

Aus dem  
**Institut für Zuckerrübenforschung**  
Göttingen

Cord Buhre

---

**Einfluss von Fruchtfolge,  
Bodenbearbeitung, Sortenwahl und  
Zwischenfruchtanbau auf den Befall von  
Zuckerrüben mit *Rhizoctonia solani***

---

24 / 2008



**Cuvillier Verlag Göttingen**  
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

**Einfluss von Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Sortenwahl und  
Zwischenfruchtanbau auf den Befall von Zuckerrüben mit  
*Rhizoctonia solani***

**Dissertation**

zur Erlangung des Doktorgrades  
der Fakultät für Agrarwissenschaften  
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von

**Cord Buhre**

geboren in Göttingen

Göttingen, im Juli 2008

---

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2008  
Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2008  
978-3-86727-818-8

### **D 7**

1. Referent: Prof. M. Varrelmann
  2. Korreferent: Prof. W. Lücke
  3. Prüfer (Disputation): Prof. B. Märländer
- Tag der mündlichen Prüfung: 17.07.2008

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2008  
Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen  
Telefon: 0551-54724-0  
Telefax: 0551-54724-21  
[www.cuvillier.de](http://www.cuvillier.de)

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2008  
Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-86727-818-8

**Inhaltsverzeichnis**

Abkürzungsverzeichnis .....	III
Verzeichnis der Abbildungen .....	V
Verzeichnis der Tabellen .....	VIII
1. Einleitung .....	1
1.1. Die Genetik des Erregers <i>Rhizoctonia solani</i> .....	1
1.2. Der Lebenszyklus und Infektionswege des Erregers .....	3
1.3. Der Erreger an Zuckerrüben .....	5
1.4. Die wirtschaftliche Bedeutung des Erregers in Zuckerrüben .....	7
1.5. Die integrierte Bekämpfung von <i>R. solani</i> in Zuckerrüben .....	7
1.5.1. Chemische Bekämpfung .....	8
1.5.2. Biologische Bekämpfung .....	10
1.5.3. Einfluss der Bodenbearbeitung .....	13
1.5.4. Resistenzzüchtung gegenüber <i>R. solani</i> in Zuckerrüben .....	14
1.5.5. Einfluss der Fruchtfolgegestaltung .....	15
1.6. Nachweis von <i>R. solani</i> im Boden .....	16
1.7. Zielsetzung der Arbeit .....	18
2. Resistenz von Zuckerrübensorten als Grundlage einer integrierten Kontrolle der Späten Rübenfäule ( <i>Rhizoctonia solani</i> ) .....	20
3. Integrated control of root and crown rot in sugar beet: combined effects of cultivar, crop rotation and soil tillage .....	35
4. Integrierte Kontrolle von <i>R. solani</i> AG 2-2 IIIB an Mais: Effekte von Fruchtfolge, Sortenwahl und Bodenbearbeitung .....	54
5. Susceptibility of different intercrops to infection with <i>Rhizoctonia solani</i> AG 2-2 IIIB and influence on disease severity in subsequently cultivated sugar beet .....	59
6. Diskussion .....	84
6.1. Möglichkeiten der Kontrolle durch den Anbau von resistenten Sorten .....	84

6.2. Möglichkeiten der Kontrolle durch die Fruchtfolge.....	88
6.3. Möglichkeiten der Kontrolle durch pflanzenbauliche Maßnahmen der Bodenbearbeitung.....	95
6.4. Möglichkeiten der Kontrolle durch den Anbau von Zwischenfrüchten.....	98
6.5. Umsetzung der Maßnahmen in die landwirtschaftliche Praxis .....	99
6.6. Ausblick.....	102
7. Zusammenfassung .....	105
8. Literaturverzeichnis .....	108

**Abkürzungsverzeichnis**

Abb.	Abbildung
AG	Anastomosegruppe
ANOVA	Varianzanalyse
BB	Bodenbearbeitung
BBA	Biologische Bundesanstalt Berlin-Dahlem
BISZ	Beratung und Information für den süddeutschen Zuckerrübenanbau
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BSA	Bundessortenamt
BZE	Bereinigter Zuckerertrag
bzw.	beziehungsweise
DNA	Desoxyribonukleinsäure
dpi	days past inoculation
e.g.	for example
ELISA	enzyme linked immunosorbent assay
et al.	und andere
F	F-Wert
FF	Fruchtfolge
Fig.	figure
GSL	Glucosinolate
IIRB	Internationales Institut für Rübenforschung
IRS	Institute of Sugar Beet Research
ITC	Isothiocyanate
ITS	internal transcribed spacer
lsmeans	least-squares means
MS	Maissorte
M/M	Mais/Mais
M/W	Mais/Weizen
N	Stickstoff
NC	North Carolina
NL	Niederlande
n.s.	nicht signifikant

<i>p</i>	Irrtumswahrscheinlichkeit
PCR	polymerase chain reaction
PDA	potato dextrose agar
$r^2$	Bestimmtheitsmaß
RAPD	random amplified polymorphic DNA
RFLP	restriction fragment length polymorphisms
spp.	Unterart
Tab.	Tabelle
TM	Gesamtrockenmasse
US/USA	Vereinigte Staaten von Amerika
USDA	United States Department of Agriculture
u.U.	unter Umständen
W/H	Weizen/Hafer
Wsy	white sugar yield
ZR	Zuckerrübensorte

## Verzeichnis der Abbildungen

<b>Abbildung 1:</b> Beziehung zwischen Befallsintensität von <i>Rhizoctonia solani</i> und Bereinigtem Zuckerertrag. Ergebnisse aus Streifenversuchen 2003 und 2004, jeweils 4 Standorte. Befallsintensität: 1 = gesund bis 9 = abgestorben.....	24
<b>Abbildung 2:</b> Einfluss von Fruchtfolge und Sortenwahl auf die Befallsintensität von Zuckerrüben (4 Standorte, 2 Jahre). Befallsintensität: 1 = gesund bis 9 = abgestorben. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ). .....	29
<b>Abbildung 3:</b> Einfluss von Fruchtfolge und Sortenwahl auf den Bereinigten Zuckerertrag von Zuckerrüben (4 Standorte, 2 Jahre). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ). .....	29
<b>Abbildung 4:</b> Einfluss der Fruchtfolge vor Zuckerrüben und Sortenwahl auf die Befallsintensität im Maisanbau (2 Standorte, einjährig). Befallsintensität: 1 = gesund bis 9 = abgestorbenes Wurzelsystem. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ). .....	31
<b>Abbildung 5:</b> Einfluss der Fruchtfolge vor Zuckerrüben und Sortenwahl auf die Gesamttrockenmasse im Maisanbau (2 Standorte, einjährig). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ). .....	31
<b>Figure 6:</b> Effect of location and year on disease severity of <i>R. solani</i> and on white sugar yield in sugar beet. Disease severity was assessed by visual rating (1 = healthy until 9 = dead sugar beet). Treatment lsmeans with same letters are not significant different at $P < 0.05$ according to Tukey test. Error bars indicate standard error. ....	43
<b>Figure 7:</b> Effect of crop rotation and sugar beet cultivar on disease severity of <i>R. solani</i> in sugar beet. Disease severity was assessed by visual rating (1 = healthy until 9 = dead sugar beet). Mean of 2 locations in 2004 and 2 locations in 2005. Treatment lsmeans with same letters are not significant different at $P < 0.05$ according to Tukey test. Error bars indicate standard error. ....	44
<b>Figure 8:</b> Effect of crop rotation and sugar beet cultivar on the white sugar yield in sugar beet. Mean of 2 locations in 2004 and 2 locations in 2005. Treatment lsmeans with same letters are not significant different at $P < 0.05$ according to Tukey test. Error bars indicate standard error. ....	45

- Figure 9:** Effect of cultivation method within crop rotation on disease severity in sugar beet. Disease severity was assessed by visual rating (1 = healthy until 9 = dead sugar beet). Mean of 2 locations in 2004 and 2 locations in 2005. Treatment means with same letters are not significantly different at  $P < 0.05$  according to Tukey test for ANOVA separated by crop rotation (Tab. 5). Error bars indicate standard error. For cultivation method see Table 3. ....47
- Figure 10:** Effect of crop rotation and cultivation method within crop rotations on white sugar yield in sugar beet. Mean of 2 locations in 2004 and 2 locations in 2005. Treatment means with same letters are not significant different at  $P < 0.05$  according to Tukey test for ANOVA separated by crop rotation (Tab. 5). Error bars indicate standard error. For cultivation method see Table 3. ....47
- Abbildung 11:** Einfluss von Fruchtfolge auf die Befallsintensität von Mais (4 Standorte, 2 Jahre). Befallsintensität: 1 = gesund bis 9 = abgestorben. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ). ....57
- Abbildung 12:** Einfluss der Fruchtfolge auf den Korntrockenmasseertrag von Mais (t/ha) (4 Standorte, 2 Jahre). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ). ....57
- Figure 13:** Effect of different *R. solani* isolates, belonging to different anastomosis groups, on disease severity in sugar beet seedlings in *in vitro* resistance test. Disease severity was assessed by visual rating (1 = healthy until 4 = dead seedling). Mean of 12 plants per cultivar and isolate. ....68
- Figure 14:** Effect of intercrop cultivar and disease rating date on disease severity of *R. solani* in *in vitro* resistance test. Disease severity was assessed by visual rating (1 = healthy until 4 = dead seedling). Mean of 1 to 5 replications with 6 plants/replication. Error bars indicate standard error. Different letters demonstrated significant differences between the intercrop species (mean of both rating dates; tukey test,  $\alpha < 0.05$ ). ....69
- Figure 15:** Effect of intercrop cultivar and inoculum concentration on *R. solani* disease severity in greenhouse resistance test. Low inoculation = 0.003 g/pot and high inoculation = 0.25 g/pot infested millet grains. Disease severity was assessed by visual rating (1 = healthy until 4 = dead seedling). Mean of 40 plants in 4 replications per cultivar and concentration. Error bars indicate standard error. Different letters demonstrated significant differences between the intercrop species in the inoculated pots (mean of both inoculation rates; tukey test,  $\alpha < 0.05$ ). ....70

- Figure 16:** Effect of intercrop species and inoculation on *R. solani* disease severity in the field during the vegetation period. Disease severity was assessed by visual rating (1 = healthy until 5 = dead plants). Mean of two locations with six and four repetitions, respectively. Error bars indicate standard error. Different letters demonstrated significant differences between the intercrop species in the inoculated plots (tukey test,  $\alpha < 0.05$ ). .....73
- Figure 17:** Effect of intercrop species and inoculation on *R. solani* disease severity in subsequently cultivated sugar beet. Disease severity was assessed by visual rating (1 = healthy until 9 = dead sugar beet). A = location Göttingen; B = location Plattling. Error bars indicate standard error. Different letters demonstrated significant differences between the intercrop species in the inoculated plots (tukey test,  $\alpha < 0.05$ ). .....75
- Figure 18:** Effect of intercrop species and inoculation on the white sugar yield (wsy) in subsequently cultivated sugar beet. Location A = Göttingen; location B = Plattling. Error bars indicate standard error. Different letters demonstrated significant differences between the intercrop species in the inoculated plots (tukey test,  $\alpha < 0.05$ ). .....76

## Verzeichnis der Tabellen

<b>Tabelle 1:</b> Einfluss von Zuckerrübensorte und Fruchtfolge auf die Befallsintensität und den Bereinigten Zuckerertrag (BZE) im Zuckerrübenanbau (4 Standorte, 2 Jahre). Befallsintensität: 1 = gesund bis 9 = abgestorben. M/M: Mais/Mais, M/W: Mais/Weizen, W/H: Weizen/Hafer. BZE (%): 100 = günstigste Variante. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der jeweiligen Mittelwertvergleiche. ....	28
<b>Tabelle 2:</b> Einfluss der Maissorte und der Fruchtfolge auf die Befallintensität und die Gesamttrockenmasse (TM) im Maisanbau (2 Standorte, einjährig). Befallsintensität: 1 = gesund bis 9 = abgestorben. M/M: Mais/Mais, M/W: Mais/Weizen, W/H: Weizen/Hafer. TM (%): 100 = günstigste Variante. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der jeweiligen Mittelwertvergleiche. ....	30
<b>Table 3:</b> Cultivation methods varied within the three crop rotations in this study. ....	40
<b>Table 4:</b> ANOVA for effects of location, sugar beet cultivar, crop rotation and cultivation method nested within crop rotation on disease severity (1-9) of <i>R. solani</i> and white sugar yield (wsy) of sugar beet. ....	42
<b>Table 5:</b> ANOVA for effects of location, sugar beet cultivar and cultivation method separated by crop rotation on disease severity (1-9) of <i>R. solani</i> and white sugar yield (wsy) of sugar beet. ....	46
<b>Tabelle 6:</b> ANOVA für die Effekte von Ort, Mais- und Zuckerrübensorte, Fruchtfolge und Bodenbearbeitung auf die Befallsstärke (1-9) von <i>R. solani</i> und Korntrockenmasseertrag im Maisanbau. ....	55
<b>Tabelle 7:</b> Einfluss der Zuckerrüben- und Maissorte auf den Befall und den Korntrockenmasseertrag von Mais (4 Standorte, 2 Jahre). Befallsintensität: 1 = gesund bis 9 = abgestorben. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der jeweiligen Mittelwertvergleiche ( $\alpha < 0,05$ ). ....	56
<b>Table 8:</b> <i>Rhizoctonia solani</i> isolates used in this study. ....	63
<b>Table 9:</b> Plant material of this study (intercrop species and sugar beet) and type of resistance test applied. ....	63
<b>Table 10:</b> ANOVA for effects of inoculation, intercrop species, rating date and intercrop cultivar on disease severity (1-4) of <i>R. solani</i> for the <i>in vitro</i> resistance test. ....	68

<b>Table 11:</b> ANOVA for effects of inoculation, intercrop species and intercrop cultivar on disease severity (1-4) of <i>R. solani</i> for greenhouse resistance test. ....	70
<b>Table 12:</b> ANOVA for effects of inoculation, intercrop species, location and intercrop cultivar on <i>R. solani</i> disease severity (1-5) in the field during the vegetation period. ....	71
<b>Table 13:</b> Correlation between different resistance testing methods.....	72
<b>Table 14:</b> ANOVA for effects of location, intercrop species, intercrop cultivar and location on <i>R. solani</i> disease severity (1-9) and white sugar yield (wsy) of sugar beet (field trial). ....	72



## 1. Einleitung

### 1.1. Die Genetik des Erregers *Rhizoctonia solani*

Auslöser der Späten Rübenfäule an Zuckerrüben (engl. root and crown rot) ist der bodenbürtige Pilz *Rhizoctonia solani* Kühn, welcher 1858 beschrieben wurde (Kühn, 1858). Hierbei handelt es sich um einen vielkernigen Pilz im Stamm Basidiomycota. Die Gattung *Rhizoctonia* ist eine große, komplexe, aber auch sehr diverse Gruppe, in der über 100 Arten beschrieben sind. Anhand der Hauptfruchtform können die drei Gattungen *Thanatephorus* (anamorph = *R. solani* Kühn), *Ceratobasidium* (anamorph = zweikernige *Rhizoctonia*) und *Waitea* (anamorph = *R. zaeae*, *R. oryzae* und weitere) unterschieden werden (Ogoshi, 1987; Carling & Sumner, 1992). Die Gattung *Thanatephorus* wird dabei der Klasse Hymenomycetes zugeordnet. Die Gruppe *R. solani* Kühn wird in 13 verschiedene Anastomosegruppen (AG) untergliedert (Anderson, 1982; Ogoshi, 1987; Carling, 1996; Carling et al., 2002a; Hallmann et al., 2007). Diese Einteilung beruht auf der Fähigkeit der einzelnen Isolate zur Hyphenfusion miteinander (Richter & Schneider, 1953; Anderson, 1982; Carling, 1996). Bei nah verwandten Isolaten kommt es zur Ausbildung einer perfekten Fusion. Bei genetisch weniger nah verwandten Isolaten kommt es nicht zu diesen perfekten Reaktionen, sondern zu imperfekten Fusionen, in deren Verlauf die umgebenden Zellen absterben (Carling, 1996). Damit kommt die somatische und vegetative Inkompatibilität zum Ausdruck, welche dazu führt, dass die Gruppen genetisch isolierte Populationen bilden (Carling, 1996; Agrios, 1997). Gleichzeitig spiegelt die Einteilung in Anastomosegruppen auch physiologische Leistungen des Pilzes wider, wie Anforderungen an die Lebensbedingungen oder die Pathogenität. Es ist damit der Versuch, diese große, diverse Gruppe anhand der phylogenetischen Verwandtschaft in logische, zusammengehörende kleinere Gruppen einzuteilen (Richter & Schneider, 1953;

Anderson, 1982; Ogoshi, 1987). Das AG Konzept kann heute auch mittels molekulargenetischer Untersuchungen bestätigt werden (Toda et al., 1999; Guillemaut et al., 2003). Neben dieser älteren, aber immer noch aktuellen Einteilung, haben sich in den letzten Jahren weitere Unterteilungsmöglichkeiten in Untergruppen der einzelnen AGs entwickelt. Diese Untergruppierungen können anhand von biochemischen, genetischen oder pathogenen Unterschieden vorgenommen werden (Cubeta & Vilgalys, 1997). Ogoshi (1987) hat für diese den Begriff der „intraspecific group“ eingeführt. Die AG 2 ist diejenige Gruppe, welche dabei die meisten Untergruppen enthält (Carling et al., 2002b). So lässt sich über eine Auftrennung von Isozymen einer oder verschiedener Enzymklassen nach dem Molekulargewicht und die Erzeugung von Polymorphismen eine taxonomische Differenzierung bzw. Identifizierung vornehmen (Jabaji-Hare, 1996). Als Beispiele seien hier die Untergliederungen von AG 2 und AG 3 mittels Isozymanalysen unterschiedlicher Klassen aufgeführt (Laroche et al., 1992; Liu & Sinclair, 1992) oder die Analyse von nur einer Enzymklasse wie z.B. mittels „pectic isozymes“ (zymogram). Mit Hilfe dieser Methode konnte MacNish et al. (1993) eine Unterteilung für AG 8 und Schneider et al. (1997) für AG 2 durchführen. Daneben ist eine weitere Unterteilung der AG 2-2 auch mittels Unterschieden in der Fettsäurezusammensetzung möglich (Stevens Johnk & Jones, 1993). Große Bedeutung für die Taxonomie haben in den letzten Jahren die molekulargenetischen Methoden bekommen. Zu nennen sind hier als Beispiele eine mögliche Identifizierung und taxonomische Differenzierung mittels „restriction fragment length polymorphism“ (RFLP) (Vilgalys & Gonzalez, 1990) oder „random amplified polymorphic DNA“ (RAPD) (Yang et al., 1995; Toda et al., 2004). Häufig werden auch die ribosomalen „internal transcribed spacer“ (ITS) Sequenzen genutzt, indem man diese Genombereiche sequenziert oder nach Amplifizierung mittels spezifischer Primer für die Unterteilung nutzt (Liu & Sinclair, 1992; Salazar et al., 1999; Carling et al.,

2002b, Führer Ithurrart, 2003). Gute Überblicke zu diesem Thema finden sich auch bei Cubeta et al. (1996), Kuninaga (1996) und Cubeta & Vilgalys (1997).

Insgesamt ist die Genetik der Gattung *Rhizoctonia* sehr komplex und leider auch immer noch wenig verstanden (Adams, 1996). Die genannten molekularen Untersuchungen sollten helfen zu einem besseren Verständnis des komplexen Gebietes der genetischen Verwandtschaft innerhalb der Gattung *Rhizoctonia* zu führen (Vilgalys & Cubeta, 1994).

## **1.2. Der Lebenszyklus und Infektionswege des Erregers**

Die Überdauerung des Erregers kann durch die Bildung von langlebigen Sklerotien, als Hyphenmyzel im Boden oder in Form von Basidiosporen geschehen (Agrios, 1997). Bei Sklerotien handelt es sich um Zusammenballungen von sehr stark melanisierten Hyphen des Erregers, die damit auch lebensfeindliche Bedingungen gut überstehen können (Sumner, 1996). Beobachtungen aus Australien zeigen, dass die Sklerotien von AG 11 ohne Probleme mehrere Zyklen von Austrocknung und wiederholter Keimung ohne Einbuße an Vitalität überstehen können und damit gut an die dort herrschenden Bedingungen angepasst sind (Kumar et al., 2002). Neben dieser Langzeitüberdauerung kann der Erreger kurze Zeit als Myzel im Boden überleben, wobei dies als Saprophyt gebunden an der organischen Substanz auch über eine längere Zeit möglich ist (Keijer, 1996). Die sexuell gebildeten Basidiosporen spielen zwar für die Überdauerung keine bedeutende Rolle, wohl aber für die genetische Variation und die sehr weite Ausbreitung. Die Ausbreitung über Sporen spielt vor allem bei den Blatterregern von *R. solani* eine Rolle, welche auch an Zuckerrüben auftreten können (Naito, 1996), unter europäischen Klimaverhältnissen aber nicht beobachtet werden. Für die bodenbürtigen Erreger ist dieser Infektionsweg zu vernachlässigen. Hier spielt die vegetative Ausbreitung über Myzelwachstum im Boden die größere Rolle. Die Ausbreitung von einer Nahrungsgrundlage zur nächsten ist als relativ begrenzt anzusehen und ist