroorganismen aufgebaute

Substanzen in der richtigen Konzentration auch eine stimulierende Wirkung auf das Wurzel- und Pflanzenwachstum. Daher kommt nicht nur eine Hemmung der Entwicklung in der Variante W1-W in Frage, sondern auch eventuell eine Stimulierung des Wachstums der Pflanzen in dem Boden des Standortes W2.

Als letzter Aspekt einer allelopathischen Beeinflussung der vorfruchtbedingten Pflanzenentwicklung soll der mögliche Einfluss der Weizensorte nicht unerwähnt bleiben. Nach BRUCE & CHRISTEN (2001) wird die Rapsentwicklung von den Abbauprodukten verschiedener Weizensorten unterschiedlich stark beeinflusst. In dem eigenen Versuch war am Standort W1 im Vorjahr die Sorte Drifter angebaut und auf dem Standort W2 die Sorte Biscay.

5.5 Ausblick

Nach STEINBRENNER & OBENAUF (1983) hat Wintergetreide als Vorfrucht zu Winterweizen einen negativen Einfluss auf den Ertrag. Es wurden Ertragsdifferenzen von 8-15 dt/ha festgestellt. Daher wäre es interessant gewesen, die weitere Entwicklung der Pflanzen in dem eigenen Versuch bis zur Reife zu verfolgen. THEUER (1997) hat einen Einfluss der Vorfrucht auf die Anzahl der Ähren pro m² feststellen können.

Interessant wären weitere Probeterminale zu späteren Zeitpunkten in dem eigenen Versuch auch unter dem Aspekt gewesen, dass nach WIDDOWSON et al. (1985) und SCHÖNHAMMER & FISCHBECK (1987) Differenzen in der Trockenmasse- und Bestandesentwicklung über die gesamte Vegetationszeit erhalten bleiben.

6. Zusammenfassung

Es wurde im Gewächshaus ein Gefäßversuch durchgeführt, um die vorfruchtbedingte Entwicklung von Winterweizen im Jugendstadium zu analysieren. Dabei sollten verschiedene Spross- und Wurzelparameter erhoben werden, die Unterschiede in der Pflanzenentwicklung bereits wenige Tage nach der Aussaat verdeutlichen.

Für die Untersuchungen wurde im Herbst Winterweizen der Sorte Dekan in Mitscherlichgefäßen ausgesät und im Gewächshaus unter kontrollierten Bedingungen kultiviert. Die Böden stammten von drei Flächen des Versuchsguts Hohenschulen der Universität Kiel. Zwei Flächen befanden sich an einem Standort (W1), auf dem Raps und Winterweizen im dreijährigen Wechsel angebaut wird. Der Boden nach drei Jahren Raps- und drei Jahren Weizenkultur wurde für diesen Versuch ausgewählt. Auf dem zweiten Standort (W2) wurde vier Jahre in Folge Weizen angebaut und der Befall mit *Gaeumannomyces graminis* bonitiert. Die Pflanzen der ausgewählten Teilfläche waren im Vorjahr stark mit Schwarzbeinigkeit infiziert.

Nach dem grubbern der Böden wurden Proben mit einem Stechzylinder ausgestanzt und ungestört in die Gefäße gefüllt. Während des Versuchszeitraumes wurde an fünf Terminen eine Bodenanalyse auf Stickstoff und Wasser durchgeführt und täglich die EC-Stadien notiert. Die oberirdische Pflanzenmasse und die Wurzeln wurden an drei Probeterminen 19, 26 und 38 Tage nach der Aussaat analysiert. Von dem Spross wurde die Trockenmasse, die Fläche und die N-Konzentration bestimmt und von den ausgewaschenen Wurzeln die Länge und die Trockenmasse. Neben diesen erhobenen Parametern wurden für die statistische Auswertung der Daten die abgeleiteten Parameter Bestandesflächenindex, Leaf area ratio, Specific leaf area, Leaf weight ratio, Root length density, Root weight density, Specific root length, das Spross:Wurzel-Verhältnis und die N-Aufnahme gebildet.

Einen Einfluss des Schaderregers *Gaeumannomyces graminis* auf die Jugendentwicklung konnte anhand der vorliegenden Ergebnisse ausgeschlossen werden, da zu keinem Probetermin sichtbare Symptome bonitiert werden konnten.

Die N-min Analyse ergab zwar höhere Werte für die Rapsvariante, jedoch konnte kein Zusammenhang zu der vorfruchtbedingten Pflanzenentwicklung gefunden werden.

Die Weizen-Variante des Standorts W1 zeigte im Vergleich zur Raps-Variante für die Sprossparameter zu allen Probeterminen signifikante Unterschiede. Die Wurzelparameter Trockenmasse, Wurzellänge, Root length density und Root weight density waren nicht signifikant verschieden. Die Unterschiede der beiden Bestände wurden von den Parametern N-Aufnahme, Bestandesflächenindex, Specific root length und dem Spross:Wurzel-Verhältnis am deutlichsten dokumentiert. Anhand der über die drei Probetermine ermittelten relativen Wachstumsrate konnte jedoch der Entwicklungsunterschied nicht belegt werden. Ein Entwicklungsvorteil der Raps-Variante trat bereits in den ersten Tagen nach der Aussaat auf, was u.a. anhand der Entwicklung der EC-Stadien und den Ergebnissen des frühen ersten Probetermins belegt werden konnte.

Der Vergleich der Raps-Variante mit der Weizen-Variante des Standortes W2 ergab keine signifikanten Unterschiede im Spross- und Wurzelbereich. Eine vorfruchtbedingt günstigere Jugendentwicklung der Weizenpflanzen der Raps-Variante konnte nicht belegt werden.

Eine unterschiedliche vorfruchtabhängige Spross- und Wurzelentwicklung von Winterweizen in der vegetativen Phase konnte nur teilweise beobachtet werden, da die beiden Varianten mit Weizen als Vorfrucht sich signifikant in ihrer Spross- und Wurzelentwicklung unterschieden.

Die Ursache für die differenzierte Jugendentwicklung der beiden Weizen-Varianten konnte mit den Ergebnissen nicht erklärt werden. Vermutlich haben allelopathische Effekte oder im Mangel befindliche Makro- und Mikronährelemente einen Einfluss auf die frühe vegetative Entwicklung gehabt. Diese Effekte wurden jedoch nicht untersucht.

7. Literaturverzeichnis

1. ASSENG, S., RITCHIE, J.T., SMUCKER, A.J.M., ROBERTSON, M.J. (1998): Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat. *Plant and Soil* 201: 265-273.
2. ATWELL, B.J. (1990a): The effect of soil compaction on wheat during early tillering. I. Growth, development and root structure. *New Phytol.* 115: 29-36.
3. ATWELL, B.J. (1990b): The effect of soil compaction on wheat during early tillering. II. Concentrations of cell constituents. *New Phytol.* 115: 37-41.
4. BARRACLOUGH, P.B. (1984): The growth and activity of winter wheat roots in the field: root growth of high-yielding crops in relation to shoot growth. *Journal of Agricultural Science* 103: 439-442.
5. BARRACLOUGH, P.B. (1985): The growth and activity of winter wheat roots in the field: nutrient inflows of high-yielding crops: *Journal of Agricultural Science* 106: 53-59.
6. BARRACLOUGH, P.B., Kulhmann, H., Weir, A.H. (1989): The effects of prolonged drought and nitrogen fertilizer on root and shoot growth and water uptake by winter wheat: *Journal of Agronomy and Crop Science* 163: 352-360.
7. BAUHUS, J., MESSIER, C. (1999): Soil exploitation strategies of fine roots in different tree species of the southern boreal forest of eastern Canada. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 260-273.
8. BECKER, F.A., LANG, V. (1982): Standortvergleiche zur N-Frühjahrsdüngung des Wintergetreides nach der N-min Methode. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* 151: 459-473.
9. BEN-HAMMOUDA, M., GHORBAL, H., KREMER, R.J., OUSLATT, O. (2001). Allelopathic effects of barley extracts on germination and seedling growth of bread and durum wheat. *Agronomie Agriculture Environment* 21: 65-71.
10. BOESE, L., JAUERT, R., MICHAEL, H., WALOSZCZYK, K. (1991): Zur Korrektur der ersten N-Gabe bei Winterweizen und Wintergerste in Abhängigkeit vom Bestandeszustand zu Vegetationsbeginn: *Bodenkultur* 42: 337-345.
11. BROOKS, D.H., DAWSON, M.G. (1968): Influence of direct-drilling of winter wheat on incidence of take-all and eyespot. *Ann. Appl. Biol.* 61: 57-64.
12. BRUCE, S., CHRISTEN, O. (2001): Phytotoxicity of wheat leactes and ferulic acid to germination and radicle elongation of canola. Paper presented at the 10th Australien Agronomy Conference, 28.1 bis 1.2.01 in Hobart.
13. CHRISTEN, O. (1998): Untersuchungen zur Anbautechnik von Winterweizen nach unterschiedlichen Vorfruchtkombinationen. *Schriftreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung No.7*, Universität Kiel.
14. CHRISTEN, O., LOVETT, J.V. (1993): Effects of a short-term p-hydroxybenzoic acid application on grain yield and yield components in different tiller categories of spring barley. *Plant and Soil* 151: 279-286.

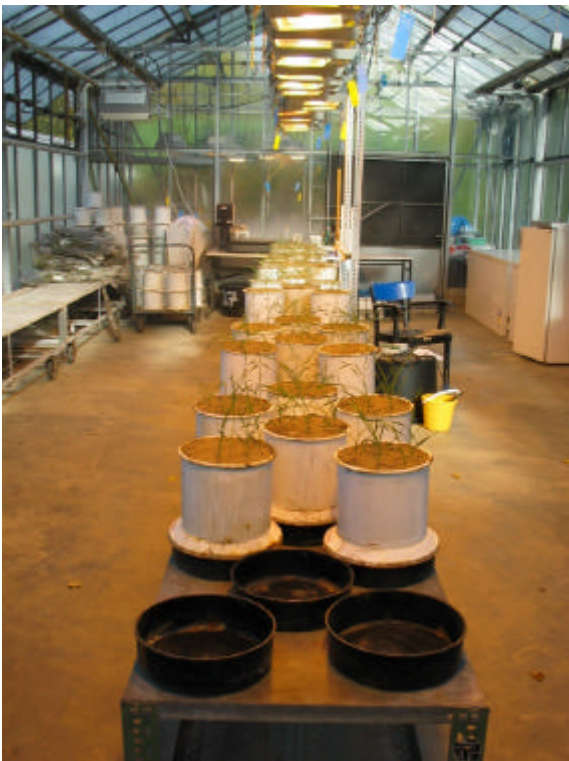
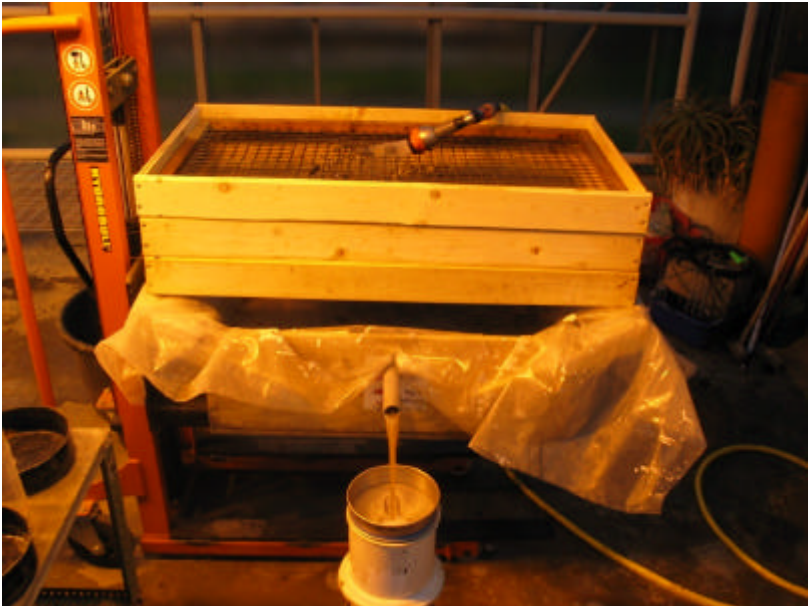
15. CHRISTEN, O., SIELING, K., HANUS, H. (1992): The effect of different preceding crops on the development, growth and yield of winter wheat. *European Journal of Agronomy* 1: 21-28.
16. CLAASSEN, N., STEINGROBE, B. (1999): Mechanistic simulation models for a better understanding of nutrient uptake from soil. *Mineral nutrition of crops: Fundamental mechanisms and implications*, 327-367.
17. CLARKSON, J.D.S., POLLEY, R.W. (1981): Diagnosis, assessment, crop-loss appraisal and forecasting. In: KRIEGER, B., 1994.
18. COOK, R.J., HAGLUND, W.A. (1991): Wheat yield depression associated with conservation tillage caused by root pathogens in the soil not phytotoxins from the straw. *Soil Biol. Biochem.* 23: 1125-1132.
19. COTTERILL, P.J., SIVASITHAMPARAM, K. (1987): The effect of tillage practices on distribution, size, infectivity and propagule number of the take-all fungus (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*). *Soil & Tillage Research* 11: 183-195.
20. COTTERILL, P.J., SIVASITHAMPARAM, K. (1988a). Effects of ammonium-nitrogen on development and infectivity of the take-all fungus. *Annals of Applied Biology* 113: 461-470.
21. COTTERILL, P.J., SIVASITHAMPARAM, K. (1988b): Inoculum of the take-all fungus in rotations of wheat and pasture relationships to disease and yield of wheat. *Transactions of the British Mycological Society* 91: 63-72.
22. COTTERILL, P.J., SIVASITHAMPARAM, K. (1988c): Reduction of take-all inoculum by rotation with Lupines Oats or field Peas. *Journal of Phytopathology* 121: 125-134.
23. CUNFER, B.M., BUNTIN, G.D. (2006): Effect of crop rotations on Take-all of wheat in double-cropping systems. *Plant. Dis.* 90: 1161-1166.
24. DE BOER, R.F., STEED, G.R., KOLLMORGEN, J.F., MACAULEY, B.J. (1993): Effects of rotation, stubble retention and cultivation on take-all and eyespot of wheat in northeastern Victoria, Australia. *Soil & Tillage Research* 25: 263-280.
25. DELROY, N.D., BOWDEN, J.W. (1986): Effect of deep ripping, the previous crop, and applied nitrogen on the growth and yield of a wheat crop. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 26: 469-479.
26. ELLIS, J.R., NORSTADT, R.A., McCALLA, T.M. (1977): Patulin effects on wheat plants in field treatments. *Plant and Soil* 47: 679-686.
27. ELLIS, F.B., BARNES, B.T. (1980): Growth and development of root systems of winter cereals grown after different tillage methods including direct drilling. *Plant Soil* 55: 283-295.
28. HALLAK, A.M.G., DAVIDE, L.C., SOUZA, I.F. (1999): Effects of sorghum (*sorghum bicolor* L.) root exudates on cell cycle of bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.) root. *Genet. Mol. Biol* 22: 1590-1415.
29. HIROSE, T. (1986): Nitrogen uptake and plant growth II. An empirical model of vegetative growth and partitioning. *Annals of Botany* 58: 487-496.

30. HIROSE, T., KITAJIMA, K. (1986): Nitrogen uptake and plant growth I. Effect of nitrogen removal on growth of *Polygonum cuspidatum*. *Annals of Botany* 58: 479-486.
31. KRIEGER, B. (1994): Ertragserhöhung, Ertragsstruktur und Entwicklung von Winterweizen in Abhängigkeit von der Fruchtfolge, Vorfruchtkombinationen, anbautechnischen Maßnahmen und Genotyp. Dissertation an der Universität Kiel.
32. KUHLMANN, H., BARRACLOUGH, P.B. (1987): Comparison between the seminal and nodal root systems of winter wheat in their activity for N and K uptake. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 150: 24-30.
33. MASLE, J., PASSIOWA, J.B. (1987): The effect of soil strength on the growth of young wheat plants. *Australian Journal of plant physiology* 14: 643-656.
34. McCALLA, T.M., NORSTADT, F.A. (1974): Toxicity problems in mulch tillage. *Agriculture and Environment* 1: 153-174.
35. MIELKE, H. (1983): Studies of influence of various tilling operations on cereal foot rot diseases. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*, 35: 33-39.
36. MINDT, G. (1999): MON 65500 - das neue Fungizid gegen die Schwarzbeinigkeit. *Gesunde Pflanzen* 51: 240-247.
37. MOORE, K.J., COOK, R.J. (1984): Increase take-all of wheat with direct drilling in the Pacific Northwest. *Phytopathology* 74: 1044-1049.
38. PAPONOV, I.A., LEBEDINSKAI, S., KOSHKIN, E.I. (1999): Growth analysis of solution culture-grown winter rye, wheat and triticale at different relative rates of nitrogen supply. *Annals of Botany* 84: 467-473.
39. POMMER, G. (1994): Crop rotation effects of different fodder crops in long-term winterwheat monoculture. 1. Communication: yield relations and root growth of winter wheat after different fodder crops. *Agribiological Research* 47: 49-55.
40. QIN, R., STAMP, P., RICHNER, W. (2004): Root development - Impact of tillage on root systems of winter wheat. *Agron. J.* 96: 1523-1530.
41. RAWSON, H.M., GARDNER, P.A., LONG, M.J. (1987): Sources of variation in specific leaf area in wheat grown at high temperature. *Australian Journal of Plant Physiology* 14: 287-298.
42. RIEGER, S.B. (2001) Impacts of tillage systems and crop rotation on crop development, yield, and nitrogen efficiency. Diss. ETH No. 14124.
43. ROBINSON, D., LINEHAM, D.J., GORDON, D.C. (1993): Capture of nitrite from soil by wheat in relation to root length, nitrogen inflow and availability. *New Phytol.* 128: 297-305.
44. ROTHROCK, C.S. (1987): Take-all of wheat as affected by tillage and wheat-soybean doublecropping. *Soil. Biol. Biochem.* 19: 307-311.
45. ROVIRA, A.D., VENN, N.R., PARKER, C.A., MOORE, K.J., WONG, P.T.W. (1985): Effect of rotation and tillage on take-all and *Rhizoctonia* root rot in wheat. *Ecology and management of soilborne plant pathogens*, 255-258.

46. SCHÖNHAMMER, A., FISCHBECK, G. (1987): Untersuchungen an getreidereichen Fruchtfolgen und Getreidemonokulturen. 2. Mitteilung: Die Veränderung an Spross und Wurzel. Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch 64: 293-307.
47. SIELING, K., HANUS, H. (1990): Yield reactions of winter wheat in monoculture in dependence upon weather and soil. Journal of Agronomy and Crop Science 165: 151-158.
48. SIELING, K., HANUS, H. (1992): Yield of winter wheat influenced by the interactions between crop management measures and take-all. European Journal of Agronomy 1:201-206.
49. SIELING, K., STAHL, C., WINKELMANN, C., CHRISTEN, O. (2005): Growth and yield of winter wheat in the first 3 years of a monoculture under varying N fertilization in NW Germany. Europ. J. Agronomy 22: 71-84.
50. SIMILEY, R.W., FOWLER, M.C., REYNOLDS, K.L. (1986): Temperature effects on take-all on cereals caused by *Phialophora graminicola* and *Gaeumannomyces graminis*. Phytopathology 76: 923-931.
51. SOON, Y.K., CLAYTON, G.W., RICE, W.A. (2001): Tillage and previous crop effects on dynamics of nitrogen in a wheat-soil system. Agronomy Journal 93: 842-849.
52. STAMAN, K., BLUM, U., LOUWS, F., ROBERTSON, D. (2001): Can simultaneous inhibition of seedling growth and stimulation of rhizosphere bacterial populations provide evidence für phytotoxin transfer from plant residues in the bulk soil to the rhizosphere of sensitive species?. Journal of Chemical Ecology 27: 807-829.
53. THEUER, C. (1997): Ertragsbildung von Winterweizen in Abhängigkeit von Fruchtfolgestellung und Anbautechnik unter besonderer Berücksichtigung phytotoxischer Substanzen. Ph.D. Thesis. University of Kiel, Kiel.
54. THORNE, G.N., WOOD, D.W., STEVENSON, H.J. (1988): Effects of nitrogen supply and drought on early development of winter wheat in the field in Eastern England. Journal of Agricultural Science 110: 109-117.
55. VIELEMEYER, H.P., WEISSERT, P., PODLESACK, W., JAUERT, R. (1987a): Untersuchungen des N-Aufnahmeverlaufs von Wintergetreide in Abhängigkeit vom Ertrag. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 31: 647-655.
56. VIELEMEYER, H.P., WEISSERT, P., PODLESACK, W., JAUERT, R. (1987b): Untersuchungen des N-Aufnahmeverlaufs von Wintergetreide in Abhängigkeit von Standort, Jahr und N-Düngung. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 31: 657-666.
57. WIDDOWSON, F.V., PENNY, A., GUTTERIDGE, R.J., DARBY, R.J., HEWITT, M.V. (1985): Tests of amounts and times of application of nitrogen and of sequential sprays of aphicide and fungicides on winter wheat following either beans or wheat and the effects of take-all *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* on 2 varieties at saxmundham suffolk UK 1980-1983. Journal of Agricultural Science 105: 97-122.

58. WINKELMANN, C. (1999): Ertragsbildung von Winterweizen in Abhängigkeit von Fruchtfolgestellung, Anbautechnik und Bodenunterschieden. Schriftreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung No.11, Universität Kiel.
59. WOLF, H.-J., HÖFLICH, G. (1985): Influence of straw and green manure and soil fumigation on the phytoinhibitory effects in the soil under winter cereals. Zbl. Mikrobiol. 138: 617-629.
60. WONG, P.T.W. (1984): Saprophytic survival of *Gaeumannomyces graminis* and *Phialophora* spp. at various temperature-moisture regimes. Annals of Applied Biology 105: 455-461.
61. WONG, P.T.W., SOUTHWELL, R.J. (1987): Saprophytic survival of the take-all fungus and its antagonist, *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* under conventionell and no-tillage. Soil & Tillage Research 9: 355-362.
62. WU, H., HAIG, T., PRATLEY, J., LEMERLE, D., AN, M. (2001): Allelochemicals in wheat (*Triticum aestivum* L.): Variation of phenolic acids in shoot tissues. Journal of Chemical Ecology 27: 125-136.
63. YAN, P.L., LUI, H.L., REN, S.M. (1997): Root and shoot relations of winter wheat under different irrigation conditions. Journal of China Agricultural University 2: 57-62.
64. YUAN, C.X., HONG, G.H., YING, L.X., PEO, L.Y. (2004): Effects of water stress on root/shoot relation and grain yield in winter wheat. Acta Agronomica Sinica 30 723-728.
65. ZUO, Q., JIE, F., ZHANG, R., MENG, L. (2004): A generalized function of wheat's root length density distributions. Vadose Zone Journal 3: 271-277.
66. <http://www.hohenschulen.uni-kiel.de/geschichte/> vom 07.05.2006





Allen, die zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen haben, möchte ich ganz herzlich danken:

Prof. Dr. Henning Kage, Universität Kiel, für die Überlassung des Themas dieser Arbeit und die sehr gute Betreuung während der Erstellung dieser Arbeit.

PD Dr. Klaus Sieling, Universität Kiel, für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Daten sowie für die stete Diskussionsbereitschaft.

Allen weiteren Mitarbeitern des Instituts für Pflanzenbau der Universität Kiel für das angenehme Arbeitsklima und die immer offenen Türen und Ohren, besonders Cordula Weise und Kirsten Schulz für die großzügige Unterstützung bei den Arbeiten im Gewächshaus.

Ein ganz besonderer Dank gilt Babette „Betty“ Wienforth, nicht nur für die vielen erfolgreichen Lernwochen vor den Prüfungen und die langen Wochenenden im Institut während der Erstellung unserer Masterarbeiten, sondern auch für die gute Freundschaft in der arbeitsfreien Zeit.

Abschließend möchte ich noch meinen Eltern danken, die mir durch ihre finanzielle Unterstützung dieses Studium ermöglicht haben.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Arbeit von mir selbst, lediglich unter Benutzung der angegebenen Literatur, angefertigt wurde.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Kiel, im Oktober 2006

Tobias Erven