

Lehrstuhl für Pflanzenernährung
Technische Universität München

Bodenbedingte Ursachen für das Auftreten der Rhizoctonia-Rübenfäule

Jürgen Kühn

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Naturwissenschaften (Dr.rer.nat.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzende: Univ.-Prof. Dr. I. Kögel-Knabner

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. U. Schmidhalter
2. apl. Prof. Dr. V. Zinkernagel, im Ruhestand
3. Univ.-Prof. Dr. T. Streck (Universität Hohenheim)

Die Dissertation wurde am 29.09.2005 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 26.01.2006 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	1
1.3 Literaturübersicht	3
1.3.1 Biologie von <i>Rhizoctonia solani</i> Kühn	3
1.3.2 Auftreten der Späten Rübenfäule	5
1.3.3 Einfluss von Bodenfaktoren auf <i>Rhizoctonia solani</i>	7
2 Standorte und Methoden	10
2.1. Untersuchungsgebiet	10
2.1.1 Lagebeschreibung	10
2.1.2 Geologie und Geomorphologie	11
2.1.3 Bodentypen und Bodenformen	12
2.1.4 Klima und Witterung	13
2.1.5 Fruchtfolge und Bodenbearbeitung	14
2.1.6 Versuchsschläge	14
2.2 Untersuchungen und Probennahme	16
2.2.1 Feldbegehungen und Luftbildaufnahmen	16
2.2.2 Untersuchungs- und Messkonzept	17
2.2.3 Bodensaugspannung	20
2.2.4 Bodentemperatur	22
2.2.5 Redoxpotential	23
2.2.6 Lagerungsdichte	24
2.2.7 Textur und Karbonatgehalt	24
2.2.8 pH-Wert und Nährstoffgehalte	25
2.2.9 Organische Substanz	25
2.2.10 Dünnschliffe	26
2.2.11 Statistik und Diskriminanzanalyse	26
3 Ergebnisse	29
3.1 Witterungsverlauf	29
3.2 Feldbegehungen und Luftbildaufnahmen	30
3.3 Befallsgrad und Neuklassifizierung von Messflächen	33
3.4 Bodensaugspannung	36
3.5 Bodentemperatur	39

3.6 Redoxpotential	44
3.7 Lagerungsdichte	47
3.8 Textur und Karbonatgehalt	50
3.9 pH-Wert und Nährstoffgehalte	53
3.10 Organische Substanz	55
3.11 Fruchtfolge und Befallsgrad	59
3.12 Dünnschliffe	60
3.13 Diskriminanzanalyse	62
4 Diskussion	65
4.1 Untersuchungskonzept	65
4.2 Statistische Auswertung und Diskriminanzanalyse	66
4.3 Bodenfeuchte und Staunässe	69
4.4 Temperatureinfluss	75
4.5 Interpretation des Redoxpotentials	77
4.6 Lagerungsdichte, Textur, Karbonatgehalt, pH-Wert, Nährstoffe	83
4.7 Einfluss der organischen Bodensubstanz	87
4.8 Abschließende Diskussion	91
5 Zusammenfassung	99
6 Summary	100
7 Literatur	101
8 Anhang	112
8.1 Legende der Konzeptbodenkarte 1:25.000	112
8.2 Bodentypen	113
8.3 Bodensaugspannung	115
8.4 Bodentemperatur	117
8.5 Redoxpotential, Witterung, Klima	118
8.6 Textur und Karbonatgehalt	120
8.7 Organische Substanz	126

Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen

Tabellen

Tab. 1: Intensiv untersuchte Praxisschläge	15
Tab. 2: Zusätzlich untersuchte Praxisschläge NN2 bis NN12	16
Tab. 3: Messperioden der 20 Pärchenvergleiche mit kontinuierlichen Messungen 2002 und 2003	18
Tab. 4: Unabhängige Variablen der Diskriminanzanalyse	28
Tab. 5: Lufttemperatur und Bodentemperatur in 20 cm Tiefe 2002 und 2003: Jahreswerte, Werte von Februar bis September, Werte im Mai	29
Tab. 6: Messflächen, Krankheitsentwicklung und Art der Messungen	34
Tab. 7: Bodensaugspannung in 15 cm, 35 cm und 55 cm Tiefe bei "Befall", "Gesund" und "Stillstand" 2002 und 2003	37
Tab. 8: Bodensaugspannung in 15 cm und 35 cm Tiefe bei "Befall" und "Gesund" der Pärchenvergleiche AP4I, JW6II, JF2I und HM6I 2003	39
Tab. 9: Durchschnittswerte der Bodentemperatur 2002 in 5 cm, 10 cm, 15 cm und 25 cm Tiefe; alle Messflächen	40
Tab. 10: Redoxpotential (E_7): Mittelwerte aller Messflächen	45
Tab. 11: Lagerungsdichte in drei Tiefenstufen bei "Befall" und "Gesund" 2002	48
Tab. 12: Lagerungsdichte in vier Tiefenstufen bei "Befall" und "Gesund" 2003	48
Tab. 13: Textur bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003	51
Tab. 14: Textur bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003; Oberböden der Lößstandorte	52
Tab. 15: Kalkgehalte bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003	53
Tab. 16: pH-Wert, Phosphor- und Kaliumgehalt bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003	54
Tab. 17: C_{org-} , N_T -Gehalte und C/N-Verhältnis bei "Befall" und "Gesund", 2002 und 2003 <i>zusammen</i> betrachtet	57
Tab. 18: C_{org-} , N_T -Gehalte und C/N-Verhältnis in 0 – 30 cm Tiefe bei "Befall" und "Gesund", 2002 und 2003 <i>getrennt</i> betrachtet	58
Tab. 19: Einfluss der Schläge LH3 und JW6 auf C_{org-} , N_T -Gehalt und C/N-Verhältnis bei "Befall" und "Gesund" in 0 – 30 cm Tiefe 2002 und 2003	59
Tab. 20: Fruchtfolgen und Krankheitsentwicklung von allen Messflächen mit kontinuierlichen Messungen 2002 und 2003	59
Tab. 21: Dünnschliffauswertung	60
Tab. 22: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse	63
Tab. 23: Diskriminanzanalyse: Einflussfaktoren auf "Befall" und "Gesund"	64

Tab. 24: Einflussfaktoren auf die Bodensaugspannung	73
Tab. 25: Legende der Konzeptbodenkarte 1:25.000	112
Tab. 26: Bodentypen in den Messflächen 2002 und 2003	113
Tab. 27: Namen und Abkürzungen der Bodentypen	114
Tab. 28: Bodensaugspannung bei "Befall" und "Gesund" in 15 cm, 35 cm und 55 cm Tiefe 2002	115
Tab. 29: Bodensaugspannung 2003, Einzelmesswerte	116
Tab. 30: Durchschnittswerte der Bodentemperatur pro Messfläche 2003	117
Tab. 31: Redoxpotential (E ₇), Einzelmesswerte	118
Tab. 32: Definition des Cfb-Klimas nach KÖPPEN u. GEIGER (1961)	119
Tab. 33: Textur bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003, Einzelmesswerte	120
Tab. 34: Karbonat-C-Gehalte bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003, Einzelmesswerte	124
Tab. 35: C _{org} ⁻ , N _t -Gehalt und C/N-Verhältnis bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003, Einzelmesswerte	126

Abbildungen

Abb. 1: Rüben mit Später Rübenfäule	5
Abb. 2: Befallsnester mit Später Rübenfäule	6
Abb. 3: Untersuchungsgebiet Plattling	10
Abb. 4: Bodentypen im Untersuchungsgebiet Plattling	12
Abb. 5: Witterungsverlauf Februar bis September; Tageswerte von Niederschlag, Lufttemperatur und Bodentemperatur in 20 cm Tiefe	13
Abb. 6: Witterungsverlauf und Zeitpunkt der Erstinfektion mit Später Rübenfäule 2002 und 2003	29
Abb. 7: Luftbilder der am stärksten geschädigten Schläge 2002 und 2003	31
Abb. 8: Luftbilder zweier durchschnittlich geschädigter Schläge 2002	32
Abb. 9: Bodensaugspannung in 35 cm Tiefe bei "Befall" und "Gesund" 2002	37
Abb. 10: Bodensaugspannung in 35 cm Tiefe bei "Befall" und "Gesund" der Pärchenvergleiche AP4I, JW6II, JF2I und HM6I 2003	38
Abb. 11: Bodentemperatur in 15 cm Tiefe 2003; alle 27 Messflächen; "Befall", "Stillstand" und "Gesund"	41
Abb. 12: Tagesgang der Bodentemperatur in 5 cm, 15 cm und 25 cm Tiefe in Pärchenvergleich JF1I vom 19.08. – 31.08.2002	42

Abb. 13: Bodentemperatur in 15 cm Tiefe 2003, gemessen an 49 Einzelthermometern; Vergleich mit Krankheits- und Bestandesbild	43
Abb. 14: Redoxpotential in 5 cm, 10 cm, 20 cm und 30 cm Tiefe bei "Befall", "Gesund" und "Stillstand" 2003	46
Abb. 15: Lagerungsdichte in fünf Tiefenstufen bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003	47
Abb. 16: Lagerungsdichte der vier "echten" Pärchenvergleiche 2003 in vier Tiefenstufen	49
Abb. 17: Textur bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003	50
Abb. 18: pH-Wert, Phosphor- und Kaliumgehalt bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003	54
Abb. 19: C _{org} -, N _t -Gehalte und C/N-Verhältnisse bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003	56
Abb. 20: Dünnschlifffotos: <i>Rhizoctonia solani</i> in Pflanzenresten lebend	61
Abb. 21: Dünnschlifffotos: Keimung von <i>Rhizoctonia solani</i> aus Pflanzenresten heraus und Wachstum in Poren durch den Boden hindurch	61
Abb. 22: Dünnschlifffotos: Wachstum von <i>Rhizoctonia solani</i> aus dem Boden in die Zuckerrübe	61
Abb. 23: Bodensaugspannung in 35 cm Tiefe bei "Befall" und "Gesund", getrennt in Lößstandorte und Auenstandorte 2003	115
Abb. 24: Abb. 24: Bodentemperatur in 15 cm Tiefe 2003 getrennt in Lößstandorte und Auenstandorte, gemessen an 49 Einzelthermometern; Vergleich mit Krankheitsbild	117
Abb. 25: Verlauf von Niederschlagsmenge, Bodensaugspannung, Redoxpotential, Bodentemperatur und Lufttemperatur vom 21.05. – 03.10.2003	119

Abkürzungsverzeichnis

∅ = Mittelwert

AG = Anastomosegruppe

C_{carb} = Karbonatischer Kohlenstoff [mg g⁻¹]

C_{org} = Organischer Kohlenstoff [mg g⁻¹]

C_t = Gesamt-Kohlenstoff

CO₂ = Kohlendioxid

d_B = Lagerungsdichte [g cm⁻³]

Eh = Redoxpotential [mV]

E₇ = Redoxpotential bei pH 7,0 [mV]

Fa. = Firma

GOF = Geländeoberfläche

ISG = Intraspecific group

K₂O = Oxidisches Kalium [mg 100 g⁻¹]

KM = Körnermais

müNN = Meter über Normal-Null

NH₄⁺ = Ammonium

N_{min} = Mineralischer Stickstoff

NO₃⁻ = Nitrat

N_t = Gesamt-Stickstoff [mg g⁻¹]

O₂ = Sauerstoff

P₂O₅ = Oxidischer Phosphor [mg 100 g⁻¹]

R. solani = *Rhizoctonia solani*

Std. abw. = Standardabweichung

UG = Untersuchungsgebiet

WW = Winterweizen

WRB = World Reference Base (FAO et al. 1998)

ZR = Zuckerrübe(n)

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Im Zuckerrübenanbaugebiet bei Plattling in Niederbayern tritt seit 1990 die Späte Rübenfäule, verursacht vom Erreger *Rhizoctonia solani* Kühn, immer stärker in Erscheinung. Neben *Cercospora* ist dies die aktuell wichtigste Krankheit im Zuckerrübenanbau (BÜRCKY 2001; HYAKUMACHI et al. 1990). Unbekannt sind bislang die Ursachen des Auftretens der Krankheit (MÄRLÄNDER u. BÜTTNER 2001) und der Ausbreitung in Deutschland in jüngster Zeit (ZENS et al. 2002). Die Späte Rübenfäule führt in den USA zu Ertragseinbußen von bis 50% auf einzelnen Schlägen (KIEWNICK et al. 2001), auf Teilflächen sogar zum Totalausfall.

Die Lebensbedingungen des im Boden lebenden Pathogens und seine Ansprüche an die Umgebung unter Praxisbedingungen sind bislang nur wenig erforscht und die Aussagen aus bisherigen Arbeiten sind oft widersprüchlich (BAKER u. MARTINSON et al. 1970; HYAKUMACHI et al. 1990; ZENS et al. 2002).

Bisherige phytopathologische, pflanzenbauliche und bodenbiologische Forschungen haben insgesamt weder zu befriedigenden Erklärungen der Krankheitsursachen noch zu wirksamen bzw. praktikablen Gegenmaßnahmen geführt. Als mögliche Gegenmaßnahmen werden pflanzenbauliche Mittel, die Wirkung von Antagonisten, Fruchtfolgegestaltung, Fungizide und tolerante Sorten genannt (Überblick bei BOOGERT et al. 1990; SCHOLTE 1987; HYAKUMACHI et al. 1990; RUPPEL 1991; RIECKMANN u. STECK 1995; MACNISH 1996; WOLF u. VERREET 1999; KIEWNICK et al. 2001; MÄRLÄNDER u. BÜTTNER 2001; ZENS et al. 2002; BÜTTNER et al. 2002; FÜHRER ITHURRART et al. 2004). Speziell zur Wirkung der Bodenbearbeitung schreibt MACNISH (1985b).

Meist werden Gewächshausversuche sowie Feldversuche mit kontrollierter, künstlicher Inokulation durchgeführt. Die künstliche Inokulation dient der Gewährleistung des Ausbruchs der Krankheit. Die Übertragbarkeit von Erkenntnissen aus Gewächshausversuchen und Feldversuchen auf Praxisschläge ist stark eingeschränkt (STOTZKY 1986; SCHÜLER et al. 1989; BENKER u. BÜTTNER 2000). Gleiches gilt für Versuche mit Antagonisten (BAKER u. MARTINSON 1970; MORDUE 1974; FÜHRER ITHURRART 2003).

1.2 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist die Überprüfung folgender Hypothese: wo die Späte Rübenfäule, ausgelöst von *R. solani* Kühn AG 2-2 IIIB (AG = Anastomosegruppe) auftritt, sollten die im folgenden

genannten bodenphysikalischen und bodenchemischen Faktoren in einer bestimmten, die Krankheit begünstigenden Konstellation vorliegen. Die Böden in befallenen Stellen sollten feuchter, wärmer, dichter gelagert, tonreicher sein sowie höhere Gehalte an organischem Kohlenstoff (C_{org}) aufweisen als die Böden in nicht befallenen Stellen. Die Versorgung mit Makronährstoffen wie Phosphor und Kalium, aber auch der pH-Wert und der Kalkgehalt, sollten sich in Befallsstellen und Nicht-Befallsstellen unterscheiden. Befallsstellen sollten bevorzugt in Senken zu finden sein und sich in Reihenrichtung orientieren. Wahrscheinlich finden sich auch Unterschiede im Redoxpotential (Eh), da dieses vor allem vom Vorhandensein organischer Substanz im Boden als Lieferant freier Elektronen bestimmt wird (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 2002). Daneben ist das Eh auch vom pH-Wert, Wasserangebot und von der Lagerungsdichte abhängig und zeigt Luftmangel bzw. Sauerstoffmangel an. Da Staunässe, wie auch Grundwassereinfluss, sich in einer charakteristischen Verteilung von Rostflecken und Bleichzonen widerspiegelt, sollten Böden in Befallsstellen auch diesbezügliche Charakteristika aufweisen.

Diese Faktoren können, alleine oder in Kombination, zu einer Schwächung der Zuckerrüben (ZR) führen, wodurch die ZR für die Späte Rübenfäule anfällig werden. Weiterhin können diese Faktoren bei für *R. solani* günstiger Ausprägung zur Erhöhung der Pathogenität des Erregers führen.

Der ungünstige Einfluss der genannten Faktoren auf die ZR kann bei einem Teil dieser Parameter durch die Intensivierung und Mechanisierung der landwirtschaftlichen Produktion, durch die der Boden zunehmend beansprucht wird, verstärkt werden. In der Fruchtfolge im niederbayerischen Zuckerrübenanbaugbiet bei Plattling, Landkreis Deggendorf, kommt es zu einer Zunahme von Mais und ZR zulasten von Wintergetreide. Da das C/N-Verhältnis und die Abbaugeschwindigkeit von Pflanzenresten im Boden je nach Fruchtart verschieden sein können, können sich Menge und Art der organischen Substanz im Boden verändern. Die Intensivierung kann auch zu einer Bodenschadverdichtung, v.a. im Vorgewende, führen, da zunehmend schwere Maschinen verwendet werden, die auch bei zu nasser Witterung zum Einsatz kommen. Eine Klimaerwärmung könnte die Ausbreitung der Krankheit fördern, wenn der Erreger von hohen Bodentemperaturen begünstigt wird.

Da die Krankheit bevorzugt nesterweise auftritt, müssten sich die Befallsstellen von unmittelbar benachbarten, nicht befallenen Stellen in den oben genannten Eigenschaften unterscheiden. Um die natürlichen Lebensbedingungen von *R. solani* zu erfassen, sollten Praxisschläge untersucht werden. Die Unterschiede bei oben genannten bodenphysikalischen und bodenchemischen Faktoren sollten durch Messungen nach Ausbruch der Krankheit zu erfassen sein.

1.3 Literaturübersicht

1.3.1 Biologie von *Rhizoctonia solani* Kühn

R. solani Kühn ist ein global verbreiteter bodenbürtiger Pilz, der häufig Krankheiten an verschiedensten Kulturpflanzen verursacht (BAKER 1970). Schäden in ZR verursacht er in Europa, Japan und den USA (HYAKUMACHI et al. 1990; RIECKMANN u. STECK 1995; KIEWNICK et al. 2001; ZENS et al. 2002). *R. solani* lebt meist parasitisch und z.T. saprophytisch im Boden (SNEH et al. 1991; FÜHRER ITHURRART 2003; BOOGERT et al. 1990), und bildet selten eine Mykorrhiza mit Pflanzen (SNEH et al. 1996; BANNIZA u. RUTHERFORD 2001).

Die Gattung *Rhizoctonia* ist seit Beginn des 19. Jahrhunderts (DECANDOLLE 1815), *R. solani* ist seit Mitte des 19. Jahrhunderts (KÜHN 1858) bei Kartoffeln bekannt. In ZR wird *R. solani* als „*Rhizoctonia betae* Kühn“ zuerst von EIDAM (1887; in MÜLLER 1924) beschrieben. Schon 1970 waren über 4.000 Literaturstellen zu *R. solani* vorhanden (MENZIES 1970). Die vegetative Form (Mycelform) von *R. solani* wird als *R. solani* Kühn var. *betae* (RIECKMANN u. STECK 1995) bezeichnet, die Fruchtkörper (teleomorphe Form) von *R. solani* als *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk.

Bei diesem Organismus reicht die Nennung der Spezies "*R. solani*" nicht aus, um ihn zu charakterisieren, da er sich in eine Vielzahl von Rassen, Stämmen und Untergruppen aufteilen lässt (SNEH et al. 1991), die sich ökologisch verschieden verhalten und auf bestimmte Kulturpflanzen spezialisiert sind (ZENS et al. 2002). Dazu gehören Chenopodiaceen, z.B. ZR, Gramineen, z.B. Mais, und Fabaceen (CAPPELLI et al. 1999). Selten kommt es bei sehr günstigen Lebensbedingungen zur Bildung von Fruchtkörpern (WHITNEY u. DUFFUS 1986; RIECKMANN u. STECK 1995), wobei die genauen Bedingungen hierfür aber noch nicht bekannt sind (ZENS et al. 2002).

R. solani gehört zu den mehrkernigen Arten der Gattung *Rhizoctonia*. In den Zellen finden sich Zellkerne mit verschiedenem Erbgut (SNEH et al. 1991; MCCABE et al. 1999a; FÜHRER ITHURRART 2003).

Die Untergruppen von *R. solani* können auf drei verschiedenen Wegen bestimmt werden: mittels ELISA-Test (ELISA = enzyme-linked immunosorbent assay), mittels PCR-Bandenmustern (PCR = polymerase chain reaction) und über den Anastomosestest (= Hyphenfusionstest) (MÄRLÄNDER u. BÜTTNER 2001). Die Taxonomie und Einteilung von *R. solani* ist sehr kompliziert und bislang nicht eindeutig. *R. solani* wird vielmehr als Komplex von Arten angesehen (Übersicht bei CARLING 1996; MCCABE et al. 1999a; ZENS et al. 2002).

Anastomose beschreibt die Art der Hyphenfusion von Isolaten von *R. solani* und damit auch den Verwandtschaftsgrad zwischen zwei Isolaten (FÜHRER ITHURRART 2003). Nach der Art der möglichen Hyphenkontakte erfolgt eine Unterteilung von *R. solani* in

Anastomosegruppen, auch als "Anastomosetypen" bezeichnet. Diese Art der Einteilung ist die gängigste (VILGALYS u. CUBETA 1994), wenngleich sie heute als unzureichend angesehen wird (CARLING 1996). Je nach Art des Verhaltens der Pilzhyphen wird auf die Verwandtschaft bzw. Differenzierung geschlossen. Es gibt dabei vier verschiedene Reaktionen (CARLING 1996, MCCABE et al. 1999a, FÜHRER ITHURRART 2003): **i.)** C0: keine Reaktion, die Pilzhyphen nehmen sich gegenseitig nicht wahr; **ii.)** C1: Kontakt und Festwachsen der beiden Zellen der Hyphen, die sich berühren, ohne dass eine weitere Reaktion stattfindet, die Zellwände werden nicht durchbrochen; **iii.)** C2: Kontakt und Zusammenwachsen der beiden Zellen, die sich direkt berühren, Zellwandfusion von ca. 3 - 6 benachbarten Zellen der Pilzhyphen, keine Fusion des Zytoplasmas und keine Zelllyse, nachfolgend Zelltod der an der Fusion beteiligten Zellen; **iv.)** C3: perfekte Fusion, Kontakt und Zusammenwachsen der Zellen, Zellwandfusion benachbarter Zellen der Pilzhyphen ohne Zelltod, Austausch von Zellkernen von einem Individuum zum anderen, Fusion des Zytoplasmas mit Zelllyse.

Neben dem Einteilungsprinzip in Anastomosegruppen gibt es auch die feineren Unterteilungen in "intraspecific groups" (ISG) (OGOSHI 1987; VILGALYS u. CUBETA 1994) und in "zymogram groups" (MACNISH et al. 1994; CUBETA u. VILGALYS 1997), mit denen sich die AG weiter unterteilen lassen. Weitergehende Details zur Unterteilung von *R. solani* finden sich in HYAKUMACHI u. UI (1987), CARLING (1996) und in ZENS et al. (2002).

Aktuell sind 14 AG mit zusammen 31 Untergruppen von *R. solani* bekannt (FÜHRER ITHURRART 2003). Dabei wird die Späte Rübenfäule in Europa v.a. vom Anastomosetyp 2-2 IIIB ausgelöst (FÜHRER ITHURRART et al. 2004). Dieser tritt auf allen Kontinenten auf (ZENS et al. 2002), auf denen ZR angebaut werden, und er befällt neben einigen anderen Pflanzenarten auch Reis und Mais (SNEH et al. 1991; FÜHRER ITHURRART 2003; FÜHRER ITHURRART et al. 2004). *R. solani* AG 2-2 IIIB ist streng genommen keine AG, sondern eine ISG innerhalb der AG 2-2 bzw. unterhalb der Ebene der AG 2-2 (OGOSHI 1987). ZR werden außer von der AG 2-2 IIIB auch von der AG 1, AG 2-1, AG 2-2 IV, AG 4 und AG 5 befallen, die andere Krankheiten verursachen (SNEH et al. 1991). *R. solani* AG 2-2 IV verursacht den Blattbrand (leaf blight) bei ZR (SNEH et al. 1991) und steht neben *R. solani* AG 2-2 IIIB auch im Verdacht, die Späte Rübenfäule zu verursachen (OGOSHI 1975, 1987). Nach OGOSHI (1987) ist nur *R. solani* AG 2-2 IV Verursacher der Rübenfäule. Die Abgrenzung zwischen *R. solani* AG 2-2 IIIB und AG 2-2 IV ist schwierig (OGOSHI 1975, 1987; ZENS et al. 2002).

Leben, Wachstum und Ausbreitung von *R. solani* werden u.a. vom Inokulumpotenzial, bestehend aus Mycel und Sklerotien, vom Wachstum der Hyphen (Mycel), inklusive Keimung und Hyphenverzweigung, und von der Fusion von Hyphen (Anastomose) bestimmt (HYAKUMACHI u. UI 1987; YOKOYAMA u. OGOSHI 1988; HYAKUMACHI et al. 1990). Asexuelle Sporenbildung kommt bei *R. solani* nicht vor (WHITNEY u. DUFFUS 1986; ADAMS 1988). Im

Labor beobachtete Anastomosen zeigen, dass diese einem Reiz folgen, der lokal eng auf einen Bereich von 35 μm um die Hyphen (-spitze) herum begrenzt ist. "Anastomosewillige" Hyphen erkennen sich bis auf eine Distanz von 100 μm (YOKOYAMA u. OGOSHI 1986). Das Wachstum der Hyphen kann bis zu 2 $\mu\text{m min}^{-1}$ erreichen (MCCABE et al. 1999b). Innerhalb von 14 Tagen können die Hyphen über 16 cm weit im Boden wachsen (MÜLLER 1924), nach HYAKUMACHI u. UI (1987) bis zu 2 cm Tag^{-1} . Die Hyphen von *R. solani* weisen Durchmesser von 5 μm – 14 μm , meist 6 – 10 μm auf (PARMETER u. WHITNEY 1970).

1.3.2 Auftreten der Späten Rübenfäule

Die Späte Rübenfäule war bei ZR in Deutschland bis vor ca. 15 Jahren selten und führte nicht zu ökonomisch relevanten Schäden. Einzelne "schwarze Rüben" traten immer schon auf, von größeren Befallsstellen wurde aber erstmals 1993 berichtet (ZENS et al. 2002). Noch bis in die 70-er Jahre des vergangenen Jahrhunderts war die Späte Rübenfäule kein untersuchenswertes Problem (GARRETT 1956; LÜDECKE u. WINNER 1966; TOUSSOUN et al. 1970; BRUEHL 1975).

Der Pilz dringt vor allem am Übergangsbereich Wurzel-Wurzelhals vom Boden her in die Rübe ein, breitet sich zur Wurzel und den Blättern aus, und führt zu einer trockenen, schwarzen bis braunen Fäule des Rübenkörpers. Die Blattstiele zeigen Nekrosen, die Blätter werden chlorotisch, welken und sterben von außen nach innen ab und liegen dann kranzförmig auf dem Boden (HERR 1996; ZENS et al. 2002).



Abb. 1: Rüben mit Später Rübenfäule; links: tiefreichende Faulstellen; Foto vom 29.07.2002; rechts: verschieden tief eingedrungene Fäule; Foto vom 24.07.2002

Nach Befall einer Rübe verbreitet sich die Infektion auf der Oberfläche des Rübenkörpers und dringt gleichzeitig tief in die Rübe ein (Abb. 1), bis die Rübe nur noch als skelettierte Mumie übrig bleibt. Daneben breitet sich die Krankheit von Rübe zu Rübe immer weiter in

die Fläche aus, so dass Befallsnester (Abb. 2) entstehen, die meist mit einer scharfen Grenze an den gesunden Bestand anschließen (MACNISH 1996).



Abb. 2: Befallsnester mit Später Rübentäule; links: auf Schlag NN1 (nicht untersucht) am 28.08.2002; rechts: auf Schlag HM10 am 09.07.2003

Innerhalb Deutschlands tritt die Späte Rübentäule in fast allen wichtigen Anbaugebieten auf, so in Dithmarschen in Schleswig-Holstein, im Rheinland, in Südbaden in Baden-Württemberg und in Niederbayern (MÄRLÄNDER u. BÜTTNER 2001).

Es wird postuliert, dass *R. solani* weltweit vorhanden ist (KIEWNICK et al. 2001, MÄRLÄNDER u. BÜTTNER 2001) und auch in Niederbayern endemisch vorkommt (WOLF u. VERREET 1999). Die Infektion findet wahrscheinlich schon Ende Mai statt und die Krankheit breitet sich danach bei günstigen Bedingungen für eine Epidemie kontinuierlich bis zur Ernte aus (WOLF u. VERREET 1999).

Nach der Ernte der ZR verbleibt der Pilz im Boden und überdauert bis zum Folgejahr als Mycel (Hyphen) oder als Dauerkörper (Sklerotien) (HYAKUMACHI et al. 1990). *R. solani* AG 2-2 überlebt mindestens ein Jahr (RUPPEL 1991), *R. solani* AG 2-2 bei Sojabohnen auch zwei Jahre (LIU u. SINCLAIR 1991) im Boden. Insbesondere den 0,5 bis 2 mm großen Sklerotien wird eine Lebensdauer von maximal sechs bis zehn Jahren zugeschrieben (BAKER u. MARTINSON 1970; RIECKMANN u. STECK 1995). Daher kommt es im Laufe der Jahre, sofern immer wieder Wirtspflanzen zum Anbau gelangen, zu einer Vergrößerung des

Inokulumpotenzials und zu einer Verstärkung der Anfälligkeit der ZR gegen die Krankheit auf diesen Standorten (BAKER u. MARTINSON 1970; MACNISH 1996; SUMNER u. BELL 1986, in ZENS et al. 2002). Vor allem die keimfähigen Sklerotien stellen nach HYAKUMACHI u. UI (1987) und HYAKUMACHI et al. (1990) die Hauptquelle des Inokulumpotenzials dar, während BOOSALIS u. SCHAAREN (1959) dies noch den infizierten Pflanzenresten zusprachen. Inwieweit das Wiederausbringen von Rübenerde auf Praxisschlägen das Inokulumpotenzial erhöht, ist bislang nicht untersucht.

Es ist bislang unmöglich, den Ort und Zeitpunkt des Ausbruchs und die Ausbreitung der Krankheit unter natürlichen Bedingungen vorherzusagen (HERR 1996; MÄRLÄNDER u. BÜTTNER 2001; ZENS et al. 2002). Befallsnester (= "Befallsstellen") sind nicht ortstabil (MACNISH 1996) und in stark mit Später Rübenfäule befallenen Zonen können beim nächsten ZR-Anbau die Pflanzen völlig gesund bleiben (FÜHRER ITHURRART 2003). Befallsnester in ZR lassen sich im Folgejahr unter Winterweizen bei Inokulumpotenzialmessungen nicht mehr nachweisen (ZENS 2000). Eine Festlegung von Messflächen in befallenen Stellen in Praxisschlägen vor Ausbruch der Krankheit ist nicht möglich (WOLF u. VERREET 1999).

1.3.3 Einfluss von Bodenfaktoren auf *Rhizoctonia solani*

Eine Reihe von Bodenfaktoren werden als begünstigend für den Ausbruch der Späten Rübenfäule erachtet.

Als förderlich für das Leben und Wachstum von *R. solani* werden eine hohe Bodenfeuchte, vor allem bei Bewässerung, nach Starkregen und in Senkenlagen angesehen (WHITNEY u. DUFFUS 1986; KIEWNICK et al. 2001; FÜHRER ITHURRART et al. 2004). ZR sind gegen Staunässe empfindlich (HEYLAND 1996; WOLF u. VERREET 1999).

Hohe Temperaturen, insbesondere von 25 – 28 °C, begünstigen den Erreger (WOLF u. VERREET 1999; ZENS et al. 2002; FÜHRER ITHURRART et al. 2004). Das Temperaturoptimum soll nach WHITNEY u. DUFFUS (1986) bis 33 °C reichen, wobei andererseits aber schon ab 15 °C eine Infektion stattfinden kann. Das Wachstum von *R. solani* ist über einen noch größeren Temperaturbereich von 0 – 30 °C möglich (BOOGERT et al. 1990). Eine rasche Bodenerwärmung im Frühjahr jedoch fördert die Widerstandsfähigkeit der ZR gegenüber Pilzen (HEYLAND 1996).

Auflaufprobleme oder Luftmangel (= anaerobe Bedingungen) können die ZR schwächen (LÜDECKE u. WINNER 1966), mechanische Beschädigungen oder andere Krankheiten wie z.B. Insektenschäden, andere Bodenpilze (z.B. *Fusarium spec.*) oder das Rübenzystenälchen *Heterodera spec.* (MORDUE 1974) können als Eintrittspforte für *R. solani* dienen. Bodenerosion und -akkumulation kann zu Verschlammung der Bodenoberfläche

oder zur Sedimentation von Bodenmaterial in Senkenlagen führen, wodurch dichte Krusten entstehen, die von den ZR beim Keimen eventuell nicht durchstoßen werden können (HEYLAND 1996; BERGLUND et al. 2002). Dadurch können die ZR geschwächt werden und für die Späte Rübenfäule anfällig werden.

Der Bodenverdichtung wird eine große Bedeutung für das Auftreten der Späten Rübenfäule beigemessen. Sie tritt vor allem im Vorgewende auf (HANUS u. HORN 1992). Bodenverdichtung schwächt die ZR (HEYLAND 1996) und fördert die Infektion mit dem Pilz. Dadurch lässt sich das Auftreten der Krankheit v.a. im Vorgewende und nach Jahren mit zu nassen Bedingungen bei der Ernte der Vorfrucht, z.B. bei Maisvorfrucht, erklären (WHITNEY u. DUFFUS 1986; RIECKMANN u. STECK 1995; WOLF u. VERREET 1999; ZENS et al. 2002; FÜHRER ITHURRART et al. 2004). Als Indikator für die Bodenverdichtung wird i.d.R. die Lagerungsdichte angesehen (ABU-HAMDEH 2003).

Tonreiche Böden sind für die Späte Rübenfäule besonders anfällig (HERR u. ROBERTS 1980; WHITNEY u. DUFFUS 1986; HEYLAND 1996).

Befallsnester haben meist eine längliche Form in Bearbeitungsrichtung (MACNISH 1985a; WOLF u. VERREET 1999; ZENS 2000). Dies kann durch Verschleppung des Erregers bei der Bodenbearbeitung verursacht sein (MACNISH 1985a). Fahrspuren sind bevorzugte Krankheitsherde bzw. fördern die Ausbreitung der Krankheit (ZENS et al. 2002). Bodenbearbeitungsversuche in Australien zeigten einen deutlichen Rückgang von *R. solani* bei Getreide bei Bodenbearbeitung gegenüber keiner Bodenbearbeitung (MACNISH 1985b) bzw. gegenüber Direktsaat (ROGET 1995).

Die genauen Bedingungen des Reizes, der bei *R. solani* die Infektion der ZR und das Wachstum des Erregers steuert, sind nicht bekannt. Unklar ist auch, welche Rolle die Nährstoffe, der pH-Wert und der Kalkgehalt bei diesem Prozess spielen (BAKER u. MARTINSON 1970; STOTZKY 1986; HÖPER et al. 1995; STEINHEBER 2001). Düngungsversuche mit Stickstoff (N) bei Getreide in Australien zeigen eine deutliche Abnahme von *R. solani* (MACNISH 1985b) gegenüber Nulldüngung, während nach HUBER (1989) N-Düngung *R. solani* fördern kann. Eine gute Versorgung mit Nitrat-N (NO_3^- -N), Phosphor (P), Kalzium (Ca), Mangan (Mn) u.a. Mikronährstoffen fördert *R. solani* (DOMSCH u. GAMS 1970). Mangel an N, Kohlenstoff (C), P, Kalium (K) u.a. Elementen im Nährmedium verringert bei *R. solani* AG 1 IA im Laborversuch die Menge des gebildeten Mycel, erhöht aber die Hyphenfusionshäufigkeit (YOKOYAMA u. OGOSHI 1988). Einen Einfluss der Gehalte und der Düngung von N, P, K, Ca und Magnesium (Mg) auf *R. solani* nennen auch BAKER u. MARTINSON (1970). SUMNER (1996) erwähnt einen Einfluss von Phosphat auf *R. solani*.

Der Anastomosetyp *R. solani* AG 2-2 IIIB kann außer der ZR auch andere Wirtspflanzen befallen, unter anderem den Mais. Daher ist der Befall mit Später Rübenfäule nach Maisvorfrucht besonders hoch (ZENS 2000). Dementsprechend sind Regionen mit

hohem Anteil von Mais in der Fruchtfolge stark betroffen (ZENS et al. 2002; FÜHRER ITHURRART et al. 2004). Der Anbau von zwei Wirtspflanzen für *R. solani* AG 2-2 IIIB (Mais, ZR) in einer 3-jährigen Fruchtfolge könnte zu einer Anreicherung des Inokulumpotenzials in Befallsgebieten führen. Maisanbau führt darüber hinaus zur Bildung von Strohmatte, da große Mengen organischen Materials durch das Pflügen tief in den Ap-Horizont eingearbeitet werden, wo sie nur langsam verrotten. Diese Strohmatte könnten als Substrat für *R. solani* dienen. Somit kann der Gehalt und die Art der organischen Substanz Einfluss auf die Krankheit haben (WHITNEY u. DUFFUS 1986).

Neben Faktoren, die die Krankheit begünstigen, gibt es auch Faktoren, die einem Krankheitsausbruch entgegenwirken. Dazu gehört die Suppressivität des Bodens.

Unter Suppressivität wird die Fähigkeit eines Bodens zum Unterdrücken des Ausbruchs einer Krankheit verstanden. Neben Antagonisten (WISEMAN et al. 1996; FÜHRER ITHURRART 2003) beeinflussen auch andere Faktoren die Suppressivität eines Bodens. Solche Faktoren sind z.B. die Textur, insbesondere der Sandgehalt, die Tonmineralzusammensetzung, der C_{org} , Eisen- (Fe), Ca-, Mg-Gehalt (HÖPER et al. 1995) und der pH-Wert (OGOSHI 1987; HÖPER et al. 1995).

2 Standorte und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet

2.1.1 Lagebeschreibung

Das Untersuchungsgebiet (UG) liegt in Niederbayern (Deutschland) südöstlich von Deggendorf zwischen Plattling und Künzing in der Umgebung von Osterhofen (Abb. 3). Es reicht nach Gauß-Krüger-Koordinaten von $X = 4.564.093$ im Westen bis $X = 4.582.274$ im Osten und von $Y = 5.405.986$ im Norden bis $Y = 5.390.097$ im Süden. Im System geographischer Koordinaten (WGS 84-Datum) liegt das UG zwischen $Y = 48^\circ 47' 22''$ und $Y = 48^\circ 38' 41''$ nördlicher Breite und $X = 12^\circ 52' 10''$ und $X = 13^\circ 06' 50''$ östlicher Länge. Das UG ist ca. 150 km^2 groß und wird im Nordosten begrenzt vom Bayerischen Wald, im Süden vom Tertiärhügelland und im Westen von der Isar.

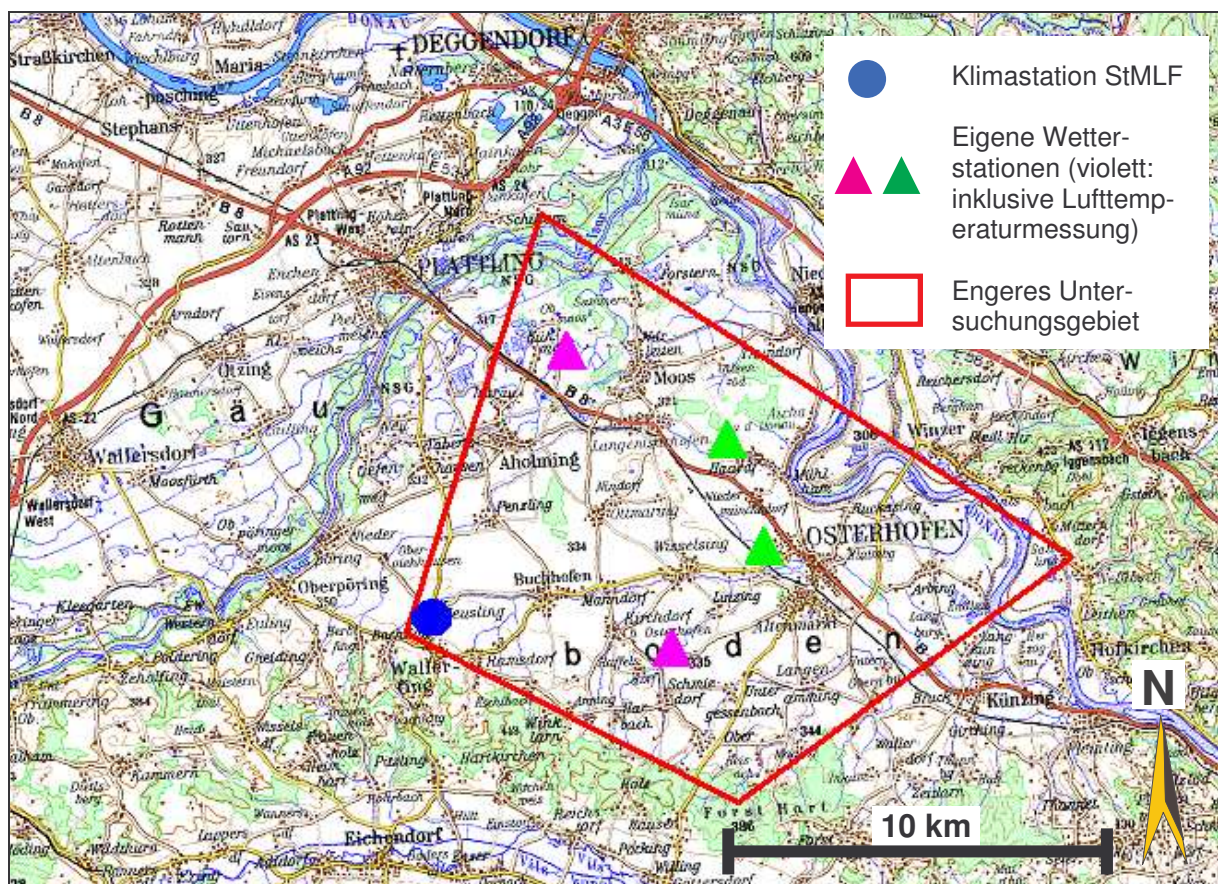


Abb. 3: Untersuchungsgebiet Plattling; Digitale Topographische Karte 1:200.000 (BAYERISCHES LANDESVERMESSUNGSAMT 2002); StMLF = Station Neusling des Agrarmeteorologischen Messnetzes Bayern (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 2005)

2.1.2 Geologie und Geomorphologie

Die geologische Grundlage der Landschaft im UG besteht aus Löß und Lößlehm auf Terrassen von Donau und Isar aus der Mindel-, Riß- und Würmkaltzeit des Pleistozän sowie aus jüngsten, holozänen Auensedimenten der Donau und der Isar (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1983, 1991). Das Flusssystem der Donau, der die Isar tributär ist, entwässert unter anderem das Alpenvorland und den Bayerischen Wald, was zu einer Akkumulation von Lehmen, Schluffen, Sanden und Kiesen in den Flusstälern führte.

In diesen Sedimentkörpern bildeten sich im Laufe des Pleistozän verschieden hoch über den heutigen Flüssen gelegene Terrassenniveaus. Durch die bis heute andauernde Hebung des süddeutschen Raumes schnitten sich die jüngeren Terrassen jeweils tiefer in die älteren Terrassen ein. Es kam zur Lößbildung während jeder der Kaltzeiten, so dass sich während einer Kaltzeit Löß auf den jeweils älteren Terrassen ablagerte. Somit nimmt mit zunehmender Entfernung von Donau und Isar das Alter der Terrassen, die Anzahl der Lößgenerationen, die gesamte Lößmächtigkeit und die Meereshöhe zu. Die Lößmächtigkeit schwankt zwischen 1 und 6 m (UNGER 1983). Die jüngsten Terrassen aus dem Holozän nahe der Donau und Isar sind nicht mehr lößbedeckt, da die Lößbildung mit Ende der letzten Kaltzeit (Würm) endete.

An der Donau beträgt die Meereshöhe in Nähe des UG 305 – 310 Meter über Normal-Null (müNN), die würmzeitlichen Terrassen liegen auf ca. 315 müNN, die rißzeitliche Terrasse bei ca. 330 – 340 müNN und die mindelzeitliche Terrasse bei ca. 350 – 360 müNN.

Auf den holozänen Terrassen finden sich oft anmoorige oder moorige Ablagerungen, die z.T. nur gering mächtig sind. Aufgrund des anastomosierenden Fließverhaltens (englisch: "braided river") von Donau und Isar entstanden starke Substratwechsel in der Tiefe (Schichtungen) und in der Fläche, so dass z.B. neben oder unter Lehmen unmittelbar Sande, Kiese, Schotter oder organische Ablagerungen angrenzen können.

Auf den Flächen der pleistozänen Terrassen führte die Lößsedimentation zu einer Einebnung des Reliefs und zu einer relativ einheitlichen Textur des landschafts- und bodenbildenden Materials. Solifluktion führte in nachfolgenden Kaltzeiten z.T. zur Verlagerung der älteren Lössse und zur Durchmischung mit Bodenmaterial. Daher haben ältere Lössse höhere Tongehalte als junge Lössse und sind als Lößlehme zu bezeichnen. Im Holozän tieften sich sanfte Täler in die pleistozänen Terrassen ein, deren Bäche das Wasser aus den Terrassen und aus dem Tertiärhügelland zur Donau transportieren.

In diesen Tälern kam es zur Kolluvienbildung. An Terrassenkanten finden sich ebenfalls Kolluvien, v.a. an der Kante der Rißzeitlichen Terrasse zur ältesten würmzeitlichen Terrasse, da diese Stufe mit ca. 15 m Höhenunterschied die höchste Stufe im UG darstellt. Andere Terrassenkanten sind z.T. nur 1 m hoch und in der Landschaft nur schwierig zu sehen.

2.1.3 Bodentypen und Bodenformen

Einen ersten Überblick über die zu erwartenden Bodentypen gibt die Konzeptbodenkarte 1:25.000 in Abb. 4 (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1994a, 1994b, 1996a, 1996b).

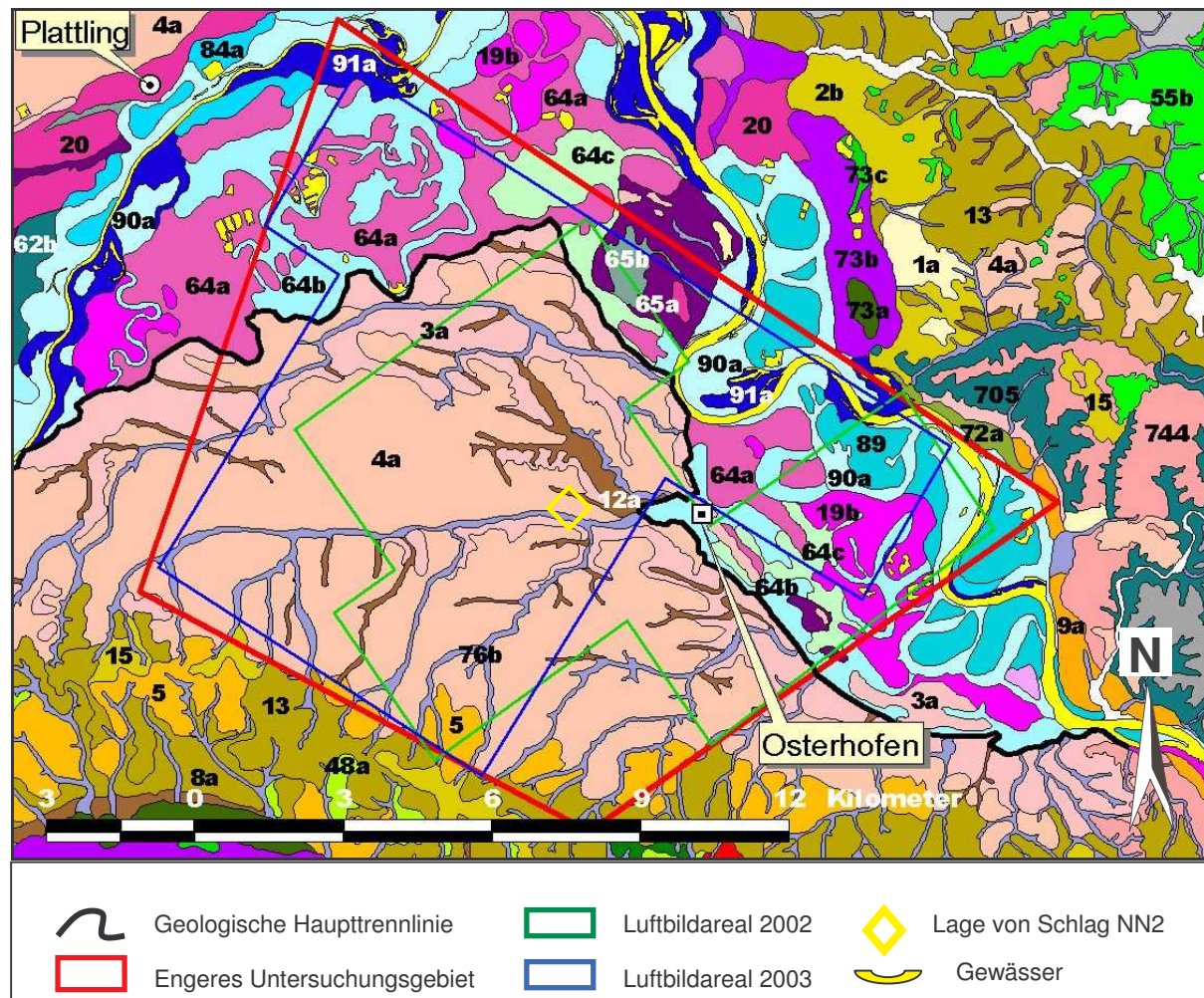


Abb. 4: Bodentypen im Untersuchungsgebiet Plattling; Konzeptbodenkarte 1:25.000; 1a, 2b, 3a, u.s.w.: siehe in Legende der KBK 25, Tab. 25 im Anhang Kap. 8.1

Auf den kaltzeitlichen Terrassen, die im folgenden als "Lößstandorte" bezeichnet werden, finden sich nach eigenen Erhebungen v.a. Parabraunerden aus Löß und z.T. Lößlehm (\approx Einheit 4a in Abb. 4). Braunerden sind selten. An exponierten und erodierten Lagen, z.B. Terrassenkanten, finden sich Löß-Pararendzinen (\approx 3a), in Senken auf den Terrassen Pseudogleye aus Löß und z.T. Lößlehm, an Hängen und im Oberlauf der Tälchen Kolluvisole (\approx 12a) sowie in den tieferen und größeren Tälern Gleye (\approx 76b) aus holozänen Auen-sedimenten. Nach World Reference Base WRB (FAO et al. 1998) entsprechen diese Böden Luvisols, Cambisols, Regosols, Planosols, cumuli-terric Anthrosols und Gleysols.

Im Bereich der holozänen Auen von Donau und Isar, die im folgenden als "Auenstandorte" bezeichnet werden, finden sich Oxigleye, Bleichgleye, Auengleye,

Moorgleye, Vega-Gleye ($\approx 62b - 65b$), Auenpararendzinen (= Kalkpaternien; $\approx 84a, 90a$) und Veges (≈ 89) aus z.T. kiesigen Sanden, Lehmen und Schluffen. Daneben finden sich vererdete und trockengelegte Niedermoore. Nach WRB sind dies Gleysols, Fluvisols und Histosols. Die Gleye wären typische Grünlandstandorte und konnten nur durch eine großräumige Grundwasserabsenkung in Ackernutzung genommen werden.

In Tab. 26 in Kap. 8.2 im Anhang findet sich die Angabe des vorgefundenen Bodentyps pro Messfläche.

2.1.4 Klima und Witterung

Das Klima im UG ist nach KÖPPEN u. GEIGER (1961) ein Cfb-Klima (siehe Tab. 32 im Anhang in Kap. 8.5) und gehört zu den warmgemäßigten Klimaten. TROLL u. PAFFEN (1964) bezeichnen es als subozeanisch. Nach LAUER u. FRANKENBERG (1986) liegt das UG an der Grenze von maritimem zu kontinentalem Klima. Der Bayerische Klimaatlas weist für das UG einen für Bayern relativ kontinentalen Akzent aus (BAYERISCHER KLIMAFORSCHUNGSVERBUND 1996). Die Niederschläge fallen ganzjährig und weisen ein leichtes Sommermaximum auf.

Im Mittel der Jahre 1990 – 2004 der Station Neusling des Agrarmeteorologischen Messnetzes Bayern (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 2005) fielen ganzjährig 726 mm Niederschlag bei $+8,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ Jahresmitteltemperatur in der Luft.

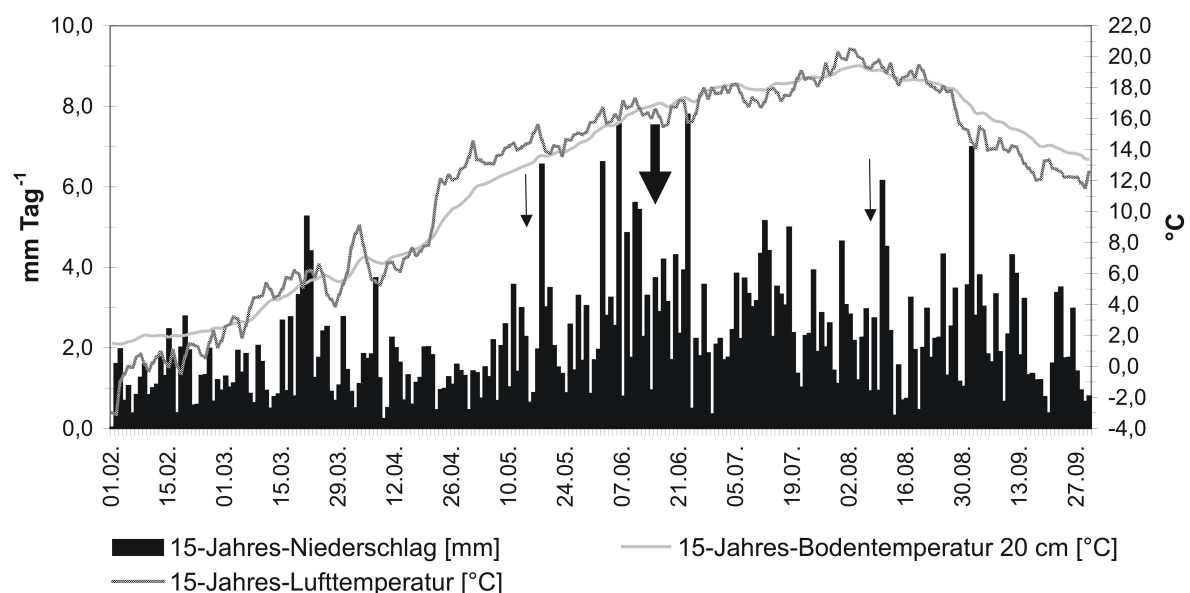


Abb. 5: Witterungsverlauf Februar bis September; Tageswerte von Niederschlag, Lufttemperatur und Bodentemperatur in 20 cm Tiefe; Mittelwerte der Station Neusling aus den Jahren 1990 bis 2004 (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 2005); mit Angabe der Termine sehr früher und sehr später (dünne Pfeile) bzw. durchschnittlicher Infektion (breiter Pfeil) mit Später Rübenaufwuchs im UG von 1990 – 2004

Damit liegen die Niederschläge 1990 – 2004 unter dem vom Bayerischen Klimaatlas für die Region genannten Mittel von 1951 – 1980 von 750 bis 850 mm und die Lufttemperatur über dem ebenda angegebenen Mittel von + 7,5 bis + 8,5 °C.

Im Mittel der Monate Februar bis September zeigte sich in Neusling der in Abb. 5 dargestellte Witterungsverlauf von 1990 bis 2004. In diesen Jahren fielen zwischen dem 01.02. und 30.09. im Mittel 515 mm Niederschlag, die Lufttemperatur lag im Mittel bei 11,9 °C und die Bodentemperatur bei 12,1 °C. Die Angabe der Termine der Infektion mit Später Rübenfäule resultieren aus Befragungen von Landwirten und aus Informationen von W. BOGER, Südzuckerfabrik Plattling.

2.1.5 Fruchtfolge und Bodenbearbeitung

Als häufigste Fruchtfolge im UG ist heute Körnermais (KM) → Winterweizen (WW) → ZR zu finden. Bis vor wenigen Jahren wurde der KM vor der ZR angebaut. Die Umstellung erfolgte wegen des Verdachts, dass der Mais die Späte Rübenfäule fördert. Vierjährige oder längere Rotationen sind die Ausnahme. Wintergerste ersetzt z.T. den WW. Der Anbau von Mais nimmt in den letzten Jahren zu, während der Wintergetreideanbau sinkt (WOLF u. VERREET 1999). Kartoffeln kommen verstärkt zum Anbau, daneben bauen einige Landwirte in jüngster Zeit Zwiebeln und Gurken an.

Pflugfurche im Herbst ist die Regel. Minimalbodenbearbeitung oder reduzierte Bodenbearbeitung ist die Ausnahme, nimmt aber zu. Mulchsaat zur Erosionshemmung wird z.T. eingesetzt. Als Zwischenfrucht vor ZR wird in der Regel Senf verwendet.

Die Intensität der Produktion und die Mechanisierung nahm in den letzten Jahrzehnten zu, ebenso die Größe und Masse der landwirtschaftlichen Fahrzeuge. Dies betrifft vor allem die Zuckerrübenenernte mit 6-Reihen-Rübenrodern, die Maisernte und das Ausbringen von Gülle im Herbst. Überbetrieblich organisierte 6-Reihen-Rübenroder wurden erstmals 1975 eingesetzt. Bis heute haben sie die auf den Betrieben vorhandenen 1- und 2- Reihen-Rübenroder fast vollständig ersetzt. Am stärksten verlief der Wandel Mitte der 1980-er Jahre.

2.1.6 Versuchsschläge

Im UG konnten zehn Landwirte zur Kooperation gewonnen werden, die insgesamt 25 Praxis-schläge mit Zuckerrübenanbau 2002 und 2003 zur Beobachtung, Beprobung und Messung zur Verfügung stellten (Tab. 1). Diese Felder sind zufällig über das gesamte UG verteilt. Ihre Durchschnittsgröße betrug 5,2 ha, somit umfassten die näher betrachteten Zuckerrüben-

Tab. 1: Intensiv untersuchte Praxisschläge im UG Plattling; mit geologischer Grundlage (G), Fruchtfolge und Art der Untersuchungen (K, P); Schläge alphabetisch geordnet

Name	ha	G	2000	2001	2002	2003	2004	K	P
AB3	6,80	3/6	KM	WW	ZR ⁿ	KM	WW		+
AB4	9,50	3/6	ZR	KM	WW	ZR ^{n,c}	KM	+	+
AP4	7,20	7	ZR	Gu	WW	ZR ^{n,t}	Gu	+	+
AP7	8,00	6	KM, WW	WW	ZR ⁿ	Gu	WW	+	+
AR1	10,60	3	?	Gu	Kart, WW	ZR ⁿ	?		+
FA3	6,94	3	WW?	WG	ZR ⁿ	KM, WW	WW, WG		+
FA4	2,24	1	KM?	WW	WG	ZR ^{n,t}	?	+	+
HM4	6,20	10	Kart, KM	Zwie	ZR ⁿ	KM	WW		+
HM6	3,24	2	ZR	Kart	WW	ZR ^t	KM	+	+
HM7	7,56	3	KM	Kart	ZR ⁿ	WW	?		+
HM8	8,76	3	ZR, Kart, Zwie, KM	WW	ZR ⁿ	KM	ZR		+
HM10	5,04	3	Zwie	ZR	WW	ZR ⁿ	KM	+	+
JF1	11,50	6	KM	WW	ZR ^{n,t}	KM	WW	+	+
JF2	5,51	9/6	ZR	KM	WW	ZR ^t	KM	+	+
JF6	2,12	8/9	WW	Still	ZR ⁿ	KM	WW		+
JO1	1,35	7	ZR	KM	WW	ZR ^{n,c,t}	KM		+
JW1	3,99	11	KM	WW	ZR ^{n,t}	KM	WW	+	+
JW6	1,33	11	KM	KM	WW	ZR ^{n,t}	KM	+	+
LH1	2,65	11	Zwie	KM	WW	ZR ^{n,c}	KM	+	+
LH3	2,50	11	Zwie	KM	WW	ZR ^{n,c}	KM	+	+
LH5	6,91	3	KM	Zwie	ZR ⁿ	KM	Zwie	+	+
LH9	3,35	3	KM	WW	Zwie	ZR ⁿ	Gu	+	+
LH15	0,38	11	KM	KM	ZR ⁿ	KM	Still		+
LH16	2,44	11	KM	KM	ZR ⁿ	KM	ZR		+
MK4	4,70	3/4	KM	WW	ZR ⁿ	KM	WW	+	+
n = 25	Σ = 130,8				n _{ZR} = 13	n _{ZR} = 12		n = 15	n = 25

G = Geologie; nach: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1983, 1991), ergänzt:

- 1 = Löß auf der Terrasse der Mindel-Kaltzeit
- 2 = Löß, Lößlehm auf der Terrasse der Mindel-Kaltzeit
- 3 = Lößbedeckung auf der Terrasse der Riß-Kaltzeit
- 4 = Sandlößbedeckung auf der Terrasse der Riß-Kaltzeit
- 5 = Schwemmfächer auf der lößbedeckten Terrasse der Riß-Kaltzeit
- 6 = Lößbedeckung auf der älteren Terrasse der Würm-Kaltzeit
- 7 = Lößbedeckung auf der jüngeren Terrasse der Würm-Kaltzeit
- 8 = lehmige Deckschicht (Kolluvium) auf der älteren Terrasse der Würm-Kaltzeit
- 9 = Talsedimente auf der älteren Terrasse der Würm-Kaltzeit
- 10 = sandige, schluffige junge Talfüllung aus dem Holozän
- 11 = Flussmergel auf Schotter aus dem Holozän
- / = Lage an der Grenze zweier geologischer Einheiten

ZR = Zuckerrüben, KM = Körnermais, WW = Winterweizen, WG = Wintergerste, Kart = Kartoffeln, Zwie = Zwiebeln, Gu = Gurken, Still = Stilllegung

Bei Angabe von > 1 Fruchtart: Schlagteilung

ⁿ = Normalsorte, ^c = Cyntia; ^t = *Rhizoctonia*-tolerante Sorte; ^{n,t} = Sortengemisch aus Normal-Sorte und toleranter Sorte

? = nicht (sicher) bekannt

K = mit kontinuierlichen Messungen; P = mit Bodenprobennahme

Grau unterlegt: 2002; n = Anzahl Schläge

schläge über 130 ha Fläche. Auf diesen Schlägen war in fast allen Fällen Pflügen im Herbst und der Anbau von Senf vor den ZR die Regel. Schlag JF6 war 2001 eine Stilllegung, und auf AP4 und AP7 wurde jeweils im Herbst vor ZR 20 cm tief gegrubbert.

Es erfolgten keinerlei Änderungen der Bewirtschaftungsweise aufgrund der hier vorgestellten Untersuchungen.

Auf weiteren neun Schlägen (NN2 bis NN12) wurden in den Jahren 2002 und 2003 Bodenproben entnommen (Tab. 2), um die Datenbasis zu vergrößern. Zu ihrer Auswahl dienten jeweils kurz vor der Ernte angefertigte Luftbilder. Dies ergibt eine Gesamtzahl von 34 untersuchten Schlägen.

Tab. 2: Zusätzlich untersuchte Praxisschläge NN2 bis NN12 im UG Plattling; geologische Grundlage; Erläuterungen siehe in Tab. 1

Name	G	2002	2003	K	P	Name	G	2002	2003	K	P
NN2	3	ZR	?		+	NN11	3	?	ZR		+
NN4	3	ZR	?		+	NN12	3	?	ZR		+
NN6	5	ZR	?		+						
NN7	3	ZR	?		+	n = 9		n_{ZR} = 7	n_{ZR} = 2	n = 0	n = 9
NN8	11	ZR	?		+						
NN9	10	ZR	?		+						
NN10	3	ZR	?		+						

2.2 Untersuchungen und Probennahme

2.2.1 Feldbegehungen und Luftbildaufnahmen

Auf allen Zuckerrübenschlägen laut Tab. 1 erfolgte in den Jahren 2002 und 2003 mindestens eine Feldbegehung. Je nach Entwicklung der ZR und der Späten Rübenfäule wurden ausgewählte Schläge danach intensiver betrachtet und bis zu fünf Mal systematisch begangen, um das Auftreten der Späten Rübenfäule zu erfassen.

Daneben wurden flächendeckende Echtfarben-Luftbilder im Maßstab ca. 1:5.000 mit 30 cm Bodenaufklärung angefertigt. Die Areale decken den inneren Bereich des UG ab und sie waren 2002 und 2003 verschieden definiert. Ihre Grenzen finden sich in Abb. 4. Die Aufnahmetage der Luftbilder 2002 waren der 08.07.02 und 16.09.02, 2003 waren es der 16.05.03, 30.05.03, 25.06.03 und 28.08.03. Vier Wochen nach Befliegungsdatum erfolgte die Lieferung, bei Bedarf kurz vor Bodenprobennahme innerhalb von 15 Tagen. Diese Luftbilder dienten zur Identifikation und zum gezielten Aufsuchen interessanter Zonen innerhalb der Schläge. Die Identifikation von Befallsstellen mit Später Rübenfäule und Festlegung von Messflächen erfolgte u.a. durch Feldbeobachtungen und Interpretation der Luftbilder.

2.2.2 Untersuchungs- und Messkonzept

In den Praxisschlägen wurden Pärchenvergleiche definiert und festgelegt, die aus jeweils einer Befallsstelle und einer gesunden Stelle bestanden. Diese Festlegung erfolgte möglichst früh im Verlauf des Vegetationsjahres.

Befallsstellen waren definiert als Stellen, in denen 1 – 4 ZR in einer Fläche von 4,5 – 12 m² (Mittelwert: 7,0 m²) offensichtlich oberirdisch erkennbar erkrankt waren. Zu ihrer Festlegung diente eine Bonitur des Blattapparates der ZR. Problematisch war, dass die Krankheit oberirdisch erst sichtbar wird, wenn sie unterirdisch schon weit fortgeschritten ist. Da aber die eventuell erkrankten Rüben in den zu messenden Flächen nicht herausgezogen werden durften, um die Messungen nicht zu beeinflussen, musste dies in Kauf genommen werden. Dafür fielen schon oberirdisch erkennbar zu weit fortgeschrittene Befallsstellen weg. Einzig in den schon früh und stark befallenen Schlägen JF1, LH5 und AB4 war dies nicht immer möglich. Dort mussten auch schon stärker geschädigte Befallsstellen festgelegt werden.

Nach der Feldidentifikation der Befallsstellen bzw. einzelner erkrankter Rüben darin erfolgte die Entnahme von Rübenproben. 2002 wurde je eine komplette ZR pro Befallsstelle entnommen, 2003 wurden die verdächtigen ZR seitlich im Boden angegraben und nur ca. 3 cm große Stücke abgeschnitten, während die Rübe im Boden verblieb. Durch Anastomosestests mit einem Test-Isolat von *R. solani* AG 2-2 IIIB erfolgte der Nachweis des Erregers. Dieser Hyphenfusionstest liefert nach einer Woche einen ersten Nachweis, dass es sich um *R. solani* handelt. Die Durchführung der Tests übernahm Dr. P. BÜTTNER, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Freising.

Nach diesem Nachweis erfolgte der Einbau von Messgeräten zur kontinuierlichen Erfassung von Bodenparametern in die Befallsstellen. Da die Messungen als Pärchenvergleiche konzipiert waren, erfolgte der Einbau gleichartiger Messgeräte in gesunden Stellen, die meist 1 – 5 m (maximal 15 m) von den Befallsstellen entfernt lagen, gleiche Flächengrößen aufwiesen sowie in den gleichen Rübenreihen und in identischer Reliefposition gelegen waren. Fahrspuren wurden, soweit möglich, gemieden. Nur auf AP7I und JW6I lagen Fahrspuren in den Messflächen. Dann befanden sich die Messgeräte aber nicht in den Fahrspuren. Diese Messflächen waren auch diejenigen mit der größten Fläche.

Auf 11 der 15 Schläge mit kontinuierlichen Messungen wurde je ein Pärchenvergleich angelegt, auf drei Schlägen (AP4, LH3 und JW6) je zwei Pärchenvergleiche und auf Schlag AB4 drei Pärchenvergleiche mit kontinuierlichen Messungen. Zur Nummerierung erhielten die Pärchenvergleiche römische Zahlen nach dem Schlagnamen. Insgesamt erfolgte die Installation von Messgeräten in 20 Pärchenvergleichen, 5 im Jahr 2002 und 15 im Jahr 2003 (Tab. 3). Dort sind auch die Messperioden für die kontinuierlichen Messungen verzeichnet.

Tab. 3: Messperioden der 20 Pärchenvergleiche mit kontinuierlichen Messungen 2002 und 2003; mit Angabe der AG von *R. solani*; Schläge zeitlich nach Einbau der Messgeräte geordnet

Pärchenvergleich	Messbeginn	Ende der Messungen		AG 2-2 IIIB oder AG 4 in der Befallsstelle?
		Bodensaugspannung und Redoxpotential	Bodentemperatur	
AP7I	20.08.02	10.10.02	20.10.02	AG 2-2 IIIB
MK4I	20.08.02	10.10.02	20.10.02	AG 2-2 IIIB
JF1I	20.08.02	10.10.02	20.10.02	AG 2-2 IIIB
LH5I	20.08.02	10.10.02	20.10.02	AG 2-2 IIIB
JW1I	31.08.02 #	10.10.02	20.10.02	AG 2-2 IIIB
AP4I *	11.06.03	17.09.03	24.09.03	AG 2-2 IIIB
AP4II	11.06.03	17.09.03	24.09.03	AG 4
LH3I *	24.06.03	17.09.03	24.09.03	AG 2-2 IIIB
LH3II	24.06.03	17.09.03	24.09.03	AG 2-2 IIIB
AB4I *	04.07.03	17.09.03	24.09.03	AG 2-2 IIIB
AB4II	04.07.03	17.09.03	24.09.03	AG 2-2 IIIB
AB4III	04.07.03	17.09.03	24.09.03	AG 2-2 IIIB
JW6I *	11.07.03	17.09.03	24.09.03	AG 2-2 IIIB
JW6II	11.07.03	17.09.03	24.09.03	AG 2-2 IIIB
HM10I	29.07.03	17.09.03	24.09.03	AG 2-2 IIIB
LH9I	29.07.03	17.09.03	24.09.03	AG 4
JF2I	29.07.03	17.09.03	24.09.03	AG 2-2 IIIB
HM6I	29.07.03	17.09.03	24.09.03	AG 2-2 IIIB
FA4I	29.07.03	17.09.03	24.09.03	AG 4
LH1I	29.07.03	17.09.03	24.09.03	AG 2-2 IIIB

Schlag war vor dem 30.08.02 zwei Wochen lang durch Hochwasser überflutet

* mit Redoxpotentialmessung; grau unterlegt: 2002

Weitere zwei Wochen nach dem ersten Nachweis von *R. solani* ergibt der Hyphenfusionstest, ob es sich um *R. solani* AG 2-2 handelt; eine exaktere Aussage ist nicht möglich. Es wurde unterstellt, dass bei positivem Resultat *R. solani* AG 2-2 IIIB vorhanden ist. In 30 von 51 Zuckerrübenproben aus den 15 Schlägen mit kontinuierlichen Messungen beider Jahre war *R. solani* AG 2-2 IIIB vorhanden, in weiteren 8 Proben *R. solani* AG 4, im Rest der Proben andere Erreger wie z.B. *Fusarium spec.* Bei drei "Befallsstellen" 2003 erfolgte die Anlage der Messflächen unabsichtlich in mit *R. solani* AG 4 befallenen Flächen, was zur Nicht-Berücksichtigung dieser Flächen in der Arbeit hier führte. Somit verblieben 17 (ursprüngliche) Befallsstellen mit *R. solani* AG 2-2 IIIB als Messflächen. Hinzu kamen die 17 (ursprünglichen) gesunden Stellen dieser Pärchenvergleiche und die drei gesunden Stellen der *R. solani* AG 4–Pärchenvergleiche. Die Gesamtheit aller Messflächen mit kontinuierlichen Messungen bestand daher aus 17 (ursprünglichen) Befallsstellen + 20 (ursprünglichen) gesunden Stellen = 37 Messflächen mit kontinuierlichen Messungen.

Bei jedem Messinstrument wurde der Einbauort auf Skizzen eingezeichnet. Bonituren des oberirdisch erkennbaren Zustandes aller ZR in den Messflächen zum Zeitpunkt des Einbaus

der Messgeräte und zum Zeitpunkt des Ausbaus der Messgeräte dienten dem Nachweis der Entwicklung der Krankheit. Unterschieden wurden vier Befallsklassen: "gesund", "frisch infiziert", "weitgehend abgestorben", "vollständig abgestorben (mumifiziert)". Weiterhin wurde die Größe bzw. das Fehlen der ZR infolge Aufgangslücken vermerkt. Unterschieden wurde gemäß der Größe bzw. Vorhandensein des Blattapparates nach "fehlende ZR", "kleine ZR", "mittelgroße ZR" und "große ZR". Diese Bonituren wurden ebenfalls vermerkt.

Beim Ausbau der Messgeräte vor der Ernte 2002 und 2003 wurden Oberbodenproben bis 30 cm Tiefe (Ap-Horizonte) im Zentrum der Messflächen entnommen. 2003 erfolgte zusätzlich die Entnahme von Proben aus Unterbodenhorizonten bis 60 cm Tiefe.

An allen Orten mit Bodenprobennahme wurde eine Bodenansprache mittels Pürckhauer-Bohrstock bis 1 m Tiefe vorgenommen und die Böden nach der deutschen Systematik benannt (DEUTSCHE BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT 1998).

Neben der Entnahme von Bodenproben aus den Messflächen mit kontinuierlichen Messungen erfolgte zum gleichen Zeitpunkt die Entnahme weiterer Bodenproben in zusätzlichen Pärchenvergleichen. Dazu wurden weitere Befallsstellen ausgewählt, die z.T. auf schon bekannten Schlägen lagen (z.B. AB4), z.T. aber auch auf Flächen anderer Landwirte (z.B. NN12; s. Tab. 2). Bei diesen Befallsstellen erfolgte kein Labornachweis von *R. solani*. Die Identifikation der Krankheit erfolgte durch Bonitur des Blattapparates und Körpers der ZR. Benachbart zu diesen Befallsstellen wurden Bodenproben auch wieder im Sinne eines Pärchenvergleichs nach oben genannten Prinzipien in gesunden Stellen entnommen. 2002 waren dies 25 und 2003 17 zusätzliche Pärchenvergleiche. Damit gab es 2002 30 und 2003 32 Pärchenvergleiche mit Bodenprobennahme, zusammen 62 Pärchenvergleiche in beiden Jahren (vgl. Tab. 6 in Kap. 3.3).

Je nach Standort erfolgte in den Unterbodenproben 2003 von 30 – 60 cm Tiefe die Ausweisung von ein bis zwei Bodenhorizonten und deren getrennte Beprobung. Zur Festlegung diente die Morphologie der Proben und die Pürckhauer-Ansprache im Feld. Diese Aufteilung in ggf. zwei Horizonte im Unterboden betrifft die Analysen von Textur, Karbonatgehalt, Nährstoffgehalten und organischer Substanz (Kap. 3.8 bis 3.10). In der Tiefenstufe 30 – 60 cm fanden in den genannten Kapiteln die aus den ggf. zwei Horizonten je nach der Horizontmächtigkeit gewichteten Mittelwerte Verwendung.

2002 wurden alle Bodenproben in nur einfacher Wiederholung genommen, 2003 hingegen waren es bei den Proben von Messflächen mit kontinuierlichen Messungen prinzipiell sechs Wiederholungen. Bei den Proben von 30 – 60 cm Tiefe der Flächen ohne Redoxpotentialmessung (AP4II, LH3II, AB4II, AB4III, JW6II, HM10I, LH9I, JF2I, HM6I, FA4I und LH1I)

wurden je drei Wiederholungen genommen. Die Probennahme in den Pärchenvergleichen ohne kontinuierliche Messungen 2003 erfolgte in beiden Tiefen nur mit einer Wiederholung.

Die Probennahme erfolgte mit "Humax-Bohrern" der Firma (Fa.) Max Hug Humax, Luzern, Schweiz, die mittels Schonhammer per Hand in den Boden eingetrieben wurden. Bei den Proben von 0 – 30 cm Tiefe kam ein unten offener Bohrer mit 30 cm langem Zylinder mit 5,0 cm Innendurchmesser zum Einsatz. Die Proben von 30 – 60 cm Tiefe stammten aus denselben Bohrlöchern, aus denen die Oberbodenproben gezogen worden waren. Hierfür kam ein Bohrer mit 30 cm langem Zylinder mit 3,5 cm Innendurchmesser zum Einsatz, der in die existierenden Probennahmelöcher eingesetzt wurde.

In diesen Bohrern waren vorab in der Probennahmekammer transparente und verschließbare Plastikröhren eingesetzt worden, die die Entnahme von Volumenproben ermöglichten. Nach Entnahme wurden die Proben luftdicht verpackt. Von diesen Proben wurden zunächst im Labor Scheiben mit 3 cm Dicke ausgesägt, im Jahr 2002 aus 3 – 6 cm, 13 – 16 cm und 23 – 26 cm Bodentiefe, und im Jahr 2003 aus 13 – 16 cm, 23 – 26 cm, 33 – 36 cm und 43 – 46 cm. Die Scheiben dienten zur Bestimmung der Lagerungsdichte.

Das verbleibende Bodenmaterial wurde für die weiteren Analysen verwendet. Waren sechs bzw. drei Wiederholungen vorhanden, erfolgte bei C_{org} und Gesamt-Stickstoff (N_t) die Messung aller Wiederholungen einzeln. Die sechs bzw. drei Wiederholungen wurden für die Messung von Bodentextur, Karbonatgehalt, pH, Phosphor- und Kaliumgehalt vereinigt.

Die durchgeführten Untersuchungen teilen sich somit in zwei Gruppen: kontinuierliche Messungen und Untersuchungen an den Bodenproben. Bei den kontinuierlichen Messungen handelte es sich um die Bodensaugspannung (Kap. 2.2.3) und die Bodentemperatur (Kap. 2.2.4) in den Jahren 2002 und 2003, und 2003 zusätzlich das Redoxpotential (Kap. 2.2.5). An den Bodenproben erfolgte die Bestimmung von Lagerungsdichte (Kap. 2.2.6), Textur, Karbonatgehalt (Kap. 2.2.7), pH-Wert, Phosphor- und Kaliumgehalt (alles in Kap. 2.2.8), C_{org} - und N_t -Gehalt und daraus abgeleitet C/N-Verhältnis (alles in Kap. 2.2.9). Begleitend erfolgten zusätzlich Pürckhauer-Bohrungen (vgl. Tab. 6 in Kap. 3.3 und Kap. 4.3), die Interpretation der Luftbilder (s. Kap. 3.2), eigene Witterungsmessungen und die Interpretation von Witterungsdaten aus anderer Quelle (vgl. Kap. 3.1).

2.2.3 Bodensaugspannung

Zur Charakterisierung des Matrixpotentials und seiner Änderungen während der Untersuchungsperiode erfolgte 2002 in fünf und 2003 in fünfzehn Pärchenvergleichen die Messung der Bodensaugspannungen einmal pro Woche.

Verwendet wurden mit entgastem, destilliertem Wasser (H_2O_{dest}) befüllte Einstichtensiometer aus Plexiglasrohren mit 21 mm Außendurchmesser, Septum als Verschluss und 6 cm langer Keramikzelle. Plastikkappen über den oberen Teilen der Tensiometer dienten dem Schutz gegen Witterungseinflüsse. Um die Tensiometer wurden eng abschließende Gummischeiben von 6 cm Durchmesser auf der Bodenoberfläche angebracht, um bevorzugte Wasserversickerung an den Außenwänden der Tensiometer auszuschließen. Zwischen zwei Tensiometern betrug die horizontale Entfernung mindestens 40 cm, im Ausnahmefall 30 cm. Die Ablesung des (Unter-)Druckes in Hektopascal [hPa] erfolgte mit dem "Tensimeter DMG 2120", mit Einstichnadel, der Fa. Dr. v. Ballmoos, Schweiz.

Die Messtiefen 2002 betrug 15 cm, 35 cm und 55 cm Bodentiefe, 2003 erfolgte die Messung in 15 cm und 35 cm Tiefe. Pro Messpunkt und Messtiefe kamen fünf Wiederholungen zum Einsatz, aus denen der Mittelwert errechnet wurde. Die Höhe der Wassersäule in cm oberhalb der Keramikzelle in den Tensiometern wurde zum abgelesenen, negativen Messwert addiert. Bei Wasserständen unterhalb der Geländeoberfläche (GOF) erfolgte die Korrektur durch Addition der Hälfte des Abstandes des oberen Endes der Keramikzelle zur GOF zum Ablesewert.

Zeitweise ausgefallene oder fehlerhafte Tensiometer lieferten unplausible Messwerte, wie z.B. -100 hPa zu Zeiten maximaler Austrocknung, die ignoriert wurden. Dies war 2002 nahezu nie notwendig, 2003 jedoch in vielen Fällen nötig. Trockenheit führte zum Trockenfallen vieler Tensiometer. In den Wochen größter Trockenheit 2003 fielen so viele Tensiometer innerhalb einer Woche aus, dass meist nur < 3 Wiederholungen pro Messpunkt gültige Messwerte lieferten. Daher wurden am eigentlichen Ablesetag nach der Messung alle Tensiometer, ob trocken gefallen oder nicht, aufgefüllt (mit entgastem H_2O_{dest}), am nächsten Tag erneut alle Tensiometer abgelesen und dann turnusgemäß sechs Tage später zum normalen Ablesetermin erneut gemessen. Dann wurde die Auffüllprozedur erneut durchgeführt. Andernfalls hätten im Zeitraum 08.07. – 09.09.03 keine Messwerte gewonnen werden können, da der Messbereich der Tensiometer von ca. $+50$ bis -800 hPa reicht und aufgrund der Trockenheit die Wassergehalte lange Zeit unterhalb pF 2,9 lagen, selbst wenn nicht ausgeschlossen werden kann, dass es durch das Wiederauffüllen zur einer Verfälschung der Messwerte kam. Dieser Effekt wird jedoch zumindest für die Messungen sechs Tage nach der Wiederauffüllung für den Unterschied "Befall" zu "Gesund" als gering betrachtet, da zudem eine Gleichbehandlung von Befallsstellen und Gesunden Stellen erfolgte. Es wurde unterstellt, dass die so gemessenen Matrixpotentiale, die wahrscheinlich niedriger waren als es den realen aktuellen Matrixpotentialen entsprach, trotzdem die Standortsunterschiede richtig wiedergaben, nur auf linear erniedrigtem Niveau. Pro Ablesetermin und Messpunkt konnten somit i.d.R. 3 – 5 gültige Wiederholungen erreicht werden (vgl. Tab. 29 im Anhang in Kap. 8.3).

2.2.4 Bodentemperatur

Die Bodentemperaturmessung fand in denselben Pärchenvergleichen statt wie die Messung der Bodensaugspannung.

Zum Einsatz kamen autarke Stab-Einbauthermometer "Optic StowAway ®" der Fa. onset computer corporation, Bourne, MA, USA, mit 12,5 cm Länge und 27 mm Dicke mit integrierter Batterie und Speicherchip, der vor Einbau in den Boden aktiviert und nach dem Ausbau ausgelesen und deaktiviert wurde. Ihre Messungengenauigkeit beträgt laut Hersteller max. 0,26 °C. Ein Test, bei dem alle aktivierten Thermometer nebeneinander in einem geschlossenen Raum in einem offenen Behälter für zwei Wochen aufbewahrt wurden, ergab aber, dass die maximale Abweichung der Messwerte von der realen Temperatur 1,6 °C betrug, was eine Korrektur aller Temperaturmesswerte nötig machte.

Die Messtiefen 2002 betragen 5 cm, 10 cm, 15 cm und 25 cm, 2003 15 cm Tiefe. 2002 wurde in 5 cm Tiefe mit zwei Wiederholungen gemessen, in den anderen Tiefen mit nur einer Wiederholung. Die zeitliche, v.a. tageszeitliche, Variabilität der Bodentemperatur ist nahe der GOF sehr groß, sinkt aber mit zunehmender Bodentiefe stark ab (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 2002). Daher sinkt der Einfluss von ± 1 cm bei der Einbautiefe auf die in einer bestimmten Tiefe zu messende Bodentemperatur nach unten hin stark ab, so dass sich ± 1 cm in 5 cm Messtiefe wesentlich stärker auswirkt als in einer Messtiefe von 10 – 25 cm, weshalb angenommen wurde, dass in 10 – 25 cm Messtiefe je ein Thermometer ausreicht.

Der Einbau erfolgte in 5 cm Messtiefe horizontal nach Abheben der obersten Bodenschicht und Wiederbedeckung der Thermometer mit dem Aushub. In 10 – 25 cm Messtiefe wurden die Bodenthermometer nach Vorbohren mit einem Bohrstock mit 26 cm Außendurchmesser vertikal eingebaut und das Bohrloch oberhalb des Thermometers mit trockenem, rieselfähigen Bodenmaterial wieder verfüllt.

2002 entsprach das Bestandesbild am Ort der Installation eines Bodenthermometers der durchschnittlichen Bestandessituation in dieser Messfläche. 2003 kamen in 25 Messflächen je zwei Wiederholungen zum Einsatz, in 5 Messflächen nur eine Wiederholung, da nur 55 Thermometer zur Verfügung standen. Im Falle des Einbaus von zwei Thermometern erfolgte die Platzierung des ersten Thermometers in einer relativ für die Messfläche schlechten Bestandessituation und des zweiten Thermometers in einer relativ guten Bestandessituation. Aus den Ergebnissen beider Thermometer errechnete sich der Mittelwert. Wo nur ein Thermometer eingebaut werden konnte, wurde eine durchschnittliche Bestandessituation, wie auch 2002, ausgewählt. Dies betraf die Messflächen LH9I B (*R. solani* AG 4), LH9I G, LH1I B, LH1I G und JF2I G. Durch das veränderte Messkonzept konnten 2003 die Bodentemperaturen in dreimal so vielen Pärchenvergleichen (15)

gemessen werden als 2002 (5).

Während der Messung fielen 2002 vierzehn von 50 Thermometern aus, 2003 eines von 55. Damit kamen 2003 49 Thermometer zur Auswertung, die in "Befall"-, "Gesund"- oder "Stillstand"-Flächen lagen. Fünf Thermometer befanden sich in *R. solani* AG 4-Flächen.

2.2.5 Redoxpotential

Von den 15 Pärchenvergleichen mit kontinuierlichen Messungen wurde das Redoxpotential in den Pärchenvergleichen AP4I, LH3I, AB4I und JW6I bestimmt.

Gemessen wurde in 5 cm, 10 cm, 20 cm und 30 cm Bodentiefe. Bei allen Messflächen erfolgte die Messung wöchentlich in jeder Tiefe in fünffacher Wiederholung. Zum Einsatz kamen Selbstbau-Pt-Elektroden nach PFISTERER u. GRIBBOHM (1989) mit 7,0 mm Außendurchmesser. Zum Schutz der Kabelableitungen bzw. -stecker vor Witterungseinflüssen diente eine Plastikbox, die in 15 cm Höhe oberhalb der GOF im Zentrum jeder Messfläche montiert war. Die Ablesung erfolgte immer mit demselben Hand-pH-Meter "pH 330 i" der Fa. WTW GmbH & Co. KG, Weilheim, Deutschland. Beim Einbau kam ein Edelstahlstab mit 8,0 mm Außendurchmesser zu Vorbohren bis zur Messtiefe zum Einsatz, wobei nach dem Einführen der Pt-Elektroden noch ein ca. 2 mm tiefes Eindringen in den Boden erfolgte. Nach dem Einbau wurden die Elektroden nicht mehr bewegt. Auch die Kabel bzw. Stecker blieben unverändert. Im Zentrum jeder Messfläche wurde eine Selbstbau-Salzbrücke installiert. Zur Verwendung kamen 40 cm lange Plastikröhren mit 2,0 cm Außendurchmesser, die zwei Öffnungen mit 1,0 cm Durchmesser in 3 und 34 cm Bodentiefe aufwiesen. Über den Löchern waren Mullbinden angebracht und die Röhren waren nach unten mit Keramik verschlossen. In die Salzbrücken wurde Agar-Agar mit 3 M NaCl-Lösung gemischt eingefüllt und die Salzbrücken nach der Installation mit Plastikkappen verschlossen. Wie die Pt-Elektroden blieben die Salzbrücken nach dem Feldeinbau unverändert. Nur Agar-Agar wurde im Feld nachgefüllt, wenn zuviel Agar-Agar durch Austrocknung oder Anhaften an der Referenzelektrode verloren gegangen war. Zur Messung diente immer dieselbe Referenzelektrode (Ag/AgCl, Modell "ZIOPJFO-2" der Fa. GAT GmbH, Bremerhaven, Deutschland, die in das Agar-Agar der Salzbrücke ca. 2 cm tief eingetaucht wurde.

Die Anzeige der aktuellen Spannung [mV] am pH-Meter war i.d.R. instabil und nahm meistens mit der Zeit immer weiter ab. Nach dem Abwarten, bis die Veränderung der angezeigten Spannung $< 1,0 \text{ mV s}^{-1}$ betrug, wurde der in dem Moment angezeigte Wert notiert. Ein Test mit 80 Elektroden auf vier Messflächen 8 bzw. 21 Tage nach Feldeinbau ergab, dass sich nach Notiz des Messwertes wie oben beschrieben durch weiteres Abwarten von bis zu 60 Minuten zwar noch eine Änderung des Eh einer Pt-Elektrode von maximal

152 mV in 25 Minuten, aber nur eine mittlere Änderung von 17 mV bei durchschnittlich 38 Minuten Wartezeit pro Elektrode zeigte. Dies wird als eine nur unbedeutende Messungsgenauigkeit erachtet. Aus den fünf Wiederholungen wurde der Mittelwert errechnet und dieser laut Herstellerangaben um +244 mV auf das Potential der Standardwasserstoffelektrode korrigiert. Obwohl die pH-Unterschiede (s. Kap. 3.9) nur gering waren, erfolgte eine Korrektur der Messwerte (Eh) auf pH 7,0 (Redoxpotential bei pH 7,0 = E₇). Bei der gesamten Messinstallation konnte keine Fehlfunktion festgestellt werden.

2.2.6 Lagerungsdichte

Die Bestimmung der Lagerungsdichte erfolgte an den ausgesägten Scheiben der Bodenproben aus 3 – 6 cm, 13 – 16 cm, 23 – 26 cm, 33 – 36 cm und 43 – 46 cm Bodentiefe unabhängig von der Ausweisung von Bodenhorizonten. Waren sechs bzw. drei Wiederholungen pro Standort vorhanden, wurden diese getrennt gemessen und die Werte danach zu einem Mittelwert vereinigt. Von den Proben 2002 erfolgte nur bei den Schlägen mit kontinuierlichen Messungen (AP7, JF1, JW1, LH5 und MK4) eine Bestimmung der Lagerungsdichte. 2003 wurde die Lagerungsdichte bei allen Schlägen bestimmt.

Zur Gewinnung der Proben zur Lagerungsdichtebestimmung wurden mittels einer selbst konstruierten Vorrichtung 30 mm dicke Scheiben in den o.g. Bodentiefen ausgesägt. Durch die Sägevorrichtung war die Dickenabweichung zu vernachlässigen. Aufgrund der Wanddicke der im Bohrer bei der Probennahme befindlichen Plastikhülse und eines meist leicht schrägen Eintreibens des Bohrers in den Boden waren die Probendurchmesser kleiner als der Bohrerdurchmesser. Es ergaben sich ein mittlerer Durchmesser von 4,7 cm für die Proben aus 0 – 30 cm Tiefe und 3,2 cm für die Proben aus 30 – 60 cm Tiefe. Die Proben wurden zunächst feldfrisch gewogen, dann bei 105 °C getrocknet und erneut gewogen.

2.2.7 Textur und Karbonatgehalt

Die Textur- und die Karbonatgehaltsbestimmung erfolgte getrennt nach Bodenhorizonten. Waren sechs bzw. drei Wiederholungen pro Standort vorhanden, wurden diese vereinigt und die Mischprobe gemessen.

Durch einen optischen Test im mittleren Infrarot wurde vorab auf das Vorhandensein von karbonatischem Kohlenstoff (C_{carb}) getestet und bei positivem Resultat der C_{carb}-Gehalt nach der Methode Scheibler (SCHLICHTING et al. 1995) bestimmt.

Die Textur der Feinerde < 2,0 mm wurde mittels Nasssiebung für die Sandfraktionen

und mittels Pipettmethode nach Köhn für die Schlufffraktionen und Ton bestimmt. Die Vorgehensweise entsprach der des NORMENAUSSCHUSS WASSERWESEN (2002), was bedeutet, dass die Karbonatzerstörung entfiel.

Bei der Pipettanalyse kam der "SEDIMAT 4-12" der Fa. Umwelt-Geräte-Technik GmbH, Müncheberg, Deutschland, zum Einsatz. Dessen Ergebnisse stimmten nach internen Tests der Arbeitsgruppe von Dr. P. CAPRIEL, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising, mit der manuellen Pipettanalyse überein.

2002 erfolgte keine Humuszerstörung. Alle Proben stammten aus Ap-Horizonten, die meisten Proben aus relativ humusarmen Lößstandorten, nur wenige Proben aus humusreicheren Auenstandorten und die "Befall"- und "Gesund"-Proben jedes Pärchenvergleichs waren im Humusgehalt augenscheinlich nicht verschieden. Im Vordergrund stand zum Zeitpunkt dieser Entscheidung 2002 noch die Betrachtungsweise der Pärchenvergleiche. Da die Analyse der Proben des Jahres 2002 und deren Auswertung bis zum Beginn der Feldarbeiten 2003 abgeschlossen sein sollte, wurde die Zeit der Humuszerstörung eingespart. 2003 wurde der Humus mittels Wasserstoffperoxid (H_2O_2) zerstört.

2.2.8 pH-Wert und Nährstoffgehalte

Die Bestimmung von pH-Wert, Phosphor- und Kaliumgehalt erfolgte getrennt nach Bodenhorizonten. Bei sechs bzw. drei Wiederholungen pro Standort wurden diese vereinigt und die Mischprobe gemessen.

Die Messung des pH-Wertes erfolgte in 0,01 M $CaCl_2$ -Suspension. P und K wurden als oxidischer Phosphor (P_2O_5) bzw. oxidisches Kalium (K_2O) nach CAL-Methode bestimmt (CAL = Calciumacetatlactat: 0,05 M Ca-Acetat + 0,05 M Ca-Lactat + 0,3 M Essigsäure bei pH 4,1; Verhältnis Boden: Extraktionsmittel 1:20; Extraktionsdauer 2 h; HOFFMANN 1991).

2.2.9 Organische Substanz

Die Messung der Gehalte an organischer Substanz (als C_{org}) und an N_t erfolgte getrennt nach Bodenhorizonten. Waren sechs bzw. drei Wiederholungen pro Standort vorhanden, wurden diese separat analysiert und die Werte danach zu einem Mittelwert vereinigt.

Durch Multiplikation des C_{org} -Gehaltes [$mg\ C\ g\ Boden^{-1}$] mit dem Faktor 0,172 oder 0,2 (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 2002) ergibt sich der Humusgehalt [%]. Es werden aber im folgenden die C_{org} -Werte genannt. Zur Bestimmung von C_{org} und N_t kam die Methode Dumas zur Anwendung (HOFFMANN 1991). Dabei wird zunächst der Gesamt-Kohlenstoff (C_t)

und N_t durch Verbrennung bei 1.100 °C bestimmt, und vom C_t -Gehalt der C_{carb} -Gehalt subtrahiert, was den C_{org} -Gehalt ergibt.

2.2.10 Dünnschliffe

Am 12.09.2002 wurden mittels Kubiena-Kästen in situ sechs ungestörte Proben bei frisch befallenen ZR mit aktiver *R. solani* aus dem Übergangsbereich zwischen gesundem ZR-Gewebe und infiziertem Gewebe in den ungestörten Boden hinein entnommen. Dazu wurden verdächtige, große ZR im Boden von der Seite angegraben und der Kubiena-Kasten von der Seite parallel zur GOF eingeschnitten. Mit dieser Untersuchung sollte ein Einblick in die Lebensweise von *R. solani* im Boden gewonnen werden.

Die Proben dienten der Anfertigung von Dünnschliffen mit $2,5 \times 4,5 \text{ cm} = 1.125 \text{ mm}^2$ Größe. Die Probenpräparation brachte technische Schwierigkeiten mit sich, wodurch zwei Proben bei der Dünnschliffherstellung verloren gingen und 11 Monate Präparationszeit vergingen. Daher musste 2003 auf die Entnahme von Dünnschliffproben verzichtet werden. Dennoch konnten die vier verbleibenden Dünnschliffe ausgewertet werden. Sie stammen von den Schlägen AP7 (2 Dünnschliffe), MK4 und JF1. Vor Tränkung der Proben mit Aceton wurden von den Stellen, die zu Dünnschliffen werden sollten, infizierte Zuckerrübenstücke abgeschnitten, die im Labor mittels AG-Test auf *R. solani* AG 2-2 IIIB getestet wurden. Alle vier Proben wiesen *R. solani* AG 2-2 IIIB auf.

2.2.11 Statistik und Diskriminanzanalyse

Gegenstand der statistischen Berechnungen waren Mittelwertsvergleiche (s. unten, 1.) und eine Diskriminanzanalyse (s. unten, 2.). Die statistische Auswertung wurde mit der Software "SPSS 12.0G für Windows Version 12.0.1 vom 11.11.2003" und "SPSS 13.0 für Windows Version 13.0.1 vom 20.11.2004" der Fa. SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA, durchgeführt.

Bei allen Messdaten erfolgte zunächst ein Test auf Normalverteilung mittels Kolmogorov-Smirnov-Test mit der Signifikanzkorrektur nach Lilliefors. Nur die Lagerungsdichtedaten des Jahres 2002 in 3 – 6 cm und 13 – 16 cm Tiefe und das Mittel der drei Messtiefen waren normalverteilt. Es war nicht möglich, eine Normalverteilung aller Daten mit einer gemeinsamen Transformationsfunktion zu erreichen. Daher wurden die Messdaten für Berechnungen von Mittelwerten, Standardabweichungen und Signifikanzen nicht transformiert.

1. Vergleich von Mittelwerten und deren Streuungen der Gruppen "Befall", "Gesund" (und ggf. "Stillstand")

Da die erhobenen Daten i.d.R. keine Normalverteilung aufwiesen und außerdem voneinander unabhängig waren, wurde der Mann-Whitney-U-Test angewandt. Hierbei werden nicht die Messwerte selbst, sondern deren Rangplätze verarbeitet, daher ist der Test auch unempfindlich gegen Ausreißer (BÜHL u. ZÖFEL 2002). Jeder Test wird als eigenständige Fragestellung angesehen, d.h. eine Korrektur des alpha-Wertes wurde nicht durchgeführt.

Ergibt sich, dass die getesteten Datensätze signifikant verschieden sind, muss die Null-Hypothese H_0 , nach der die Mittelwerte zweier Proben Gruppen nicht signifikant verschieden sind, abgelehnt werden, und es gilt die Alternativhypothese H_1 .

2. Zusammenfassende Unterscheidung der "befallenen" und "gesunden" Standorte

Hierbei stehen zwei Fragen im Mittelpunkt:

- * Unterscheiden sich die Gruppen signifikant voneinander bezüglich der Variablen?
- * Welche Variablen sind zur Unterscheidung der Gruppen geeignet bzw. ungeeignet?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde die lineare multivariate Diskriminanzanalyse ausgewählt. Diese gehört zur Gruppe der strukturprüfenden Verfahren, mit denen die Abhängigkeit einer nominal skalierten Variablen (Gruppenvariable: "befallen" = 0 / "gesund" = 1) von metrisch skalierten Variablen (Textur, pH, C_{org} u.s.w.) untersucht wird (BACKHAUS et al. 2003).

Die Diskriminanzfunktion hat folgende allgemeine Form:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_jx_j$$

Y = Diskriminanzvariable

x_j = Merkmalsvariable ($j = 1, 2, \dots, j$)

b_j = Diskriminanzkoeffizient für Merkmalsvariable j

b_0 = konstantes Glied

Zur Durchführung dieser Analyse wurden in SPSS folgende Einstellungen gewählt:

- * schrittweise Aufnahme der Merkmalsvariablen
- * Klassifizierung:
 - A-Priori-Wahrscheinlichkeit: aus der Gruppengröße berechnen
 - Kovarianzmatrix: innerhalb der Gruppe
- * Schrittweise Methode:
 - Wilks-Lambda = $1/(1+\text{Eigenwert})$
 - F-Wert: Voreinstellung

Verwendung fanden nur normalverteilte Merkmalsvariablen. Für die Diskriminanzanalyse wurden diese in unterschiedlicher Form transformiert.

Zur Prüfung der Güte der Diskriminanzfunktion sowie der Merkmalsvariablen wurden folgende Kenngrößen herangezogen:

- i.) Gruppen-Zentroid: Mittelwerte der Diskriminanzfunktion in den einzelnen Gruppen der Merkmalsvariablen mit Test auf Gleichheit der Gruppen-Zentroiden (a in Tab. 22 in Kap. 3.13);
- ii.) Box-M-Test auf Gleichheit der Kovarianz-Matrizen (b in Tab. 22);
- iii.) Eigenwerte der Diskriminanzfunktion und die dazugehörige kanonische Korrelation (c in Tab. 22);
- iv.) Klassifizierungsergebnisse: Häufigkeit der korrekten und falschen Zuordnungen (d in Tab. 22),
- v.) Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktionskoeffizienten: Maß für den Beitrag der einzelnen Variablen zur Gesamterklärung (e in Tab. 22).

In die Diskriminanzanalyse gingen 83 Messflächen ein. Davon waren 42 Befallsstellen und 41 waren gesunde Stellen. Da bei den Schlägen AB3, FA3, HM4, HM7, HM8, JF6, LH15, LH16, NN2, NN4, NN6, NN7, NN8, NN9 und NN10 keine Lagerungsdichte bestimmt wurde, entfielen diese. Verwendet wurden nur Parameter aus Bodenproben, da bei den kontinuierlichen Messungen die Zahl der Messflächen deutlich geringer war als bei den Bodenproben und da die Zeitdimensionen beider Arten von Untersuchungen verschieden waren. Von den Bodenproben gingen wiederum nur diejenigen Parameter als Variablen ein, die für beide Untersuchungsjahre gemeinsam vorlagen (siehe Tab. 4). Dies führte dazu, dass nur Oberbodenproben von 0 – 30 cm Tiefe verwendet wurden.

Die Diskriminanzanalysen wurden von Dr. K. HEIL, TU München, Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Freising, durchgeführt.

Tab. 4: Unabhängige Variablen der Diskriminanzanalyse aus beiden Messjahren; Messwerte aus den Ap-Horizonten

Ton [%]	feiner Feinsand [%]	d_B 13–16 [$g\ cm^{-3}$]	C_{carb} [$mg\ g^{-1}$]
Feinschluff [%]	Feinsand [%]	d_B 23–26 [$g\ cm^{-3}$]	C_{org} [$mg\ g^{-1}$]
Mittelschluff [%]	Mittelsand [%]	pH	N_i [$mg\ g^{-1}$]
Grobschluff [%]	Grobsand [%]	P_2O_5 [$mg\ 100\ g^{-1}$]	C/N
Gesamt-Schluff [%]	Gesamt-Sand [%]	K_2O [$mg\ 100\ g^{-1}$]	

d_B = Lagerungsdichte (in 13 – 16 bzw. 23 – 26 cm Bodentiefe)

3 Ergebnisse

3.1 Witterungsverlauf

Im gesamten Jahr 2002 war es außerordentlich feucht mit 1.102 mm Jahresniederschlag und zugleich warm bei 9,5 °C Jahresdurchschnittstemperatur der Luft. 2003 hingegen war sehr trocken, aber ähnlich warm wie 2002 mit 505 mm Niederschlag und 9,2 °C. In beiden Jahren war die Temperatur im Boden um 1,1 °C höher als in der Luft (Tab. 5), wobei es 2002 im Boden um 0,3 °C wärmer war als 2003.

Tab. 5: Lufttemperatur und Bodentemperatur in 20 cm Tiefe 2002 und 2003: Jahreswerte, Werte von Februar bis September, Werte im Mai; Station Neusling des Agrarmeteorologischen Messnetzes Bayern; Angaben in °C

Temperatur in	Jahresmittel, -summe			Februar – September			Mai		
	2002	2003	Δ	2002	2003	Δ	2002	2003	Δ
Luft	9,5	9,2	0,3	12,7	13,0	-0,3	14,9	16,1	-1,2
Boden	10,6	10,3	0,3	12,9	12,7	0,2	13,9	14,8	-0,9

Δ = Differenz 2002 zu 2003

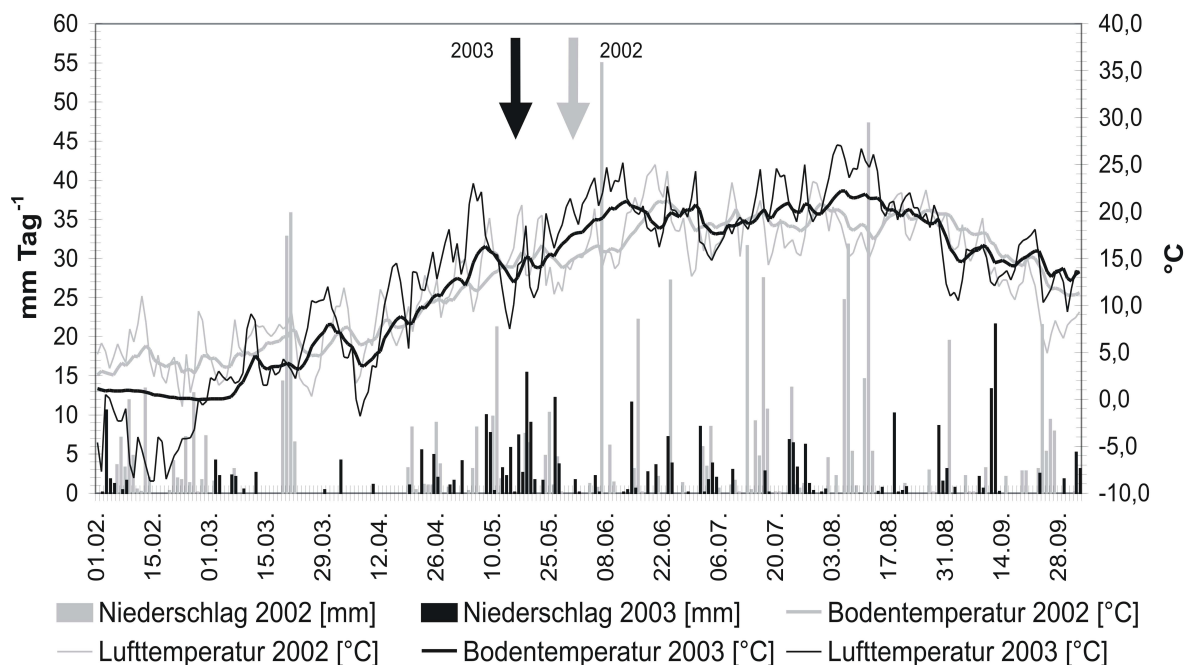


Abb. 6: Witterungsverlauf und Zeitpunkt der Erstinfektion mit Später Rüberräule (Pfeile) 2002 und 2003 jeweils vom 01.02. – 03.10. der Station Neusling des Agrarmeteorologischen Messnetzes Bayern

In den Monaten Februar bis September jedoch (Abb. 6, Tab. 5) war die Luft 2002 um 0,3 °C kühler als 2003. Dagegen lag die Bodentemperatur in dieser Periode 2002 um 0,2 °C höher

als 2003. 2002 war es von Februar bis September im Boden wärmer als in der Luft, 2003 war es umgekehrt. 2002 fiel von Februar bis September analog den Jahresdurchschnittswerten mehr Niederschlag als 2003. 2002 fielen 752 mm, 2003 288 mm Niederschlag in diesen acht Monaten.

Die Monate Mai 2002 und 2003 werden gesondert miteinander verglichen (Tab. 5), da in ihnen die Erstinfektion mit der Späten Rübenfäule stattfand. Im Jahr 2002 war der Mai in Luft und Boden deutlich kühler als 2003. Die Unterschiede betragen in der Luft 1,2 °C und im Boden 0,9 °C. Vom 15.04. bis 31.05.2002 waren 108 mm Niederschlag zu verzeichnen, im gleichen Zeitraum 2003 fielen 105 mm Niederschlag (vgl. Abb. 6).

Da die oben angeführten Messwerte aus der äußersten Südwestecke des UG stammen, wurden eigene Messungen durchgeführt, um eventuelle Abweichungen der Witterung im UG von derjenigen in Neusling zu erfassen (s. Abb. 3). Die Daten der Station Neusling waren in absoluter Höhe und zeitlichem Verlauf in beiden Jahren nahezu identisch mit den eigenen Messungen der Bodentemperatur, der Niederschläge und der Lufttemperatur. Daher werden die eigenen Niederschlags- und Lufttemperaturmessungen nicht gesondert gezeigt, auch weil die Daten aus Neusling ganzjährig vom 01.01. bis 31.12. und langjährig, insbesondere seit 1990 durchgehend, vorliegen.

3.2 Feldbegehungen und Luftbildaufnahmen

Die Feldbegehungen dienten vorrangig zur Erfassung der Bestandesentwicklung der ZR und der Entwicklung der Späten Rübenfäule. Daraus folgte die Festlegung der Orte von Pärchenvergleichen zur Messung kontinuierlicher Bodenparameter und zur Entnahme von Bodenproben vor der Ernte. Zur Unterstützung wurden die Luftbildaufnahmen herangezogen.

Es zeigte sich, dass in Befallsstellen mit Später Rübenfäule gehäuft Bestandeslücken durch fehlende, nicht aufgegangene ZR, auftraten. Oft häuften sich Aufgangslücken längs der Reihen, da die Aussaat streckenweise zu tief erfolgt war. Die Saatkörner waren noch unverändert vorzufinden. Im Jahr 2003 kam durch zu flache Aussaat streckenweise Keimlingssterben durch Spätfrost hinzu. Befallsstellen in guten, geschlossenen Beständen kamen vor, waren aber seltener. Gesunde Stellen waren meist Flächen mit gut und geschlossen entwickeltem Bestand.

Tolerante Sorten zeigten einen geringeren Befall mit Später Rübenfäule als Normalsorten. Dennoch gab es auch Befall in Schlägen mit toleranten Sorten, z.T. sogar im Jahr 2003 bei niedrigem Krankheitsniveau.

Im Jahr 2002 waren im UG kleinste bis große Befallsstellen mit Größen von ca. 1 m² bis zu ca. 20 x 100 bzw. ca. 50 x 50 m zu finden. Immer jedoch blieben einzelne ZR inmitten von stark geschädigten Befallsstellen gesund, und die Grenzen zum gesunden Bestand waren meist scharf. 2003 waren keine Befallsnester mit gleicher Morphologie wie 2002 zu finden.

Abb. 7 zeigt Luftbilder der am stärksten befallenen Schläge des gesamten UG 2002 (NN2) und 2003 (LH3). JF1 als am stärksten geschädigter Schlag mit eigenen Messungen 2002 war weniger stark geschädigt als NN2.

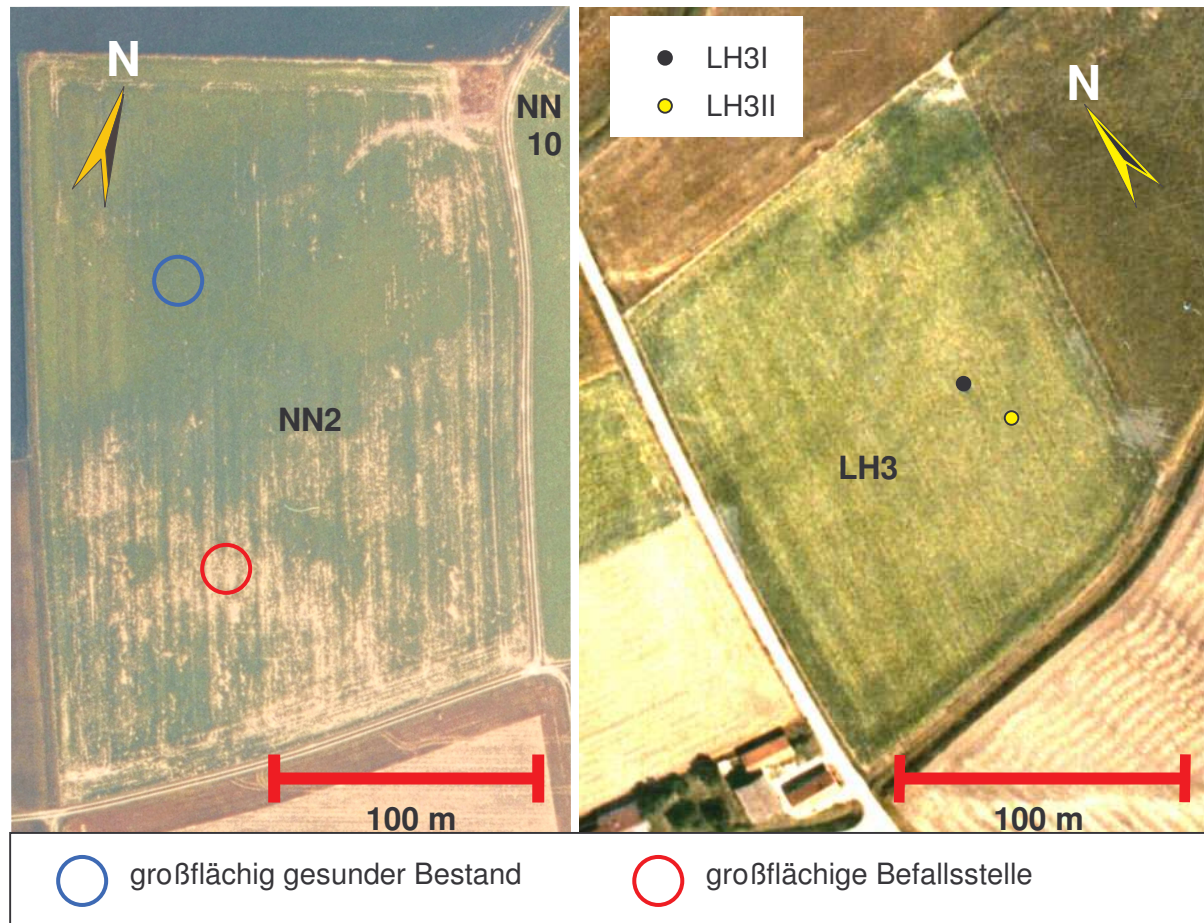


Abb. 7: Luftbilder der am stärksten geschädigten Schläge 2002 und 2003 (links: NN2 (und Westrand von NN10) vom 08.07.2002; rechts: LH3 vom 28.08.2003); Originalmaßstab 1:5.000, Bodenauflösung 30 cm

Deutlich sind die großen Befallsflächen 2002 im Südteil des Schlages zu sehen, in denen die hellbraune (Löß-) Bodenfarbe durchscheint. In ihnen waren bis zu 95% der ZR abgestorben. Für die gesamte Südhälfte wurde die Schädigung auf 40 – 50% der ZR geschätzt. Die Nordhälfte war deutlich weniger geschädigt. Im Nordosteck von Schlag NN2 verlässt eine Rinne den Schlag, der nach Nordosten entwässert, weshalb dort eine gebogene Abflussrinne ohne ZR zu finden ist. Am Nordosteck des Schlages befindet sich auch ein Lagerplatz für Grasabfälle, weshalb dort eine Braunfärbung auftritt.

2003 ist auf LH3 generell jedoch nur eine leichte Braunverfärbung als Farbtonän-

derung des ansonsten grünen Bestandes zu erkennen. Die braune Farbe stammt von den Blättern der locker im Bestand verteilten abgestorbenen Rüben. Die natürliche, graubraune Bodenfarbe zeichnet nicht durch den Bestand. Beim schwarzen Punkt im Schlag befand sich der Pärchenvergleich LH3I, beim gelben Punkt ca. 20 m weiter im Südosten Pärchenvergleich LH3II. Die dunkelgrünen Farben an den Schlagrändern und v.a. im Nordosteck stammen von einer starken Verunkrautung, die vom Landwirt nicht beseitigt wurde.

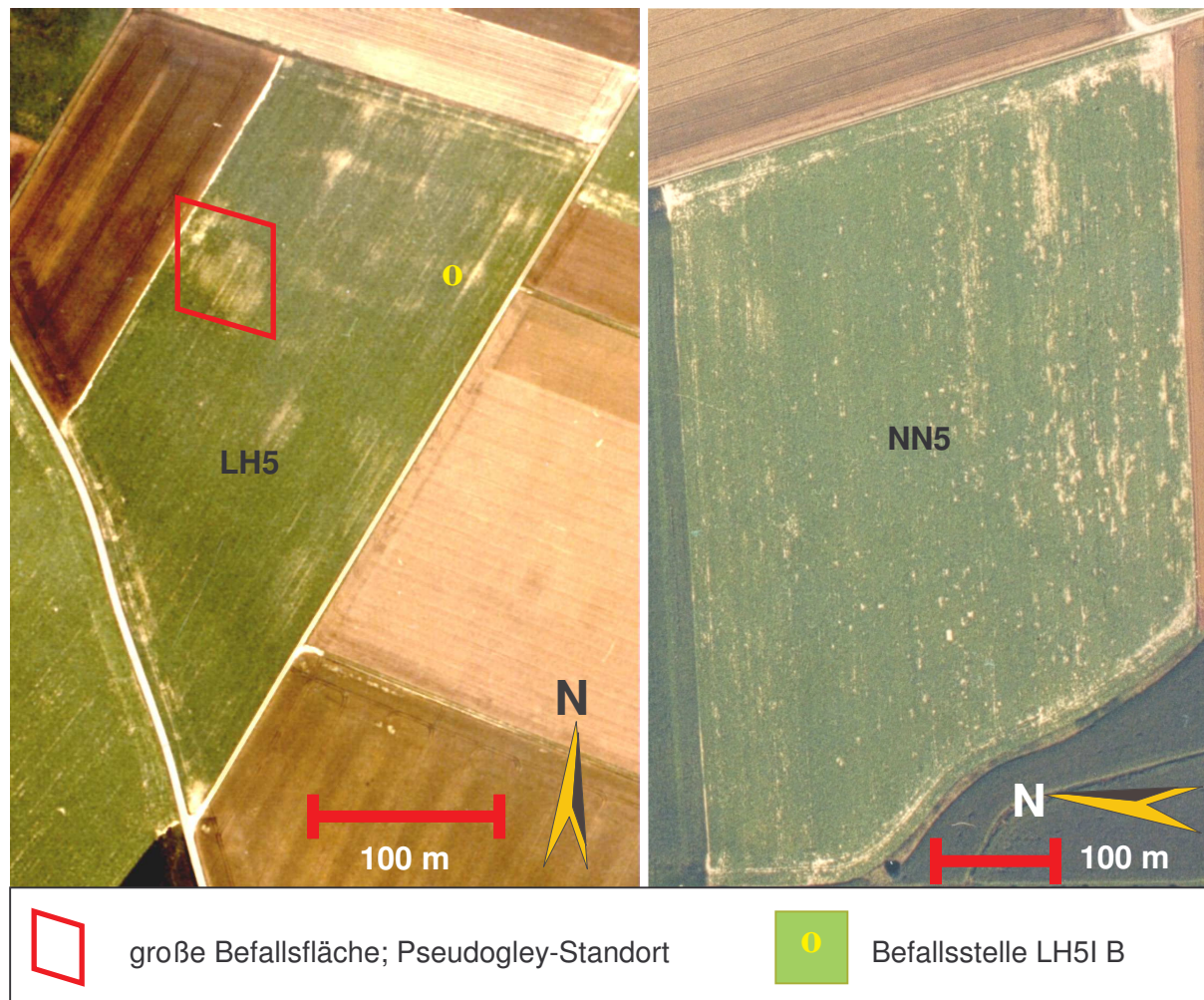


Abb. 8: Luftbilder zweier durchschnittlich geschädigter Schläge 2002 vom 08.07.2002; links: Schlag LH5, rechts: Schlag NN5; Originalmaßstab 1:5.000, Bodenauflösung 30 cm

Die Abb. 8 zeigt zwei durchschnittlich befallene Schläge 2002 mit Schäden in Vorgewenden, an Schlaglängsrändern und im Innern der Schläge, Befallsstellen mit Orientierung in Reihenrichtung, quer zu den Reihen und ohne jede räumliche Orientierung.

Befallsstellen sind hellbraun aufgrund der Löß- bzw. Bodenfarbe oder blassgrün gefärbt, gesunde Bestände sind dunkelgrün gefärbt. Die größte Befallsstelle auf Schlag LH5 war die durch das rote Trapez gekennzeichnete Zone. Dies war der tiefste Punkt im Schlag, wo der Schlag nach Westen entwässert, und an der Pseudogleye gefunden wurden. Beim gelben Kreis in Abb. 8 befand sich die Befallsstelle LH5I B, 5 m südlich davon LH5I G.

Eine Konzentration der Befallsstellen im Vorgewende konnte nicht festgestellt werden. Generell zeigten alle Schlagteile, das Vorgewende, die Schlaglängsränder und das Schlaginnere, die gleiche Häufigkeit von Befallsstellen. Auch eine dominante Längsausrichtung der Befallsstellen entlang der Reihenrichtung konnte nicht festgestellt werden. Längs der Reihen orientierte, quer zu den Reihen orientierte und nicht räumlich orientierte Befallsstellen waren ungefähr gleich häufig. Diese räumlichen Muster wurden aber nicht quantitativ erfasst.

Keiner der untersuchten Schläge war eine vollkommene Ebene, so dass sich fast überall mindestens leichte Reliefunterschiede zeigten. Manche, v.a. an Terrassenkanten liegende Schläge, wie z.B. NN2 in Abb. 7 oder wie AB4, und Schläge mit durchlaufenden Tälchen sind deutlicher reliefiert. So konnten überall in einem Schlag relativ hoch liegende Positionen wie Rücken, Sättel und Riedel, relativ tief liegende Stellen wie Senken, Dellen und Talungen sowie dazwischen vermittelnde Hänge identifiziert werden. Alle Befallsstellen lagen auf konvexen bis konkaven Ober-, Mittel- und Unterhängen. Die Hangneigungen betragen bei Befallsstellen meist $0,5 - 3^\circ$ ($\approx 1 - 7\%$), in den Schlägen NN2 und AB4 bis 5° ($\approx 11\%$). In den relativ höchsten bzw. tiefsten Punkten im Relief waren keine Befallsstellen zu finden.

3.3 Befallsgrad und Neuklassifizierung von Messflächen

Die Befallsstellen ohne die am stärksten befallenen Flächen JF1I B, LH5I B und AB4I B zeigten bei Messbeginn im Mittel 2,8 erkrankte ZR pro Messfläche, = 4% der ZR. Ihre Fläche betrug im Durchschnitt $6,4 \text{ m}^2$, was ca. 48 – 112 (im Mittel 70) ZR entspricht. Auf JF1I B waren es 31 kranke ZR, = 25% aller ZR der Messfläche, auf LH5I B acht ZR = 6%, und auf AB4I B fünf ZR = 7%.

In der am stärksten befallenen Messfläche 2002, JF1I B, waren zur Ernte 33% der ZR abgestorben, wobei in einer Reihe meist mehrere ZR hintereinander betroffen waren. In den am stärksten geschädigten Schlägen 2003, LH3 und AB4, traten in den Befallsstellen nur abgestorbene Einzelrüben gehäuft auf, umgeben von noch gesunden ZR, wie in Abb. 2 rechts zu sehen ist. Der maximale Befall 2003 mit 12% abgestorbenen ZR wurde in der Befallsstelle LH3I B festgestellt. Dort kamen weitere 9% infizierte ZR dazu, was jedoch erst durch Herausziehen aller ZR beim Ausbau der Messgeräte erkennbar war. Zum Zeitpunkt der Ernte 2002 und 2003 waren im Mittel aller Befallsstellen 7,5% der ZR abgestorben.

Die Entwicklung der Späten Rübenfäule in den Messflächen im Jahresverlauf muss aufgrund des Witterungsverlaufes hier näher erläutert werden.

Bei Messbeginn erhielten die Messflächen als Bezeichnungen den Schlagnamen, einen römischen Buchstaben (I bis V) als fortlaufende Nummer des Pärchenvergleichs im Schlag und ein "B" für Befallsstelle bzw. ein "G" für gesunde Stelle (s. Spalte "Fläche" in Tab. 6).

Tab. 6: Messflächen, Krankheitsentwicklung (KE) und Art der Messungen (K, P); Schläge alphabetisch geordnet

Fläche	KE	K	P	Fläche	KE	K	P	Fläche	KE	K	P	Fläche	KE	K	P
AB3I B	B		+	FA4II B	B		+	JW1I B	B	+	+	LH15I B	B		+
AB3I G	G		+	FA4II G	G		+	JW1I G	G	+	+	LH15I G	G		+
AB4I B	S	+	+	HM4I B	B		+	JW1II B	B		+	LH16I G*	G		+
AB4I G	S	+	+	HM4I G	G		+	JW1II G	G		+	MK4I B	B	+	+
AB4II B	S	+	+	HM6I B	B	+	+	JW1III B	B		+	MK4I G	G	+	+
AB4II G	S	+	+	HM6I G	G	+	+	JW1III G	G		+	MK4II B	B		+
AB4III B	S	+	+	HM7I B	B		+	JW6I B	S	+	+	MK4II G	G		+
AB4III G	B	+	+	HM7I G	G		+	JW6I G	B	+	+	MK4III B	B		+
AB4IV B	B		+	HM8I B	B		+	JW6II B	B	+	+	MK4III G	G		+
AB4IV G	G		+	HM8I G	G		+	JW6II G	G	+	+	NN2I B	B		+
AB4V B	B		+	HM10I B	S	+	+	JW6III B	B		+	NN2I G	G		+
AB4V G	G		+	HM10I G	G	+	+	JW6III G	G		+	NN4I B	B		+
AP4I B	B	+	+	HM10II B	B		+	JW6IV B	B		+	NN4I G	G		+
AP4I G	G	+	+	HM10II G	G		+	JW6IV G	G		+	NN6I B	B		+
(AP4II B)	4	(+)	(+)	JF1I B	B	+	+	LH1I B	S	+	+	NN6I G	G		+
AP4II G	G	+	+	JF1I G	G	+	+	LH1I G	G	+	+	NN7I B	B		+
AP7I B	B	+	+	JF1II B	B		+	LH1II B	B		+	NN7I G	G		+
AP7I G	G	+	+	JF1II G	G		+	LH1II G	G		+	NN8I B	B		+
AP7II B	B		+	JF1III B	B		+	LH3I B	B	+	+	NN8I G	G		+
AP7II G	G		+	JF1III G	G		+	LH3I G	B	+	+	NN9I B	B		+
AP7III B	B		+	JF2I B	B	+	+	LH3II B	B	+	+	NN9I G	G		+
AP7III G	G		+	JF2I G	G	+	+	LH3II G	B	+	+	NN10I B	B		+
AR1I B	B		+	JF2II B	B		+	LH5I B	B	+	+	NN10I G	G		+
AR1I G	G		+	JF2II G	G		+	LH5I G	G	+	+	NN11I B	B		+
AR1II B	B		+	JF2III B	B		+	LH5II B	B		+	NN11I G	G		+
AR1II G	G		+	JF2III G	G		+	LH5II G	G		+	NN11II B	B		+
FA3I B	B		+	JF6I G*	G		+	LH5III B	B		+	NN11II G	G		+
FA3I G	G		+	JO1I B	B		+	LH5III G	G		+	NN12I B	B		+
(FA4I B)	4	(+)	(+)	JO1I G	G		+	(LH9I B)	4	(+)	(+)	NN12I G	G		+
FA4I G	G	+	+	JO1II B	B		+	LH9I G	G	+	+	NN12II B	B		+
				JO1II G	G		+					NN12II G	G		+

Messflächen mit Bodenprobennahme: $n_{\text{Pärchenvergleiche}}$: 62; $n_{\text{Messflächen}}$: 122;

davon: $n_{\text{Messflächen B}}$: 55 (2002: 28, 2003: 27); $n_{\text{Messflächen G}}$: 56 (2002: 30, 2003: 26);

$n_{\text{Messflächen S}}$: 8 (nur 2003); $n_{\text{Messflächen AG 4}}$: 3 (nur 2003)

Messflächen mit kontinuierlichen Messungen: $n_{\text{Pärchenvergleiche mit K}}$: 20; $n_{\text{Messflächen mit K (ohne AG4)}}$: 37;

davon: $n_{\text{Messflächen B mit K}}$: 15; $n_{\text{Messflächen G mit K}}$: 14; $n_{\text{Messflächen S mit K}}$: 8

In Spalte "KE": B = "Befall", G = "Gesund", S = "Stillstand", 4 = *R. solani* AG 4

K = mit kontinuierlichen Messungen; P = mit Bodenprobennahme

* = auf diesen Schlägen konnte keine Befallsstelle gefunden werden

n = Anzahl; grau unterlegt: 2002; () = nicht berücksichtigte Flächen mit *R. solani* AG 4

Im Jahr 2002 entwickelte sich die Krankheit in allen Messflächen wie vorhergesagt: die Befallsstellen zeigten eine Ausbreitung der Krankheit vom Zeitpunkt der Installation der

Messgeräte bis zu ihrem Ausbau, während die gesunden Stellen im gleichen Zeitraum (nahezu) gesund blieben. In drei Fällen trat eine kranke Rübe pro gesunder Stelle während der Messperiode neu auf, bei JF1I G traten drei kranke Rüben neu auf. Trotzdem wurden diese Flächen als "Gesund" betrachtet, auch bei JF1, da die Befallsstellen deutlich stärker geschädigt waren als die gesunden Stellen und da JF1 insgesamt sehr stark befallen war.

Die Entwicklung der Späten Rübenfäule in den Messflächen war 2003 anders als 2002. Bei vier Pärchenvergleichen, AP4I, JW6II, JF2I und HM6I, die im folgenden auch als "echte" Pärchenvergleiche bezeichnet werden, war dieselbe Entwicklung zu beobachten wie für 2002 beschrieben.

Bei den anderen Pärchenvergleichen jedoch zeigten vier anfangs als "Gesund" erachtete Messflächen im Laufe der Messungen einen Ausbruch der Krankheit und mussten daher den Befallsstellen zugeordnet werden. Diese Messflächen AB4III G, JW6I G, LH3I G, LH3II G werden im folgenden als "Initialphasen" bezeichnet.

Dagegen kam auf sechs als "Befall" erachteten Messflächen das anfangs aktive und nachweisbare Krankheitsgeschehen zum Stillstand. Drei dieser anfangs als "Befall" erachteten Messflächen lagen in Schlag AB4, der schon sehr früh und stark befallen war, so dass keine komplett gesunde Fläche als "Gesund" festgelegt werden konnte. In den ursprünglich als "Gesund" klassifizierten Messflächen waren zu Beginn der Messungen zwei (AB4I G) bzw. eine (AB4II G) schon oberirdisch erkennbar abgestorbene ZR vorhanden. In den korrespondierenden Befallsstellen waren es fünf bzw. drei abgestorbene ZR. In diesen Pärchenvergleichen kam jegliches Krankheitsgeschehen nach Einbau der Messgeräte zum Stillstand. Daher wurden auch die ursprünglich als "Gesund" klassifizierten Flächen AB4I G und AB4II G im Nachhinein als "Stillstand"-Fläche gezählt. "Stillstand"-Flächen werden in der vorliegenden Arbeit nur ausnahmsweise erwähnt, so bei der Bodensaugspannung, Kap. 3.4, Bodentemperatur, Kap. 3.5, Redoxpotential, Kap. 3.6 und am Rande auch in Kap. 4.5, und wurden getrennt von den Befallsstellen betrachtet.

Grundlage der Umklassifizierung von Messflächen wie im Abschnitt oben beschrieben, z.B. von "Befall" zu "Stillstand" o. von "Gesund" zu "Befall", waren die Bonituren des Blattapparates der Zuckerrüben bei Einbau und bei Ausbau der Messgeräte. Daher konnte 2003 ein Vergleich von (echter) Befallsstelle und (echter) gesunder Stelle eines Messflächen-Pärchens im Sinne eines Pärchenvergleiches nur in vier der fünfzehn Pärchenvergleiche mit kontinuierlichen Messungen durchgeführt werden, während dies 2002 in allen fünf Pärchenvergleichen möglich war. Infolgedessen trat die Betrachtungsweise der Pärchenvergleiche, als paarweiser Vergleich räumlich unmittelbar benachbarter und aufeinander bezogener Befallsstellen und gesunder Stellen, zurück.

In den Vordergrund trat die Betrachtung aller Befallsstellen als eine Gruppe von Messwerten und der Vergleich mit allen gesunden Stellen als zweite Gruppe von

Messwerten unter Auflösung des räumlichen Bezuges von "Befall"- und "Gesund"-Stellen. Diese Gruppenbetrachtung von "Befall" und "Gesund" ist Standard in vorliegender Arbeit. Sie findet sich in den Kapiteln 3.4 bis 3.10 wieder. Die Erwähnung der Ausnahme der Gruppe "Stillstand" findet sich oben. Bei der Bodensaugspannung, Kap. 3.4, und der Lagerungsdichte, Kap. 3.7, wurde neben dem Vergleich der Gruppen "Befall" und "Gesund" zusätzlich – wenn geboten – auf die Betrachtungsebene der Pärchenvergleiche zurückgegriffen.

Die Bezeichnungen "B" bzw. "G" für die Messflächen bzw. Proben blieben gleich, auch wenn aufgrund des speziellen Witterungseinflusses 2003 diese Bezeichnungen im nachhinein streng genommen falsch waren (vgl. Spalten "Fläche" und "KE" in Tab. 6).

3.4 Bodensaugspannung

Eine hohe Bodenfeuchte wird als günstig für die Späte Rübenfäule erachtet, weshalb die Bodensaugspannung gemessen wurde.

Da der Vergleich der Gruppen "Befall" und "Gesund" Standard in vorliegender Arbeit ist, wird zunächst dieser dargestellt. Dabei wurde die gesamte Messperiode betrachtet.

Die Unterschiede zwischen den Gruppen "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003 waren im Mittel der Messperiode in allen Messtiefen nicht signifikant (Tab. 7).

In beiden Messjahren waren die Unterschiede zwischen "Befall" und "Gesund" von Anfang bis Ende der Messungen gleichermaßen vorhanden. Die Einzelmessungen pro Messtermin und Messfläche waren zwischen "Befall" und "Gesund" nicht signifikant verschieden, da der Einfluss des Witterungsverlaufs während der Messperiode stärker war (Abb. 9, Abb. 10).

Wie Tab. 7 zeigt, waren die Bodensaugspannungen in den acht Stillstandsflächen 2003 die teils signifikant höchsten aller drei Gruppen von Messflächen.

In 35 cm Bodentiefe fand sich in beiden Jahren, trotz stark unterschiedlicher Witterung, der prinzipiell gleiche Unterschied zwischen "Befall" und "Gesund": die Bodensaugspannung war im Mittel bei "Befall" um 32 bzw. 42 hPa geringer als im Mittel bei "Gesund", d.h. "Befall" war etwas feuchter. "Befall" wies 2002 Saugspannungen von –129 hPa, 2003 von –507 hPa auf. Bei "Gesund" wurden 2002 –161 hPa und 2003 –549 hPa gemessen.

In 15 cm Messtiefe zeigten die Ergebnisse keinen eindeutigen Trend. Im Mittel aus 15 und 35 cm Tiefe wiederum entsprachen die Ergebnisse von 2002 denen von 2003, in beiden Jahren war die Saugspannung bei "Befall" um 21 bis 27 hPa geringer als bei "Gesund". In 55 cm Tiefe 2002 war "Befall" nur um 13 hPa feuchter als "Gesund", was zu vernachlässigen ist. Aufgrund der Ergebnisse aus dem Jahr 2002 wurde auf die Messtiefe 55 cm im Jahr 2003 verzichtet und dafür die Anzahl der Messflächen erhöht.

Tab. 7: Bodensaugspannung in 15 cm, 35 cm und 55 cm Tiefe bei "Befall", "Gesund" und "Stillstand" 2002 und 2003; Mittelwerte aus der gesamten Messperiode

	2002			2003			
	"Befall" n	"Gesund" n	$\Delta B - G$	"Befall" n	"Gesund" n	$\Delta B - G$	"Stillstand" n
	5	5		10	9		8
	hPa			hPa			
15 cm	-172 a*	-182 a	10	-451 a	-407 a	-44	-481 a
Std. abw.	17	43		65	72		104
35 cm	-129 a	-161 a	32	-507 a	-549 a	42	-631 b
Std. abw.	71	77		53	73		36
55 cm	-103 a	-116 a	13	---	---	---	---
Std. abw.	91	112		---	---		---
15 + 35 cm	-150 a	-171 a	21	-453 a	-480 a, b	27	-538 b
Std. abw.	40	57		59	38		75
15 + 35 + 55 cm	-134 a	-153 a	19	---	---	---	---
Std. abw.	55	68		---	---		---

* Mittelwerte gefolgt von verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $P < 0,05$ innerhalb eines Jahres zwischen "Befall", "Gesund" und "Stillstand"; $\Delta B - G$: Differenz zwischen "Befall" und "Gesund"; Std. abw. = Standardabweichung; Mittelwerte pro Messfläche 2002 u. 2003 und Einzelmesswerte 2003 siehe Kap. 8.3 im Anhang, Tab. 28 und Tab. 29; n = Anzahl Messflächen

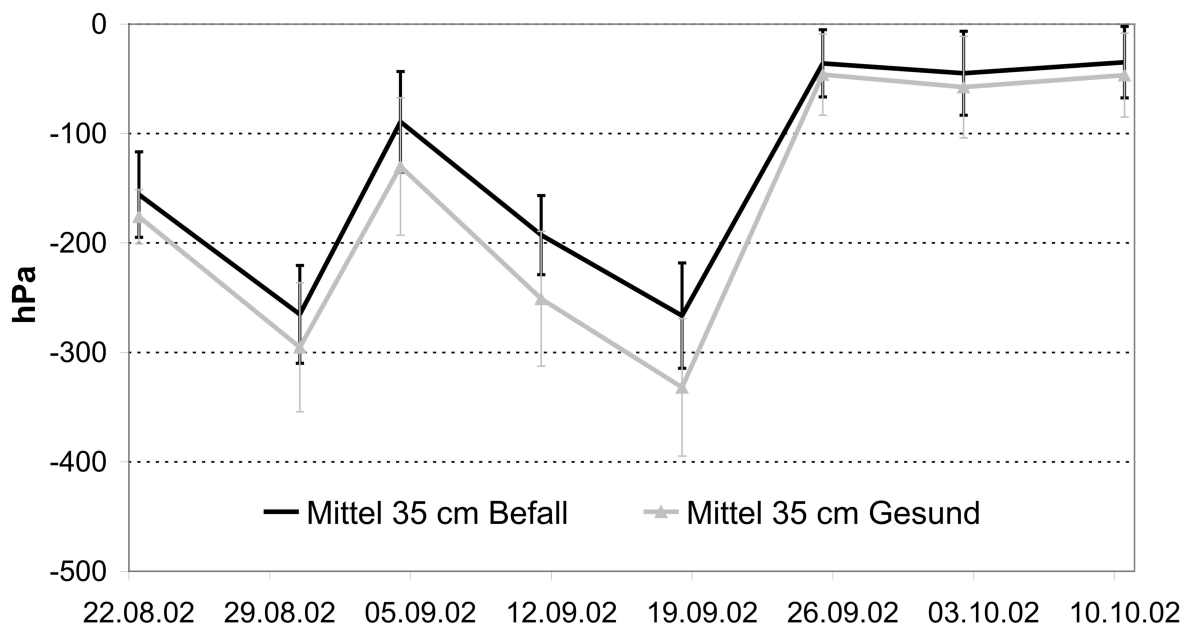


Abb. 9: Bodensaugspannung in 35 cm Tiefe bei "Befall" und "Gesund" 2002; Mittelwerte aus fünf "Befall"- und fünf "Gesund"-Stellen der gesamten Messperiode 2002; Mittelwerte pro Messfläche siehe Tab. 28 im Anhang in Kap. 8.3

Geeigneter als der oben dargestellte Vergleich der Mittelwerte der Gruppen "Befall" und "Gesund" war für das Jahr 2003 der direkte Vergleich von Befallsstelle und gesunder Stelle

in Pärchenvergleichen. Dies lag an dem von Schlag zu Schlag verschiedenen Messbeginn. Relativ spät installierte Tensiometer konnten nur zur Zeit höchster Saugspannungen messen, die zuerst installierten Tensiometern dagegen auch in Zeiten mit relativ geringer Saugspannung (vgl. Abb. 10 hier und Tab. 29 in Kap. 8.3). Des weiteren führte die Trockenheit 2003 zum Ausfall von Tensiometern und damit zu Lücken in der Datentabelle. Somit waren Mittelwertberechnungen über die Zeit und alle Schläge hinweg nicht sehr aussagekräftig.

Ein Test ergab, dass die Schlussfolgerungen aus den Messungen der Bodensaugspannung 2003 durch Betrachtung anderer Zeiträume als der gesamten Messperiode keine anderen Aussagen ergab. Daher wurde die gesamte Messperiode dargestellt, da z.B. nur die Endphase relativ wenige Messwerte lieferte.

Daher war die sicherste Betrachtungsweise bei der Auswertung vorliegender Saugspannungsmessungen die Analyse des zeitlichen Verlaufs der Bodensaugspannung im Vergleich von Messflächen, bei denen die Messungen zur gleichen Zeit begannen, in Pärchenvergleichen, deren Flächen sich nach "Gesund" und "Befall" unterschieden, zu Terminen, an denen für "Befall" und "Gesund" Messwerte vorlagen. Somit lag auch diese Betrachtungsweise den Aussagen zur Bodensaugspannung in dieser Arbeit zugrunde. Folglich wurden für 2003 die "echten" Pärchenvergleiche AP4I, JW6II, JF2I und HM6I gesondert betrachtet (s. Abb. 10 und Tab. 8). Sie sind in Tab. 29 im Anhang in Kap. 8.3 fett markiert.

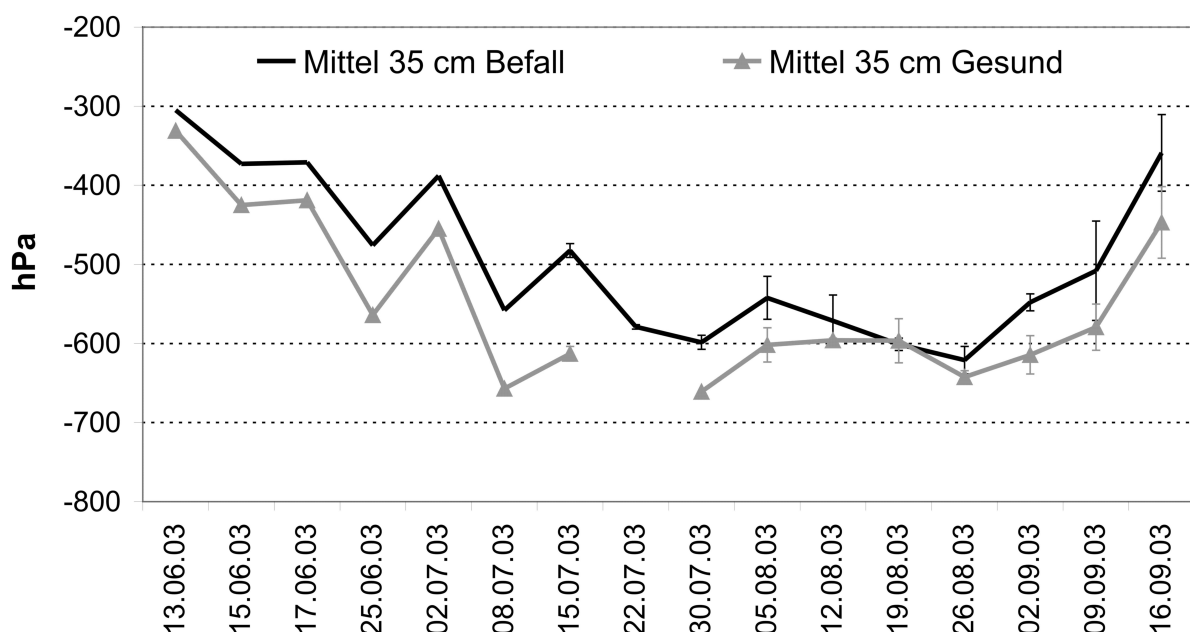


Abb. 10: Bodensaugspannung in 35 cm Tiefe bei "Befall" und "Gesund" der Pärchenvergleiche AP4I, JW6II, JF2I und HM6I 2003; Mittelwerte aus den Befalls- und den gesunden Stellen der gesamten Messperiode 2003

Beim Vergleich von "Befall" und "Gesund" der Pärchenvergleiche 2002 und der vier "echten" Pärchenvergleiche 2003 zeigte sich prinzipiell derselbe Unterschied: in beiden Jahren war in

den meisten Pärchenvergleichen die Befallsstelle in 35 cm Tiefe etwas feuchter. Folglich lagen die Mittelwerte der Gruppe "Befall" unter denen von "Gesund". Im Mittel der vier "echten" Pärchenvergleiche 2003 beträgt der Unterschied 66 hPa. Damit liegen die Unterschiede deutlich oberhalb der Messungengenauigkeit der Tensiometer von ca. 20 – 30 hPa, und der Unterschied ist signifikant. 2002 waren die Unterschiede prinzipiell gleichartig, aber kleiner (vgl. Abb. 9). Die Unterschiede von "Befall" und "Gesund" in diesen vier Pärchenvergleichen 2003 in 15 cm Tiefe und im Mittel der Tiefen 15 und 35 cm sind mit 20 bzw. 22 hPa gering und nicht signifikant.

Tab. 8: Bodensaugspannung in 15 cm und 35 cm Tiefe bei "Befall" und "Gesund" der Pärchenvergleiche AP4I, JW6II, JF2I und HM6I 2003; Mittelwerte aus der gesamten Messperiode

2003 n	"Befall" 4	"Gesund" 4 hPa	$\Delta B - G$
15 cm Std. abw.	-461 a* 55	-441 a 35	-20
35 cm Std. abw.	-500 a 43	-566 b 37	66
15 + 35 cm Std. abw.	-466 a 45	-488 a 41	22

* Mittelwerte gefolgt von verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $P < 0,05$ zwischen "Befall" und "Gesund"

$\Delta B - G$ = Differenz zwischen "Befall" und "Gesund"; n = Anzahl Messflächen

Eine Klassifizierung der Standorte in Lößstandorte und Auenstandorte ergab keine verlässlichen Messwerte, da 2002 nur ein Schlag in der Aue (JW1) beprobt wurde und 2003 nur sehr wenige Messwerte pro Standortgruppe, insbesondere bei den Auenstandorten, nach der Auftrennung übrig blieben. Wo ein Vergleich möglich war, ist festzustellen, dass bis Mitte August 2003 in beiden geologischen Situationen die Befallsstellen in 35 cm Tiefe feuchter waren als die gesunden Stellen (vgl. Abb. 23 im Anhang in Kap. 8.3).

3.5 Bodentemperatur

Die Messung der Bodentemperatur diente der Überprüfung der Vermutung, dass hohe Temperaturen eine Ursache der Späte Rübenfäule darstellen.

Für die Auswertung der Messungen wurde 2002 die gesamte Messperiode, für 2003 die Anfangsphase vom 12.06. – 31.08.2003 herangezogen, obwohl bei der Bodentemperatur 2003 prinzipiell dieselbe Einschränkung gilt wie für die Messung der Bodensaugspannung,

die oben erwähnt wurde: durch die verschiedenen Einbautermine der Messgeräte wurden unterschiedliche Witterungsphasen pro Messfläche verschieden lang erfasst. Jedoch war im Gegensatz zur Bodensaugspannung bei der Bodentemperatur 2003 nur ein Ausfall zu verzeichnen. Nur das Thermometer "JW6II B b" im Bestand mit großen ZR fiel aus.

Zunächst werden die Messflächen getrennt in die Gruppen "Befallsstellen" und "gesunde Stellen" verglichen.

Alle vier Messtiefen 5 cm, 10 cm, 15 cm und 25 cm zeigten 2002 sehr ähnliche Unterschiede zwischen "Befall" und "Gesund": bei "Befall" war es im Boden um ca. 0,2 °C wärmer als bei "Gesund". Tab. 9 zeigt die Mitteltemperaturen aller zehn Messflächen der gesamten Messperiode 2002 in den vier Messtiefen.

Tab. 9: Durchschnittswerte der Bodentemperatur 2002 in 5 cm, 10 cm, 15 cm und 25 cm Tiefe; alle Messflächen; Mittel der gesamten Messperiode; B = Befallsstelle, G = gesunde Stelle; Angaben in °C

Messfläche	Messtiefe [cm]				Mittelwert Ø 1
	5	10	15	25	
AP7I B	13,28	---	---	---	13,28
AP7I G	12,99	13,01	13,18	13,45	12,99
JF1I B	13,51	---	14,14	14,27	13,97
JF1I G	13,60	---	13,72	13,97	13,76
JW1I B	12,03	12,36	12,40	12,60	12,26
JW1I G	11,68	12,14	12,30	---	12,04
LH5I B	12,69	12,10	12,71	---	12,40
LH5I G	12,35	12,34	---	12,97	12,35
MK4I B	13,23	13,47	---	---	13,35
MK4I G	13,04	13,36	13,45	13,66	13,20
Mittelwerte:					
Ø 2 B	12,95	12,64	13,27	14,27	
Ø 3 G	12,73	12,61	13,01	13,97	

Ø 1 = Mittelwert der Tiefen pro Fläche, in denen "Befall" u. "Gesund" in gleicher Tiefe vorlagen; Ø 2 B = Mittelwert der Befallsstellen, wenn "Befall" u. "Gesund" in einem Schlag vorhanden waren; Ø 3 G = Mittelwert der gesunden Stellen, wenn "Befall" u. "Gesund" in einem Schlag vorhanden waren;

--- = ausgefallene Thermometer; **fett:** Vergleichswerte "Befall" zu "Gesund"; es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen "Befall" und "Gesund" festgestellt werden

AP7, MK4 und JF1 waren mit ca. 13 – 14 °C relativ warm, LH5 und JW1 mit ca. 12,1 – 12,4 °C relativ kühl. In allen Schlägen und daher auch im Mittel aller Schläge war "Befall" etwas wärmer als "Gesund". Von 5 zu 10 cm Bodentiefe nahm die Temperatur zunächst ab, von 10 bis 25 cm Tiefe aber wieder zu. In allen Tiefen waren die Befallsstellen um 0,03 bis 0,30 °C wärmer als die gesunden Stellen. In 15 cm Tiefe war der Unterschied 2002 relativ groß (0,26 °C). Diese Ergebnisse führten zur Beschränkung auf die Tiefe 15 cm im Jahr 2003.

Die Temperaturen bei "Befall" und "Gesund" waren jeweils über ein weites Spektrum verteilt: "Befall" von 12,03 bis 14,27 °C, "Gesund" von 11,68 bis 13,66 °C.

Aus den Ergebnissen des Jahres 2002 folgte, dass die Messtiefe 15 cm ausreicht, um Unterschiede zwischen Messflächen bzw. jede einzelne Messfläche zu kennzeichnen.

Dieselbe Betrachtungsweise für 2003 führte zunächst zu anderen Befunden gegenüber 2002. Verwendung fanden zunächst die Mittelwerte aus den Messungen beider Thermometer pro Messfläche zur Betrachtung auf der räumlichen Ebene der Messflächen. In Ausnahmefällen war nur ein Thermometer pro Messfläche eingebaut worden.

2003 waren die Befallsstellen im Mittel mit 20,46 °C um 0,26 °C *kühler* als die gesunden Stellen mit 20,72 °C (vgl. Tab. 30 im Anhang in Kap. 8.4). Stillstandsflächen wiesen mit 20,49 °C fast die gleiche Temperatur auf wie Befallsflächen.

Bei genauerer Betrachtung aber waren "Befall" bzw. "Gesund" über das ganze Temperaturspektrum verbreitet. Dies zeigt Abb. 11, in der die Temperaturen der einzelnen "Befall"-, "Gesund"- und "Stillstand"-Flächen 2003 aus Tab. 30 dargestellt sind.

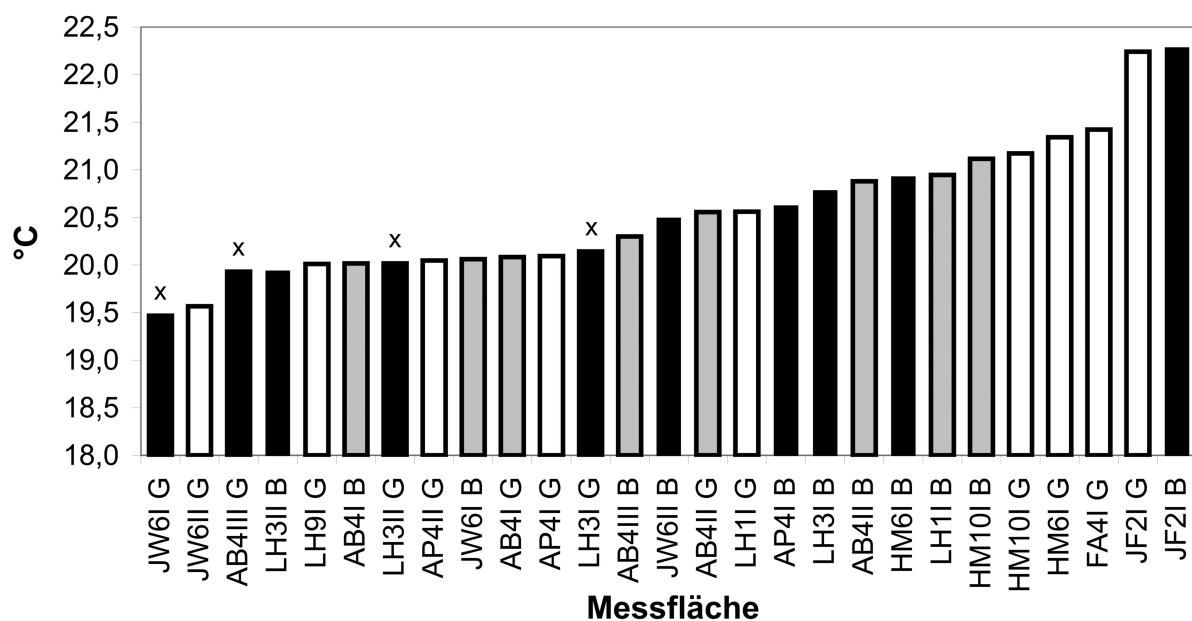


Abb. 11: Bodentemperatur in 15 cm Tiefe 2003; alle 27 Messflächen; "Befall", "Stillstand" und "Gesund"; Mittelwerte aus den Messungen beider Thermometer pro Messfläche vom 12.06. - 31.08.03; schwarz = "Befall", grau = "Stillstand", weiß = "Gesund"; x = Initialphasen; Messflächen nach Temperatur sortiert; vgl. Tab. 30 im Anhang in Kap. 8.4

In vier Messflächen, die zu Beginn der Messungen als "Gesund" betrachtet wurden, brach die Krankheit nach Messbeginn oberirdisch erkennbar aus ("Initialphasen"). Diese Flächen wiesen relativ niedrige Temperaturen auf. Auffällig ist auch, dass Messflächen mit gesunden ZR oft hohe Temperaturen zeigten.

Aufgrund der 2002 und 2003 verschiedenen und der für 2003 nicht der Erwartung

entsprechenden Ergebnisse dieser Betrachtungsweise wurde noch ein zweiter Weg der Auswertung gewählt: die Analyse der Messergebnisse der einzelnen Bodenthermometer. Diese Auswertung war für 2002 nicht möglich, da die Thermometer nach einem anderen System eingebaut worden waren als 2003.

Für 2003 jedoch ergaben sich neue Erkenntnisse. Durch die Bonitur der einzelnen ZR in den Messflächen und der genauen Dokumentation des Einbauortes konnten die Messungen jedes Thermometers dem Bestandesbild am Ort des Thermometers zugeordnet werden. Dadurch ergab sich die weitgehende Unabhängigkeit der Bodentemperatur von der Späten Rübenfäule. In Befallsstellen traten Bestandeslücken, resultierend aus Aufgangslücken der ZR, deutlich häufiger auf als in gesunden Stellen. Fehlende Beschattung führte zu stärkerer Erwärmung des Bodens tagsüber, so dass die Tagesmitteltemperaturen bei "Befall" allein schon deshalb über denen bei "Gesund" lagen (s. Abb. 12).

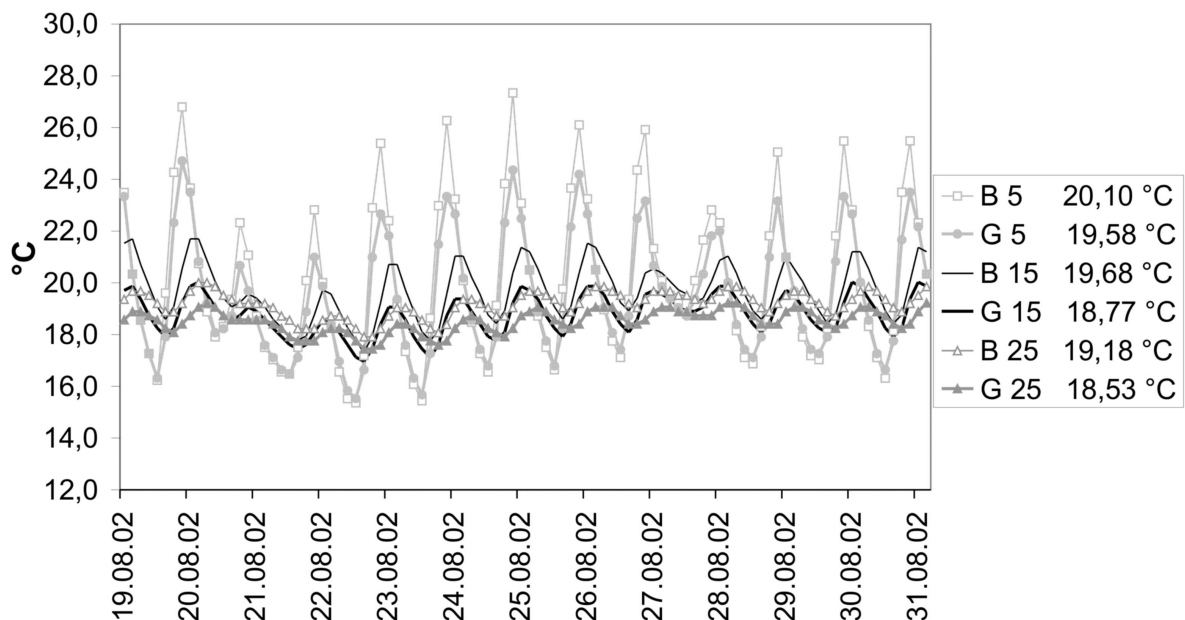


Abb. 12: Tagesgang der Bodentemperatur in 5 cm, 15 cm und 25 cm Tiefe in Pärchenvergleich JF11 vom 19.08. – 31.08.2002; getrennt in "Befall" (B) und "Gesund" (G); Angabe der Mitteltemperatur v. 19.08. – 31.08.2002 in der Legende

Die gemessenen Bodentemperaturen waren vielmehr vom Bestandesbild direkt am Thermometer abhängig. Fehlende und kleine ZR in direkter Nachbarschaft der Thermometer führten zu relativ hoher Bodentemperatur (20,96 °C, n = 21), mittelgroße ZR zu geringerer Bodentemperatur (20,43 °C, n = 16) und große ZR mit maximaler Ausbildung des Blattapparates zu den niedrigsten Bodentemperaturen (19,93 °C, n = 12). Als "fehlende ZR" sind im folgenden fehlende und kleine ZR definiert. Ein signifikanter Unterschied ($P < 0,001$) war nur zwischen "fehlende ZR" und "große ZR" zu finden. Im Mittel aus den Messungen bei großen und mittleren ZR beträgt die Temperatur 20,21 °C (n = 28), und diese ist ebenfalls signifikant ($P < 0,01$) von der Temperatur bei fehlenden ZR verschieden (Abb. 13).

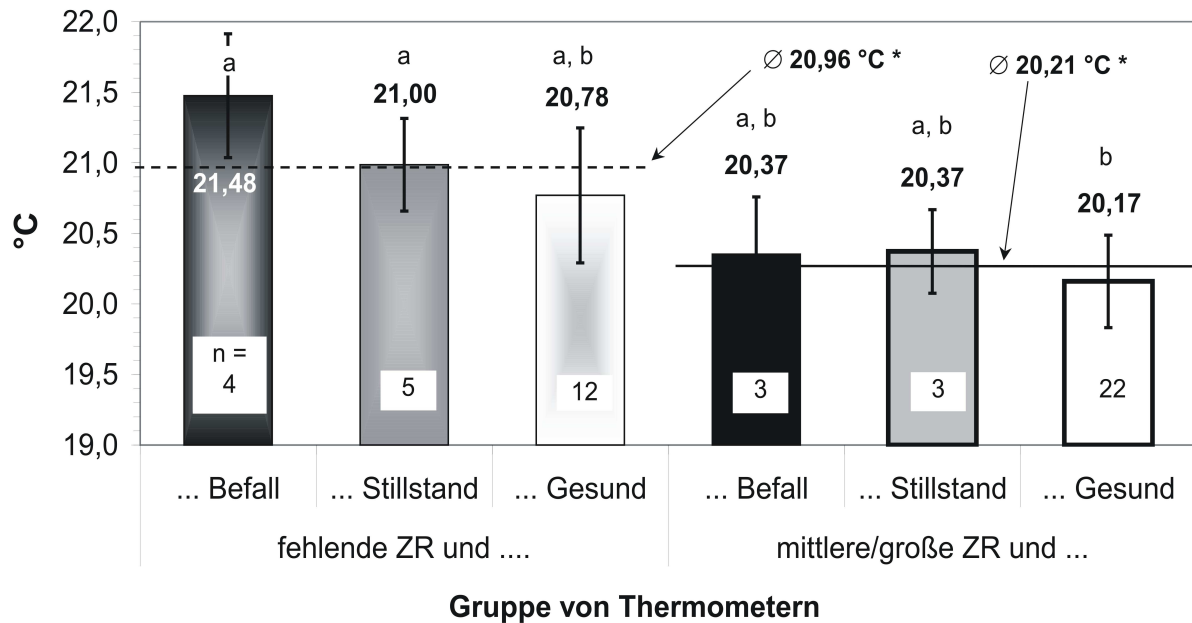


Abb. 13: Bodentemperatur in 15 cm Tiefe 2003, gemessen an 49 Einzelthermometern; Vergleich mit Krankheits- und Bestandesbild; Mittelwert der Messperiode vom 12.06. – 31.08.2003; getrennt nach "Befall", "Stillstand" und "Gesund"; Bestandesbild definiert als Größe der ZR direkt an den Thermometern; n = Anzahl der Thermometer; Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $P < 0,05$; Ø = Mittelwert; * = signifikanter Unterschied bei $P < 0,01$

Die Unterschiede nach dem Krankheitsbild waren kleiner und nie signifikant: "Befall" 21,0 °C (n = 7), "Stillstand" 20,76 °C (n = 8) und "Gesund" 20,38 °C (n = 34). Diese Abstufung widerspricht derjenigen, die sich aus der Betrachtung der gesamten Messflächen "Befall" und "Gesund" 2003 ergibt (vgl. Abb. 11 und Tab. 30), entspricht aber derjenigen von 2002.

Bei Beständen mit fehlenden ZR war in der Anfangsperiode 2003 die Bodentemperatur am Ort der Thermometer bei "Befall" mit 21,48 °C um 0,7 °C höher als bei "Gesund" (s. Abb. 13), während bei mittleren und großen ZR die Befallsstellen mit 20,37 °C nur 0,2 °C wärmer waren als die gesunden Stellen. Die allerdings nur kleine Anzahl (n = 4 bzw. 3) von Thermometern bei "Befall" erschwert die Aussage. Die Bodentemperaturen bei "Befall" in Beständen mit mittleren bzw. großen ZR waren um 1,1 °C niedriger als bei "Befall" bei fehlenden ZR. Auch gesunde Stellen bei fehlenden ZR waren mit durchschnittlich 20,78 °C relativ warm. Sie waren um 0,6 °C wärmer als gesunde Stellen bei mittleren bzw. großen ZR. In zwei Fällen konnten signifikante Unterschiede gefunden werden: zwischen gesunden Stellen mit mittleren bzw. großen ZR und einerseits Befallsstellen bei fehlenden ZR ($P = 0,004$) und andererseits Stillstandsstellen bei fehlenden ZR ($P = 0,028$).

Die Standardabweichungen betragen 0,59 bis 0,96 °C und waren damit meist höher als die Unterschiede zwischen den Temperaturen von Gruppen von Thermometern.

War in einer Befallsstelle der Bestand geschlossen und die ZR mittelgroß oder groß, lagen in der Anfangsphase die Bodentemperaturen in zwei von drei Fällen relativ tief.

Thermometer "AP4I B b" bei mittelgroßen ZR zeigte 21,3 °C, Thermometer "AP4I B a" bei großen ZR 20,0 °C, und Thermometer "LH3I G b" bei großen ZR 19,8 °C. War der Bestand aber lückig und fehlten ZR, so war es in Befallsstellen relativ warm. So zeigten die Thermometer "LH3I B a" 20,8 °C, "LH3I B b" 20,8 °C, "HM6I B a" 21,7 °C und "JF2I B b" 22,6 °C.

Neben dem Bestandesbild war die gemessene Bodentemperatur vom Schlag abhängig. Es gab Schläge mit relativ hohen Bodentemperaturen, z.B. HM10 und JF2, Schläge mit relativ niedrigen Temperaturen, z.B. JW6 und LH3, und Schläge mit mittleren Temperaturen (vgl. Abb. 11). Auf allen Schlägen, egal welchen Temperaturniveaus, fanden sich die erwähnten verschiedenen Bestandesbilder, ausgedrückt durch "fehlende", "mittlere" und "große ZR", und ebenso fanden sich die Unterschiede im Krankheitsgeschehen "Befall", "Stillstand" und "Gesund" auf fast allen Schlägen. Eine Ausnahme war nur Schlag LH3, wo alle Messflächen Befall der ZR zeigten. Die Unterschiede zwischen den Schlägen mit den höchsten und den niedrigsten Temperaturen betragen bis 1,0 °C in der gesamten Messperiode vom 12.06. – 24.09.03, bis 2,8 °C in der Anfangsphase, und bis 4,0 °C in der wärmsten Phase vom 02.08. – 15.08.03. Die Ausprägungen "Befall", "Stillstand" und "Gesund" waren nicht vom Temperaturniveau eines Schlages abhängig.

Der dominante Einfluss des Bestandesbildes direkt an den Bodenthermometern auf die Temperatur und die Aussagen aus der Betrachtung der Messwerte der Einzelthermometer änderten sich auch bei Unterteilung der Standorte nach ihrem geologischen Ausgangsmaterial nicht. Diese Einteilung erklärte jedoch im wesentlichen die oben erwähnten Unterschiede zwischen den Schlägen. Einziges Ergebnis war, dass auf Auenstandorten die Bodentemperaturen im Mittel (20,12 °C, n = 17) signifikant um 0,63 °C niedriger waren als auf Lößstandorten (20,75 °C, n = 32; siehe Abb. 24 im Anhang in Kap. 8.4).

3.6 Redoxpotential

Als Querschnittsgröße für Sauerstoffangebot (Luftmangel, Staunässe), Gehalt an organischer Substanz und Lagerungsdichte wurde das Redoxpotential gemessen. Zugrunde lag die Vermutung, dass das Eh in Befallsstellen relativ niedrig ist.

Für die Auswertung wurde die gesamte Messperiode vom 13.06. – 17.09.03 verwendet, da in ihr die maximal mögliche Anzahl von Messwerten eingeht. Die Anfangsphase und die Endphase lieferten sehr ähnliche Werte und eine ähnliche Rangfolge der Messflächen wie diejenige der ganzen Messperiode. An den Aussagen im folgenden ändert sich nichts.

Aufgrund des speziellen Witterungsverlaufes 2003 entfiel die Betrachtungsweise der

Gruppen "Befall" und "Gesund" beim Redoxpotential. Es kam weitgehend zum Stillstand der Späten Rübensäule. Dies betraf auch zwei der als "Befall" klassifizierten Messflächen mit Messung des Eh (vgl. Tab. 10). Diese Messflächen wurden als "Stillstand" betrachtet (AB4I B und JW6I B). Auf zwei der als "Gesund" klassifizierten Messflächen brach die Krankheit neu aus (LH3I G, JW6I G), so dass diese als "Befall" gezählt werden mussten. Die Fläche AB4I B wurde ebenfalls als Stillstandsfläche gewertet. Somit gab es nur eine einzige echte gesunde Stelle (AP4I G), was die Vergleichbarkeit von "Befall" zu "Gesund" sehr erschwert.

Tab. 10: Redoxpotential (E₇): Mittelwerte aller Messflächen; Mittel aller Messtiefen der ganzen Messperiode 2003; Flächen sortiert nach Höhe des E₇; mit C_{org}-Gehalt und pH-Wert

Messfläche	Geologie (vgl. Tab. 1)	Art	E ₇ [mV]	C _{org} [mg g ⁻¹]	pH
AB4I G	Grenze Riß-Löß zu Würm-Löß	Stillstand	537	12,1	7,0
AB4I B	Grenze Riß-Löß zu Würm-Löß	Stillstand	532	12,0	6,9
AP4I G	Würm-Löß	Gesund	515	14,5	7,2
JW6I B	Holozän	Stillstand	509	64,2	7,2
AP4I B	Würm-Löß	Befall	507	15,4	7,1
LH3I G	Holozän	Befall	506	43,7	7,3
JW6I G	Holozän	Befall	488	68,0	7,3
LH3I B	Holozän	Befall	488	46,9	7,2

Im Mittel aller Messungen lag das E₇ bei +500 mV (vgl. Abb. 25 im Anhang in Kap. 8.5). Über die gesamte Messperiode hinweg betrachtet war zunächst ein Anstieg vom 13.06.03 bis zum 08.07.03 von ca. +410 auf +550 mV festzustellen, danach eine Abnahme auf +480 mV am 20.08.03. Eine Woche später war das E₇ stark auf +580 mV gestiegen und fiel bis zum 17.09.03 wieder auf +530 mV ab. Diesen zeitlichen Verlauf zeigten alle Messungen in allen Messtiefen in prinzipiell gleicher Weise.

Es waren im Mittel der Messungen der gesamten Messperiode keine über 40 mV betragenden Unterschiede zwischen dem E₇ im Mittel aller Befallsstellen und dem der gesunden Stelle in gleicher Bodentiefe feststellbar. Bei den Mittelwerten der gesamten Messperiode pro Messfläche und -tiefe betragen die maximalen Unterschiede innerhalb einer Messfläche zwischen den vier Messtiefen 62 mV: in AB4I G in 10 cm Tiefe betrug das E₇ 505 mV, in AB4I G in 5 cm Tiefe 567 mV. Zwischen allen Messflächen unabhängig von der Tiefe betrug die maximale Differenz 110 mV: in LH3I B in 10 cm Tiefe wurden 457 mV, in AB4I G in 5 cm Tiefe 567 mV gemessen (vgl. Tab. 31 im Anhang in Kap. 8.5). Die größten Unterschiede zwischen zwei einzelnen Messungen unabhängig vom Messtermin, von der Messtiefe und der Messfläche betragen 308 mV: das E₇ betrug 360 mV in AP4I B in 20 cm Tiefe am 13.06.03, und 668 mV in AB4I G in 5 cm Tiefe am 27.08.03. Befallsstellen waren diejenigen Stellen mit dem geringsten E₇, Stillstandsflächen die mit dem höchsten E₇ (Tab. 10).

Nach Tiefen klassifiziert ergab sich, dass außer in 30 cm Tiefe die höchsten E_7 in Stillstandsflächen zu finden waren (Abb. 14). In allen Tiefen außer in 20 cm Tiefe traten die geringsten E_7 in Befallsstellen auf, obwohl die Stillstandsflächen vom Krankheitsgeschehen den Befallsstellen näher verwandt sein sollten als der gesunden Stelle. Deren Werte lagen zwischen "Befall" und "Stillstand".

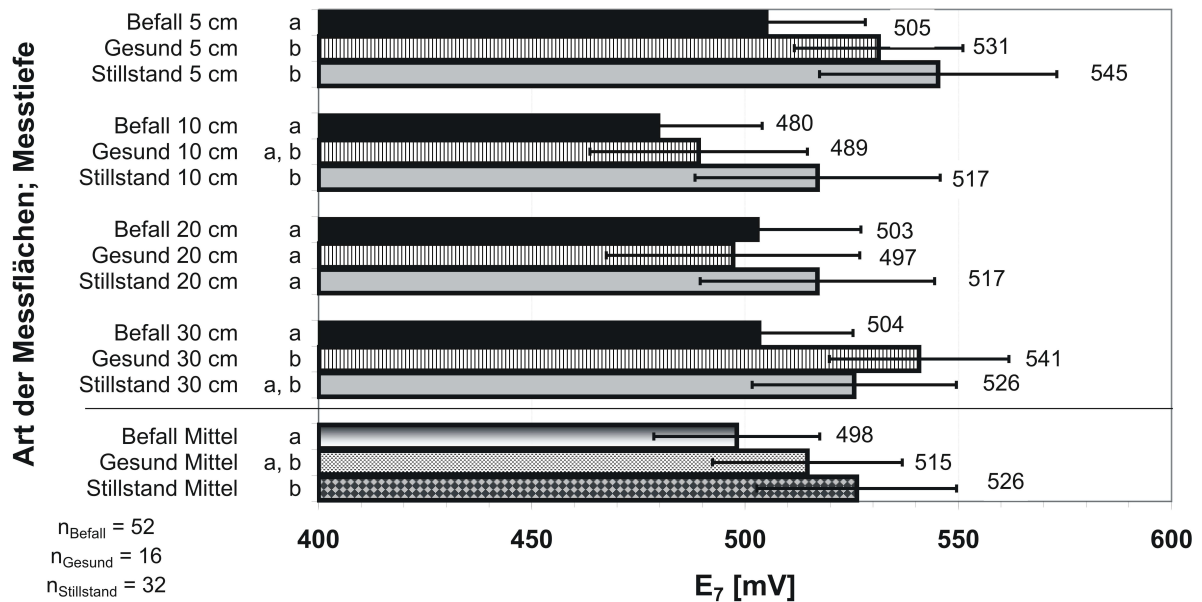


Abb. 14: Redoxpotential in 5 cm, 10 cm, 20 cm und 30 cm Tiefe bei "Befall", "Gesund" und "Stillstand" 2003; Mittel der Messungen der gesamten Messperiode und Mittel aus den vier Tiefen; n = Anzahl Einzelmesswerte pro Tiefe; bei Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich die Einzelmesswerte aller Messtermine in der gleichen Tiefe signifikant bei $P < 0,05$

Die Variabilität der Messwerte war hoch und betrug innerhalb der fünf Wiederholungen pro Messung und Zeitpunkt max. 338 mV, im Mittel 146 mV innerhalb der fünf Wiederholungen. Über die Zeit hinweg betrachtet jedoch zeigte jede Pt-Elektrode meist ein bestimmtes Niveau relativ zu den anderen vier Wiederholungen, weshalb anzunehmen ist, dass die Messwerte Redoxsituationen im Boden real darstellen. Dafür spricht auch die gleichgerichtete Entwicklung aller E_7 -Messungen im Laufe der Zeit. Diese Messungen werden hier jedoch nicht gesondert dargestellt.

Eine Einteilung der Standorte nach dem geologischen Ausgangsmaterial zeigte, dass nur auf einer von vier Flächen auf Lößstandorten die ZR befallen waren (AP4I B), die anderen Flächen auf Löß waren "Gesund"- oder "Stillstand"-Flächen. Zwei von drei "Stillstand"-Flächen waren Lößstandorte (AB4I B u. AB4I G). Auenstandorte zeigten in drei von vier Fällen Befall der ZR (LH3I B, LH3I G und JW6I G).

3.7 Lagerungsdichte

Hohe Lagerungsdichten im Boden werden als förderlich für die Späte Rübenfäule erachtet. Die Lagerungsdichte zeigte jedoch in Befallsstellen gegenüber gesunden Stellen in vier von fünf Messtiefen *niedrigere* Werte. Dies war 2002 und 2003 in 3 – 6 cm, 13 – 16 cm, 33 – 36 cm und 43 – 46 cm Messtiefe und im Mittel aller Tiefen der Fall. Nur in 23 – 26 cm Bodentiefe waren die Böden bei "Befall" 2002 um $0,06 \text{ g cm}^{-3}$ und 2003 um $0,05 \text{ g cm}^{-3}$ dichter als die Böden bei "Gesund" (Abb. 15, Tab. 11, Tab. 12). Alle Differenzen waren nicht signifikant.

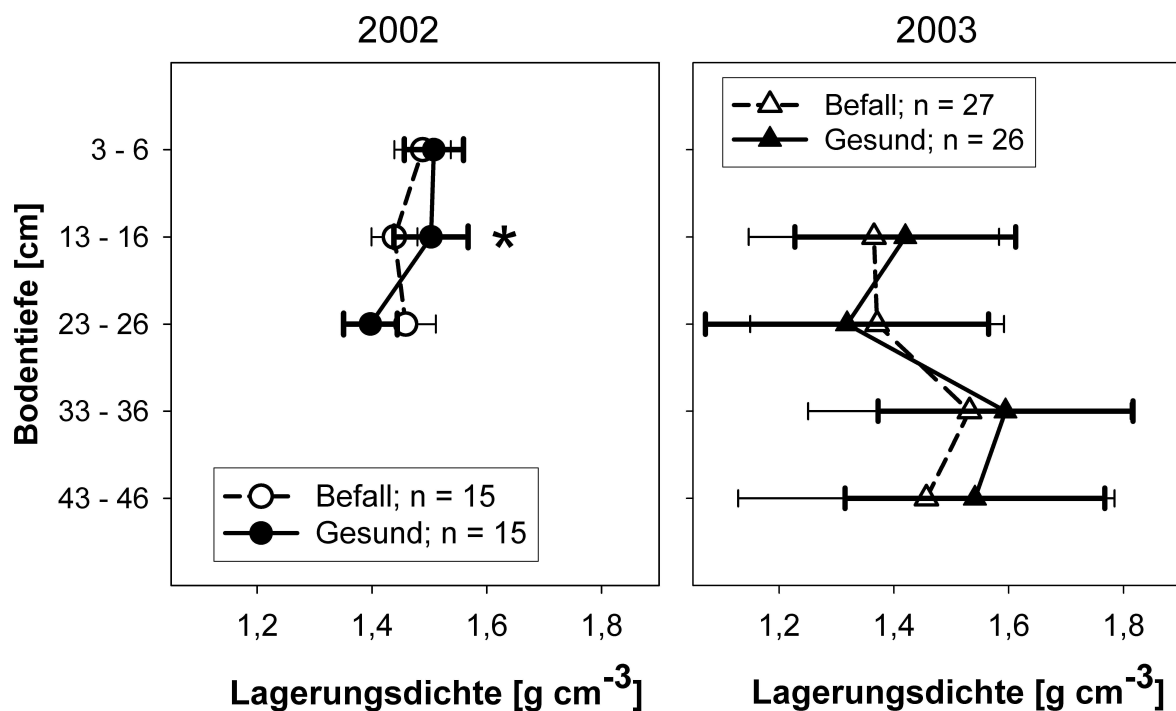


Abb. 15: Lagerungsdichte in fünf Tiefenstufen bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003, alle Standorte; links: 2002, rechts: 2003; "Befall" = offene Symbole, gestrichelte Linien, "Gesund" = geschlossene Symbole, durchgezogene Linien; n = Anzahl der Proben; * = *nicht* signifikant ($P = 0,056$)

Die höchsten Lagerungsdichten fanden sich in 33 – 36 cm Tiefe 2003 unterhalb der Pflugsohle ($1,53 - 1,59 \text{ g cm}^{-3}$), die geringsten Werte in 23 – 26 cm Tiefe oberhalb der Pflugsohle ($1,32 - 1,46 \text{ g cm}^{-3}$). Meistens waren die Unterschiede zwischen "Befall" und "Gesund" bei Betrachtung aller Messflächen mit $\geq 0,05 \text{ g cm}^{-3}$ deutlich.

Die Variabilität der Werte war hoch, v.a. 2003 und v.a. in den Unterböden.

Eine Unterteilung der Standorte nach ihrer Geologie zeigte, dass die Unterschiede zwischen "Befall" und "Gesund" in Lößstandorten und Auenstandorten in allen fünf Tiefen beider Jahre prinzipiell gleichartig vorhanden waren wie bei der Betrachtung "aller Standorte".

Tab. 11: Lagerungsdichte in drei Tiefenstufen bei "Befall" und "Gesund" 2002, alle Standorte, Lößstandorte und Auenstandorte

Bodentiefe [cm]	Messflächen	Alle Standorte			Lößstandorte			Auenstandorte		
		Lagerungsdichte [g cm ⁻³]			Lagerungsdichte [g cm ⁻³]			Lagerungsdichte [g cm ⁻³]		
		Mittelwert	Std. abw.	n	Mittelwert	Std. abw.	n	Mittelwert	Std. abw.	n
3 – 6	"Befall"	1,49 a*	0,10	15	1,49 a	0,11	12	1,48	0,03	3
	"Gesund"	1,51 a	0,10	15	1,53 a	0,09	12	1,41	0,10	3
13 – 16	"Befall"	1,44 a	0,08	15	1,46 a	0,07	12	1,36	0,10	3
	"Gesund"	1,50 a	0,13	15	1,53 b	0,12	12	1,39	0,12	3
23 – 26	"Befall"	1,46 a	0,11	15	1,45 a	0,12	12	1,48	0,02	3
	"Gesund"	1,40 a	0,09	15	1,40 a	0,10	12	1,39	0,10	3
Mittelwert	"Befall"	1,46 a	0,07	15	1,47 a	0,07	12	1,44	0,05	3
	"Gesund"	1,47 a	0,08	15	1,49 a	0,06	12	1,40	0,10	3

* Mittelwerte gefolgt von verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $P < 0,05$ in der gleichen Tiefe und im gleichen Jahr zwischen "Befall" und "Gesund";
n = Anzahl der Werte

Tab. 12: Lagerungsdichte in vier Tiefenstufen bei "Befall" und "Gesund" 2003, alle Standorte, Lößstandorte und Auenstandorte

Bodentiefe [cm]	Messflächen	Alle Standorte			Lößstandorte			Auenstandorte		
		Lagerungsdichte [g cm ⁻³]			Lagerungsdichte [g cm ⁻³]			Lagerungsdichte [g cm ⁻³]		
		Mittelwert	Std. abw.	n	Mittelwert	Std. abw.	n	Mittelwert	Std. abw.	n
13 – 16	"Befall"	1,37	0,22	27	1,48	0,12	18	1,13	0,17	9
	"Gesund"	1,42	0,19	26	1,49	0,13	21	1,14	0,18	5
23 – 26	"Befall"	1,37	0,22	27	1,46	0,14	18	1,19	0,25	9
	"Gesund"	1,32	0,25	26	1,40	0,15	21	0,98	0,30	5
33 – 36	"Befall"	1,53	0,28	27	1,66	0,11	18	1,28	0,36	9
	"Gesund"	1,59	0,22	26	1,66	0,11	21	1,33	0,37	5
43 – 46	"Befall"	1,46	0,33	27	1,59	0,08	18	1,19	0,47	9
	"Gesund"	1,54	0,23	26	1,60	0,08	21	1,31	0,45	5
Mittelwert	"Befall"	1,43	0,23	27	1,55	0,07	18	1,20	0,26	9
	"Gesund"	1,47	0,19	26	1,53	0,07	21	1,19	0,27	5

Es konnten keine signifikanten Unterschiede gefunden werden; n = Anzahl der Werte

In den Tiefen 33 – 36 cm und 43 – 46 cm waren die Unterschiede zwischen "Befall" und "Gesund" bei "alle Standorte" mit $0,06 \text{ g cm}^{-3}$ bzw. $0,08 \text{ g cm}^{-3}$ groß, dieser Unterschied verschwand jedoch bei den Lößstandorten. Ursache waren die Werte der Auenstandorte, bei denen die Unterböden der gesunden Stellen um $0,05 - 0,12 \text{ g cm}^{-3}$ dichter waren als die bei

"Befall". Die Differenzen bei den Auenstandorten betragen bis zu $0,21 \text{ g cm}^{-3}$ in 23 – 26 cm Tiefe, waren aber in keinem Falle signifikant.

Der einzige signifikante Unterschied fand sich bei Lößstandorten in 13 – 16 cm Tiefe 2002: die Böden bei "Gesund" waren um $0,07 \text{ g cm}^{-3}$ *dichter* als die Böden bei "Befall".

Aus den Mittelwerten aller Tiefen lassen sich keine Aussagen ableiten, da die Differenzen nur $0,01$ bis $0,04 \text{ g cm}^{-3}$ betragen und keinen klaren Trend zeigten.

Die geringen Lagerungsdichten bei Auenstandorten 2003 werden von Niedermooren verursacht (vgl. Tab. 26 im Anhang Kap. 8.2). Lößstandorte wiesen deutlich höhere Lagerungsdichten auf als Auenstandorte. Die höchsten Lagerungsdichten fanden sich auf Lößstandorten in 33 – 36 cm Tiefe mit $1,66 \text{ g cm}^{-3}$, die geringsten Lagerungsdichten wiesen Niedermoore 2003 in 23 – 26 cm Tiefe mit $0,98 - 1,19 \text{ g cm}^{-3}$ auf.

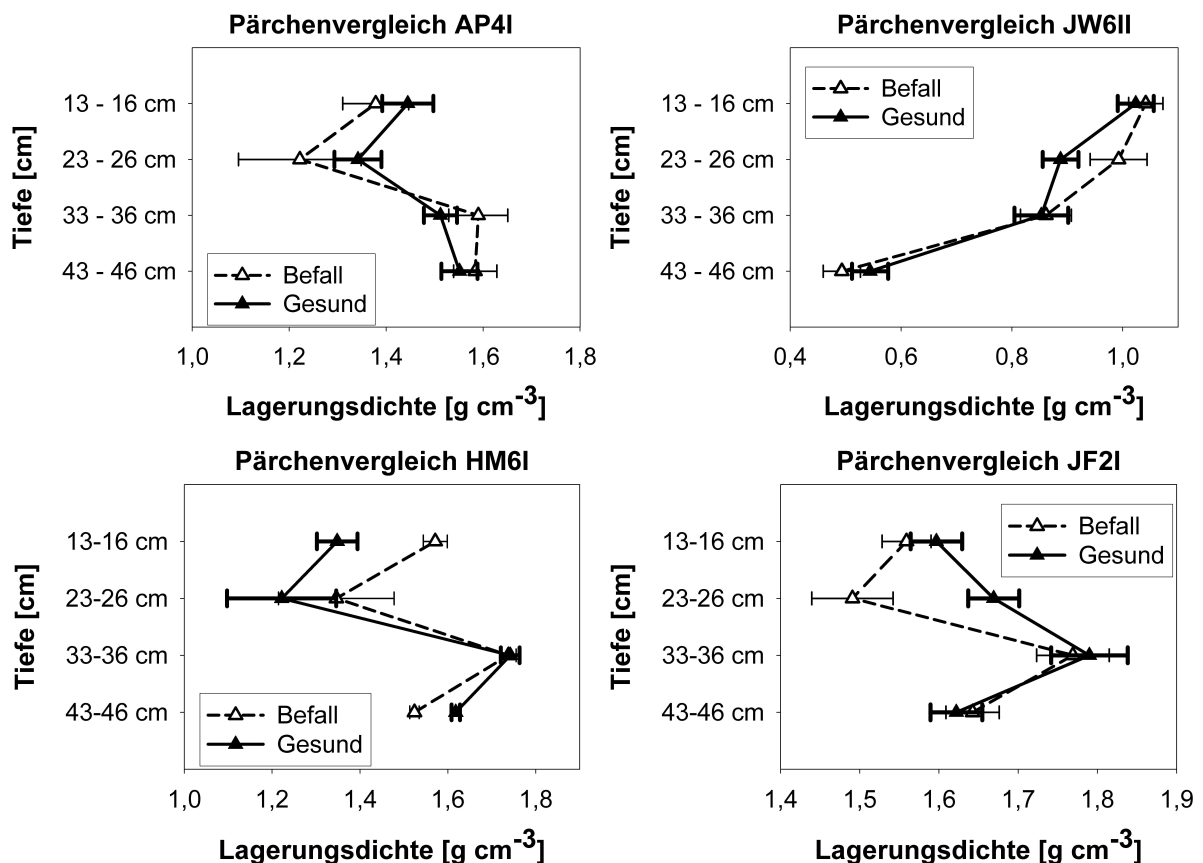


Abb. 16: Lagerungsdichte der vier "echten" Pärchenvergleiche 2003 in vier Tiefenstufen; Mittel pro Standort und -tiefe aus $n = 6$ (bzw. 3) Wiederholungen; Signifikanz nicht getestet; man beachte die z.T. verschiedenen Skalen

Schlag JW6 stellt aufgrund seiner Böden (Niedermoore) bei der Lagerungsdichte eine Besonderheit dar, und Schlag LH3 spielt eine Sonderrolle, da er die mit Abstand höchsten Tongehalte aufwies, und zugleich der am stärksten betroffene Schlag 2003 war. In den oben genannten Zahlen sind die Werte beider Schläge enthalten. Daher wurden diese beiden Schläge testweise bei der Mittelwertberechnung weggelassen. Egal, ob entweder nur JW6,

oder nur LH3 ignoriert wurde, oder ob beide Schläge zusammen weggelassen wurden, an den getroffenen Aussagen änderte sich nichts.

Eine Bestätigung des fehlenden Zusammenhanges von Lagerungsdichte und der Späten Rübensäule lieferten auch die vier "echten" Pärchenvergleiche 2003 (Abb. 16), die die erwartete Krankheitsentwicklung zeigten. In AP4I und JF2I war in den Tiefen 13 – 16 cm und 23 – 26 cm die Befallsstelle diejenige mit geringerer Lagerungsdichte, bei JW6II und HM6I war es Gegenteil. In 33 – 36 cm und 43 – 46 cm Tiefe waren bei JW6II und JF2I keinerlei Unterschiede zwischen "Befall" und "Gesund" feststellbar. Bei AP4I war die Befallsstelle die dichtere, bei HM6I war es die gesunde Stelle. Im Jahr 2002 zeigten die Pärchenvergleiche dieselbe Zufälligkeit.

Das Zusammenfassen der Messungen beider Jahre ergab in den Tiefen 13 – 16 cm und 23 – 26 cm keine Änderung der oben getroffenen Aussagen.

Zur Absicherung der Messmethode wurden 2003 in vier Pärchenvergleichen (AP4I, LH3I, AB4I und JW6I) zusätzlich 250 cm³-Stechzylinder in sechsfacher Wiederholung pro Messfläche in 12 – 17 cm Bodentiefe entnommen und die Lagerungsdichte analog zum oben beschriebenen Verfahren bestimmt. Es ergab sich, dass die Werte der Lagerungsdichte aus den Hülsenproben aus 13 – 16 cm Tiefe denen aus den Stechzylindern entsprachen.

3.8 Textur und Karbonatgehalt

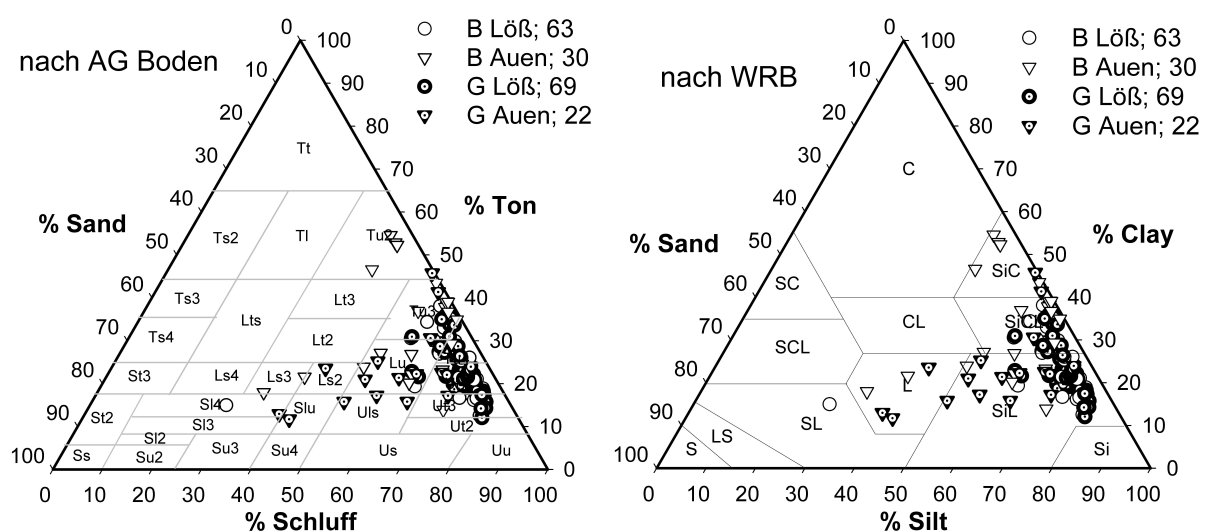


Abb. 17: Textur bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003; Oberböden (Ap-Horizonte) und Unterbodenhorizonte bis 60 cm Tiefe aller Standorte; links: nach AG BODEN, rechts: nach WRB; getrennt in Löss- (Kreise) und Auenstandorte (Dreiecke); "Befall" (= B; offene Symbole) und "Gesund" (= G; gepunktete Symbole); Anzahl der Proben in der Legende; 2. und ggf. 3. Horizont (30 – 60 cm Tiefe) getrennt dargestellt, daher $n_{ges} = 184$ (vgl. Tab. 33)

Tonreiche Böden stehen im Verdacht, besonders anfällig für die Späte Rübenfäule zu sein. Die Textur der Feinerde unterschied sich jedoch bei Betrachtung aller Standorte zwischen "Befall" und "Gesund" nur wenig (Abb. 17, Tab. 13). Die meisten Böden wiesen nach AG BODEN (1994) die Korngrößenklassen Ut3, Ut4 und Tu3 bzw. nach WRB silty loam und silty clay loam auf. Alle Proben, auch aus Auenstandorten, waren steinfrei. Ap-Horizonte von Befallsstellen enthielten mit 24,1% Ton 3,1% mehr Ton als gesunde Stellen, während der Schluffgehalt bei "Befall" mit 67,4% um 2,8% geringer war (Unterschiede nicht signifikant).

Der Sandgehalt unterschied sich nicht und lag bei ca. 8,7%. In den Unterböden von 30 – 60 cm Tiefe fanden sich sehr ähnliche Unterschiede wie in den Ap-Horizonten.

Tab. 13: Textur bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003; Oberböden (Ap-Horizonte) und Unterbodenhorizonte bis 60 cm Tiefe; alle Standorte, Lößstandorte und Auenstandorte

Horizont und Tiefe	Messflächen	n	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]
Alle Standorte					
Ap 0 – 30 cm	"Befall"	55	24,1 ± 9,1*	67,4 ± 11,4	8,5 ± 8,3
	"Gesund"	56	21,0 ± 3,7	70,2 ± 8,7	8,9 ± 8,2
Unterbodenhorizonte 30 – 60 cm	"Befall"	27	30,1 ± 7,2	63,3 ± 8,9	6,6 ± 10,6
	"Gesund"	26	26,6 ± 7,9	66,1 ± 9,7	6,7 ± 8,2
Lößstandorte					
Ap 0 – 30 cm	"Befall"	39	21,1 ± 3,0	72,7 ± 4,3	6,2 ± 2,9
	"Gesund"	43	20,6 ± 3,1	73,3 ± 4,8	6,1 ± 2,7
Unterbodenhorizonte 30 – 60 cm	"Befall"	18	28,1 ± 7,2	64,2 ± 10,6	7,7 ± 12,6
	"Gesund"	21	27,2 ± 7,3	68,2 ± 6,2	4,5 ± 2,0
Auenstandorte					
Ap 0 – 30 cm	"Befall"	16	31,2 ± 14,1	54,4 ± 13,1	14,3 ± 13,4
	"Gesund"	13	22,3 ± 5,1	59,8 ± 10,6	17,9 ± 13,0
Unterbodenhorizonte 30 – 60 cm	"Befall"	9	34,2 ± 5,3	61,6 ± 3,9	4,2 ± 4,2
	"Gesund"	5	24,0 ± 10,3	57,2 ± 16,6	15,7 ± 16,7

* Mittelwerte ± Std. abw.; es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen "Befall" und "Gesund" in gleicher Bodentiefe gefunden; n = Anzahl der Werte

Die Differenzierung aller Standorte nach ihrer Geologie in Lößstandorte und Auenstandorte ergab, dass sich bei Lößstandorten fast keine Unterschiede zwischen "Befall" und "Gesund" finden lassen (Tab. 13). Die Tongehalte lagen im Ap bei ca. 21%, die Schluffgehalte bei ca. 73% und die Sandgehalte bei ca. 6%. In den Ap-Horizonten war der maximale Unterschied zwischen "Befall" und "Gesund" beim Schluff mit 0,6% zu finden.

In den Unterbodenhorizonten betrug die Differenz bei Schluff und Sand 4,0 bzw. 3,2%. Alle Differenzen waren nicht signifikant.

Bei den Auenstandorten ergab sich ein anderes Bild: die Unterschiede waren größer als bei Lößstandorten. So waren 8,9% mehr Ton bei "Befall" in 0 – 30 cm Tiefe vorhanden, 10,2% mehr Ton bei "Befall" in 30 – 60 cm Tiefe und 11,5% weniger Sand bei "Befall" in

30 – 60 cm Tiefe. Dennoch trat keine Signifikanz auf.

Verursacht wurden die großen absoluten Differenzen beim Tongehalt im Ap-Horizont von Schlag LH3, bei dem alle vier Messflächen, so auch die beiden ursprünglich als "Gesund" betrachteten Messflächen, "Befall" waren bzw. wurden. Von ihm stammten die vier Bodenproben mit dem höchsten Tongehalt (max. 57,2%) mit Tu2 bzw. silty clay in Abb. 17, die im Vergleich zu den restlichen Proben Ausreißer darstellten. Dieser hohe Tongehalt wirkte auch auf die Betrachtung aller Standorte zurück, so dass dort 3,1% mehr Ton bei "Befall" in beiden Tiefenstufen erschienen.

Bei der Texturanalyse wurden Sand und Schluff weiter differenziert. Jedoch erbrachte die Betrachtung der Unterklassen Feinschluff (fU), Mittelschluff (mU), Grobschluff (gU), feiner Feinsand (ffS), Feinsand (fS), Mittelsand (mS) und Grobsand (gS) keinen zusätzlichen Erkenntnisgewinn. Daher werden sie nicht gesondert dargestellt (s. Tab. 33 im Anhang in Kap. 8.6). Nur zwei schwache Signifikanzen traten bei Grobschluff aller Standorte und feinem Feinsand der Auenstandorte auf.

Eine getrennte Betrachtung beider Messjahre ergab keine anderen als die oben genannten Erkenntnisse.

2003 war der Humus für die Texturanalyse zerstört worden, 2002 nicht. Ein Effekt auf die Ergebnisse der Texturbestimmung ist aber unwahrscheinlich, wie Tab. 14 zeigt, in der die Ergebnisse der Lößstandorte nach Jahren getrennt dargestellt sind.

Tab. 14: Textur bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003; Oberböden (Ap-Horizonte) der Lößstandorte

Jahr	Messflächen	n	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]
2002	"Befall"	21	20,6 ± 3,0*	74,2 ± 2,9	5,2 ± 1,0
	"Gesund"	22	19,2 ± 2,4	75,4 ± 2,8	5,4 ± 1,2
2003	"Befall"	18	21,8 ± 2,9	70,9 ± 5,1	7,3 ± 3,9
	"Gesund"	21	22,0 ± 3,1	71,1 ± 5,5	6,9 ± 3,6

* Mittelwerte ± Std. abw.; es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen "Befall" und "Gesund" gefunden; n = Anzahl der Werte

Beim Kalkgehalt fand sich kein signifikanter Unterschied zwischen "Befall" und "Gesund" (Tab. 15; Einzelmessergebnisse s. Tab. 34 im Anhang in Kap. 8.6). Dafür unterschieden sich die Lößstandorte von den Auenstandorten und die Ap-Horizonte von den Unterböden. Lößstandorte hatten nur geringe Kalkgehalte von im Mittel 3,6 – 8,0% je nach Tiefenstufe und Art der Messflächen mit einer gesamten Spanne von 0 – 44,9%. Meistens waren die Lößstandorte kalkfrei (Mediane = 0).

Auenstandorte hingegen hatten im Mittel sehr hohe Kalkgehalte von 31,8 – 56,0% je nach Tiefenstufe und Art der Messflächen mit einer gesamten Spanne von 0 – 74,9%.

Tab. 15: Kalkgehalte bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003; Oberböden (Ap-Horizonte) und Unterbodenhorizonte bis 60 cm Tiefe; alle Standorte, Lößstandorte und Auenstandorte

Horizont und Tiefe	Messflächen	n	C _{carb} [mg g ⁻¹]		Kalk [%]	
			Mittelwert		Median	
Alle Standorte						
Ap 0 – 30 cm	"Befall"	55	14,5 ± 19,8*	12,1 ± 16,5*	1,0	
	"Gesund"	56	12,4 ± 19,3	10,4 ± 16,1	0,0	
Unterbodenhorizonte 30 – 60 cm	"Befall"	27	27,1 ± 31,6	22,5 ± 26,3	2,8	
	"Gesund"	26	20,7 ± 29,6	17,2 ± 24,6	0,3	
Lößstandorte						
Ap 0 – 30 cm	"Befall"	39	4,7 ± 10,7	3,9 ± 8,9	0,0	
	"Gesund"	43	4,3 ± 9,5	3,6 ± 7,9	0,0	
Unterbodenhorizonte 30 – 60 cm	"Befall"	18	7,8 ± 14,8	6,5 ± 12,3	0,0	
	"Gesund"	21	9,6 ± 18,4	8,0 ± 15,4	0,0	
Auenstandorte						
Ap 0 – 30 cm	"Befall"	16	38,2 ± 16,6	31,8 ± 13,8	32,1	
	"Gesund"	13	39,4 ± 19,1	32,8 ± 15,9	32,4	
Unterbodenhorizonte 30 – 60 cm	"Befall"	9	65,6 ± 16,7	54,6 ± 14,0	59,8	
	"Gesund"	5	67,2 ± 20,3	56,0 ± 16,9	60,9	

* Mittelwerte ± Std. abw.; es wurden keine signifikanten Unterschiede in der gleichen Tiefe im Vergleich von "Befall" und "Gesund" gefunden; n = Anzahl der Werte
Bestimmt wurde C_{carb}, Umrechnung in Kalkgehalt [%] durch Multiplikation mit 0,833

3.9 pH-Wert und Nährstoffgehalte

Ungleichgewichte in der Nährstoffversorgung werden als mögliche Ursache der Späten Rübenfäule genannt.

Größere oder signifikante Unterschiede zwischen Befallsstellen und gesunden Stellen waren bei pH, P und K weder bei Betrachtung aller Standorte noch bei Differenzierung nach der Geologie in Löß- und Auenstandorte, in keiner der beiden Tiefenstufen, zu entdecken (Abb. 18, Tab. 16). Die Gehalte der Ap-Horizonte lagen bei Phosphor in der Gehaltsstufe D, nahe der Grenze zur Gehaltsstufe C, und bei Kalium in der Gehaltsstufe C für mittlere Böden.

Der durchschnittliche pH-Wert aller Proben betrug 6,9. Der maximale Unterschied von "Befall" zu "Gesund" war unbedeutend und betrug pH 0,1.

Der hauptsächliche Unterschied beim Phosphor- und beim Kaliumgehalt fand sich zwischen Ober- und Unterböden und nicht zwischen "Befall" und "Gesund".

Nur in zwei Fällen konnten Unterschiede von "Befall" zu "Gesund" entdeckt werden. Zum einen gab es beim P-Gehalt in 0 – 30 cm Bodentiefe in der holozänen Aue einen größeren Unterschied zwischen "Befall" und "Gesund", doch war dieser mit 26,0 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ bei "Befall" mit 18,8 mg P₂O₅ 100 g⁻¹ bei "Gesund" nicht signifikant.

Zum anderen ist festzustellen, dass die Befallsstellen in den Oberböden mit $18,3 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ etwas mehr Kalium enthielten als die gesunden Stellen, die $16,8 \text{ mg } \text{K}_2\text{O } 100 \text{ g}^{-1}$ aufwiesen.

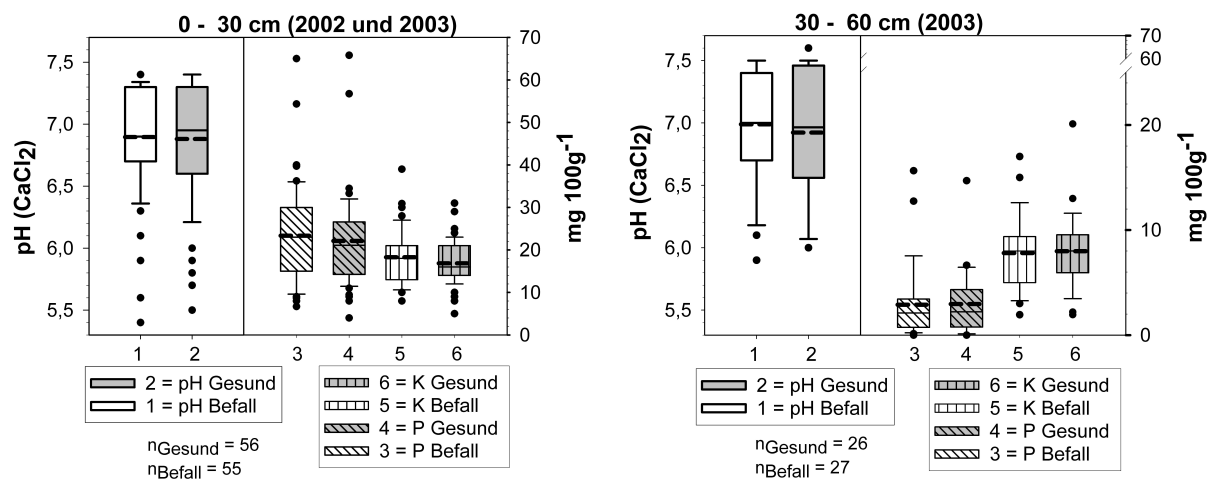


Abb. 18: pH-Wert, Phosphor- und Kaliumgehalt bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003; Oberböden (Ap-Horizonte) und Unterbodenhorizonte bis 60 cm Tiefe aller Standorte; links: 0 – 30 cm Tiefe, rechts: 30 – 60 cm Tiefe; pH in CaCl_2 ; K = Kalium als K_2O , P = Phosphor als P_2O_5 ; Angabe aller Messwerte; dünne durchgezogene Linie in den Boxen = Median; dicke unterbrochene Linie in den Boxen = Mittelwert; n = Anzahl Werte; es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen "Befall" und "Gesund" festgestellt werden

Tab. 16: pH-Wert, Phosphor- und Kaliumgehalt bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003; Oberböden (Ap-Horizonte) und Unterbodenhorizonte bis 60 cm Tiefe; alle Standorte, Lößstandorte und Auenstandorte

Horizont und Tiefe	Messflächen	n	pH (CaCl_2)	P_2O_5 [$\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$]	K_2O [$\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$]
Alle Standorte					
Ap 0 – 30 cm	"Befall"	55	$6,9 \pm 0,5^*$	$23,3 \pm 11,2$	$18,3 \pm 6,3$
	"Gesund"	56	$6,9 \pm 0,5$	$22,1 \pm 10,5$	$16,8 \pm 5,0$
Unterbodenhorizonte 30 – 60 cm	"Befall"	27	$7,0 \pm 0,5$	$2,9 \pm 3,6$	$7,8 \pm 3,5$
	"Gesund"	26	$6,9 \pm 0,5$	$3,0 \pm 3,1$	$8,0 \pm 3,7$
Lößstandorte					
Ap 0 – 30 cm	"Befall"	39	$6,7 \pm 0,5$	$22,3 \pm 10,5$	$19,3 \pm 6,1$
	"Gesund"	43	$6,8 \pm 0,5$	$23,1 \pm 10,9$	$17,8 \pm 4,1$
Unterbodenhorizonte 30 – 60 cm	"Befall"	18	$6,8 \pm 0,5$	$3,8 \pm 4,1$	$9,3 \pm 3,1$
	"Gesund"	21	$6,8 \pm 0,5$	$3,3 \pm 3,2$	$8,7 \pm 3,5$
Auenstandorte					
Ap 0 – 30 cm	"Befall"	16	$7,3 \pm 0,1$	$26,0 \pm 12,8$	$15,8 \pm 6,3$
	"Gesund"	13	$7,3 \pm 0,1$	$18,8 \pm 8,6$	$13,6 \pm 6,3$
Unterbodenhorizonte 30 – 60 cm	"Befall"	9	$7,4 \pm 0,2$	$1,1 \pm 1,4$	$4,8 \pm 2,1$
	"Gesund"	5	$7,4 \pm 0,2$	$1,5 \pm 2,7$	$5,0 \pm 3,0$

* Mittelwerte \pm Std. abw.; es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen "Befall" und "Gesund" gefunden werden; n = Anzahl der Werte

Der Kaliumgehalt war in allen Standortgruppen im Ap-Horizont in Befallsstellen gegenüber

gesunden Stellen erhöht. Diese Unterschiede waren mit $1,5 - 2,2 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ aber nur minimal und nicht signifikant. Beim Phosphorgehalt zeigten "alle Standorte" und die Lößstandorte fast keine Differenzen "Befall" – "Gesund".

Eine differenzierte Betrachtung beider Messjahre ergab keine anderen als die genannten Erkenntnisse.

3.10 Organische Substanz

Ein hoher Gehalt an organischer Substanz im Boden wird als möglicher Faktor genannt, der den Befall mit Später Rübensäule fördern kann.

Beim Vergleich von "Befall" und "Gesund" aller Standorte fanden sich in den Oberböden etwas höhere C_{org} -Gehalte und N_t -Gehalte in den Befallsstellen als bei den gesunden Stellen. "Befall" enthielt $19,6 \text{ mg } C_{\text{org}} \text{ g}^{-1}$ und $2,1 \text{ mg } N_t \text{ g}^{-1}$ in den Ap-Horizonten, "Gesund" $17,1 \text{ mg } C_{\text{org}} \text{ g}^{-1}$ und $1,8 \text{ mg } N_t \text{ g}^{-1}$. Diese Differenzen waren aber nicht signifikant. Dagegen war das C/N-Verhältnis ($C_{\text{org}} N_t^{-1}$) in den Befallsstellen signifikant niedriger als in den gesunden Stellen. In Befallsstellen betrug es 8,8 und bei "Gesund" 9,4 (s. Abb. 19 und Tab. 17; Einzelwerte pro Messfläche s. Tab. 35 im Anhang in Kap. 8.7).

Unterböden zeigten bei C_{org} und N_t prinzipiell dieselben Unterschiede wie die Ap-Horizonte. Das C/N-Verhältnis jedoch war im Gegensatz zu den Ap-Horizonten in den Unterböden bei "Befall" mit 10,9 höher als bei "Gesund" mit 10,5 (nicht signifikant).

Eine Unterscheidung der Standorte nach dem geologischen Ausgangsmaterial in Lößstandorte und Auenstandorte modifizierte obige Aussagen.

In den Lößstandorten fanden sich in den Ap-Horizonten im Gegensatz zur Betrachtung aller Standorte im C_{org} - und N_t -Gehalt *höhere* Werte bei "Gesund" gegenüber "Befall": $11,9 \text{ mg } C_{\text{org}} \text{ g}^{-1}$ und $1,3 \text{ mg } N_t \text{ g}^{-1}$ bei "Gesund", $11,1 \text{ mg } C_{\text{org}} \text{ g}^{-1}$ und $1,2 \text{ mg } N_t \text{ g}^{-1}$ bei "Befall".

In 30 – 60 cm Tiefe waren die C_{org} - und N_t -Gehalte halb so hoch wie im Ap-Horizont.

In den Auenstandorten waren die C_{org} - und N_t -Gehalte sehr hoch. In den Befallsstellen in 0 – 30 cm Tiefe waren sie im Gegensatz zu den Lößstandorten höher als in den gesunden Stellen. Befallsstellen enthielten im Ap-Horizont $40,3 \text{ mg } C_{\text{org}} \text{ g}^{-1}$ und $4,3 \text{ mg } N_t \text{ g}^{-1}$, gesunde Stellen $34,2 \text{ mg } C_{\text{org}} \text{ g}^{-1}$ und $3,5 \text{ mg } N_t \text{ g}^{-1}$. Diese Unterschiede waren nicht signifikant. In den Unterböden der Auenstandorte war bei insgesamt höheren C_{org} -Gehalten gegenüber den Ap-Horizonten in den gesunden Stellen mehr C_{org} und N_t enthalten als in den Befallsstellen.

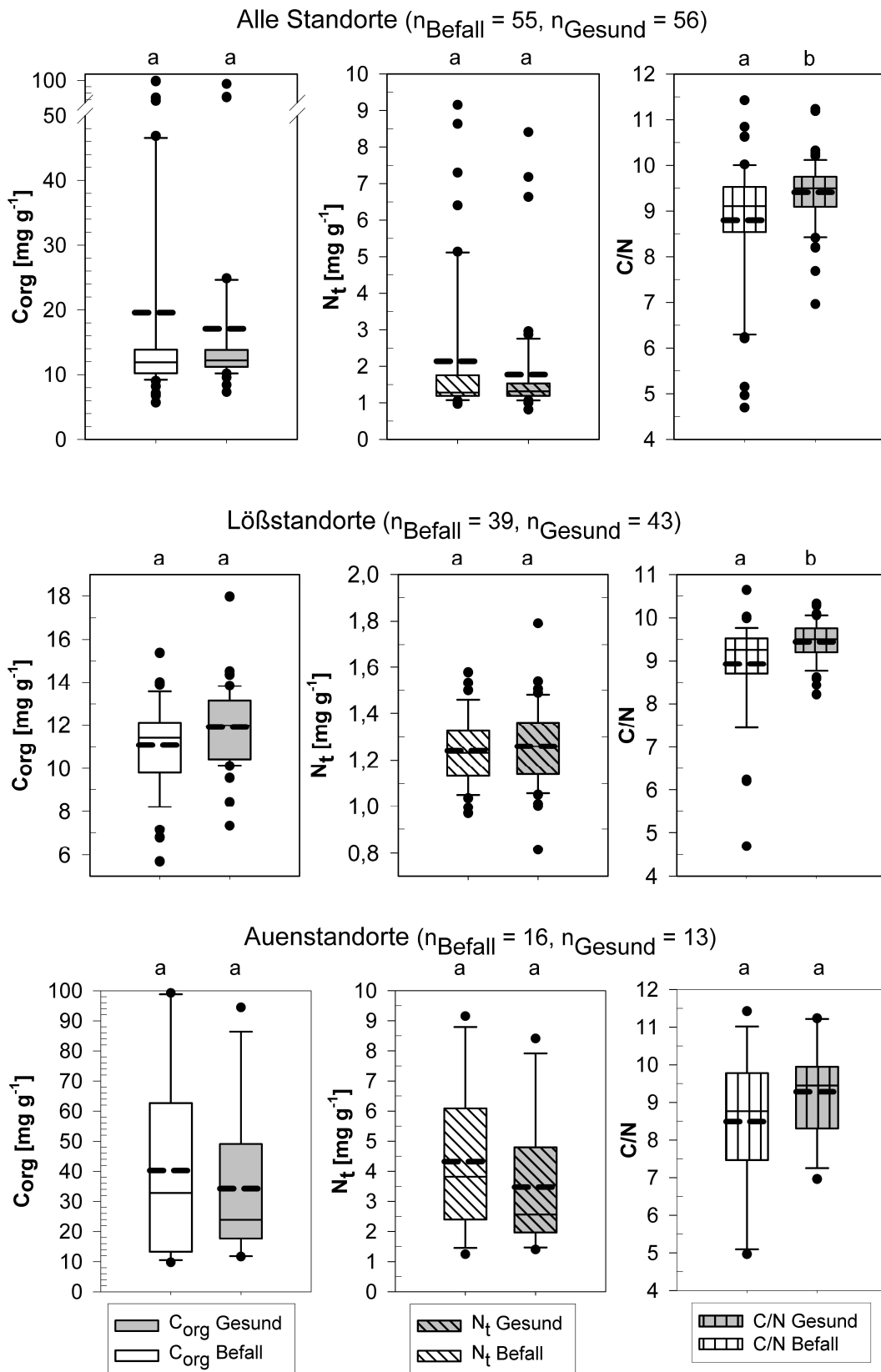


Abb. 19: C_{org} -, N_t -Gehalte und C/N-Verhältnisse bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003; Oberböden (Ap-Horizonte) aller Standorte, Löß- und Auenstandorte; n = Anzahl Werte; Boxen mit verschiedenen Buchstaben sind signifikant verschieden bei $P < 0,05$ im Vergleich "Befall" zu "Gesund"; Angabe aller Messwerte; dünne durchgezogene Linie in den Boxen = Median; dicke unterbrochene Linie in den Boxen = Mittelwert; man beachte die z.T. verschiedenen Skalen

Tab. 17: C_{org}⁻, N_t-Gehalte und C/N-Verhältnis bei "Befall" und "Gesund", 2002 und 2003 *zusammen betrachtet*; Oberböden (Ap-Horizonte) und Unterbodenhorizonte bis 60 cm Tiefe; alle Standorte, Lößstandorte und Auenstandorte

Horizont und Tiefe	Messflächen	n	C _{org} [mg C g ⁻¹]	N _t [mg N g ⁻¹]	C/N
Alle Standorte					
Ap 0 – 30 cm	"Befall"	55	19,6 a ± 21,0*	2,1 a ± 1,9	8,8 a ± 1,4
	"Gesund"	56	17,1 a ± 16,0	1,8 a ± 1,4	9,4 b ± 0,7
Unterbodenhorizonte 30 – 60 cm	"Befall"	27	21,6 a ± 48,8	1,5 a ± 2,8	10,9 a ± 3,5
	"Gesund"	26	16,0 a ± 43,5	1,2 a ± 2,4	10,5 a ± 3,1
Lößstandorte					
Ap 0 – 30 cm	"Befall"	39	11,1 a ± 2,0	1,2 a ± 0,1	8,9 a ± 1,1
	"Gesund"	43	11,9 a ± 1,8	1,3 a ± 0,2	9,5 b ± 0,5
Unterbodenhorizonte 30 – 60 cm	"Befall"	18	5,2 a ± 2,0	0,6 a ± 0,2	9,6 a ± 3,1
	"Gesund"	21	5,5 a ± 2,1	0,6 a ± 0,2	9,5 a ± 1,9
Auenstandorte					
Ap 0 – 30 cm	"Befall"	16	40,3 a ± 30,6	4,3 a ± 2,5	8,5 a ± 1,9
	"Gesund"	13	34,2 a ± 27,3	3,5 a ± 2,3	9,3 a ± 1,2
Unterbodenhorizonte 30 – 60 cm	"Befall"	9	54,3 a ± 77,0	3,5 a ± 4,3	13,5 a ± 3,0
	"Gesund"	5	60,4 a ± 93,6	3,7 a ± 5,0	15,0 a ± 3,2

* Mittelwerte ± Std. abw.; Mittelwerte gefolgt von verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei P < 0,05 in der gleichen Bodentiefe im Vergleich von "Befall" und "Gesund"; n = Anzahl der Werte

Auch in 30 – 60 cm Tiefe waren die Unterschiede nicht signifikant. Ursache dieser hohen C_{org}⁻ und N_t-Gehalte der Auenstandorte waren die humusreichen A-Horizonte und die Torf- (H-) Horizonte der Niedermoore von Schlag JW6.

Das C/N-Verhältnis jedoch zeigte in 0 – 30 cm Tiefe bei den Lößstandorten ähnliche Werte und denselben signifikanten Unterschied wie bei der Betrachtung aller Standorte. "Befall" wies ein C/N-Verhältnis von 8,9 auf, "Gesund" von 9,5. In den Auenstandorten wies "Befall" ein C/N-Verhältnis von nur 8,5 auf, während in den gesunden Stellen ein C/N-Verhältnis von 9,3 gefunden wurde. Der Unterschied bei den Auenstandorten war aber nicht signifikant.

In 30 – 60 cm Tiefe waren die Werte des C/N-Verhältnis meist höher als in den Oberböden. Sie lagen in den Lößstandorten bei "Befall" und "Gesund" jeweils bei ca. 9,6 und in den Auenstandorten bei 13,5 (Befall) bis 15,0 (Gesund).

Betrachtet man beide Messjahre gesondert (s. Tab. 18), änderte sich das Bild. Beim C_{org}⁻-Gehalt aller Standorte 2002 war das Gegenteil zu 2003 bzw. zu beiden Jahren zusammen festzustellen: die gesunden Stellen hatten 2002 mit 13,9 mg C_{org} g⁻¹ signifikant *höhere* Gehalte als "Befall" (11,5 mg C_{org} g⁻¹).

An den Aussagen für die Lößstandorte änderte sich nichts. Nur waren die Differenzen zwischen "Befall" und "Gesund" bei C_{org} und C/N-Verhältnis 2003 deutlich geringer als 2002.

Bei den Auenstandorten war 2002 der C_{org} - und N_t -Gehalt in den gesunden Stellen höher als in den befallenen Stellen, während dies 2003 umgekehrt war.

Tab. 18: C_{org} -, N_t -Gehalte und C/N-Verhältnis in 0 – 30 cm Tiefe bei "Befall" und "Gesund", 2002 und 2003 *getrennt betrachtet*; Oberböden (Ap-Horizonte); alle Standorte, Lößstandorte und Auenstandorte

Horizont und Tiefe	Messflächen	n	C_{org} [mg C g ⁻¹]	N_t [mg N g ⁻¹]	C/N
Alle Standorte 2002					
Ap 0 – 30 cm	"Befall"	28	11,5 a ± 3,2*	1,4 a ± 0,5	8,3 a ± 1,6
	"Gesund"	30	13,9 b ± 4,8	1,5 a ± 0,6	9,4 b ± 0,7
Lößstandorte 2002					
Ap 0 – 30 cm	"Befall"	21	10,6 a ± 2,0	1,2 a ± 0,1	8,7 a ± 1,4
	"Gesund"	22	11,8 a ± 1,9	1,2 a ± 0,2	9,7 b ± 0,4
Auenstandorte 2002					
Ap 0 – 30 cm	"Befall"	7	14,4 a ± 4,4	2,1 a ± 0,6	6,9 a ± 1,4
	"Gesund"	8	19,6 a ± 6,0	2,3 a ± 0,6	8,6 b ± 0,9
Alle Standorte 2003					
Ap 0 – 30 cm	"Befall"	27	27,9 a ± 27,6*	2,9 a ± 2,6	9,3 a ± 0,8
	"Gesund"	26	20,8 a ± 22,6	2,1 a ± 2,0	9,5 a ± 0,7
Lößstandorte 2003					
Ap 0 – 30 cm	"Befall"	18	11,7 a ± 1,9	1,3 a ± 0,2	9,1 a ± 0,6
	"Gesund"	21	12,0 a ± 1,8	1,3 a ± 0,2	9,2 a ± 0,5
Auenstandorte 2003					
Ap 0 – 30 cm	"Befall"	9	60,4 a ± 26,3	6,0 a ± 2,1	9,7 a ± 1,0
	"Gesund"	5	57,7 a ± 32,5	5,4 a ± 2,8	10,4 a ± 0,8

* Mittelwerte ± Std. abw.; Mittelwerte gefolgt von verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $P < 0,05$ in der gleichen Bodentiefe im Vergleich von "Befall" und "Gesund"; n = Anzahl der Werte

Beim C/N-Verhältnis änderte sich bei getrennter Betrachtung beider Jahre in keiner der Standortgruppen etwas am Bild, das aus der gemeinsamen Betrachtung beider Jahre resultiert. 2003 waren prinzipiell dieselben Unterschiede zwischen "Befall" und "Gesund" zu verzeichnen wie bei Betrachtung beider Jahre zusammen, nur waren 2003 die Differenzen geringer und es waren keine Signifikanzen festzustellen. 2002 waren die Differenzen größer und häufiger signifikant.

Die Widersprüchlichkeit der Aussagen zur Späten Rübenfäule beim C_{org} - und N_t -Gehalt gegenüber dem eindeutigen Bild beim C/N-Verhältnis ergibt sich auch aus der unten folgenden Betrachtung (Tab. 19; vgl. mit Tab. 17). Die Schläge LH3 und JW6 nehmen eine Sonderrolle ein. Dies betrifft den hohen Tongehalt und den starken Befall bei LH3, und die geringe Lagerungsdichte und die hohen C_{org} -Gehalte bei JW6.

Durch Weglassen von LH3 und JW6 kehrte sich bei Betrachtung beider Jahre zusammen

der Unterschied zwischen "Befall" (19,6 mg C_{org} g⁻¹) und "Gesund" (17,1 mg C_{org} g⁻¹) im C_{org}-Gehalt aller Standorte lt. Tab. 19 um, und wurde signifikant. "Befall" wies nun 11,8 mg C_{org} g⁻¹, "Gesund" 13,5 mg C_{org} g⁻¹ auf. Dieser prinzipielle Unterschied von "Befall" zu "Gesund" galt auch für den N_t-Gehalt. Das C/N-Verhältnis ändert sich praktisch nicht. Nach Weglassen von LH3 und JW6 entsprach das Bild für die Analyse beider Jahre zusammen dem der Lößstandorte in Tab. 17.

Tab. 19: Einfluss der Schläge LH3 und JW6 auf C_{org}-, N_t-Gehalt und C/N-Verhältnis bei "Befall" und "Gesund" in 0 – 30 cm Tiefe 2002 und 2003 bei Betrachtung aller Standorte durch Weglassen von LH3 bzw. JW6

Messflächen	"Befall"			"Gesund"		
	C _{org} [mg C g ⁻¹]	N _t [mg N g ⁻¹]	C/N	C _{org} [mg C g ⁻¹]	N _t [mg N g ⁻¹]	C/N
Alle Standorte	19,6 ns	2,1 ns	8,8 **	17,1 ns	1,8 ns	9,4 **
dto. ohne LH3	17,5 ns	1,9 ns	8,8 **	17,1 ns	1,8 ns	9,4 **
dto. ohne LH3 u. JW6	11,8 *	1,4 ns	8,6 **	13,5 *	1,5 ns	9,3 **

Mittelwerte unterscheiden sich signifikant bei * = P < 0,05 bzw. ** = P < 0,01 im Vergleich von "Befall" und "Gesund"; ns = nicht signifikant

3.11 Fruchtfolge und Befallsgrad

Aus Tab. 1 in Kap. 2.1.6 ergibt sich die Fruchtfolge für jeden Versuchsschlag. Diese wurde mit der Art der Messflächen, ob "Befall", "Stillstand" oder "Gesund", und dem Befallsgrad verglichen (Tab. 20).

Tab. 20: Fruchtfolgen und Krankheitsentwicklung von allen Messflächen mit kontinuierlichen Messungen 2002 und 2003; Anzahl von "Befall"-, "Stillstand"- und "Gesund"-Messflächen; Befallsgrad in % oberirdisch erkennbar erkrankter ZR bei der Ernte

Fruchtfolge	"Befall"	Befallsgrad	"Stillstand"	"Gesund"	Gesamt
KM – WW – ZR	11	7,2% (1,5 – 32,5%)	7	6	24
Gu – WW – ZR	1	7,2%	0	2	3
WW – WW – ZR	1	7,6%	0	1	2
Kart – WW – ZR	1	4,2%	0	1	2
ZR – WW – ZR	0	---	1	1	2
KM – Zwie – ZR	1	14,0%	0	1	2
WW – Zwie – ZR	0	---	0	1	1
WW – WG – ZR	0	---	0	1	1
Summe Anzahl	15	---	8	14	37

Abkürzungen siehe Tab. 1; **fett**: Fruchtfolgen mit zwei Wirtspflanzen für *R. solani* AG 2-2 IIIB

In den befallenen Messflächen dominierte die Fruchtfolge KM → WW → ZR (73% der Fälle). In Fruchtfolgen mit zwei Wirtspflanzen waren 20 Flächen "Befall" oder "Stillstand" (71%), nur

acht Messflächen waren "Gesund". Diese Fruchtfolgen sind in Tab. 20 fett gedruckt. Kam als Vor-Vorfrucht vor ZR eine andere Frucht als KM oder ZR, waren nur drei Stellen "Befall" oder "Stillstand" (33%) und sechs Stellen "Gesund". Beim Mittelwert des Befallsgrades waren zwischen der Vor-Vorfrucht KM und anderen Vor-Vorfrüchten keine Unterschiede feststellbar, jedoch fanden sich die Maximalwerte bei der Vor-Vorfrucht KM.

3.12 Dünnschliffe

R. solani lebt und überlebt in Form von älteren, mindestens ein Jahr alten, stark melanierten Hyphen in Resten von Pflanzenmaterial (Abb. 20 a, Abb. 20 b). Dies konnte in allen vier Dünnschliffen beobachtet werden. Es handelte sich in allen Fällen um Strohreste, bei denen die Stengelstruktur eindeutig zu erkennen war.

Von diesen Strohresten keimt *R. solani* aus (Abb. 21 a), Hyphen wachsen in den Boden bzw. in die Poren, durch den Boden und die Poren hindurch (Abb. 21 b) bis hin zu den ZR, in die sie eindringen (Abb. 22 a). Der Hohlraum (H) in Abb. 22 ist ein Fraktat, welches durch die Probenpräparation entstand, da die Proben z.T. schrumpften. Die Hyphen kommen von rechts in Abb. 22 b, und setzen sich nach links in Abb. 22 a fort, wo sie in die ZR eindringen. Durch den Schrumpfriss wurden sie abgerissen. Ältere Hyphen sind dunkelbraun (Abb. 20, Abb. 21), jüngere Hyphen sind nicht so stark melanisiert und daher heller (Abb. 21 b links, Abb. 22). Alle Aufnahmen erfolgten mit Durchlicht. Maßstäbe und Vergrößerungsfaktoren sind in den Fotos angegeben.

Die Vergesellschaftung von Pflanzenresten und *R. solani* konnte an insgesamt 176 Pflanzenresten (vgl. Tab. 21) und das Eindringen von *R. solani* in die ZR an den Rän-

Tab. 21: Dünnschliffauswertung; Proben vom September 2002 von den Schlägen AP7, JF1 und MK4

		AP7 a	AP7 b	JF1	MK4
	Bodenfläche im Dünnschliff [mm ²]	271	274	294	212
gesamt	Anzahl Pflanzenreste im Boden	220	166	123	199
	Index*	0,81	0,61	0,42	0,94
ohne <i>R. so.</i>	Anzahl Pflanzenreste im Boden	163	133	89	147
	% aller Pflanzenreste	74,1	80,1	72,4	73,9
mit <i>R. so.</i>	Anzahl Pflanzenreste im Boden	57	33	34	52
	% aller Pflanzenreste	25,9	19,9	27,6	26,1
	Index *	0,21	0,12	0,12	0,25
Sklerotien, moniloide Zellen		0	0	0	0

* = Anzahl Pflanzenreste pro mm² Bodenfläche im Dünnschliff

R. so. = *R. solani* AG 2-2 IIIB

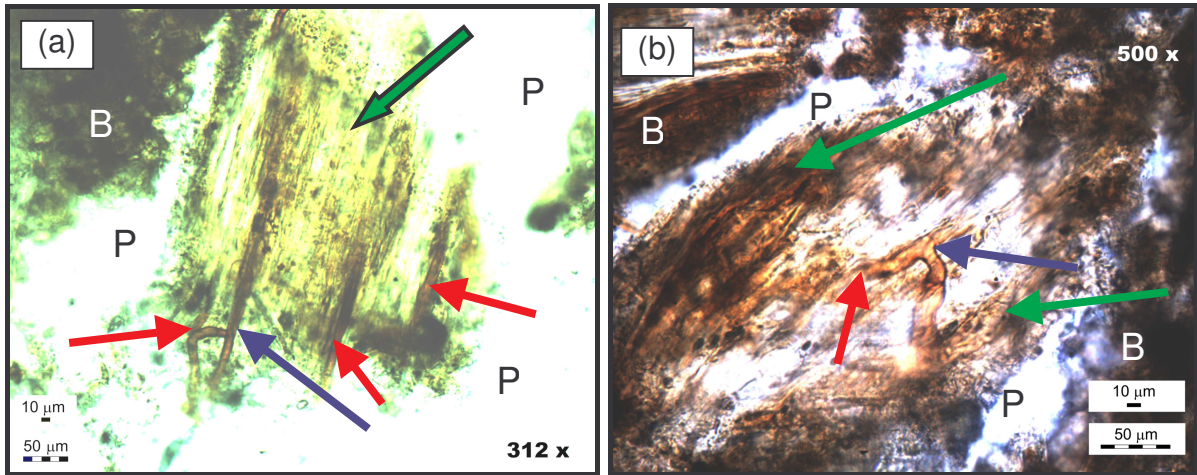


Abb. 20: Dünnschliffotos: *Rhizoctonia solani* in Pflanzenresten lebend: (a): Probe AP7 a; (b): Probe AP7 a; B = Boden, P = Pore; grüner Pfeil = Pflanzenrest; rote Pfeile = Hyphen von *R. solani*; blauer Pfeil: charakteristische 90°-Verzweigung der Hyphen (MORDUE 1974; YOKOYAMA et al. 1983)

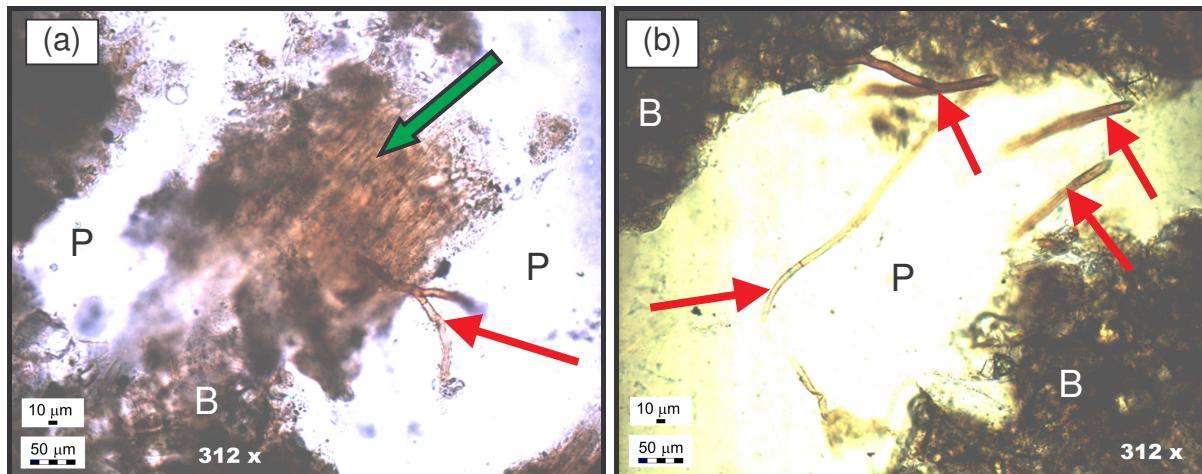


Abb. 21: Dünnschliffotos: Keimung von *Rhizoctonia solani* aus Pflanzenresten heraus und Wachstum in Poren durch den Boden hindurch (a): AP7 a, (b): MK4

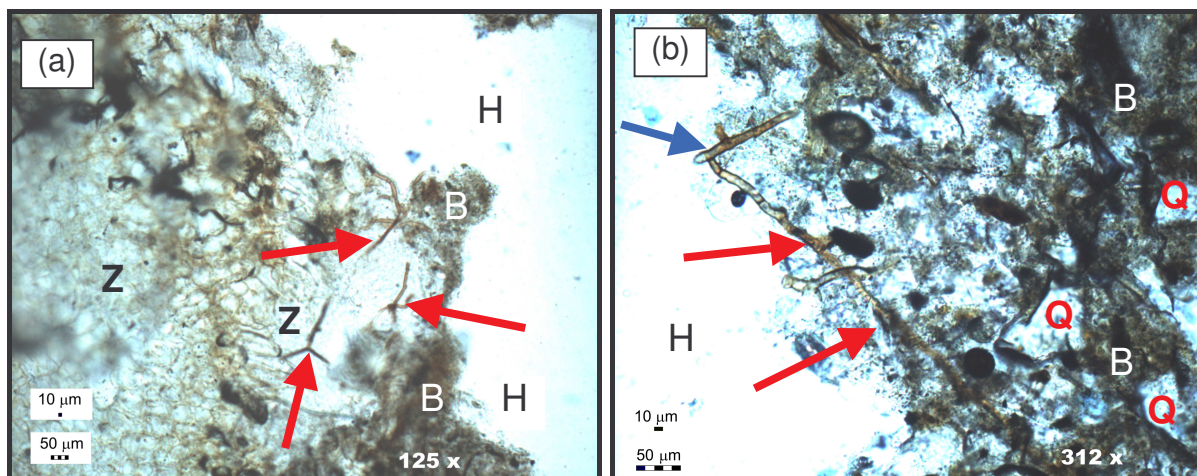


Abb. 22: Dünnschliffotos: Wachstum von *Rhizoctonia solani* aus dem Boden in die Zuckerrübe; (a): AP7 a; (b): AP7 a; Z = ZR, Q = Schluffkorn, H = Hohlraum

dern aller vier ZR beobachtet werden. Daneben fanden sich insgesamt 532 Pflanzenreste ohne *R. solani*. Pro mm² Bodenfläche im Dünnschliff waren 0,42 – 0,94 Pflanzenreste zu finden. Davon waren 20 – 28% mit *R. solani* bewachsen. Dagegen konnte kein einziges Sklerotium und keine moniloide Zelle gefunden werden.

Dr. P. BÜTTNER, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Freising, übernahm die Quantifizierung der Hyphen von *R. solani* und der Pflanzenreste.

3.13 Diskriminanzanalyse

Die Diskriminanzanalyse diente der Prüfung, welche Einflussfaktoren zwischen den Gruppen "Befall" und "Gesund" signifikant verschieden sind und dazu geeignet sind, "Befall" von "Gesund" zu trennen.

Es wurden insgesamt fünf verschiedene Diskriminanzanalysen durchgeführt, die sich nach den jeweils einbezogenen Standorten unterscheiden (Tab. 22). Diese Einteilung lehnt sich an diejenige der Kap. 3.7 bis 3.10 in Löß- und Auenstandorte an. In der Abfolge von Nr. 1.) bis 5.) wurden die einbezogenen Standorte immer homogener.

Die Klassifizierungsergebnisse in "Befall" und "Gesund" waren bei Analysen mit einer großen Anzahl berücksichtigter Standorte (n = 63 bis 83) nur unbefriedigend. Dies zeigten die geringen Wert der kanonischen Korrelation (c in Tab. 22) von nur 0,23 bis 0,34, und es wurden nur ca. 58% der Fälle korrekt klassifiziert (d in Tab. 22). Betroffen waren die Diskriminanzanalysen "alle Standorte" und "alle Standorte ohne LH3". Bei den Lößstandorten war die Qualität der Diskriminanzanalyse befriedigend, bei den Auenstandorten war die Qualität hoch.

Sechs Faktoren wurden in den Diskriminanzanalysen als relevant benannt (Tab. 23). Die am häufigsten relevante Variable war das C/N-Verhältnis. Außer bei den Auenstandorten, ob mit oder ohne LH3, kam es in allen drei anderen Diskriminanzanalysen vor. Bei "allen Standorten ohne LH3" war das C/N-Verhältnis die einzige relevante Variable. Bei den Lößstandorten war das C/N-Verhältnis der wichtigste Faktor (höchster Wert für e in Tab. 22). Bei "allen Standorten" und den "Auenstandorten mit LH3" wurde das Erscheinen der Variable "Ton" durch den Schlag LH3 verursacht. Nach Weglassen von LH3 war die Variable "Ton" nicht mehr in den Diskriminanzfunktionen enthalten.

Daneben kamen Texturvariablen von Bodenartenuntergruppen vor (fU und mU). Diese traten aber nur in je einer Diskriminanzanalyse auf, fU bei den Lößstandorten und mU bei "Auenstandorte ohne LH3". In diesen beiden Standortgruppen war auch die Lagerungsdichte in 23–26 cm Bodentiefe relevant. Kalium spielte nur in den Auenstandorten eine Rolle.

Tab. 22: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse; 1.) bis 5.) = verschiedene Diskriminanzanalysen mit zunehmender Standortdifferenzierung

Gültigkeitsbereiche der Diskriminanzanalysen:					Erläuterungen:				
Nr. 1.) alle Standorte (mit LH3)	n = 83				n = Anzahl der Werte				
2.) alle Standorte ohne LH3	n = 79				d_B = Lagerungsdichte				
3.) Lößstandorte	n = 63				mU = Mittelschluff, fU = Feinschluff				
4.) Auenstandorte (mit LH3)	n = 20				1/x = Kehrwert				
5.) Auenstandorte ohne LH3	n = 16				• = Multiplikation mit korrekt = korrekt klassifiziert				
Formulierung der Diskriminanzfunktionen:									
Nr. 1.)	$y = -14,214 + 39,3 \cdot 1/(C/N) + 7,344 \cdot \log_{10}(\text{Ton})$								
2.)	$y = -6,555 + 59,428 \cdot 1/(C/N)$								
3.)	$y = -21,04 + 9,51 \cdot 1/(d_B \text{ 23-26cm}) - 0,001 \cdot fU^3 + 4,99 \cdot \text{Wurzel}(C/N)$								
4.)	$y = -3,298 + 121,06 \cdot 1/\text{Ton} - 0,0005 \cdot (K_2O)^3$								
5.)	$y = -3,935 + 53,27 \cdot 1/mU - 0,018 \cdot (K_2O)^2 + 5,626 \cdot 1/d_B \text{ 23-26cm}$								
Prüfung der Diskriminanzfunktionen:									
Analyse Nr.	1.)	2.)	3.)	4.)	5.)				
a. Gruppenmittelwert der Funktionswerte mit Signifikanz (Chi-Quadrat-Test):									
Gruppe	Zentroid	Zentroid	Zentroid	Zentroid	Zentroid				
Befall	0,35	0,24	-0,51	-0,77	-1,38				
Gesund	-0,36	-0,22	0,46	1,15	1,38				
Signifikanz	0,008**	0,048*	0,005**	0,003**	0,002**				
b. Box-M-Test auf Gleichheit der Kovarianz-Matrizen kanonischer Diskriminanzfunktionen:									
	0,000	0,000	0,001	0,22	0,20				
c. Eigenwert und Kanonische Korrelation:									
Eigenwert	0,13	0,05	0,24	0,98	2,16				
Kanon. Korrelation	0,34	0,23	0,44	0,70	0,83				
d. Klassifikationsergebnisse:									
	1.) n			2.) n			3.) n		
	Befall	Gesund	gesamt	Befall	Gesund	gesamt	Befall	Gesund	gesamt
Befall	13	29	42	9	29	38	18	12	30
Gesund	6	35	41	4	37	41	8	25	33
	Relativ [%]			Relativ [%]			Relativ [%]		
Befall	31,0	69,0	100,0	23,7	76,3	100,0	60,0	40,0	100,0
Gesund	14,6	85,4	100,0	9,8	90,2	100,0	24,2	75,8	100,0
korrekt	57,8 % der Fälle			58,2 % der Fälle			68,3 % der Fälle		
	4.) n			5.) n					
	Befall	Gesund	gesamt	Befall	Gesund	gesamt			
Befall	9	3	12	7	1	8			
Gesund	3	5	8	1	7	8			
	Relativ [%]			Relativ [%]					
Befall	75,0	25,0	100,0	87,5	12,5	100,0			
Gesund	37,5	62,5	100,0	12,5	87,5	100,0			
korrekt	70,0 % der Fälle			87,5 % der Fälle					
e. Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktionskoeffizienten:									
	1.) Standardisierte Variablen Koeffizienten			2.) Standardisierte Variablen Koeffizienten			3.) Standardisierte Variablen Koeffizienten		
	log ₁₀ (Ton)			(nur C/N)			Wurzel(C/N)		
	1/(C/N)						fU ³		
							1/d _B 23-26 cm		
	0,78						0,82		
	0,65						-0,63		
							0,613		
	4.) Standardisierte Variablen Koeffizienten			5.) Standardisierte Variablen Koeffizienten					
	1/Ton			K ₂ O ²					
	K ₂ O ³			1/d _B 23-26 cm					
	1,32			-1,55					
	-1,08			1,48					
				1/mU					
				0,79					

In allen Diskriminanzanalysen war der Grad der korrekt klassifizierten Standorte bei den gesunden Stellen deutlich besser als bei den Befallsstellen. Für "Gesund" reichten die relativen Anteile korrekt klassifizierter Flächen von 62,5 bis 90,2% aller gesunden Stellen, bei "Befall" jedoch lagen sie bei nur 23,7 bis 87,5% aller Befallsstellen. Insbesondere bei "alle Standorte" und "alle Standorte ohne LH3" waren die Werte niedrig. Die schlechten Erklärungswerte der Diskriminanzanalysen "alle Standorte" und "alle Standorte ohne LH3" wurden folglich von der schlechten Erklärung von "Befall" durch die ermittelten Diskriminanzfunktionen verursacht. Für "Gesund" waren auch die Analysen "alle Standorte" und "alle Standorte ohne LH3" mit relativen Erklärungswerten von 85,4 bis 90,2% als aussagekräftig zu betrachten.

Tab. 23: Diskriminanzanalyse: Einflussfaktoren auf "Befall" und "Gesund"

Variable	Einflussfaktor bei Diskriminanzanalyse (vgl. Tab. 22)
Ton	alle Standorte, Auenstandorte
Feinschluff	Lößstandorte
Mittelschluff	Auenstandorte ohne LH3
K ₂ O	Auenstandorte, Auenstandorte ohne LH3
C/N	alle Standorte, Lößstandorte , alle Standorte ohne LH3
d _B 23–26 cm	Lößstandorte, Auenstandorte ohne LH3

Bewertet man die Aussagekraft der Analysen danach, ob die Box-M-Test-Werte wie gefordert über 0,001 liegen (b in Tab. 22), so fallen die Diskriminanzanalysen "alle Standorte" und "alle Standorte ohne LH3" weg, und die Diskriminanzanalyse "Lößstandorte" ist gerade an der Grenze der Zuverlässigkeit. Daher sind in Tab. 23 die verbleibenden drei aussagekräftigen Diskriminanzanalysen fett markiert.

Fünf der sechs Variablen waren nur entweder auf den Lößstandorten oder nur bei den Auenstandorten von Einfluss. Nur die Lagerungsdichte 23–26 cm war sowohl bei den Löß- als auch bei den Auenstandorten relevant.

In Lößstandorten wurden "Befall" und "Gesund" in abnehmender Bedeutung vom C/N-Verhältnis, Feinschluffgehalt und Lagerungsdichte 23–26 cm bestimmt, in Auenstandorten vom Kaliumgehalt. Bei den Auenstandorten waren – mit Einschränkung durch den Effekt der Nicht-Berücksichtigung von Schlag LH3 – auch der Tongehalt, Mittelschluffgehalt und die Lagerungsdichte 23–26 cm von Bedeutung.

4 Diskussion

4.1 Untersuchungskonzept

Ziel der Installation der Messgeräte war es, möglichst nahe an den Zeitpunkt und die natürlichen Bedingungen der bzw. bei der Infektion zu gelangen und diese Bedingungen zu messen. Daher wurde auf Praxisschlägen gearbeitet. Der Einbau der Messgeräte erfolgte, nachdem das Vorhandensein von *R. solani* bewiesen war, schon bevor der letzte Nachweis der AG von *R. solani* erbracht war. Jedoch war es nicht sinnvoll, in Befallsstellen vor Ausbruch der Krankheit mit den Messungen zu beginnen, da der Ausbruch der Krankheit weder örtlich noch zeitlich vorhergesagt werden kann (HERR 1996; MÄRLÄNDER u. BÜTTNER 2001; ZENS et al. 2002). Ein solcher experimenteller Ansatz wurde bislang noch nicht verfolgt (FÜHRER ITHURRART 2003).

In beiden Jahren waren zusammen 130 ha Fläche zu beobachten, auf denen die Krankheit ausbrechen könnte. Alle untersuchten Befallsflächen zusammen umfassten dagegen 119 m² Fläche, was nur 0,01% der Fläche entsprach. Ein prophylaktischer Einbau von Messgeräten wäre nur höchst zufällig sinnvoll gewesen. Folglich konnten die Messungen erst nach Ausbruch der Krankheit beginnen, eine Messung zum Zeitpunkt der Infektion war nicht möglich.

Um die Messflächen möglichst umfassend zu charakterisieren, wurden an den Orten kontinuierlicher Messungen zusätzlich Bodenproben entnommen und im Labor analysiert. Um die Datenbasis für diese Analysen zu vergrößern, erfolgte die Beprobung von zusätzlichen Flächen. Ein wichtiges Arbeitsprinzip stellte die Installation von Pärchenvergleichen dar, in denen Befallsstellen und benachbarte gesunde Stellen verglichen wurden.

Denkbar ist, dass eine andere räumliche Skala der Messungen und Probennahmen geeigneter gewesen wäre. Zwischen den beiden Messflächen eines Pärchenvergleiches konnten meist nur geringe Unterschiede in den gemessenen Parametern festgestellt werden. Dies könnte durch die geringe Entfernung von nur wenigen Metern verursacht sein, die zwischen diesen beiden Messflächen lag.

Betrachtet man jedoch die Gruppen von Messflächen "Befall" und "Gesund" unter Auflösung des Raumbezuges der Messflächen in einem Pärchenvergleich, fällt dieses Argument weg. Im Gegenteil könnte es sein, dass die Beprobungsskala zu grob war. Die Messflächen waren im Mittel ca. 7 m² groß. Die Orte, an denen Messinstrumente installiert worden waren, und die Probennahmepunkte befanden sich meist zwischen den Rübenreihen, und nur selten zwischen den ZR in den Reihen, und wiesen meist ca. 20 cm horizontale Distanz zu den ZR auf. Unterschiede in den untersuchten Bodenfaktoren könnten aber u.U. nur in Dimensionen von cm, wie z.B. bei der Lagerungsdichte, oder in mm– bis

μm - Dimensionen wie beim pH-Wert, Nährstoffgehalten und Humusgehalt, festzustellen sein, wie in den Zusammenstellungen von STOTZKY (1986) und GUGGENBERGER (2002) betont wird. Hyphen von *R. solani* reagieren im Laborversuch aufeinander, sofern sie weniger als 40 μm voneinander entfernt sind und nehmen sich gegenseitig bis zu einer Entfernung von maximal 100 μm gegenseitig wahr (YOKOYAMA u. OGOSHI 1986). Dies belegt die Bedeutung kleinskaliger Prozesse für das Krankheitsgeschehen.

Mit mehr Messjahren könnten die Aussagen zu Pseudogleyen und Gleyen (Kap. 4.3) abgesichert werden, es könnte geklärt werden, warum kolluviale Böden 2002 und 2003 meist gesund waren, 2003 aber oft auch zu Stillstandsflächen wurden, und eventuell wäre die Sonderrolle des Schlages LH3 2003 zu erklären, die immer wieder angedeutet wurde.

Die Erfahrungen und Ergebnisse des ersten Messjahres führten zu einer Modifikation des Messkonzeptes für das zweite Messjahr. Dadurch fielen manche Messgrößen weg, wie z.B. die Bodensaugspannung in 55 cm Tiefe und die Bodentemperatur in 5 cm, 10 cm und 25 cm Tiefe. Dafür kamen neue Analysen hinzu, wie die Entnahme von Unterbodenproben von 30 – 60 cm Tiefe und die Messung des Redoxpotentials, und die Zahl der beprobten Standorte erhöhte sich. Trotz der Verschiedenheit im Messkonzept sind beide Messjahre in den wichtigen Messgrößen vergleichbar.

Zur witterungsbedingt nötig gewordenen Neuklassifizierung von Messflächen im Jahr 2003 finden sich in Kap. 3.3 nähere Erläuterungen.

4.2 Statistische Auswertung und Diskriminanzanalyse

Als Verfahren der statistischen Auswertung kamen Mittelwertsvergleiche, die Errechnung von Standardabweichungen, Signifikanzen und eine Diskriminanzanalyse im Vergleich der Gruppen von Messwerten "Befall" und "Gesund" zur Anwendung. Andere statistische Verfahren könnten eventuell neue Aussagen erlauben. Dies gilt z.B. für die kontinuierlichen Messungen, bei deren Ergebnissen Kurvenverläufe interpretiert wurden wie bei der Bodensaugspannung und der Bodentemperatur, und bei denen z.B. Zeitreihenvergleiche neue Aufschlüsse zulassen würden.

Neben dem Vergleich der Gruppen "Befall" und "Gesund" erfolgten Tests, ob die Betrachtung der einzelnen Pärchenvergleiche andere Aussagen ermöglicht. Es ergab sich, dass bei allen gemessenen Parametern die Aussagen vergleichbar waren.

Bei der Errechnung von Mittelwerten aus mehreren Wiederholungen und dem Vergleich dieser Mittelwerte zwischen z.B. "Befall" und "Gesund" geht die ursprüngliche

Variabilität der Messungen verloren. Bei Bodensaugspannung, Redoxpotential, Lagerungsdichte, C_{org} -Gehalt und C/N-Verhältnis wurde getestet, ob ein Vergleich der Mittelwerte aus den Wiederholungen von "Befall" mit "Gesund" andere Aussagen erlaubt als der Vergleich der Einzelwerte der Wiederholungen von "Befall" mit "Gesund". Dies erfolgte bei den kontinuierlichen Messungen einerseits für das Mittel der Messtermine bestimmter Messzeiträume und andererseits für jeden einzelnen Messtermin. Hierbei wurden nur Messtermine und -zeiträume miteinander verglichen, bei denen von den zu vergleichenden Messflächen "Befall" und "Gesund" gleichermaßen Messwerte vorlagen, wie z.B. bei der Bodensaugspannung (Tab. 29 im Anhang in Kap. 8.3).

Bei allen untersuchten Parametern ergaben sich keine Änderungen der Aussagen zur Späten Rübenfäule, egal ob die Mittelwerte der Wiederholungen oder die einzelnen Wiederholungen einberechnet wurden. Dies gilt für den Vergleich der Gruppen "Befall" und "Gesund" ebenso wie für den Vergleich von "Befall" und "Gesund" innerhalb eines Pärchenvergleichs. Ein Beispiel für den Vergleich von Mittelwerten aus sechs Wiederholungen zwischen "Befall" und "Gesund" findet sich in Kap. 3.7 zur Lagerungsdichte (Abb. 16).

Die Aussagekraft von Messungen räumlich hoch variabler Parameter wie dem C_{org} -Gehalt und der Lagerungsdichte mit nur einer Wiederholung ist gegenüber der Messung mit sechs Wiederholungen eingeschränkt, sofern einzelne Messflächen miteinander verglichen werden sollen. Dies wurde aber als unerheblich betrachtet, da der Vergleich der Messwerte der Gruppen "Befall" und "Gesund" im Vordergrund stand, und da, wie oben erwähnt, Tests ergaben, dass die Gruppenbetrachtung von "Befall" und "Gesund" zuverlässige Aussagen erlaubt.

Alle Unterschiede in den Werten der gemessenen Parameter, die der Argumentation bezüglich des Einflusses auf die Späte Rübenfäule dienten, wurden den methodisch bedingten Messfehlern gegenübergestellt. So lagen z.B. bei der Bodensaugspannung in 15 cm und 55 cm Tiefe, der Textur bei den Lößstandorten und beim Redoxpotential die Unterschiede zwischen "Befall" und "Gesund" im Bereich der Messungenauigkeit und konnten daher, trotz beim Eh signifikanter Unterschiede, keinen Einfluss auf die Krankheit belegen. Dagegen lagen die Unterschiede der Messwerte bei der Bodensaugspannung in 35 cm Tiefe, Bodentemperatur, Lagerungsdichte, C_{org} -Gehalt und dem C/N-Verhältnis oberhalb der Messungenauigkeit. Da jedoch Widersprüchlichkeiten bei der Interpretation der Messergebnisse bei der Bodentemperatur, Lagerungsdichte und C_{org} -Gehalt auftraten bzw. die Unterschiede bei der Lagerungsdichtemessung nicht signifikant waren, konnte diesen Faktoren kein Bezug zur Krankheit zugemessen werden.

Einen starken Einfluss auf die Höhe der Messwerte hatte bei vielen Untersuchungen die geologische Grundlage der Standorte. Daher erfolgte bei allen untersuchten Parametern ein Test, ob die Auftrennung der Messwerte in Lößstandorte und Auenstandorte andere

Schlussfolgerungen ermöglicht. Durch die Auftrennung waren präzisere und besser abgesicherte Aussagen möglich als bei Betrachtung aller Standorte zusammen.

Bei der Diskriminanzanalyse ergab die Betrachtung aller Standorte zusammen ebenfalls zunächst nur unbefriedigende Ergebnisse. Auch hier erbrachte die Einteilung der Standorte nach der Geologie in Lößstandorte und in Auenstandorte gute Erklärungswerte in der Diskriminanzanalyse.

Durch die Diskriminanzanalyse wurde der Einfluss des C/N-Verhältnisses auf den Befall mit Später Rübenfäule bestätigt. Es war bei der Mehrzahl der Standorte, den Lößstandorten, von Bedeutung, bei denen die Unterschiede im C/N-Verhältnis zwischen "Befall" und "Gesund" auch signifikant waren. Bei der weniger zuverlässigen Diskriminanzanalyse "alle Standorte" war das C/N-Verhältnis ebenfalls relevant. Nur in den Auenstandorten belegte die Diskriminanzanalyse keinen Einfluss des C/N-Verhältnisses. Dieses war in den Auenstandorten genauso wie bei den Lößstandorten bei "Befall" niedriger als bei "Gesund", wengleich die Differenz bei den Auenstandorten nicht signifikant war (vgl. Abb. 19).

Beim Tongehalt wie auch bei anderen Texturklassen bestätigte die Diskriminanzanalyse den nur vordergründig vorhandenen Einfluss auf das Krankheitsgeschehen. Zwar erschien Ton zunächst als relevant, es zeigte sich aber, dass dies nur am Schlag LH3 lag. Die Bodenartenunterklassen Feinschluff und Mittelschluff erschienen nur in der Diskriminanzanalyse als relevant, zeigten im U-Test aber keine signifikanten Unterschiede zwischen "Befall" und "Gesund" (vgl. Tab. 33 im Anhang in Kap. 8.6). Mittelschluff trat nur in der Diskriminanzanalyse der Auenstandorte ohne LH3 ($n = 16$) in Erscheinung. Dafür zeigten die schwach signifikant verschiedenen Texturunterklassen Grobschluff und feiner Feinsand ($P = 0,044$ bzw. $0,042$) keine Relevanz in der Diskriminanzanalyse.

Weiterhin bestätigte die Diskriminanzanalyse auch die Besonderheit bei der Messung der Lagerungsdichte in 23 – 26 cm Bodentiefe. Dies war die einzige Tiefe, in der in den Befallstellen höhere Lagerungsdichten auftraten als in den gesunden Stellen, wobei die Unterschiede mit mindestens $0,05 \text{ g cm}^{-3}$ relativ deutlich, jedoch nicht signifikant, waren. In der Diskriminanzanalyse war die Lagerungsdichte in 23 – 26 cm Tiefe in den Lößstandorten auch nur von relativ geringer Bedeutung (vgl. e in Tab. 22), und in den Auenstandorten nur dann von Einfluss, wenn die Ergebnisse von Schlag LH3 nicht einberechnet wurden.

Für den Kaliumgehalt ist festzuhalten, dass die Diskriminanzanalyse einen deutlichen Einfluss auf die Späte Rübenfäule in den Auenstandorten nahe legt. Beide Diskriminanzanalysen der Auenstandorte zeigten relativ hohe standardisierte Koeffizienten beim Kalium (vgl. e in Tab. 22), was nur z.T. den Analysen in Kap. 3.9 entsprach. Zwar waren auch dort bei den Auenstandorten höhere Kaliumgehalte in den Oberböden der Befallsstellen gefunden worden, dies war aber nicht signifikant. In Lößstandorten spielte Kalium in der

Diskriminanzanalyse, wie auch in Kap. 3.9 erwähnt, keine Rolle.

Alle anderen Faktoren Grobschluff, Gesamt-Schluff, feiner Feinsand, Feinsand, Mittelsand, Grobsand, Gesamt-Sand, Lagerungsdichte in 13 – 16 cm Tiefe, pH-Wert, P_2O_5 , C_{carb} , C_{org} und N_T -Gehalt waren laut Diskriminanzanalyse nicht relevant für die Späte Rübenfäule. Dies bestätigt die Ergebnisse der Analysen dieser Faktoren.

Es wurde darauf hingewiesen, dass bei Betrachtung aller Standorte die Erklärung der "Gesund"-Stellen durch die ermittelten Diskriminanzfunktionen wesentlich besser möglich war als die der "Befall"-Stellen. Ähnliches gilt für die Diskriminanzanalyse "Lößstandorte". Dies deutet entweder darauf hin, dass das Auftreten der Krankheit bei "Befall" keine eindeutige Ursache hat, sondern entweder von einer Kombination von mehreren der gemessenen Parameter oder von nicht gemessenen Faktoren verursacht wird. Weiterhin ist möglich, dass die Befallsstellen in ihren gemessenen und für die Krankheit relevanten Eigenschaften relativ homogen waren, und sich diese Messwerte kaum von "Gesund" unterscheiden.

Daneben waren die Aussagen aus der Diskriminanzanalyse für die Auenstandorte von höherer Qualität als die für die Lößstandorte. Dies könnte mit der bei den Lößstandorten wesentlich geringeren Heterogenität der Messflächen zusammenhängen, während die Auenstandorte z.T. deutlich größere Schwankungen der gemessenen Parameter aufwiesen.

Keinen Eingang in die Diskriminanzanalyse fanden die kontinuierlichen Messungen von Bodensaugspannung, Bodentemperatur und Redoxpotential. Deren Auswertung könnte Bestandteil zukünftiger Arbeiten sein.

4.3 Bodenfeuchte und Staunässe

Hohe Bodenfeuchte, hohe Niederschläge, Senkenlage oder Staunässe werden im allgemeinen als Verursacher und Förderer der Späten Rübenfäule genannt (WINNER 1981; RIECKMANN u. STECK 1995; WOLF u. VERREET 1999; KIEWNICK et al. 2001; FÜHRER ITHURRART 2003; FÜHRER ITHURRART et al. 2004). Andere Autoren jedoch beschreiben das Gegenteil: geringe Bodenfeuchte soll *R. solani* fördern (DOMSCH u. GAMS 1970; BLAIR 1943, in: DOMSCH u. GAMS 1970). Zur Charakterisierung des Bodenwasserhaushaltes erfolgte die Messung der Saugspannung und die Standortbeschreibung mittels Pürckhauer-Beprobung.

In 35 cm Bodentiefe wurde in beiden Jahren ein Zusammenhang von hoher Bodenfeuchte und hohem Krankheitsniveau gefunden, obwohl die Jahre von der Witterung her sehr verschieden waren. Messflächen mit "Befall" waren feuchter als Standorte ohne Befall. Jedoch konnten in 15 und 55 cm Messtiefe keine Unterschiede festgestellt werden.

Die Anzahl von Messflächen, aus denen diese Schlussfolgerungen gezogen wurden, waren ausreichend: 15 Befallsstellen, 14 gesunde Stellen, 9 echte Pärchenvergleiche

"Befall – Gesund". Auf die trockenheitsbedingten Probleme und den Ausfall von Tensiometern wurde in Kap. 2.2.3 hingewiesen.

THALHEIMER (2003) beschreibt einen bei zunehmender Messtiefe zunehmenden Ablesefehler bei herkömmlichen Tensiometern, wie sie den hier verwendeten Geräten entsprechen. Dabei ergibt sich für 35 cm Messtiefe bei Tensiometern, deren Wasserstand unterhalb der GOF liegt, ein Ablesefehler, der maximal 16 hPa und im Mittel 8 hPa beträgt. Dies wird als unerheblich betrachtet.

Für einen Einfluss der Bodenfeuchte auf das Krankheitsgeschehen spricht der Krankheitsverlauf auf Schlag MK4. Er war von den fünf Schlägen mit kontinuierlichen Messungen 2002 derjenige mit dem geringsten Befall auf Schlagebene und derjenige mit dem geringsten Anteil geschädigter ZR in der Messfläche und der zugleich höchsten Bodenaugspannung. Sie betrug –254 hPa im Mittel aller drei Messtiefen (vgl. Tab. 28 in Kap. 8.3). Nur 4% der ZR in Messfläche MK4I B waren vor der Ernte befallen, andere Befallsstellen 2002 mit 5 – 33%.

Auch die Tatsache, dass diejenigen ursprünglichen "Befall"-Flächen 2003, die zu "Stillstand"-Flächen wurden, die mit Abstand höchsten Saugspannungen aufwiesen, deutet auf einen Einfluss der Bodensaugspannung hin. Ob zum Zeitpunkt der Infektion die "Stillstand"-Messflächen auch so trocken waren wie später gemessen, kann nicht gesagt werden. Die Befallsstellen waren im Gegensatz zu "Stillstand" über die gesamte Messperiode 2003 hinweg relativ feucht.

Fünf der acht Stillstandsflächen lagen auf Schlag AB4 und zwei weitere auf Schlägen in der holozänen Aue (JW6I und LH1I). Alle diese Standorte können vor Beginn der Messungen durchaus feucht(er) gewesen sein. Messbeginn war auf AB4 am 04.07.03, auf JW6 am 11.07.03 und auf LH1 am 29.07.03. Der Hauptanstieg der Bodensaugspannungen fand zwischen dem 02.07. und 08.07.03 statt (vgl. Abb. 25 im Anhang in Kap. 8.5), nachdem die letzten Niederschläge, die bis ca. 05.07.03 gefallen waren, verbraucht waren und die Bodenaustrocknung einsetzte.

Die Messflächen auf AB4 lagen unterhalb der größten Stufe in der Landschaft, die ca. 15 Höhenmeter aufweist, an der Terrassenkante der rißeiszeitlichen Terrasse hinunter zur ältesten würmeiszeitlichen Terrasse. Die Böden dort sind oft zuerst erodiert und später mit Kolluvien überdeckt worden. Da diese in Rinnen oder Kerben an der Terrassenkante liegen, wo sich auch die Messflächen befanden, ist dort von relativ hoher Bodenfeuchte auszugehen. Wo es auf diesem Schlag flacher wird bzw. ist, tritt oft Staunässe auf, was die Pürckhauer-Beprobung deutlich aufzeigte. Dies bestätigt MAIDL (1984), der in unmittelbarer Nähe pseudovergleyte Parabraunerden fand.

An den beiden anderen Standorten fanden sich Niedermoorgleye (JW6) und Oxigleye

(LH1). Dies bedeutet, dass beide Schläge zumindest in den feuchteren Jahreszeiten in Winter und Frühling vor Messbeginn Grundwasseranschluss gehabt haben könnten, was den Ausbruch der Späten Rübenfäule begünstigte. Kam es dann aufgrund nachlassender Niederschläge zu einer Absenkung des Grundwassers, kann dies die Ursache einer Bodenaustrocknung gewesen sein, die die Krankheit zum Stillstand brachte.

Auf beiden Schlägen gab es hierfür Hinweise. Auf Schlag JW6 waren schon am 04.06.03 Schrumpfrisse an der GOF von bis zu 2 cm Weite zu entdecken. Diese verbreiterten sich bis zum 02.07.03 auf maximal 10 cm Weite. Auf LH1 war das Kraut der ZR am Anfang Juli 2003 ausgesprochen kräftig ausgebildet, während die Blattapparate der ZR auf allen anderen Schlägen deutlich zurückblieben, obwohl die Sorte Cyntia auf LH1 eine Normalsorte darstellt, die sich durch einen nur mittelgroßen Blattapparat auszeichnet. Vierzehn andere Schläge mit Cyntia zeigten zeitgleich deutlich kleinere Blattapparate der ZR. Drei dieser Schläge finden sich in Tab. 1, elf weitere begangene Schläge sind dort nicht genannt, da sie nicht näher untersucht wurden. Auch die auf LH1 gezogenen ZR waren die größten ZR aller Schläge zu diesem Zeitpunkt. Kopfdurchmesser der ZR über 15 cm bis 20 cm am 15.07.03 waren auf LH1 die Regel. Das gute Wachstum könnte auch von einer günstigen Wasserversorgung der Standorte verursacht worden sein. Zu diesem Termin traten aber schon deutliche, 2 cm breite Trockenrisse im Boden auf, die auf einen Beginn der Bodenaustrocknung hindeuten.

Leider schränkt die geringe Zahl derartiger Beobachtungen die Aussagekraft ein, es kann nur als Hinweis verstanden werden, dass die Bodenwasserversorgung einen Einfluss auf die Späte Rübenfäule hat.

Ob die Unterschiede in der Bodensaugspannung zwischen "Befall" und "Gesund" auch zum Zeitpunkt der Infektion, die allermeist vor Beginn der Messungen stattgefunden haben muss, herrschten, kann nicht gesagt werden. Dennoch repräsentieren die niedrigeren Saugspannungen in 35 cm Tiefe in den Befallsstellen gegenüber den gesunden Stellen diejenigen Bedingungen, die einem Fortschritt der Krankheit zumindest nicht entgegenstanden.

Neben den Ergebnissen der Saugspannungsmessungen lässt auch das gesamte Befallsniveau der Späten Rübenfäule einen Bezug zur Jahreswitterung 2002 und 2003 erkennen: 2002 war die Krankheit auf sehr hohem Niveau, und 2002 war von durchgehend hohen Niederschlägen gekennzeichnet. In der Jahressumme fielen 1.102 mm Niederschlag, und damit 376 mm mehr als es dem 15-jährigen Mittel von 1990 – 2004 entspricht (726 mm). In der Periode Februar bis September lag der Niederschlag bei 752 mm, was einem um 237 mm höheren Wert als Vergleichswert aus dem 15-jährigen Mittel (515 mm) entspricht.

Dagegen war 2003 ein Jahr mit zwar sehr frühem Befall, v.a. auf Schlag AB4 ab Mitte

Mai. Dieser frühe Befall kam aber meist rasch zum Stillstand, mit Ausnahme von v.a. Schlag LH3. Ab Anfang Juli 2003 fiel praktisch kein Regen mehr bis Mitte September mit Ausnahme eines Regenereignisses Ende Juli mit ca. 20 mm. Das gesamte Jahr 2003 war mit 505 mm um 221 mm trockener als das 15-jährige Mittel, und in der Periode Februar bis September war 2003 mit 288 mm Niederschlag um 227 mm trockener als das 15-jährige Mittel.

In beiden Jahren folgte die Bodensaugspannung der Niederschlagsverteilung, wobei sich nur größere Regenereignisse von über ca. 20 mm auf die Bodensaugspannung auswirkten.

Für den Ausbruch der durch *R. solani* ausgelösten Krankheiten müssen die Wachstumszyklen bzw. Lebensrhythmen von Wirtspflanze, Pathogen und der Verlauf der Jahreswitterung zusammenpassen (BAKER 1970). Auch MACNISH (1996) vermutet, dass bei gegebenem Inokulumpotenzial der Verlauf der Jahreszeiten für das Auftreten von *R. solani* AG 8 bei Getreide entscheidend ist.

Als Ursache der höheren Bodenwassergehalte bzw. niedrigeren Bodensaugspannungen in den Befallsstellen in 35 cm Tiefe gegenüber den gesunden Stellen könnten Niederschlagsunterschiede zwar zwischen einzelnen Schlägen angenommen werden, da z.B. Gewitterregen auf eng begrenzten Räumen fallen können und schon wenige hundert Meter horizontale Distanz ausreichen, um große Unterschiede in der Regenmenge zu verursachen. Aus folgenden Gründen kann aber ein Niederschlagseinfluss auf die kleinräumigen Unterschiede in den Bodenwassergehalten ausgeschlossen werden: **i.)** die ZR in einzelnen Schlägen waren nie alle (100%) befallen, sondern es traten nur die Befallsstellen bei stärker betroffenen Schlägen in entsprechend größerer Anzahl und Flächenausdehnung auf; **ii.)** Schläge mit starkem Befall der ZR kamen direkt neben Schlägen mit fast komplett gesundem Bestand vor, wie z.B. NN10 in Abb. 7, der östliche Nachbarschlag zu Schlag NN2; auf NN10 in fast identischer Landschaftsposition konnte nur nach sehr langer Suche eine Befallsstelle gefunden werden; die ZR-Sorte war auf beiden Schlägen eine Normalsorte; **iii.)** in unmittelbarer Nachbarschaft von Befallsstellen fanden sich immer auch gesunde Stellen.

Die beiden Messflächen eines Pärchenvergleichs waren i.d.R. durch verschiedene Bodensaugspannungen gekennzeichnet (66 hPa Differenz 2003 in 35 cm Tiefe), obwohl sie nur wenige Meter (meist 1 – 5 m, im Ausnahmefall bis 15 m) voneinander entfernt lagen.

Andere Faktoren als der Niederschlag müssen als Ursache für kleinräumige Unterschiede in den Bodensaugspannungen vermutet werden. Diese wurden aber entweder nicht bestimmt (Nr. 1 – 4 in Tab. 24), sind unwahrscheinlich (Nr. 5), sind auszuschließen (Nr. 6 und 7), oder sind relativ gut begründete Annahmen (Nr. 8).

Ein Einfluss auf die lokalen Differenzen in den Bodensaugspannungen zwischen Befallsstellen und gesunden Stellen wird dem Bodentyp zugesprochen. Dieser wurde anhand der Pürckhauer-Beprobung und Bohrstockbeschreibung bestimmt (Tab. 26 im

Anhang in Kap. 8.2) und müsste im Rahmen zukünftiger Arbeiten durch das Aufgraben von Bodenprofilen bestätigt werden.

Tab. 24: Einflussfaktoren auf die Bodensaugspannung und die Unterschiede zwischen "Befall" und "Gesund"; Auswahl, ohne Witterungseinfluss

Nr.	Faktor	Bewertung	Begründung
1	vertikale Versickerung	möglich, aber nicht bestimmt	steuern entscheidend das Verhältnis von Zu- und Abfluss von Wasser am Standort; nicht gemessen
2	Zufluss oder kapillarer Aufstieg aus dem Grundwasser		
3	Wasserleitfähigkeit im Boden		
4	lateraler Zu- oder Abfluss		
5	Texturunterschiede	unwahr- scheinlich	nur minimale Unterschiede (vgl. Kap. 3.8)
6	unterschiedlicher Wasser- verbrauch von Befallsstelle und gesunder Stelle	ist auszu- schließen	Saugspannungskurven "Befall" und "Gesund" blieben innerhalb der Pär- chenvergleiche fast immer parallel (ähnlich wie in Abb. 9 und Abb. 10)
7	Einfluss des Makroreliefs, insbesondere Senkenlage	(wie 6)	"Befall" und "Gesund" eines Pärchen- vergleichs lagen immer in denselben Reliefpositionen (vgl. Kap. 2.2.2) bzw. nie in den Senken (vgl. Kap. 3.2)
8	Bodentyp	begründete Annahme	(siehe Kap. 4.3 hier)

Bei Gleyen war eine leichte Häufung der Befallsstellen zu sehen. In 11 Fällen zeigten Gleye "Befall", 7 Mal "Gesund", wobei v.a. dort, wo Gr-Horizonte gefunden wurden bzw. wo deren Obergrenze relativ nahe der GOF lag, Befallsstellen auftraten. In fünf von sechs Pärchenvergleichen mit Gleyen in beiden Messflächen waren die Befallsstellen diejenigen Flächen mit dem deutlicheren Gr-Einfluss. Ob sich diese Beobachtung bestätigen lässt, müsste mittels zusätzlicher Feldarbeiten geklärt werden. Von den sechs Gley-Standorten 2002 waren je drei "Befall" und "Gesund", die 12 Gley-Standorte 2003 teilten sich in acht Befallsstellen und nur vier gesunde Stellen auf.

Ein ähnlich unsicherer Trend ergab sich bei den Kolluvisolen. Sechs der acht vorgefundenen Kolluvisole wurden in gesunden Stellen gefunden, nur zwei in Befallsstellen (beide 2003). Die Grenze zwischen der gesunden Nordhälfte von Schlag NN2 und der stark befallenen Südhälfte (vgl. Abb. 7) ist zugleich eine Bodengrenze: im Norden liegen Kolluvisole vor, im Süden Braunerden und Parabraunerden (vgl. Abb. 4, gelbe Raute dort: Lage des Schlages NN2). Daneben waren aber auch vier Kolluvisole im Jahr 2003 Stillstandsflächen, v.a. auf Schlag AB4, mithin nicht "gesund". Dies lag eventuell an der Bodensaugspannung, wie weiter oben ausgeführt wurde.

Der deutlichste Bezug eines Bodentyps zum Auftreten der Späten Rübenfäule fand sich

beim Grad der Pseudovergleyung, die u.a. mit den in Tab. 24 genannten Punkten 1, 3 und 4 zusammenhängt. Zwar waren Pseudogleye als Hauptbodentyp insgesamt sechs Mal bei "Befall", aber auch fünf Mal bei "Gesund" zu finden, aber bei Pärchenvergleichen mit Pseudovergleyung war diese in den Befallsstellen fast immer stärker ausgeprägt als die Pseudovergleyung der korrespondierenden gesunden Stellen. In acht von neun Fällen, sieben davon im Jahr 2003, war dies der Fall. Mehr Pseudovergleyung in Befallsstellen war v.a. 2003 festgestellt worden, als die Böden generell unter Austrocknung litten.

Der Grad der Pseudovergleyung wurde definiert gemäß i.) der Ausweisung des Bodentyps, ob Hauptbodentyp Pseudogley, oder Übergangsbodentyp (z.B. Braunerde-Pseudogley o. Pseudogley-Parabraunerde), oder Varietät (z.B. pseudovergleyter Kolluvisol), ii.) der Mächtigkeit des Sw-Horizontes, und iii.) der Tiefenlage der oberen Grenze des Sd-Horizontes. Für ii.) und iii.) gilt, dass die Pseudovergleyung umso stärker bewertet wurde, je mächtiger ein Sw-Horizont war bzw. je weiter oben im Bodenprofil der Sd-Horizont lag.

Das bevorzugte Auftreten von Befallsstellen auf stärker pseudovergleyten Standorten spricht für Staunässe als einen die Späte Rübenfäule begünstigenden Faktor.

Wasserstau kann u.a. von einer hohen Lagerungsdichte oder einem hohen Tongehalt in Sd-Horizonten verursacht werden. Dies könnte zu erhöhten Bodenwassergehalten bzw. Staunässe oberhalb des Sd-Horizontes führen. Staunässe wurde oben als begünstigend für die Späte Rübenfäule genannt, und die Bodensaugspannung in 35 cm Tiefe war in Befallsstellen niedriger als in gesunden Stellen. Die Lagerungsdichte jedoch wies in den fünf Messtiefen zwischen 3 und 46 cm Bodentiefe keine signifikanten Differenzen zwischen "Befall" und "Gesund" auf. Auch aus den acht Pärchenvergleichen, in denen die Pseudovergleyung in den Befallsstellen stärker war als in den gesunden Stellen, ließ sich in allen Messtiefen kein Unterschied in der Lagerungsdichte zwischen "Befall" und "Gesund" ablesen. Daher kann eine hohe Lagerungsdichte in Bodenhorizonten bis 46 cm Tiefe aufgrund der vorliegenden Messungen nicht als Ursache der erhöhten Bodenwassergehalte oder von Staunässe bei "Befall" betrachtet werden. Die Textur zeigte ebenfalls keine Unterschiede in den Unterbodenhorizonten von "Befall" zu "Gesund". Verursacher der Pseudovergleyung könnten unterhalb von 60 Bodentiefe liegende Sd-Horizonte sein, die nicht beprobt wurden.

Ohne Bezug zum Auftreten der Späten Rübenfäule waren die Bodentypen Pararendzina (RZ), Braunerde (BB), Parabraunerde (LL), Auenpararendzina (AZ), Vega (AB) und Niedermoor (HN), da sich entweder Befallsstellen und gesunde Stellen gleichhäufig fanden (RZ, LL) oder weil deren Anzahlen, wie sie vorgefunden wurden, zu gering waren, um Aussagen zu ermöglichen (BB, AZ, AB, HN).

4.4 Temperatureinfluss

R. solani braucht spezielle Bodentemperaturen für das Wachstum, und auch die Pathogenität wird von der Bodentemperatur beeinflusst (LIU u. SINCLAIR 1991). Hohe Temperaturen sollen *R. solani* fördern (WOLF u. VERREET 1999; ZENS et al. 2002; FÜHRER ITHURRART et al. 2004). Nach SNEH et al. (1991) gehört *R. solani* AG 2-2 IIIB zur Hochtemperaturgruppe mit einem Optimum bei 30 °C, und NAITO u. KANEMATSU (1994) ermittelten im Laborversuch ein Temperaturoptimum für *R. solani* AG 2-2 IIIB von 31 °C. Da die ZR zu den Früchten zählt, die bei kühlen Temperaturen besser wachsen, übersteigt das Wachstum der ZR bei kühlen Temperaturen das von *R. solani*, wodurch sich der Befall verringert (BAKER u. MARTINSON 1970).

Andererseits erhöht eine rasche Frühjahrserwärmung die Resistenz der ZR gegenüber Pilzen (HEYLAND 1996), Keimlingskrankheiten und Schädlingen (WINNER 1981) MANIAN u. MANIBHUSHANRAO (1990) fanden eine erhöhte Überlebensdauer von Sklerotien von *R. solani* bei 20 °C gegenüber 30 °C unter trockenen Bedingungen in einem Reisfeld.

DOMSCH u. GAMS (1970) nennen einen Bereich von 16 – 22 °C in dem die maximalen Schäden durch *R. solani* auftreten, die Autoren nennen dessen Temperaturansprüche aber „sehr variabel“. Insgesamt sind die Temperaturangaben in der Literatur sehr verschieden und schwanken in einem großen Bereich, z.B. 20 – 30 °C für den Optimalbereich (PARMETER u. WHITNEY 1970).

R. solani wird von der Aktivität seiner Antagonisten beeinflusst, wobei manche Antagonisten von *R. solani* von hohen Bodentemperaturen begünstigt werden (VELVIS et al. 1989; SCHOLTE 1987; FÜHRER ITHURRART 2003), andere Antagonisten jedoch nicht (SCHMIEDEKNECHT 1993). Als Antagonisten kommen Bakterien (KIEWNICK et al. 2001), Pilze (VELVIS et al. 1989; FALCONI 2001), Nematoden (DOMSCH u. GAMS 1970) und Amöben (OGOSHI 1987) in Betracht.

Widersprüchlich wie die Literaturangaben waren auch die eigenen Messergebnisse der Bodentemperaturen: sie ergaben keinen sicheren Bezug zur Späten Rübenfäule. Insbesondere konnte nicht festgestellt werden, dass relativ hohe Temperaturen im Boden die Ursache für das Auftreten der Krankheit ist. Die Widersprüche zwischen den Befunden für 2002 und 2003 bei Betrachtung der Messflächen und zwischen den räumlichen Betrachtungsebenen "Messfläche" und "Einzelthermometer" erlauben Zweifel am Temperatureinfluss.

Wenn in Befallsstellen höhere Bodentemperaturen auftraten als in den gesunden Stellen, war dies auf das schlechtere Bestandesbild in den Befallsstellen gegenüber den gesunden Stellen zurückzuführen.

Für den fehlenden Einfluss der Bodentemperatur auf die Späte Rübenfäule spricht

auch die Tatsache, dass bei Betrachtung der Messflächen und der Messwerte der Einzelthermometer Befallsstellen einerseits sehr hohe und andererseits sehr niedrige Bodentemperaturen aufweisen konnten. Hierfür gab es einige Hinweise, z.B. die Initialphasen in Abb. 11, und die Tatsache, dass 2002 die beiden am stärksten befallenen Schläge JF1 und LH5 zugleich einerseits der wärmste (JF1) und andererseits ein kühler Schlag waren (LH5). Diese Widersprüchlichkeit wird im folgenden noch näher betrachtet.

Die Betrachtung des gewählten Zeitraumes vom 12.06. – 31.08.2003 kann nicht als Ursache von Widersprüchen bei den Messergebnissen gelten, da andere Zeiträume innerhalb der Messperiode dieselben, wenn auch nicht so deutlichen Unterschiede zwischen den Messflächen zeigten. Dies gilt insbesondere für die späte Phase vom 30.07. – 24.09.2003, in der alle Messflächen zweifelsfrei miteinander vergleichbar waren. Da jedoch die Bodentemperaturen in diesem späten Zeitraum mit den Infektionsbedingungen weniger zusammenhängen als die der frühen Messphase, wurde dem Zeitraum vom 12.06. – 31.08.2003 größere Bedeutung zugemessen.

Die Boden- und Lufttemperaturdaten der Station Neusling des Agrarmeteorologischen Messnetzes Bayern führten beim Vergleich von 2002 mit 2003 für verschiedene Zeitabschnitte zu differierenden Ergebnissen (Tab. 5). Im Mittel des gesamten Jahres lagen die Temperaturen in Boden und Luft 2002 bei starkem Befall um 0,3 °C über denen von 2003. Daraus könnte man eine Begünstigung der Späten Rübenfäule durch höhere Boden- und Lufttemperaturen ablesen. Wenn die ZR zu den Pflanzen zählt, die im Frühjahr Wachstumsvorteile gegenüber anderen Pflanzen und Krankheitserregern bei relativ kühlen Temperaturen hat (BAKER u. MARTINSON 1970), würden hohe Temperaturen den Krankheitserreger relativ zur ZR fördern, falls *R. solani* AG 2-2 IIIB relativ warme Bedingungen zur Ausbreitung im Frühjahr braucht.

Wäre *R. solani* AG 2-2 IIIB aber ein Pathogen mit Vorliebe für kühle Temperaturen im Frühjahr, wäre unter solchen Bedingungen der sonst vorhandene Konkurrenzvorteil der ZR gegenüber Pilzen (HEYLAND 1996) zunichte gemacht und die Krankheit würde begünstigt werden. ZENS (2000) fand bei sechs Isolaten von *R. solani* AG 2-2 ein je nach Temperatur verschiedenes Mycelwachstum, wobei dieses bei 25 °C am höchsten war, bei 17 °C am zweithöchsten, gefolgt von 35 °C und dann von 10 °C, bei welcher das Wachstum minimal war. Dabei hatten die sechs Isolate aber verschiedene Temperaturoptima. Wären verschiedene Isolate von *R. solani* AG 2-2 IIIB auf den untersuchten Schlägen vorhanden, könnte dies den verschiedenartigen Temperatureinfluss erklären.

Während des Zeitraumes "Februar bis September" war es 2002 im Boden um 0,2 °C wärmer, aber in der Luft um 0,3 °C kühler als 2003 (Tab. 5), was den Jahresdurchschnittswerten widerspricht. Erneut anders war es im Zeitraum "Mai". Der

Mai 2002, in dem die beobachtete Erstinfektion am Monatsende stattfand, war in Luft und Boden um 1,2 bzw. 0,9 °C kühler war als der Mai 2003, in dem in der Monatsmitte die beobachtete Erstinfektion auftrat.

In beiden Messjahren fand die beobachtete Erstinfektion zu einem Zeitpunkt statt, als nach bis dahin nahezu konstant ansteigenden Bodentemperaturen auf 16,3 bzw. 16,4 °C eine Abnahme im Mai stattfand (Abb. 6). Ab ≥ 15 °C kann nach WHITNEY u. DUFFUS (1986) eine Infektion stattfinden. Dies spricht für eine Vorliebe von *R. solani* AG 2-2 IIIB für tiefere Temperaturen bei der Infektion im Mai.

Wenn oben erwähnte Widersprüche bei der Interpretation des Einflusses der Luft- und Bodentemperatur auf die Späte Rübenfäule damit erklärbar wären, dass nach der Infektion bei kühlen Temperaturen im Mai die Ausbreitung der Krankheit von hohen Bodentemperaturen gefördert wird, wäre eine Wirkung der Bodentemperatur feststellbar. Dies ist aber unbewiesen.

4.5 Interpretation des Redoxpotentials

Sauerstoff (O₂) dient als Elektronenakzeptor für die Elektronen, die bei der Zersetzung der organischen Substanz infolge Oxidation durch Mikroorganismen freierwerden. Wasserüberschuss kann zu Sauerstoffmangel und sinkendem Redoxpotential im Boden führen. Hohe Gehalte an organischer Substanz, vor allem an leicht verfügbarer organischer Substanz wie Glucose (VAN BOCHOVE et al. 2002) führen durch Verbrauch des O₂ ebenfalls zu stärkerer Absenkung des Eh (FLESSA u. BEESE 1995; SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 2002; VAN BOCHOVE et al. 2002). Daneben beeinflusst auch die Lagerungsdichte das Eh, da es bei hoher Bodendichte zu verringerter Luftleitfähigkeit bzw. zu einem nachlassenden Nachlieferungsvermögen von freiem O₂ über den Zutritt von Luft in die Poren, Bodenaggregate und Mikrokompimente kommen kann, in denen dann reduzierende Bedingungen auftreten können. Unterschiede in Textur und Humusgehalt im Unterboden können ebenfalls zu verschiedenen Eh führen (TEICHERT et al. 2000).

Mikroorganismen im Boden, zu denen Pilze wie *R. solani* zählen, werden vom Bodenwassergehalt, dem Gehalt an organischer Substanz, der Sauerstoffversorgung und dem pH-Wert in ihrem Wachstum beeinflusst (Übersicht von STOTZKY 1986). Da diese Faktoren ebenso das Redoxpotential bestimmen, wurde dieses als Querschnittsgröße untersucht.

Zwischen Befallsstellen und der gesunden Stelle fand sich kein zweifelsfreier Unterschied bei den Messungen des Redoxpotentials. Zwar wurden Unterschiede zwischen den

Einzelwerten von "Befall" und "Gesund" in 5 cm Tiefe und 30 cm Tiefe gefunden, die signifikant waren (Abb. 14), diese werden aber als zu gering erachtet, um Unterschiede nachweisen zu können. Im Mittel wiesen die befallenen Stellen ein um 26 mV (5 cm Tiefe) bzw. 37 mV (30 cm Tiefe) geringeres E_7 gegenüber der gesunden Stelle auf. Mindestens 100 mV Unterschied im E_7 müssen gemessen werden, um sicher von Unterschieden sprechen zu können (KÖLLING 2000; TEICHERT et al. 2000; SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 2002). Zudem war die Stichprobenanzahl zu gering.

Die Messung des Eh ist schwierig und mit Fehlern sowie großen Schwankungen behaftet (TEICHERT et al. 2000; SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 2002). Die Pt-Elektroden reagieren nicht nur auf das Eh, sondern auch auf den pH-Wert und andere Potentiale im Boden (GAO et al. 2002). Nach einem Niederschlagsereignis kann Wassersättigung im Boden auftreten und innerhalb weniger Stunden zu einer starken Abnahme des Eh führen. Jahreszeitliche Schwankungen des Eh im Boden können 100 bis 800 mV betragen und sind in Grund- und Stauwasserhorizonten besonders groß (FIEDLER 2000; TEICHERT et al. 2000; SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 2002; MANSFELDT 2003). Innerhalb eines Tages kann bei Böden nahe der Meeresküste das Eh um bis zu 200 mV schwanken (VORENHOUT et al. 2004). Auch bei großer Sorgfalt beträgt die Messungenauigkeit ± 50 mV, unter ungünstigeren Bedingungen ± 100 mV (KÖLLING 2000). Schon 10 mm Distanz im Boden können zu Unterschieden im Eh von 800 mV führen, weswegen Messungen des Eh nur für ein Bodenvolumen von 1 mm³ gelten (FIEDLER 2000). Zudem sind Mittelwerte des Eh von nur geringer Aussagekraft, die Spanne des gemessenen Eh jedoch gibt ein gutes Bild der in einem Boden vorherrschenden Redoxbedingungen (FIEDLER 2000). Eh-Erniedrigungen durch die Zersetzung organischer Substanz sind schon in 1 – 4 cm Entfernung von Pflanzenresten nicht mehr nachweisbar (FLESSA u. BEESE 1995).

Die eigenen Messergebnisse schwankten **i.)** mit der Zeit beim Ablesen der Pt-Elektroden, **ii.)** in ihrer Höhe zwischen den Messflächen und **iii.)** im Niveau der einzelnen Pt-Elektroden über den Messzeitraum hinweg um maximal 300 bis 350 mV. Durch die relativ frühe Notiz des abgelesenen Messwertes bei abfallendem Eh, wie es hier praktiziert wurde, kann davon ausgegangen werden, dass bei längerer Wartezeit das Eh eher noch tiefer gelegen wäre, bis der Messwert stabil gewesen wäre. Nach VAN BOCHOVE et al. (2002) waren Eh-Messungen bei Eh –50 bis +200 mV nach spätestens 10 Minuten stabil.

Damit lag die Variabilität der Werte im von SCHULTE-EBBERT u. HOFMANN (2000) für Eh-Messungen im Grundwasser von Bohrlöchern und im von FIEDLER u. FISCHER (1994) für den Ap-Horizont eines Oxigleys genannten Bereich. Sie erreichten nicht die von FIEDLER (2000) für kurzfristige, über kleine Distanzen genannte Amplitude von maximal 800 mV. Der Verlauf

des E_7 jeder einzelnen Pt-Elektrode zeigte trotz Schwankungen der Messwerte plausible Trends im Vergleich der Wiederholungen an, wie sie auch MANSFELDT (2003) beschreibt. In zwei Kalkmarschen (WRB: "mollic bzw. calcaric Gleysol"), fand MANSFELDT (2004) Redoxpotentiale, die in 10 und 30 cm Bodentiefe von April bis Oktober praktisch identische Werte zeigten ähnlich den hier vorgestellten Messergebnissen auf den Schlägen LH3 und JW6, deren Böden Ähnlichkeiten zu Marschböden zeigen ("Gleysols", Kalk- und Humusgehalt).

Nach MANSFELDT (2003) sind Eh-Messungen nur bei reduzierenden Bedingungen sinnvoll, da das Eh in oxidierendem Milieu vor allem auf den pH-Wert reagiert. Beim pH-Wert zeigte sich aber keine Beziehung zum E_7 (Tab. 10).

Damit wird festgestellt, dass die eigenen Messergebnisse glaubwürdig waren.

Die höchsten E_7 wurden, ebenso wie die höchsten Bodensaugspannungen, in Stillstandsflächen gemessen. Diese Flächen hatten in zwei von drei Fällen *geringe* C_{org} -Gehalte (vgl. Tab. 10), was Ursache der hohen Redoxpotentiale sein könnte. Die geringsten E_7 traten bei "Befall" auf. Diese Flächen waren in drei von vier Fällen zum einen Auenstandorte, und zugleich *reich* an C_{org} . Somit könnten die hohen C_{org} -Gehalte das niedrige E_7 verursacht haben.

Wäre bei der Untersuchung der Bodensaugspannung, der Lagerungsdichte und des C_{org} -Gehaltes eine deutliche Beziehung zur Späten Rübenfäule festgestellt worden, müsste diese auch im Eh zu finden sein, sofern dieser Effekt nicht durch andere, gegenläufig wirkende Faktoren aufgehoben wird. Dies kann hier aber ausgeschlossen werden.

Daher bestätigen die Messungen des Eh indirekt die Ergebnisse aus der Messung der genannten Faktoren: bei der Lagerungsdichte fand sich kein Einfluss auf die Späte Rübenfäule, der C_{org} -Gehalt war von widersprüchlicher Bedeutung, und die geringeren Bodensaugspannungen in 35 cm Tiefe bei "Befall" fanden sich nur angedeutet im E_7 wieder.

Die getroffenen Aussagen zum Eh stehen nicht in Widerspruch zu den Ausführungen zum Wasserstau und dem Einfluss der Pseudovergleyung, da sich jener v.a. in Tiefen von mehr als 30 cm in der Ausprägung der Bodenhorizonte zeigt. Die Unterschiede beim E_7 im Jahr 2003 zwischen den Messflächen waren unter anderem von Unterschieden im C_{org} -Gehalt bestimmt.

Vergleicht man den Verlauf der Messungen des Redoxpotentials 2003 mit der Niederschlagsmenge, der Bodensaugspannung, der Bodentemperatur und der Lufttemperatur, fällt auf, dass sich das E_7 gegenläufig zur Bodentemperatur verhielt, wie es auch von FIEDLER (2000) beschrieben wird. Die Bodentemperatur wiederum folgte sehr stark der Lufttemperatur (s. Abb. 25 im Anhang in Kap. 8.5). Abkühlung erhöhte tendenziell das Redoxpotential, Erwärmung verringerte es. Vom 11.06. – 15.07.03 verlief das E_7 auch

gleichgerichtet wie die Bodensaugspannung, danach jedoch nicht mehr. Die starke Zunahme des E_7 am 05.08.03 kann nicht erklärt werden. Ein Bezug des E_7 zur Niederschlagsmenge ist nicht ersichtlich, was auch FIEDLER (2000) beobachtete. MANSFELDT (2003) stellte für 10 cm Messtiefe in einem Marschboden keinerlei Beziehung des Eh zur Jahreszeit und zum Niederschlag fest.

Bei einem Gesamtniveau des Redoxpotentials von $E_7 = +450$ bis $+600$ mV, wie es die Messungen ergaben, ist der wichtigste freie Elektronenakzeptor der O_2 , der zu Wasser (H_2O) reduziert wird. Erst unterhalb von $E_7 = +330$ mV ist O_2 nicht mehr nachweisbar (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 2002). Es ist unwahrscheinlich, dass es großräumig oder über längere Zeit zu O_2 -Mangel im Boden, außer in kleinen Aggregaten oder Mikrokompartimenten, gekommen ist. Dies würde mit der geringen Regenmenge 2003 übereinstimmen. Von ebenfalls oxidierenden Bedingungen mit Eh = $+430$ bis $+550$ mV in einer Norm-Kalkmarsch in 10 und 30 cm Bodentiefe im 4-jährigen Mittel berichtet MANSFELDT (2003), wobei die Schwankungen im Jahresverlauf mit 277 bis 672 mV je nach Jahr entsprechend der jahreszeitlichen Einflüsse größer sind als die hier vorgestellten Schwankungen.

Als nächster bei sinkendem E_7 wirksamer Elektronenakzeptor ist der Stickstoff zu nennen, da es bei $+550$ mV bis $+220$ mV zur Nitratreduktion (Denitrifikation) kommen kann (MAIDL 1984; SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 2002). Die Redoxsysteme des Eisens oder Sulfats kämen erst bei niedrigeren E_7 unterhalb $+150$ mV zum Tragen (SCHINK u. BENZ 2000), die hier aber nicht erreicht wurden.

Auch Mangan (Mn) könnte beim vorgefundenen E_7 sowohl oxidiert als $Mn(III)^{3+}$, $Mn(IV)^{4+}$ oder reduziert als $Mn(II)^{2+}$ vorliegen, da der Bereich der Manganreduktion von $+450$ bis $+200$ mV reicht (SCHINK u. BENZ 2000). Ein Eh von $+400$ bis $+200$ mV kann als schwach reduzierend bezeichnet werden (MANSFELDT 2003). Mangan wurde aber, z.B. in der Bodenlösung, nicht bestimmt. Dass im UG jedoch Mn mobilisiert und wieder immobilisiert wird, zeigten die Pürckhauer-Bohrungen und Probennahmen auf Schlag NN2. Dieser liegt dort (vgl. Abb. 4 und Abb. 7), wo sich eine sanfte Rinne von der Riß-Terrassenfläche im Süden kommend über die Terrassenkante nach Norden zur Würm-Terrasse hinab erstreckt, und wo daher mit erhöhten Bodenwassergehalten und einer Bodenwasserbewegung gerechnet werden kann, mit der auch reduzierte Mn-Verbindungen transportiert werden. Es wird vermutet, dass es dort, wo die Rinne eine Zunahme des Gefälles erfährt, zur Oxidation kommt, das Mn immobil wird und ausfällt. Daher sind dort die Böden extrem Mn-reich, und der Schlag war an dieser Stelle stark geschädigt. Es wurden auf NN2 von Mn schwarz gefärbte Bodenhorizonte mit sehr vielen, teilweise über einen cm großen Mn-Konkretionen gefunden. Zukünftige Untersuchungen wären nötig, um dies zu bestätigen. DOMSCH u. GAMS (1970) nennen einen hohen Mn-Gehalt als förderlich für *R. solani*.

Eventuell gibt es einen Bezug zwischen Redoxpotential, Später Rübenfäule und der Denitrifikation. An dieser Stelle soll eine bewusste Spekulation gewagt werden.

Einige der den Pilz begünstigenden und das Eh senkenden Einflussfaktoren (vgl. Kap. 1.2 und 1.3.3) fördern auch die Denitrifikation (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 2002): hoher Gehalt an organischer Substanz, v.a. leicht verfügbarem C_{org} , hohe Bodenfeuchte und eingeschränkte Belüftung. Letzteres kann durch eine hohe Lagerungsdichte bedingt sein. Günstige Bedingungen für die Denitrifikation finden sich v.a. in tonreichen, dichten, schlecht gedrähten Böden, nach Regen und nach Beregnung. Dabei ist die Denitrifikation in der Fläche sehr heterogen. Demnach könnte die Zersetzung organischer Substanz bei hohen Gehalten an leicht verfügbarem C_{org} und bei Wasserüberschuss, bzw. geringeren Wassergehalten bei zugleich hohem C_{org} -Gehalt, zu Sauerstoffmangel führen, der aerobe Mikroorganismen hemmt und anaerobe, denitrifizierende, Mikroorganismen fördert.

FLESSA u. BEESE (1995) fanden bei der Zersetzung von Zuckerrübenresten in wasserüberstauten Böden dreimal so hohe Lachgas (N_2O)-Emissionen als bei gut belüfteten Böden. Dies führen sie auf die Zunahme anaerober Verhältnisse zurück, unter denen die denitrifizierenden, anaeroben Organismen gefördert werden, die jedoch nicht näher bestimmt wurden. Die parallel gemessenen Redoxpotentiale zeigten in der wasserüberstauten Variante teilweise deutlich niedrigere Eh gegenüber der Variante mit belüfteten Böden.

Die Denitrifikation läuft biochemisch und chemisch ab, aber in jedem Falle anaerob. Wenn viel C_{org} im Boden vorliegt, kann auch bei relativ geringen Bodenwassergehalten von ca. 60 – 70% der Feldkapazität eine Denitrifikation stattfinden, wodurch O_2 -arme bzw. -freie Mikroräume entstehen können, in denen die Denitrifikation abläuft (FLESSA u. BEESE 1995).

Ein Mangel an Kohlenstoff (C) im Nährmedium bei Laborversuchen mit *R. solani* AG 1 IA ergab eine leichte Erhöhung der Hyphenfusionshäufigkeit, aber eine starke Abnahme der Menge des gebildeten Mycels (YOKOYAMA u. OGOSHI 1988). Wäre dann die Zunahme der Späten Rübenfäule, falls sie sich analog zur Denitrifikation verhält, mit einer Zunahme des leicht verfügbaren C erklärbar, so wäre dies ein Hinweis darauf, dass das Auftreten der Späten Rübenfäule nicht durch die Bedingungen für die Hyphenfusion bestimmt werden, sondern durch die Bedingungen für das Mycelwachstum (vgl. Kap. 1.3.1, letzter Abschnitt).

In Ackerböden dominieren beim Abbau leicht mineralisierbarer organischer Substanzen Pilze über andere Mikroorganismen, und das N-Angebot steuert die Aktivität der verschiedenen Komponenten der Bodenlebewesen (DILLY 2001).

Unter denitrifizierenden Bedingungen, die bei den gemessenen E_7 möglich sind, würde z.B. NO_3^- anstelle von O_2 reduziert werden, die Nitratmenge im Boden müsste dadurch abnehmen und die Gehalte an anderen Stickstoffformen (NO_2^- , NO, N_2O , N_2) müssten zunehmen. Der Stickstoffhaushalt wird auch durch die Düngung beeinflusst. Von 1980 bis 1990 nahm in Süddeutschland die Menge des gedüngten Stickstoffs bei ZR von

$\geq 200 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ auf nur noch ca. $140 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ab (MAIDL 1984; NÉMETH et al. 1991), und heute düngen die Landwirte in ZR im UG meist nur noch ca. $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Bei Stickstoff liegen über 95% des Gesamt-N (N_t) als organischer N (N_{org}) vor (GUGGENBERGER 2002). Deshalb wurde der Gehalt an mineralischem Stickstoff (N_{min}), der eine hohe jahreszeitliche Dynamik aufweist, und ebenso der Nitratgehalt nicht zusätzlich zum N_t -Gehalt bestimmt.

Die Reduzierung der N-Düngung im UG hat mit großer Wahrscheinlichkeit Auswirkungen auf die Nitrifikation, Denitrifikation und damit ggf. auf die Späte Rübenfäule. Für Getreide in Australien berichtet MACNISH (1985b) von einem deutlichen Einfluss der N-Düngung auf *R. solani*. Ist die Nitrifikation von Ammonium-N (NH_4^+ -N) gehemmt, oder wird Stickstoff früh im Frühling als Kopfgabe gegeben, kann *R. solani* gefördert werden (HUBER 1989). Ein gutes Angebot an Stickstoff, aber nicht als NH_4^+ -N, sondern als z.B. NO_3^- -N, fördert *R. solani* (DOMSCH u. GAMS 1970). Auch PAPAIVIZAS (1969) fand eine Begünstigung von *R. solani* durch Gabe von NO_3^- -N, während NH_4^+ -N hemmend wirkt.

Im Gegensatz dazu fand MACNISH (1988) keinen Einfluss der NH_4^+ -N- oder NO_3^- -N- Düngung auf *R. solani* beim Weizenanbau in Australien.

Die oben genannten Gemeinsamkeiten beim Einfluss von Bodenfaktoren auf die Späte Rübenfäule und die Denitrifikation könnten bedeuten, dass es sich bei *R. solani* um einen anaeroben Mikroorganismus handelt, der unter denitrifizierenden Bedingungen Konkurrenzvorteile haben könnte und sich dann gegen andere Mikroorganismen durchzusetzen vermag. GLENN u. SIVASITHAMPARAM (1990) jedoch vermuten, dass *R. solani* in luftgefüllten Poren lebt, einen Beweis können sie aber nicht erbringen.

Anaerob, in wassergefüllten Poren, lebende denitrifizierende Bakterien haben eine Größe von ca. $0,2 - 1 \mu\text{m}$ (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 2002), und können engere Poren (feine Mittelporen) besiedeln als Pilzhyphen. Pilzhyphen weisen i.d.R. ca. $3 - 6 \mu\text{m}$ Durchmesser (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 2002), und $6 - 10 \mu\text{m}$ bei *R. solani* (PARMETER u. WHITNEY 1970; OGOSHI 1975) auf. Möglich wäre auch, dass die denitrifizierenden Bakterien bei bestimmten Wassergehalten relativ günstige Lebensbedingungen vorfinden, daher verstärkt Nitrat abbauen, und von deren Abbauprodukten wiederum bevorzugt *R. solani* profitiert, dessen Hyphen in zur selben Zeit luftgefüllten, groben Mittelporen leben. Demgegenüber wird beschrieben, dass Pilze Denitrifikation und O_2 -Atmung simultan unter Bedingungen von O_2 -Mangel betreiben können, so dass ihre Fähigkeit zur N_2O -Bildung größer ist als die der Bakterien, die anaerobe Bedingungen zur Denitrifikation brauchen (LAUGHLIN u. STEVENS 2002).

Würde das Wachstum von *R. solani* und die Denitrifikation von denselben Bedingungen begünstigt, wie oben postuliert, müssten die E_7 bei Befallsstellen im Bereich der Nitratreduktion von +550 bis +220 mV liegen. Dieser Bereich wurde in den Messungen 2003

aber nur ganz an seiner oberen Grenze, auch in den Befallsstellen, erreicht. Die niedrigsten Einzelwerte von Pt-Elektroden betragen zwischen +400 und +200 mV je nach Messtermin und entsprechen leicht reduzierenden Bedingungen (MANSFELDT 2003). Durch die Mittelwertberechnung aus den fünf Wiederholungen jedoch gingen diese Ausreißerwerte verloren.

Kleinräumige, anaerobe Zonen gibt es auch in ungesättigten, gut belüfteten Böden, vor allem in relativ großer Entfernung zu Rissen oder anderen Grobporen und bei Vorhandensein organischer Substanz (FLESSA u. BEESE 1995; CHENU u. STOTZKY 2003). Denkbar wäre, dass durch die Platzierung der Pt-Elektroden im Boden durch Zufall in den Befallsstellen nur Zonen im Boden mit Redoxpotentialen erfasst wurden, die für die Denitrifikation zu hoch sind und die eventuell vorhandenen Mikrokompartimente mit niedrigeren E_7 -Werten nicht getroffen wurden.

Somit zeigen die vorgestellten Messungen des E_7 2003 im Unterschied von "Befall", "Gesund" und "Stillstand", im gesamten Niveau und im zeitlichen Verlauf eine nur schwache Beziehung zur Späten Rübenfäule. Im Jahr 2002 war die Messanlage nicht rechtzeitig einsatzbereit. Ein Zusammenhang mit der Denitrifikation bleibt nur eine Vermutung. Ob *R. solani* aerob oder anaerob lebt, kann hier nicht entschieden werden.

4.6 Lagerungsdichte, Textur, Karbonatgehalt, pH-Wert, Nährstoffe

Durch die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen konnte nicht bestätigt werden, dass die Lagerungsdichte in Befallsstellen höher ist als in gesunden Stellen, wie oft postuliert wird (WHITNEY u. DUFFUS 1986; RIECKMANN u. STECK 1995; HEYLAND 1996; WOLF u. VERREET 1999; ZENS et al. 2002; FÜHRER ITHURRART et al. 2004).

Vielmehr war in vier von fünf Messtiefen die Lagerungsdichte der gesunden Stellen höher (nicht signifikant). Signifikante Unterschiede wurden nur in einem Falle gefunden: bei Lößstandorten in 13 – 16 cm Tiefe, wo bei "Gesund" die Lagerungsdichte um $0,07 \text{ g cm}^{-3}$ höher war als bei "Befall". Auch MACNISH (1984) berichtete, dass die Lagerungsdichte nur sehr geringen Einfluss auf *R. solani* hat.

Im Mittel aller Messungen betrug die Lagerungsdichte $1,46 \text{ g cm}^{-3}$, was nach SCHLICHTING et al. (1995) noch als mittlere Lagerungsdichte, aber nahe der Grenze zu hoher Lagerungsdichte, die bei $1,50 \text{ g cm}^{-3}$ liegt, betrachtet werden kann. Die Lößstandorte jedoch waren in 3 – 6 und 13 – 16 cm Tiefe mit $1,46 – 1,53 \text{ g cm}^{-3}$ zum Teil oberhalb der Grenze von mittlerer zu hoher Lagerungsdichte. Nur in 23 – 26 cm Tiefe wiesen auch sie eine mittlere Lagerungsdichte auf. Hoch war sie im Unterboden im Bereich der Pflugsohle in 33 – 36 cm und in 43 – 46 cm Tiefe mit $1,59 – 1,66 \text{ g cm}^{-3}$. Dagegen lagen die Werte in den

Auenstandorten meist bei mittlerer, z.T. nur geringer Lagerungsdichte.

Damit ist festzustellen, dass die Lössböden vor allem in den Unterböden als dicht zu bezeichnen sind, was in jedem Falle ein hohes Gefährdungspotential für Bodenschadverdichtungen in der Zukunft bedeutet.

RUSH u. WINTER (1990) berichten, dass der Befall mit *R. solani* stark negativ mit dem Wurzelertrag der ZR korreliert ist, und WINDT (1995) fand bei Lagerungsdichten von $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ im Unterboden keinen Einfluss auf die Durchwurzelung durch ZR. Dies bedeutet, dass die Lagerungsdichte von $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ keine Schwächung oder Beeinflussung der ZR bewirkt. KOCH et al. (2003) berichten aus Feldversuchen von 11 Feldern in Deutschland, dass auch das Überfahren mit Rübenrodern bis 45 t Gewicht nicht zwingend zu Unterbodenverdichtungen führt. Der Autor vorliegender Arbeit hält das Risiko von Bodenschadverdichtungen dennoch für groß und prüfenswert.

Bodenverdichtung tritt vor allem im Vorgewende auf. Die vorliegenden Luftbilder zeigen zwar durch die Späte Rübenfäule geschädigte Vorgewende, aber keine Dominanz der Späten Rübenfäule in den Vorgewenden gegenüber anderen geschädigten Schlagteilen. Dies widerspricht ZENS (2000) und ZENS et al. (2002). Auch die Längsseiten und das Schlaginnere waren ungefähr gleich stark betroffen. Dies bestätigen WOLF u. VERREET (1999). Daneben ergaben die Luftbilder auch keine vorherrschende Orientierung der Befallsstellen in Reihenrichtung. Dies steht im Widerspruch zu den Ergebnissen von MACNISH (1985a), WOLF u. VERREET (1999) und ZENS (2000). Eine quantitative Auswertung der Luftbilder im Rahmen künftiger Arbeiten wäre nötig, um diese Aussagen abzusichern.

In vorliegender Arbeit wurde die Lagerungsdichte als Indikator für den Zustand des Bodens im Hinblick auf die Bodenverdichtung bzw. -schadverdichtung gemessen. Daneben gibt es andere Parameter, deren Messung verbesserte Aussagen zuließen, wie z.B. Durchwurzelbarkeit, Scherwiderstand, Zugwiderstand, Porenvolumen, Anteil weiter Grobporen (Luftkapazität), Porenkontinuität, Wasserinfiltration, hydraulische Leitfähigkeit, mechanische Vorbelastung und die visuelle Diagnose im Feld, z.B. mittels Spatendiagnose (HANUS u. HORN 1992). Diese Faktoren wurden nicht gemessen, könnten aber in zukünftigen Arbeiten in ihrer Bedeutung für die Späte Rübenfäule untersucht werden.

Bedacht werden muss auch, dass der Befall mit Später Rübenfäule sich vor allem am Rübenkörper in geringer Bodentiefe von ca. 5 – 10 cm, selten tiefer 20 cm, zeigt, und diese Tiefe durch das Pflügen im Herbst eine Lockerung und Aufhebung einer eventuell bestehenden Verdichtung erfährt (KOCH et al. 2003). Auch die Saatbettbereitung beseitigt jedwede in einer Tiefe bis zu 8 – 10 cm vorhandene Verdichtung (COUTADEUR et al. 2002).

GLENN und SIVASITHAMPARAM (1990) fanden bei verdichtetem Boden mit einer Lagerungsdichte von $1,71 \text{ g cm}^{-3}$ mehr Hyphen von *R. solani*, aber zugleich ein langsames und nicht so weit reichendes Wachstum der Hyphen, als bei nicht verdichteten Böden mit einer

Lagerungsdichte von $1,30 \text{ g cm}^{-3}$. Im Umkehrschluss formuliert bedeutet dies, dass in nicht so stark verdichtetem Boden das Hyphenwachstum größer ist. Unklar ist, ob die Hyphenmenge, das Hyphenwachstum, oder ein anderer, nicht untersuchter Faktor, über das Auftreten der Späten Rübenfäule entscheidet. Die eigenen Messungen ergaben Hinweise, aber keine Beweise, dass bei "Befall" die Lagerungsdichte *geringer* ist als bei "Gesund". Dies wäre dies ein Hinweis darauf, dass die Zunahme des Hyphenwachstums das verstärkte Auftreten der Späten Rübenfäule bedingt, während zugleich die Hyphenmenge bei "Befall" geringer ist (vgl. letzter Abschnitt in Kap. 1.3.1). Ein Beweis für diese Vermutung kann aber nicht erbracht werden.

Ein Einfluss des Zeitpunktes der Probennahme auf die Aussagen zur Lagerungsdichte wird nicht vermutet, selbst wenn die Probennahme vor der Ernte ca. vier Monate nach dem Beginn der Infektion erfolgte. In diesen vier Monaten wird keinerlei Bodenbearbeitung mehr durchgeführt. Überfahrten finden zum Düngen und zum Pflanzenschutz statt, beeinflussen aber nur die Fahrspuren. Veränderungen der Bodenfeuchte können die Lagerungsdichte verändern, wenn es zur Quellung und zur Anhebung der GOF kommt, ohne dass der Boden rückverdichtet wird. Dies ist von der Bodentextur, insbesondere vom Tongehalt, abhängig, bei dem sich aber keine Unterschiede zwischen "Befall" und "Gesund" zeigten. Die Hauptveränderungen der Bodendichte finden durch das Pflügen im Herbst, durch das Setzen des Bodens und den Frosteinfluss im Winter sowie die Saatbettbereitung incl. Aussaat statt. Diese Veränderungen der Bodendichte finden lange vor dem Zeitpunkt der Infektion ihren Abschluss, und die Saatbettbereitung beeinflusst nur die Tiefe von ca. 8 – 10 cm (COUTADEUR et al. 2002). Bis zur Ernte kann die Bodendichte nennenswert nur noch durch bodenbiologische Prozesse verändert werden.

Tonreiche Böden sollen die Späte Rübenfäule fördern (BAKER u. MARTINSON 1970; WHITNEY u. DUFFUS 1986, HEYLAND 1996). Dies konnte nicht nachgewiesen werden. Zwar war der Tongehalt bei "Befall" höher als bei "Gesund", doch war dieser Unterschied von ca. 3% nur von einem Schlages (LH3) verursacht und war nicht signifikant. Bei den in der Fläche dominierenden Lößstandorten war der Tongehalt bei "Befall" im Ap-Horizont nur noch um 0,5% höher, was aufgrund der Messungenauigkeit vernachlässigt werden muss. HERR u. ROBERTS (1980) fanden mit zunehmendem Tongehalt eine Zunahme von *R. solani* AG 2. Einen zur "Lehrmeinung" gegenteiligen Effekt des Tongehaltes berichtet HERR (1976), der ein mit abnehmendem Tongehalt ansteigendes Wachstum von *R. solani* bei ZR während der Vegetationsperiode fand. Keine Bedeutung der Textur für die Krankheit sehen ZENS et al. (2002).

Ein Effekt der Humuszerstörung auf die Texturbestimmung durch die verschiedene Behandlung der Proben 2002 und 2003 ist unwahrscheinlich. Bei den Lößstandorten, die am besten vergleichbar sind, da diese in den gemessenen Bodeneigenschaften 2002 und 2003

sehr homogene Werte aufwiesen, fanden sich in den Ap-Horizonten in beiden Jahren trotz unterschiedlicher Behandlung sehr ähnliche Texturergebnisse (Tab. 14).

Die Texturanalyse erfolgte ohne Karbonatzerstörung. Dies wird als unbedenklich angesehen, da sich die Karbonatgehalte zwischen den Gruppen "Befall" und "Gesund" ebenso wenig unterschieden wie innerhalb der Pärchenvergleiche zwischen jeweils der Befallsstelle und der gesunden Stelle.

Der Karbonatgehalt zeigte keinen Bezug zur Späten Rübenfäule. "Befall" und "Gesund" unterschieden sich in beiden Tiefenstufen weder bei den Lößstandorten noch bei den Auenstandorten voneinander (Mediane in Tab. 15).

Keine Wirkung auf *R. solani* bei Weizen zeigte ein Kalkungsversuch von MACNISH (1988), und auch ROVIRA u. SIMON (1985) fanden keinen Einfluss des Kalkgehalts.

Kalk und Dolomit wurden bei der Karbonatbestimmung nicht qualitativ differenziert. Dolomit wird aber für unwahrscheinlich gehalten. In den Erläuterungen zu den Bodenkarten und geologischen Karten des UG wird als Karbonat immer nur Kalk (CaCO_3) und an keiner Stelle Dolomit ($\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$) erwähnt (BRUNNACKER 1956, 1957; UNGER 1983). Daher wurde unterstellt, dass das gesamte Karbonat aus Kalk stammt und die Karbonat-C-Gehalte wurden durch Multiplikation mit 0,833 auf den Kalkgehalt [%] umgerechnet.

Bei pH-Wert und Phosphorgehalt traten keine Unterschiede zwischen Befallsstellen und gesunden Stellen auf. Beim Kaliumgehalt war ein generell leicht höherer Gehalt (nicht signifikant) in den Befallsstellen zu finden. Da eine Bestimmung der Art der Tonminerale nicht erfolgte, und Kalium vor allem in Illiten fixiert wird, kann die Erhöhung der K-Gehalte in den Befallsstellen bei gleichem Tongehalt aber auch durch eine andere Zusammensetzung der Tonfraktion verursacht sein.

In den Übersichten von HYAKUMACHI et al. (1990) und BOOGERT et al. (1990) wird bestätigt, dass der pH-Wert keinen Einfluss auf die Späte Rübenfäule hat, was schon DOMSCH u. GAMS (1970) und BAKER u. MARTINSON (1970) fanden. MORDUE (1974) nennt einen weiten pH-Bereich von 5 – 7 als "optimal" für *R. solani*.

Der pH-Wert ist nur bei geringem C-Angebot relevant für das Wachstum von Pilzen, N und P sind ohne jeden Einfluss. Diese Aussagen gelten aber für Laborversuche, eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf natürliche Verhältnisse im Boden ist nicht gegeben (STOTZKY 1986).

ZENS et al. (2002) berichten, dass Düngung, die sie nicht weiter spezifizieren, keinen Einfluss auf die Späte Rübenfäule hat. Bei YOKOYAMA u. OGOSHI (1988) hingegen wurde im Laborversuch mit *R. solani* AG 1 IA festgestellt, dass ein Mangel an P, K u.a. Elementen im Nährmedium eine deutliche Abnahme der Menge des gebildeten Mycel, aber eine leichte

Erhöhung der Hyphenfusionshäufigkeit bewirkte. Ob für den Befall von ZR mit der Späten Rübenfäule im Feld neben dem Inokulumpotenzial und anderen Faktoren die Bedingungen für das Hyphenwachstum oder diejenigen für die Hyphenfusion von *R. solani* AG 2-2 IIIB entscheidend sind, ist nicht bekannt. Die eigenen Messungen zeigten, dass in den Befallsstellen etwas, wenngleich nicht signifikant, mehr Kalium vorhanden war. Daraus lässt sich folgern, falls die Erkenntnisse von YOKOYAMA u. OGOSHI (1988) übertragbar wären, und falls sich der Zusammenhang von "Befall" und erhöhtem Kaliumgehalt belegen ließe, dass der Befall mit Später Rübenfäule zunimmt, wenn die Menge des Mycels steigt und zugleich die Hyphenfusionsrate abnimmt. Welcher Effekt auf das Auftreten der Späten Rübenfäule überwiegt, kann aufgrund vorliegender Messungen aber nicht gesagt werden (vgl. letzter Absatz in Kap. 1.3.1).

Keiner der hier in Kap. 4.6 betrachteten Parameter hat einen zweifelsfreien Einfluss auf die Späte Rübenfäule. Nur bei der Lagerungsdichte und dem Kaliumgehalt gibt es schwache Hinweise auf eine Relevanz für das Krankheitsgeschehen.

4.7 Einfluss der organischen Bodensubstanz

In Oberböden von 0 – 30 cm Tiefe war das C/N-Verhältnis in Befallsstellen niedriger (8,8) als in gesunden Stellen (9,4). In Kap. 3.10 wurden die beiden Gruppen "Befallsstellen" und "gesunde Stellen" räumlich entkoppelt miteinander verglichen. Betrachtet man jeden einzelnen Pärchenvergleich, so ergibt sich i.d.R. die gleiche Aussage, weshalb die einzelnen Pärchenvergleiche hier auch nicht gesondert dargestellt wurden: das C/N-Verhältnis war bei "Befall" geringer als bei "Gesund".

Dies entspricht den Feststellungen von PAPAVIDAS (1969), LEWIS u. PAPAVIDAS (1974) und von DOMSCH u. GAMS (1970). HYAKUMACHI et al. (1990) jedoch fanden unter Freilandbedingungen keinen Einfluss des C/N-Verhältnisses auf den Befall von ZR mit *R. solani* AG 2-2.

Im gesamten Niveau des Untersuchungsgebietes liegen die C/N-Verhältnisse der Ap-Horizonte bei für Ackerböden normalen Werten. Bei Parabraunerden aus Löß liegen sie meist bei 10 – 15 (AD-HOC-AG Boden 2005), und bei Ackernutzung liegen sie typischerweise bei 9, können im Extremfall aber bis ca. 6,5 sinken (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 2002). HOFFMANN et al. (1997) fanden für eine vergleichbare Parabraunerde aus Löß bei Göttingen C/N-Verhältnisse von ca. 9,0 bis 9,4.

Ein höheres C/N-Verhältnis führte in einem Laborversuch mit *R. solani* AG 1 IA zu zunehmender Hyphenfusionsrate, dagegen hatte es keinen Einfluss auf die Menge des gebildeten Mycels (YOKOYAMA u. OGOSHI 1988). Da die eigenen Ergebnisse zeigten, dass

ein höheres C/N-Verhältnis in den gesunden Stellen auftritt, würde dies bedeuten, wenn die Angaben von YOKOYAMA u. OGOSHI (1988) übertragbar wären, dass eine zunehmende Hyphenfusionsrate mit einem geringeren Befall mit Später Rübenfäule einhergeht (vgl. Kap. 1.3.1). Dies kann aber nicht belegt werden.

Ob für das niedrige C/N-Verhältnis in Befallsstellen relativ niedrige C_{org} -Gehalte oder relativ hohe N_T -Gehalte verantwortlich sind, kann nicht entschieden werden. Da die genauere Bestimmung der Komponenten der organischen Substanz nicht vorgenommen wurde, insbesondere des Gehalts an mikrobiellem Kohlenstoff (C_{mic}), kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass der Gehalt an Mikroorganismen wie z.B. Pilzen (*R. solani* oder andere Pilze), Actinomyceten (Strahlenpilzen), Algen und Bakterien, die ein C/N-Verhältnis von ca. 4 – 6 haben, in den Befallsstellen gegenüber den gesunden Stellen erhöht war und dies die Ursache des in Befallsstellen niedrigeren C/N-Verhältnisses war. Das Inokulumpotenzial von *R. solani* wurde nicht bestimmt.

Aus den Befunden zum C/N-Verhältnis lässt sich schließen, dass die Art der organischen Substanz eine Rolle für das Leben von *R. solani* spielt. Nicht ganz zersetzte, ein bis wenige Jahre alte Pflanzenreste, dienen als Substrat für den Erreger, wie die Dünnschliffe zeigten. Dass es sich bei den Hyphen in den Dünnschliffotos um *R. solani* handelt, kann als gesichert gelten. Zum einen enthielten die parallel entnommenen Rübenstücke nachweislich *R. solani* AG 2-2, zum anderen entsprach das Aussehen der Hyphen den Bildern in anderen Arbeiten (TU et al. 1977), und die Hyphendicke entsprach den Literaturangaben von 6 – 10 μm (PARMETER u. WHITNEY 1970; MORDUE 1974; OGOSHI 1975).

Auch ZENS et al. (2002) und FÜHRER ITHURRART (2003) bestätigen die Bedeutung der Beschaffenheit der organischen Substanz für die Späte Rübenfäule. SUMNER u. BELL (1986) bestätigen, dass *R. solani* AG 2-2 v.a. in Pflanzenresten im Boden überlebt.

Wenngleich die Anzahl von nur vier Dünnschliffen gering ist und die Proben aus nur einem Jahr stammten, wurden sie doch von drei verschiedenen Schlägen entnommen und zeigten alle ein sehr ähnliches Bild, was sich z.B. auch in Tab. 21 widerspiegelt. Genauere und weitere Untersuchungen in dieser Richtung wären wünschenswert.

Es bleibt unklar, ob es sich bei den Strohresten, in denen *R. solani* lebt, um Maisstroh, Weizenstroh oder Reste von Senfstengeln handelt. Auf allen Schlägen, von denen die Dünnschliffproben stammen, war an allen vier Orten der Probenentnahme vor den ZR 2001 WW angebaut worden. Zwischen WW und ZR wurde Senf-Zwischenfrucht angebaut. Im Jahr 2000 wurde auf all diesen Schlägen KM angebaut, im Jahr 1999 ebenda ZR, die damals alle stark von *R. solani* befallen waren. Diese Fruchtfolge KM → WW → ZR bestand auf diesen Schlägen mindestens seit 1996.

Winterweizen wird nicht als Wirt für *R. solani* AG 2-2 IIIB betrachtet, von Senf ist bekannt, dass der Befall von ZR mit Später Rübenfäule nach Senfanbau relativ hoch ist (ZENS 2000;

ZENS et al. 2002), Mais gilt als Wirtspflanze (FÜHRER ITHURRART et al. 2004). Wären die fraglichen Strohreste alle Maisstroh, würde dies belegen, dass auch ein Abstand von zwei Jahren zwischen KM und ZR nicht ausreicht, um die Wirtsfunktion des KM für den Erreger der Späten Rübenfäule auszuschalten. Ebenso wäre dies ein Beleg dafür, dass die Hyphen mindestens zwei Jahre überleben. Bis zum Beweis, dass es sich bei den Strohresten um Mais handelt, bleibt dies eine Spekulation.

Wären die Pflanzenreste Senf oder Weizenstroh, würde dies noch weitergehende Änderungen der Fruchtfolge als die Weiterstellung des KM von den ZR als geraten erscheinen lassen. Eine Wirkung der letzten Rotation ZR (1999) auf das aktuelle Krankheitsgeschehen 2002 kann verneint werden, da keine Sklerotien gefunden wurden und da sich Reste von ZR-Blättern, -Blattstielen und -Körpern sehr schnell zersetzen und nach drei Jahren sicher nicht mehr vorhanden sind.

R. solani lebt nicht im mineralischen Boden selbst, sondern in den Pflanzenresten. Damit könnte eine Antwort auf die bei RUPPEL (1991) offene Frage gegeben werden, ob *R. solani* im Boden selbst oder in Pflanzenresten lebt. SNEH et al. (1991) bezeichnen *R. solani* als Pilz, der vergesellschaftet mit Pflanzenresten in 15 – 20 cm Bodentiefe überlebt.

BOOSALIS u. SCHAREN (1959) fanden *R. solani* bei ZR in 68% der Pflanzenreste Hyphen und auf 74% Sklerotien. Die eigenen Untersuchungen ergaben mit ca. 25% befallenen Pflanzenresten und dem Fehlen von Sklerotien deutlich geringere Werte.

Der erwähnte Farbunterschied der gefundenen Hyphen von dunkelbraun zu transparent könnte außer durch verschiedene Melanisierungsgrade auch durch ein Nebeneinander von SAI (SAI, = self-anastomosing isolate) und NSAI (NSAI, = non-self-anastomosing isolate) von *R. solani* 2-2 verursacht sein (HYAKUMACHI u. UI 1987). Dies kann aber nicht entschieden werden, da der Nachweis dieser Isolate nicht geführt wurde.

Gehalt, Art und Zusammensetzung der organischen Substanz im Boden könnten sich durch Veränderungen der Bewirtschaftungsweise im UG in den letzten Jahrzehnten geändert haben. Mais und Kartoffeln haben seit ca. 1990 in ihrer Bedeutung immer weiter zugenommen, wobei v.a. Kartoffeln das Wintergetreide (v.a. Winterweizen) verdrängten (WOLF u. VERREET 1999). Auch der Anbau anderer Fruchtarten hat abgenommen, ZR blieben ungefähr gleich häufig. Zugenommen haben in der Fruchtfolge des weiteren Gurken und Zwiebeln, die seit einigen Jahren verstärkt angebaut werden. ZR, Kartoffeln, Gurken und Zwiebeln zählen zu den humuszehrenden Früchten (WOLF u. VERREET 1999; VDLUFA 2004), deren verstärkter Anbau zulasten von Getreide den C_{org} -Gehalt der Böden verringern könnte und somit das C/N-Verhältnis senken würde. Mais (C/N-Verhältnis = 45; Maisstroh = 55) und die oben genannten Hackfrüchte (C/N-Verhältnis = 20 bei ZR bis 40 bei Kartoffeln) haben geringere C/N-Verhältnisse als Wintergetreide (C/N-Verhältnis = 50 – 98;

bei Winterweizen = 71; Winterweizenstroh = 95; SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 2002), was bei einer Fruchtfolgeänderung diese Entwicklung zu abnehmenden C/N-Verhältnissen verursachen könnte.

Regionale Veränderungen der Fruchtfolge erklären aber nicht kleinräumige Unterschiede in Menge, Art, Zusammensetzung der organischen Bodensubstanz und des Auftretens der Späten Rübenfäule innerhalb eines Schläges, sondern nur eine generelle großräumige Veränderung mit der Zeit. Da sich aber das gesamte Agrarökosystem in den letzten Jahrzehnten verändert haben könnte, könnten nun in den Stellen, in denen die C/N-Verhältnisse besonders niedrig sind, bereits günstige Bedingungen für *R. solani* herrschen, während in den Stellen ohne Befall die Bedingungen noch ungünstig für die Späte Rübenfäule sind. Würde sich dann aber in der Zukunft das System weiter in derselben Richtung verändern wie in der Vergangenheit mit den geschilderten Veränderungen in der Fruchtfolge und einem Absinken des C/N-Verhältnisses, wäre eine weitere Ausbreitung der Späten Rübenfäule zu erwarten. Dies bleibt jedoch nur eine Vermutung.

Ob es nach einem Höhepunkt des Krankheitsniveaus zu einer Abnahme kommt, wie von MACNISH (1988) und ROGET (1995) bei *R. solani* in Weizen und von HYAKUMACHI et al. (1990) für ZR in Japan berichtet, kann nicht prognostiziert werden.

Die Widersprüchlichkeit der Aussagen aus den Messungen des C_{org} -Gehaltes im Gegensatz zu den Schlussfolgerungen aus dem C/N-Verhältnis wurde in Kap. 3.10 bereits erwähnt. Es ist keine Beziehung der C_{org} -Gehaltsmessungen zum Auftreten der Späten Rübenfäule erkennbar, da sich die Aussagen zwischen den Jahren und den Standortgruppen unterscheiden.

Im Jahr 2002 waren ZR auf Schlägen in den Auen, deren Böden generell deutlich mehr C_{org} enthalten als die der Lößstandorte, nicht so stark befallen, weder im Vergleich zu den Lößschlägen 2002 noch zu den Auenschlägen 2003. Dagegen waren im Jahr 2003 die Auenschläge am stärksten betroffen.

Gegen den oben postulierten förderlichen Einfluss eines aufgrund von Fruchtfolgeänderungen sinkenden C_{org} -Gehaltes auf die Zunahme der Späten Rübenfäule spricht die in Kap. 4.5 geäußerte Vermutung, dass ein hoher C_{org} -Gehalt die Späte Rübenfäule fördert. Literaturangaben bestätigen, dass es keinen Einfluss von C_{org} (HYAKUMACHI et al. 1990; MACNISH 1996) und C_t (HYAKUMACHI et al. 1990) auf die Späte Rübenfäule gibt.

Aus den Messungen des N_t -Gehaltes lassen sich keine Aussagen über einen Einfluss auf die Späte Rübenfäule treffen. RUPPEL u. HECKER (1982) berichten, dass der N-Gehalt im Boden keinen Einfluss auf *R. solani* bei ZR hat. HYAKUMACHI et al. (1990) schreiben, dass

der N_T -Gehalt keine Bedeutung für die Späte Rübenfäule hat. STOTZKY (1986) nennt das C-Angebot und das C/N-Verhältnis bei Laborversuchen als relevant für den Wettbewerb zwischen Bakterien und Pilzen, nicht aber das N-Angebot. Dagegen erhöhte ein Mangel an N im Nährmedium im Laborversuch mit *R. solani* AG 1 IA die Hyphenfusionshäufigkeit stark, während die Menge des gebildeten Mycels stark absank (YOKOYAMA u. OGOSHI 1988; vgl. Kap. 1.3.1). Der verfügbare N und der N_{min} -Gehalt wurde aber nicht gemessen, weshalb keine Aussagen dazu gemacht werden können.

Aus der Auswertung des C/N-Verhältnisses und der Dünnschliffauswertung wird die Schlussfolgerung gezogen, dass es sich beim verstärkten Auftreten der Späten Rübenfäule in Niederbayern in den letzten Jahren um ein Problem handelt, das mit der Beschaffenheit, Zusammensetzung, Alter und dem Zersetzungsgrad der organischen Bodensubstanz verknüpft ist. Daher sollte die organische Bodensubstanz in ihrer Relevanz für das Auftreten der Späten Rübenfäule gesondert und detailliert untersucht werden.

4.8 Abschließende Diskussion

Aus den vorgestellten Messergebnissen ergibt sich, dass das verstärkte Auftreten der Späten Rübenfäule im Untersuchungsgebiet bei Plattling in Niederbayern wahrscheinlich mit der Art und Zusammensetzung der organischen Bodensubstanz und mit der Bodensaugspannung zusammenhängt, die u.a. dem Einfluss der Jahreswitterung unterliegt.

Belege dafür sind das C/N-Verhältnis, das in beiden Messjahren auf allen Standortgruppen in den Oberböden bei Befallsstellen niedriger war als in gesunden Stellen, und die geringeren Bodensaugspannungen in 35 cm Tiefe bei "Befall" gegenüber "Gesund", was ebenfalls in beiden Jahren gefunden wurde.

Dagegen waren die Bodentemperatur, das Redoxpotential, die Lagerungsdichte, der Kaliumgehalt und die C_{org} -Gehalte ohne eindeutigen Einfluss auf das Krankheitsgeschehen. Die Ergebnisse beim Vergleich von "Befall" und "Gesund" unterschieden sich meist zwischen den verschiedenen Standortgruppen, den Messtiefen und den Untersuchungsjahren.

Bei der Bodensaugspannung in 15 cm und 55 cm Tiefe, bei Ton-, Schluff-, Sand-, Karbonat-, Phosphor-, N_T -Gehalt und pH-Wert kann keinerlei Bezug zum Auftreten der Späten Rübenfäule festgestellt werden. Bei diesen Parametern fand sich kein Unterschied zwischen "Befall" und "Gesund".

Ob ein Klimawandel im Sinne einer Klimaerwärmung eine Rolle spielt, wurde nicht geklärt. Ein langjähriges Klimadiagramm aus den Daten der Station Neusling des Agrarmeteorologischen Messnetzes Bayern müsste hierfür noch erarbeitet werden.

Die Hypothese konnte teilweise bestätigt werden. Vermutet wurde, dass die Böden in den befallenen Stellen feuchter, wärmer, dichter gelagert und tonreicher sind, höhere C_{org} -Gehalte aufweisen als die Böden nicht befallener Stellen, dass sich die Versorgung mit Makronährstoffen wie Phosphor und Kalium, der pH-Wert und der Kalkgehalt zwischen "Befall" und "Gesund" unterscheiden, und dass Befallsstellen bevorzugt in Senken liegen und in Reihenrichtung orientiert sind. Insbesondere bei einer Schwächung der Zuckerrüben kann eine ungünstige Ausprägung oben genannter Faktoren zum Ausbruch der Späten Rübenfäule führen.

Wenn eine Schwächung der ZR als Ursache einer Anfälligkeit gegenüber der Späten Rübenfäule angenommen wird, zeigt von den Faktoren, die hier untersucht wurden, nur die Bodenfeuchte im Sinne von Staunässe und Luftmangel einen Einfluss. Ein niedriges C/N-Verhältnis im Boden bedeutet nicht, dass die ZR geschwächt werden.

Diese Feststellungen widersprechen teilweise den vorherrschenden Ansichten, die in Kap. 1.3.3 geschildert wurden. Sie wurden in den Kap. 4.3 bis 4.7 genauer diskutiert. Die Mehrzahl der in Kap. 1.3.3 genannten Faktoren sind auch schon bei MÜLLER (1924) erwähnt worden und gelten bis heute als relevant. Durch die eigenen Arbeiten konnte die Bedeutung dieser Faktoren für die Späte Rübenfäule nur für den Bodenwasserhaushalt bestätigt werden.

ROVIRA u. SIMON (1985) untersuchten *Gaeumannomyces graminis* (Schwarzbeinigkeit) und *R. solani* bei Weizen in Australien in drei Pärchenvergleichen zwischen Befallsstellen und Nicht-Befallsstellen. Sie maßen die Parameter NH_4^+ -N-Düngung, NO_3^- -N-Düngung, N_t , extrahierbaren Phosphor, Gesamt-Phosphor, C_{org} , Chloridgehalt (Cl^-), $CaCO_3$ -Gehalt, pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit in 0 – 10 cm und 10 – 20 cm Bodentiefe. Nur beim Cl^- -Gehalt und der elektrischen Leitfähigkeit fanden sie einen Unterschied zwischen "Befall" und "Nicht-Befall", womit ihre Ergebnisse, bei nur kleiner Stichprobenzahl, mit den hier vorgestellten Ergebnissen übereinstimmen.

Auffällig sind die Gegensätze beim Krankheitsgeschehen und dem Witterungsverlauf von 2002 zu 2003. Diese geben Anlass zu der Vermutung, dass der Verlauf der Späten Rübenfäule von der Jahreswitterung, insbesondere im Frühjahr, abhängt. 2002 war ganzjährig sehr nass und die Krankheit erreichte ein sehr hohes Niveau, 2003 war es ab Ende Mai sehr trocken und die Späte Rübenfäule kam nach frühem Beginn zum Stillstand. In beiden Jahren fand im Mai die Erstinfektion statt, wobei 2002 in Luft und Boden wesentlich kühler war als 2003. Befallsstellen mit Später Rübenfäule traten 2003 vor allem in Böden mit besonderem Wasserhaushalt (Pseudogleye und Gleye) auf.

Geringe Bodenwassergehalte von weniger als 50% der Feldkapazität bei einer hohen Lagerungsdichte von $1,71 \text{ g cm}^{-3}$ verringern das Wachstum der Hyphen von *R. solani* (GLENN u. SIVASITHAMPARAM 1990). Trockene Bedingungen mit Bodensaugspannungen

unter -300 kPa (\approx pF 3,5) fördern Pilze gegenüber Bakterien, wie in der Literaturübersicht von BALDOCK (2002) genannt wird. Bakterien können antagonistisch gegenüber *R. solani* wirken (KIEWNICK et al. 2001; Überblick bei HYAKUMACHI et al. 1990). STOTZKY (1986) nennt in seinem Literaturüberblick den Bodenwassergehalt und den Gehalt an organischer Substanz im Boden neben dem Sauerstoffangebot und dem pH-Wert als Einflussfaktoren auf Mikroorganismen. Bei einer gegebenen Textur im Boden, von der die Porengrößen und -verteilung abhängen, und bei einer vorhandenen Mikroorganismenflora (Nematoden, Pilze), beeinflusst der aktuelle Wassergehalt den Abbau organischer Substanz, wobei der Einfluss der Porengrößen aber deutlich überwiegt (STRONG et al. 2004).

Von den im Absatz oben genannten Parametern zeigten in beiden Messjahren der pH-Wert und die Textur keinen Bezug zur Späten Rübenfäule. 2003 sprach das Gesamtniveau der Eh-Messungen nur dann für ein geringes Niveau der Späten Rübenfäule, wenn unterstellt wird, dass *R. solani* Redoxpotentiale im Bereich der Denitrifikation bevorzugt. Auch die Messung der Lagerungsdichte ergab keinen nachweislichen Bezug zur Krankheit. Somit ist festzuhalten, dass von den oben aufgelisteten, in den Literaturquellen genannten Faktoren durch die vorgestellten Messungen bestätigt wurde, dass die Späte Rübenfäule von Bodenwassergehalt, der indirekt von den Niederschlägen abhängt, und dem Gehalt an organischer Substanz beeinflusst wird. Dabei sind aber Art und Zersetzungsgrad der organischen Substanz wahrscheinlich bedeutsamer als der C_{org} -Gehalt, wie die Dünnschliffe zeigten. Die Widersprüchlichkeit der Aussagen zum Einfluss des C_{org} -Gehaltes auf die Krankheit bleibt bestehen. Sie betrifft den Vergleich der Messungen beider Jahre und der verschiedenen Standortgruppen bei Befallsstellen und gesunden Stellen, aber nicht den Vergleich des ganzen Krankheitsniveaus zwischen 2002 und 2003.

Die bessere Verwendbarkeit des Faktors C/N-Verhältnis für Aussagen zum Auftreten der Späten Rübenfäule gegenüber dem C_{org} -Gehalt wurde in Kap. 4.7 diskutiert. Die je nach Jahreswitterung verschieden auf *R. solani* wirkende Lagerungsdichte (GLENN u. SIVASITHAMPARAM 1990) könnte erklären, warum aus den Messergebnissen beider Jahre kein eindeutiger Trend resultierte. Dies lässt vermuten, dass erst die Auswertung mehrerer Messjahre mit ähnlicher Witterung wie 2002 oder 2003 eine sichere Aussage über die in der vorliegenden Arbeit gemessenen Parameter erlauben würde.

Dem Bodentyp messen CHENU u. STOTZKY (2002) Einfluss auf das Leben von Mikroorganismen zu. Pseudogleye und Gleye als Böden mit einer Bevorzugung von "Befall" sind Böden mit besonderem Bodenwasserhaushalt, Kolluvisole als häufig "gesunde" Flächen sind Böden mit tiefreichend humosen Horizonten, und Gleye haben oft relativ C_{org} -reiche Ap-Horizonte. Auch dies deutet auf einen Einfluss von Bodenwassergehalt und C_{org} -Gehalt hin.

Die Denitrifikation und die Späte Rübenfäule werden (u.a.) von hohen Bodenwassergehalten, eingeschränkter Dränung und hohem Gehalt an leicht verfügbarem

C_{org} gefördert. Verwiesen sei insbesondere auf die große räumliche Heterogenität, die für die Denitrifikation ebenso gilt wie für die Späte Rübenfäule. WOLF u. VERREET (1999) bestätigen, dass das Schadbild innerhalb eines Schrages sehr heterogen bzw. von Schlag zu Schlag sehr verschieden ist, wie es die eigenen Feldbeobachtungen zeigten.

Alle im Abschnitt oben genannten Einflussfaktoren deuten darauf hin, dass die Jahreswitterung als Steuergröße des Bodenwasserhaushaltes für die Späte Rübenfäule von Bedeutung ist.

Bodenbiologische, pflanzliche und pflanzenbauliche Parameter waren nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung, da der Schwerpunkt auf bodenphysikalische und bodenchemische Parameter gelegt wurde. Verschiedene andere, nicht näher untersuchte bzw. durch Messungen erfasste Einflussfaktoren auf die Späte Rübenfäule werden im folgenden genannt, die eine Erklärung des Krankheitsgeschehens liefern könnten, und die zusätzlich untersucht werden könnten.

Eine Ausbreitung der Krankheit durch Ausbringen kontaminierter Rübenerde, wie es HYAKUMACHI u. SUMINO (1984) für möglich erachteten, da sie *R. solani* AG 2-2 IIIB in Rübenerde aus Zuckerfabriken fanden, kann nicht ganz ausgeschlossen werden. Zwar brachte keiner der kooperativen Landwirte im UG Rübenerde auf einem der Versuchsschläge aus, dies war aber auf drei, teils benachbarten, Schlägen dieser Landwirte der Fall. Eigene Tests fanden nicht statt, und SCHÄUFELE u. BÜTTNER (2000) fanden in Rübenerden aus Deutschland z.B. *Pythium ultimum*, ein Test auf *R. solani* erfolgte jedoch nicht.

In den letzten Jahren kam es, wie im Kapitel zur Fruchtfolge und Bodenbearbeitung ausgeführt, zu einer Umstellung der Erntetechnik von 1- und 2- Reihen-Rübenrodern auf überbetrieblich organisierte 6-Reihen-Rübenroder. Inwieweit dies zur Ausbreitung der Krankheit beigetragen hat, indem das Pathogen durch anhaftendes Bodenmaterial von Acker zu Acker verschleppt wird, ist nicht untersucht worden.

Ein schwacher Bezug des Auftretens der Krankheit zur Vor-Vorfrucht der ZR konnte festgestellt werden (vgl. Tab. 20). Mais scheint ein begünstigender Faktor für den Befall mit Später Rübenfäule zu sein, da 18 von 24 Flächen mit Mais vor WW als "Befall" oder "Stillstand" klassifiziert wurden. Die Rolle des Mais als Vorfrucht bestätigt die Schlussfolgerungen aus Kap. 4.7, dass Art, Alter und Zusammensetzung der organischen Bodensubstanz von Bedeutung für die Krankheit sind.

Eine Schwächung der ZR durch ungünstige Aufgangsbedingungen wie z.B. Verschlammung und Krustenbildung an der Bodenoberfläche (WINNER 1981; HEYLAND 1996) wird für möglich gehalten, wurde aber nicht systematisch untersucht, ebenso wie der Einfluss anderer Krankheiten oder mechanischer Beschädigungen der ZR als Eintrittspforten für *R. solani*.

Die Feldbegehungen ergaben, dass Befallsstellen dort gehäuft vorkamen, wo Bestandeslücken auftraten, die wiederum häufig von zu tiefer oder zu flacher Aussaat herrührten. Dies verhinderte die Keimung bzw. führte zu einer Schwächung der ZR-Keimlinge. Aussaatfehler können so eine Längsausrichtung von Befallsstellen induzieren. BAKER (1970) schreibt, dass bei Breitsaat die Befallsstellen runde oder irreguläre Form aufweisen, bei Aussaat in Reihen oder Linien als Streifen erscheinen. Zu bedenken ist auch, dass der Abstand zweier ZR in einer Reihe geringer ist als der Abstand zwischen den ZR-Reihen, und dieses möglicherweise die Ausbreitung längs der Reihen erleichtert. Diesen Effekt erwähnen auch SINGH u. SINGH (1955, zitiert in BAKER 1970) und MACNISH (1996).

Nicht ausgeschlossen werden kann, dass auf den untersuchten Äckern verschiedene Isolate von *R. solani* AG 2-2 IIIB vorhanden waren, die sich unterschiedlich aggressiv verhalten (HYAKUMACHI u. UI 1987; FÜHRER ITHURRART 2003) oder gegenseitig hemmen, wodurch sich das Bild der räumlichen Heterogenität der Befallsstellen erklären ließe (FÜHRER ITHURRART 2003). Ein Nachweis verschiedener Isolate wurde nicht durchgeführt. OGOSHI u. UI (1983) fanden in ZR verschiedene Klone von *R. solani* AG 2-2, die jeweils nur kleine Flächen bedeckten. ZENS et al. (2002) berichten von unterschiedlicher Aggressivität von Isolaten verschiedener örtlicher Herkunft innerhalb *R. solani* AG 2-2. MACNISH u. SWEETINGHAM (1993) fanden in Befallsstellen mit *R. solani* AG 8 in Weizen pro Befallsnest i.d.R. nur eine der neun Zymogrammgruppen, die innerhalb der AG 8 bekannt sind.

Nach OGOSHI (1987) und ZENS et al. (2002) kann mittels des Hyphenfusionstests, der in vorliegender Arbeit zum Nachweis von *R. solani* AG 2-2 IIIB eingesetzt wurde, die AG 2-2 nicht näher unterteilt werden. Eine sensitivere Methode ist RAPD-PCR (= Random Amplified Polymorphic DNA-Polymerase Chain Reaction). Die Unterscheidung zwischen *R. solani* AG 2-2 IIIB und AG 2-2 IV ist schwierig, und eventuell löst die AG 2-2 IV die Späte Rübenfäule aus (OGOSHI 1987). *R. solani* AG 2-2 IIIB und AG 2-2 IV sind eng verwandt. Sie sind zu 69 – 71% homolog, und die genetischen Unterschiede von *R. solani* AG 2-2 IIIB zu anderen AG sind größer (SNEH et al. 1991). Dann könnte das Test-Isolat, das zweifelsfrei *R. solani* AG 2-2 IIIB war, auch mit Stämmen, die *R. solani* AG 2-2 IV enthielten, reagiert haben. Ein Test mittels anderer Testmethoden erfolgte nicht. OGOSHI (1975, 1987) bezeichnet die *R. solani* AG 2-2 IIIB als "rush type", d.h. Wurzelfäule bei Binsen, und die *R. solani* AG 2-2 IV als "root rot type of sugar beet". Nach ZENS et al. (2002) wird *R. solani* AG 2-2 IIIB als "Maispathogen" bezeichnet.

Dass Antagonisten bei der Späten Rübenfäule eine Rolle spielen, da sie suppressiv wirken können, wurde bereits erwähnt. Eine antagonistische Mikroflora kann sich über Jahre hinweg aufbauen und die Krankheit wieder zurückdrängen (FÜHRER ITHURRART 2003). Bakterien können Antibiotika produzieren, die suppressiv auf *R. solani* wirken (ASAKA u. SHODA 1996). Je nach Organismus besiedeln die Mikroorganismen verschieden große

Poren, deren Größe wiederum von der Textur des Bodens bestimmt wird (ELLIOT et al. 1980). Amöben und Bakterien können antagonistisch auf *R. solani* wirken, der Fraß (Phagocytose) von Bakterien durch Amöben wiederum wird von der Änderung des Bodenwassergehalts beeinflusst (BRYANT et al. 1982). PAULA JÚNIOR (2002) fand eine maximale antagonistische Wirkung von *Trichoderma harzianum* auf *R. solani* AG 4 bei Bohnen bei mittlerer Bodenfeuchte. Die gegenüber *R. solani* AG 2-2 IIIB antagonistischen Mikroorganismen könnten demnach von der Bodentextur beeinflusst werden. Die Ergebnisse der Texturbestimmung ergaben jedoch keinen Bezug der Textur zur Späten Rübenfäule.

Die Beziehung zwischen *R. solani* und seinen Antagonisten ist ein bodenbiologisches Problem. Für Untersuchungen zur Artenzusammensetzung der im Boden lebenden Organismen könnten Verfahren geeignet sein, die die Gesamtheit dieser Organismen erfassen können (EMMERLING et al. 2002), und nicht nur selektiv einzelne Arten oder Organismengruppen.

Auch MACNISH (1996) und FÜHRER ITHURRART (2003) nennen als wahrscheinliche Ursache für das Auftreten der Befallsnester bodenbiologische Prozesse und deren Wechselwirkungen mit der Umwelt.

Ein hohes Inokulumpotenzial von *R. solani* fördert die Späte Rübenfäule (GLENN u. SIVASITHAMPARAM 1990; WOLF u. VERREET 1999; FÜHRER ITHURRART et al. 2004). Dieses wurde nicht gemessen, da dessen Quantifizierung zwar möglich, aber sehr schwierig und aufwendig ist (ZENS et al. 2002).

Begünstigt durch die große Feuchtigkeit 2002 traten auf den Versuchsschlägen gegen Ende der Vegetationsperiode häufig Sekundärinfektionen mit Bakterien auf, die die Schäden durch die Späte Rübenfäule überdeckten. Sekundärinfektionen sind sehr häufig (FÜHRER ITHURRART 2003). Einige solcher Rüben wurden im Labor untersucht, und es konnten in allen Fällen Bakterien nachgewiesen werden, die nicht näher bestimmt wurden. Dagegen war *R. solani* AG 2-2 IIIB bei einzelnen Proben nicht nachweisbar. FÜHRER ITHURRART (2003) nennt andere Bodenpilze, Bakterien, Nematoden, Nährstoffmangel, Gürtelschorf und das Rübenkopfälchen, die 2002 bei ZR aufgetreten sind, und erwähnt, dass die Symptomatik der Späten Rübenfäule mit der von Gürtelschorf und den vom Rübenkopfälchen verursachten Schäden verwechselt werden konnte. Dies kann aber für die vorliegende Arbeit ausgeschlossen werden.

Untersuchungen von Rhizosphäreneffekten bei pH, Nährstoffen, C-Angebot, C/N-Verhältnis, N-Angebot, Gehalt an O₂, Kohlendioxid (CO₂) und Zusammensetzung der Mikroorganismenflora (HUANG u. GERMIDA 2002; KUZYAKOV 2002; WHEATLEY et al. 2003) könnten weitere Aufschlüsse über die Späte Rübenfäule erbringen.

Andere Nährstoffe als P und K, z.B. Ca, Mg, Mn, Fe, wurden als zunächst unwichtiger erachtet und daher nicht bestimmt.

Neben den untersuchten bodenphysikalischen und -chemischen Parametern könnte auch die CO₂-Konzentration in der Bodenluft (ALEXANDER 1971; LEWIS u. PAPAIVIZAS 1974) eine Rolle bei der Späten Rübenfäule spielen. Mit abnehmenden O₂-Gehalt in der Bodenluft steigt der CO₂-Gehalt (ALEXANDER 1971). Ein abnehmender O₂-Gehalt führt zu sinkendem Redoxpotential, was die Späte Rübenfäule begünstigen kann, wie es bei den Messungen des Eh auch vermutet wurde. *R. solani* gehört zu den seltenen CO₂-toleranten Mikroorganismen (ALEXANDER 1971), wenngleich andere Pilze bei hohen CO₂-Konzentrationen von 20% in der Luft jedoch wesentlich weniger gehemmt werden (DURBIN 1959). DOMSCH u. GAMS (1970) und SUMNER (1996) bezeichnen *R. solani* dagegen als CO₂-intolerant. Nach SUMNER (1996) ist die CO₂-Toleranz von *R. solani* je nach Typ stark verschieden, und im Boden lebende Typen werden auch von 20% CO₂-Gehalt in der Bodenluft nur zu 20 – 43% in ihrem Wuchs gehemmt. Die CO₂-Konzentration in der Bodenluft hat auch Auswirkungen auf die Nitrifikation und die Denitrifikation, da bei zunehmendem CO₂-Gehalt mehr N₂O und weniger NO₃⁻ gebildet wird (KEENEY et al. 1985). Möglicherweise hätten Messungen des CO₂-Gehaltes in der Bodenluft weitere Aufschlüsse zur Späten Rübenfäule ermöglicht.

Über den Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Krankheit, wie MACNISH (1985b), ROGET (1995) und GLENN u. SIVASITHAMPARAM (1990) fanden, kann keine Aussage getroffen werden, da sich die Bodenbearbeitung auf den Experimentierschlägen nicht unterschied. Die Luftbilder beweisen keine Dominanz der Befallsstellen in Reihenrichtung, was gegen eine Wirkung der Bodenbearbeitung spricht.

Auch die Tonmineralzusammensetzung der Böden, insbesondere der Anteil von Montmorillonit (Überblick bei STOTZKY 1986), und die Höhe des Inokulumpotenzials (ZENS et al. 2002; FÜHRER ITHURRART 2003) können die Infektionsbedingungen und die Ausbreitung der Späten Rübenfäule beeinflussen.

CARLING u. SUMNER (1992) beschreiben *R. solani* AG 2-2 IIIB als luftbürtiges Pathogen. Dies wird jedoch für unwahrscheinlich für die Ausbreitung und Infektion im Boden angesehen.

Mikroorganismen werden nach CHENU u. STOTZKY (2002) außer durch die in vorliegender Arbeit untersuchten und die bislang in der Diskussion erwähnten Faktoren Wasserhaushalt, Korngröße, pH und Montmorillonitgehalt auch durch die Porengrößenverteilung, die Aggregatstabilität, Kornform, Anordnung der Körner, Sorption, Lösung, Hydrolyse, Oxidation, Oberfläche, elektrostatische Ladung, freie Oberflächenenergie und funktionale Gruppen beeinflusst. Somit gilt dies auch für *R. solani* und seine Antagonisten. Diese Einflussfaktoren wurden aber nicht untersucht.

Für das UG existieren keine Vergleichsmöglichkeiten der in den Jahren 2002 und 2003

gemessenen Parameter mit früheren Jahren. Daher kann eine Veränderung bei diesen Faktoren seit der Zeit vor dem verstärkten Auftreten der Späten Rübenfäule bis heute nicht bewiesen werden.

Die übliche Fruchtfolge im UG mit Anbau von ZR alle drei Jahre ist eventuell aus phytosanitären Gründen als zu eng zu betrachten, selbst wenn der KM in der Fruchtfolge nicht berücksichtigt wird. HEYLAND (1996) empfiehlt den Anbau von ZR höchstens alle vier Jahre. SCHOLTE (1987) nennt die Häufigkeit von Kartoffeln in der Fruchtfolge als entscheidend für das Auftreten von *R. solani* in Kartoffeln, nicht die direkte Vorfrucht. Ähnliches berichten GILLIGAN et al. (1996). ZENS (2000) führt aus, dass der Befall mit Später Rübenfäule nach Anbau von Kartoffeln gleich hoch war wie nach Mais bzw. nach nicht-toleranten ZR-Sorten, nach WW oder Wintergerste aber signifikant niedriger war. RUSH u. WINTER (1990) empfehlen für Texas (USA) den Anbau von ZR nur alle 3 – 5 Jahre. MACNISH (1988) beobachtete in einem 10 – 12-jährigen Experiment bei Weizen-Monokultur in den ersten 3 bzw. 6 Jahren keinerlei Befall mit *R. solani*, danach aber einen starken Anstieg bis zum 8. bzw. 9. Jahr. Ebenfalls aus Australien berichtet ROGET (1995) von einem starken Einfluss der Fruchtfolge auf den Befallsgrad mit *R. solani* AG 8 im Weizenanbau. STEINHEBER (2001) fand im Raum Plattling 2000 generell höheren Befall mit Später Rübenfäule nach der Vorfrucht KM gegenüber anderen Vorfrüchten.

Da ZR und Mais als Wirtspflanzen für *R. solani* AG 2-2 IIIB bekannt sind, beide Früchte in der Fruchtfolge i.d.R. alle drei Jahre angebaut werden, und der stärker werdende Anbau von Kartoffeln zulasten von Wintergetreide negativ zu bewerten ist, ist zu vermuten, dass der ZR-Anbau im UG daher anfällig für die Späte Rübenfäule geworden ist.

Aus der vorliegenden Arbeit kann folgende Schlussfolgerung gezogen werden: die hier untersuchten bodenphysikalischen und bodenchemischen Parameter sind im Untersuchungsgebiet von keinem primären Einfluss auf die Späte Rübenfäule. Sie haben keine direkte Wirkung, nur ein Teil von ihnen, der Bodenwasserhaushalt, beeinflusst möglicherweise indirekt die Konkurrenzbedingungen zwischen *R. solani* AG 2-2 IIIB und anderen Mikroorganismen, die antagonistisch wirken können, sowie die Vitalität der ZR. Dabei kann dieser Einfluss auf *R. solani* von den Ansprüchen des ggf. speziell an einem Ort vorhandenen Isolates abhängig sein.

Es handelt sich zum einen bei der Späten Rübenfäule, sofern die Rolle von Antagonisten betrachtet wird, um ein bodenbiologisches Problem und zum anderen um ein bodenchemisches Problem, was die Art, Zusammensetzung, Alter und Zersetzungsgrad der organischen Bodensubstanz betrifft.

5. Zusammenfassung

Um das Auftreten der Späten Rübenfäule (*Rhizoctonia solani* Kühn) in Abhängigkeit von bodenphysikalischen und bodenchemischen Faktoren zu untersuchen, erfolgten in Niederbayern südöstlich von Plattling in den Jahren 2002 und 2003 auf 34 Praxisschlägen mit Zuckerrübenanbau Untersuchungen in Befallsstellen und nicht befallenen Stellen. Kontinuierlich gemessen wurde die Bodensaugspannung, die Bodentemperatur und das Redoxpotential (nur 2003). Daneben erfolgte die Aufzeichnung des regionalen Witterungsverlaufs. Vor der Ernte wurden in beiden Jahren Bodenproben aus der Tiefe von 0 – 30 cm und 2003 aus 30 – 60 cm entnommen. Sie wurden auf Lagerungsdichte, Textur, Karbonatgehalt, pH-Wert (CaCl_2), Phosphor- (P_2O_5), Kalium- (K_2O), N_t - und C_{org} -Gehalte untersucht. Am Ort jeder Bodenprobennahme erfolgte eine Bodenansprache mittels Pürckhauer bis 1 m Tiefe. Zusätzliche Proben dienten der Anfertigung von Bodendünnschliffen.

Die stärkste Beziehung zum Auftreten der Späten Rübenfäule zeigte das C/N-Verhältnis, welches in den Befallsstellen niedriger war (8,8) als in den gesunden Stellen (9,4). Dies deutet auf einen Einfluss der organischen Bodensubstanz hin, deren Art, Zusammensetzung und Zersetzungsgrad wiederum von der Fruchtfolge beeinflusst werden kann. Auch die Dünnschliff-Interpretation weist auf die Bedeutung der organischen Bodensubstanz hin.

Von widersprüchlicher Bedeutung war die Bodensaugspannung. Während sie in 35 cm Bodentiefe einen deutlichen Bezug zur Späten Rübenfäule aufwies, da die Befallsstellen je nach Jahr und Standortgruppe ca. 30 – 66 hPa feuchter waren als die gesunden Stellen, war sie in 15 cm und 55 cm Messtiefe ohne Bezug zur Krankheit.

Einen Einfluss auf die Späte Rübenfäule hatte auch die Jahreswitterung, insbesondere die Niederschläge. 2002 als Jahr mit starkem Befall der ZR war sehr feucht, 2003 war es wesentlich trockener und die Krankheit erreichte nur ein geringes Niveau.

Nur geringen Bezug zur Krankheit zeigten Redoxpotential und Kaliumgehalt. Widersprüche zeigten die Messungen von Bodentemperatur, Lagerungsdichte und C_{org} -Gehalt. Keinen Einfluss zeigten, Textur, Karbonatgehalt, pH-Wert, Phosphorgehalt und N_t -Gehalt.

Von den untersuchten bodenphysikalischen und bodenchemischen Parametern sind im Untersuchungsgebiet zwei Faktoren von Bedeutung. Wahrscheinlich wird das Auftreten der Späten Rübenfäule einerseits von der Beschaffenheit der organischen Bodensubstanz und andererseits von der Konkurrenz zwischen *R. solani* und seinen Antagonisten bestimmt. Antagonisten wurden aber nicht gesondert untersucht. Dieser Einfluss ergibt sich aus der Interpretation einer indirekten Wirkung der Bodensaugspannungsunterschiede zwischen "Befall" und "Gesund" in 35 cm Tiefe auf das Leben der Mikroorganismen im Boden.

6 Summary

In order to explain the occurrence of Rhizoctonia crown and root rot (*Rhizoctonia solani* Kühn), soil physical and soil chemical parameters were measured in the years 2002 and 2003 southeast of Plattling in Lower Bavaria, Germany.

The research was done on 34 farmers' fields under natural conditions in diseased and non-diseased patches. Continuous measurements of soil matric potential, soil temperature and soil redox potential (only 2003) were carried out. Soil samples were taken in the patches shortly before harvest at the end of September down to 30 cm soil depth (2002) and 60 cm soil depth (2003) respectively. They were analysed for soil bulk density, soil texture, carbonate content, pH (CaCl₂), phosphorus (P₂O₅), potassium (K₂O), soil organic carbon (C_{org}), total nitrogen (N_t) content and C/N ratio. Soil type was described by soil augering down to 1 m soil depth at every measuring site. Thin sections of the transition zone of sugar beet to soil were prepared and interpreted. Additionally weather conditions were recorded in the research area.

The C/N ratio was found to be related to the disease. It was lower in diseased patches (about 8.8) compared to non-diseased patches (about 9.4). So the C/N ratio can be regarded as a hint that the quality, age and composition of soil organic matter is important for Rhizoctonia crown and root rot. This effect may be influenced by the crop rotation. These findings were supported by the interpretation of the thin sections.

The soil matric potential always showed lower water tensions in 35 cm soil depth in diseased patches than in non-diseased patches. The differences were between 30 and 66 hPa, depending on the year and site. In contrast soil matric potential in 15 cm and 55 cm soil depth was not related to the disease.

Only slight relations to Rhizoctonia crown and root rot were found for soil redox potential and potassium content. Contradictory results were found for soil temperature, bulk density of soil and C_{org} content. No influence was detected of soil texture, carbonate content, pH, phosphorus content and N_t content.

Two of the examined soil physical and soil chemical factors seem to be of importance in the research area. The occurrence of Rhizoctonia crown and root rot is probably on the one hand a problem of the quality of soil organic matter, what was indicated by the findings for the C/N ratio. On the other hand it may be a question of the competition between *R. solani* and its antagonists, what was not examined separately. This competition may be influenced by the differences in soil matric potential in 35 cm soil depth between diseased and non-diseased patches.

7 Literatur

- ABU-HAMDEH, N. H. (2003): Compaction and Subsoiling Effects on Corn Growth and Soil Bulk Density. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67. S. 1213-1219.
- AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Aufl. SPONAGEL, H., GROTTENTHALER, W., HARTMANN, K.-J., HARTWICH, R., JANETZKO, P., JOISTEN, H., KÜHN, D., SABEL, K.-J. u. TRIDL, R. (Red.), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.). Hannover. 438 S.
- ADAMS, G. C. jr. (1988): *Thanatephorus cucumeris (Rhizoctonia solani)*, a species complex of wide host range. *Adv. Plant Pathol.* 6. S. 535-552.
- AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Aufl. FINNERN, H., GROTTENTHALER, W., KÜHN, D., PÄLCHEN, W., SCHRAPS, W.-G. u. SPONAGEL, H. (Red.), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe u. Geologische Landesämter in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.). Hannover. 392 S.
- ALEXANDER, M. (1971): *Microbial Ecology*. Wiley, London. 511 S.
- ASAKA, O. u. SHODA, M. (1996): Biocontrol of *Rhizoctonia solani* Damping-Off of Tomato with *Bacillus subtilis* RB14. *Appl. Environ. Microbiol.* 62 (11). S. 4081-4085.
- BACKHAUS K., ERICHSON B., PLINKE W. u. WEIBER R. (2003): *Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung*. 10. Aufl. Berlin, Heidelberg. 818 S.
- BAKER, K. F. (1970): Types of *Rhizoctonia* Diseases and Their Occurrence. In: PARMETER, J. R. jr. (Hrsg.): *Rhizoctonia solani: Biology and Pathology*. Univ. of California Press, Berkeley. S. 125-133.
- BAKER, R. u. MARTINSON, C. A. (1970): Epidemiology of Diseases Caused by *Rhizoctonia solani*. In: PARMETER, J. R. jr. (Hrsg.): *Rhizoctonia solani: Biology and Pathology*. Univ. of California Press, Berkeley. S. 172-188.
- BALDOCK, J. A. (2002): Interactions of Organic Materials and Microorganisms with Materials in the Stabilization of Soil Structure. In: HUANG, P. M., BOLLAG, J.-M. u. SENESI, N. (Hrsg.): *Interactions between Soil Particles and Microorganisms*. IUPAC Ser. Anal. Phys. Chem. Environ. Syst. 8. John Wiley & Sons, Chichester. S. 85-131.
- BANNIZA, S. u. RUTHERFORD, M. A. (2001): Diversity of isolates of *Rhizoctonia solani* AG-1 1A and their relationship to other anastomosis groups based on peptic zymograms and molecular analysis. *Mycol. Res.* 105 (1). S. 33-40.
- BAYERISCHER KLIMAFORSCHUNGSVERBUND (Hrsg.) (1996): *Klimaatlas von Bayern*. München. 48 S., 57 Karten.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg.) (1994a): *Konzeptbodenkarte 1:25.000, Blatt 7343 Eichendorf*. HOLZNER, G. u. PETSCHL, A. (Bearb.). München.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg.) (1994b): *Konzeptbodenkarte 1:25.000, Blatt 7243 Plattling*. HOLZNER, G. u. PETSCHL, A. (Bearb.). München.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg.) (1996a): *Konzeptbodenkarte 1:25.000, Blatt 7244 Osterhofen*. HOLZNER, G., PETSCHL, A. u. FÖRSTER, H. (Bearb.). München.

BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg.) (1996b): Konzeptbodenkarte 1:25.000, Blatt 7344 Pleinting. HOLZNER, G., PETSCHL, A. u. FÖRSTER, H. (Bearb.). München.

BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg.) (1983): Geologische Karte von Bayern 1:50.000. Blatt L 7342 Landau a. d. Isar. UNGER, H. J. (Bearb.). München.

BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg.) (1991): Geologische Karte von Bayern 1:25.000. Blatt 7344 Pleinting. UNGER, H. J. u. BAUBERGER, W. (Bearb.). München.

BAYERISCHES LANDESVERMESSUNGSAMT (2002): Digitale Topographische Karte DTK 25. Blätter 7243 Plattling, 7244 Osterhofen, 7343 Eichendorf, 7344 Pleinting. München.

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2005): Agrarmeteorologisches Messnetz Bayern, Wetterdatenabruf. http://www.stmlf-design2.bayern.de/lbp/agm/station/agm_start.html. Datenbankabfrage der Station Neusling vom 22.04.2005.

BENKER, M. u. BÜTTNER, G. (2000): Rhizoctonia-Resistenz bei Zuckerrüben – Prüfverfahren und erste Ergebnisse. Proc. of the 63rd IIRB Congress, Februar 2000, Interlaken (CH). S. 257-265.

BERGLUND, K., BLOMQUIST, J., CHRISTENSSON, B., GERHARDSON, B., HELLGREN, O., LARSSON, H., RYDBERG, T. u. WILDT-PERSSON, T. (2002): 4 T "The Ten Ton Target". General Discussion and Conclusions. Swedish Univ. of Agricultural Research u. Swedish Beet Research. Borgeby. 16 S.

BOOGERT, P. H. J. F. VAN DEN, JAGER, G. u. VELVIS, H. (1990): *Verticillatum biguttatum*, an Important Mycoparasite for the Control of *Rhizoctonia solani* in Potato. In: HORNBY, D. , COOK, R. J., HENIS, Y., KO, W. H., ROVIRA, A. D., SCHIPPERS, B. u. SCOTT, P. R. (Hrsg.) (1990): Biological Control of Soil-borne Plant Pathogens. C. A. B. International, Oxon. S. 77-91.

BOOSALIS, M. G. u. SCHAREN, A. L. (1959): Methods for Microscopic Detection of *Aphanomyces euteiches* and *Rhizoctonia solani* Associated with Plant Debris. Phytopathology 49. S. 192-198.

BRUEHL, G. W. (1975): Biology and Control of Soil-Borne Plant Pathogens. Third International Symposium on Factors Determining the Behaviour of Plant Pathogens in Soil. Minneapolis, 5-12 September 1973. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota. 216 S.

BRUNNACKER, K. (1956): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Nr. 7142 Straßkirchen. Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.). München. 52 S.

BRUNNACKER, K. (1957): Erläuterungen zur Bodenkarte von Bayern 1:25.000, Blatt Nr. 7142 Straßkirchen. Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.). München. 107 S., 2 Beilagen.

BRYANT, R. J., WOODS, L. E., COLEMAN, D. C., FAIRBANKS, B. C., MCCLELLAN, J. F. u. COLE, C. V. (1982): Interactions of Bacterial and Amoebal Populations in Soil Microcosm with Fluctuating Moisture Content. Appl. Environm. Microbiol. 43 (4). S. 747-752.

BÜRCKY, K. (2001): Versuchswesen und Beratung als Grundlage für Qualitätsrübenanbau. In: SÜDZUCKER AG (Hrsg.): Fortschritte im Zuckerrübenanbau. Erfahrungen, Erkenntnisse, Visionen. Mannheim, Ochsenfurt. S. 6-13.

- BÜHL, A. u. ZÖFEL, P. (2002): SPSS 11. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows. 8. Aufl. Pearson Education Deutschland GmbH. 757 S.
- BÜTTNER, G., FÜHRER ITHURRART, M. E. u. BUDDEMEYER, J. (2002): Späte Rübenfäule *Rhizoctonia solani* – Verbreitung, wirtschaftliche Bedeutung und integrierte Bekämpfungskonzepte. Beiträge zur 5. Göttinger Zuckerrübenagung, 5. September 2002. Zuckerindustrie 127 (9). S. 707-717.
- CAPPELLI, C., CORAZZA, L., LUONGO, L. u. STRAVATO, V. M. (1999): Interactions between crucifers and *Rhizoctonia solani* AG 2-1, AG 2-IIIB, AG 2-2IV, AG 4. Phytopathol. Mediterr. 138. S. 37-39.
- CARLING, D. E. (1996): Grouping in *Rhizoctonia solani* by Hyphal Anastomosis Reaction. In: SNEH, B., JABAJI-HARE, S., NEATE, S. u. DIJST, G. (Hrsg.) (1996): *Rhizoctonia* Species: Taxonomy, Molecular Biology, Ecology, Pathology and Disease Control. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. S. 37-47.
- CARLING, D. E. u. SUMNER, D. R. (1992): *Rhizoctonia*. In: SINGLETON, L. L., MIHAIL, J. D. u. RUSH, C. M. (Hrsg.): Methods for Research on Soilborne Phytopathogenic Fungi. APS Press, St. Paul, Minnesota. S. 157-165.
- CHENU, C. u. STOTZKY, G. (2002): Interactions between Microorganisms and Soil Particles: An Overview. In: HUANG, P. M., BOLLAG, J.-M. u. SENESI, N. (Hrsg.): Interactions between Soil Particles and Microorganisms. IUPAC Ser. Anal. Phys. Chem. Environ. Syst. 8. John Wiley & Sons, Chichester. S. 3-40.
- COUTADEUR, C., COQUET, Y. u. ROGER-ESTRADE, J. (2002): Variation of hydraulic conductivity in a tilled soil. Eur. J. Soil Sci. 53. S. 619-628.
- CUBETA, M. A. u. VILGALYS, R. (1997): Population Biology of the *Rhizoctonia solani* Complex. Phytopathology 87 (4). S. 480-484.
- DE CANDOLLE, M. (1815): Mémoire sur les Rhizoctones, Nouveau genre de Champignons qui attaque les racines des plantes, et en particulier celle de la Luzerne cultivée. Mem. Mus. Hist. Nat. 2. S. 209-216.
- DEUTSCHE BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT (Hrsg.) (1998): Systematik der Böden und bodenbildenden Substrate Deutschlands. Systematik der Böden, Systematik der bodenbildenden Substrate, Gliederung periglaziärer Lagen. Arbeitskreis für Bodensystematik der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (Red.). Mitt. Deutsch. Bodenk. Ges. 86. 180 S.
- DILLY, O. (2001): Adjustment of the Microbial Ecophysiology in Soils in the Bornhöved Lake District. Habil., TU München. 40 S., 17 Aufsätze.
- DOMSCH, K. u. GAMS, W. (1970): Pilze aus Agrarböden. Stuttgart. 222 S.
- DURBIN, R. D. (1959): Factors Affecting the Vertical Distribution of *Rhizoctonia solani* with Special Reference to CO₂ Concentration. Am. J. Bot. 46 (1). S. 22-25.
- ELLIOT, E. T., ANDERSON, R. V., COLEMAN, D. C. u. COLE, C. V. (1980): Habitable pore space and microbial trophic interactions. Oikos 35. S. 327-335.
- EMMERLING, G., SCHLOTTER, M., HARTMANN, A. u. KANDELER, E. (2002): Functional diversity of soil organisms – a review of recent research activities in Germany. J. Plant Nutr. Soil Sci. 165. S. 408-420.

FALCONI, D. (2001): Alternative Bekämpfungsmöglichkeiten des Fußfäuleerregers *Corticium rolfsii* Sacc. Diss. FB Agrarwiss., Ökotroph. u. Umweltmanagement, Univ. Gießen. 162 S.

FAO, ISRIC u. ISSS (1998): World Reference Base for Soil Resources. FAO, World Soil Resources Reports 84. Rom. 334 S.

FIEDLER, S. (2000): *In Situ* Long-Term-Measurement of Redox Potential in Redoximorphic Soils. In: SCHÜRING, J., SCHULZ, H. D., FISCHER, W. R., BÖTTCHER, J. u. DUIJNISVELD, W. H. M. (Hrsg.): Redox. Fundamentals, Processes and Applications. Chapter 7. Berlin. S. 81-94.

FIEDLER, S. u. FISCHER, W. R. (1994): Automatische Messanlage zur Erfassung kontinuierlicher Langzeitmessungen von Redoxpotentialen in Böden. Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd. 157. S. 305-308.

FLESSA, H. u. BEESE, F. (1995): Effects of Sugarbeet Residues on Soil Redox Potential and Nitrous Oxide Emission. Soil Sci. Soc. Am. J. 59. S. 1044-1051.

FÜHRER ITHURRART, M. E. (2003): Nachweis und Charakterisierung von *Rhizoctonia solani* (Kühn), dem Erreger der Späten Rübenfäule an Zuckerrüben. Diss. Fak. f. Agrarwiss., Univ. Göttingen. 104 S.

FÜHRER ITHURRART, M. E., BÜTTNER, G. u. PETERSEN, J. (2004): Rhizoctonia root rot in sugar beet (*Beta vulgaris* ssp. *altissima*) – Epidemiological aspects in relation to maize (*Zea mays*) as a host plant. J. Plant Dis. Prot. 111 (3). S. 302-312.

GAO, S., TANJI, K. K., SCARDACI, S. C. u. CHOW, A. T. (2002): Comparison of Redox Indicators in a Paddy Soil during Rice-Growing Season. Soil Sci. Soc. Am. J. 66. S. 805-817.

GARRETT, S. D. (1956): Biology of Root-infecting Fungi. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K. 292 S.

GILLIGAN, C. A., SIMONS, S. A. u. HIDE, G. A. (1996): Inoculum density and spatial pattern of *Rhizoctonia solani* in field plots of *Solanum tuberosum*: effects of cropping frequency. Plant Pathol. 45. S. 232-244.

GLENN, O. F. u. SIVASITHAMPARAM, K. (1990): The effect of soil compaction on the saprophytic growth of *Rhizoctonia solani*. Plant Soil 121. S. 282-286.

GUGGENBERGER, G. (2002): Effect of Mineral Colloids on Biogeochemical Cycling of C, N, P, and S in Soil. In: HUANG, P. M., BOLLAG, J.-M. u. SENESI, N. (Hrsg.): Interactions between Soil Particles and Microorganisms. IUPAC Ser. Anal. Phys. Chem. Environ. Syst. 8. John Wiley & Sons, Chichester. S. 268-322.

HANUS, H. u. HORN, R. (1992): Bodenverdichtung. In: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und -belastung. Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. 2. Aufl. Landsberg. S. 161-182.

HERR, L. J. (1976): In field survival of *Rhizoctonia solani* in soil and in diseased sugarbeets. Can. J. Microbiol. 22. S. 983-988.

HERR, L. J. (1996): Sugar Beet Diseases Incited by *Rhizoctonia* ssp. In: SNEH, B., JABAJI-HARE, S., NEATE, S. u. DIJST, G. (Hrsg.) (1996): *Rhizoctonia* Species: Taxonomy, Molecular Biology, Ecology, Pathology and Disease Control. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. S. 341-349.

- HERR, L. J. u. ROBERTS, D. L. (1980): Characterization of *Rhizoctonia* Populations Obtained from Sugarbeet Fields with Differing Soil Textures. *Phytopathology* 70 (6). S. 476-480.
- HEYLAND, K.-U. (Hrsg.) (1996): Spezieller Pflanzenbau. Landwirtschaftliches Lehrbuch. 7. Aufl. BARTSCH, C, FRAUEN, M., KAUL, H.-P., KRAUME, S., KESSEL, C. v., KÜBLER, E., LÜTKE ENTRUP, E., MÜLLER, A., PUTZ, B. u. VÖMEL, A. (Mitarb.). Stuttgart. 348 S.
- HÖPER, H., STEINBERG, C. u. ALABOUVETTE, C. (1995): Involvement of Clay Type and pH in the Mechanisms of Soil Suppressiveness to Fusarium Wilt of Flax. *Soil Biol. Biochem.* 27 (7). S. 955-967.
- HOFFMANN, C., PLATTE, H., LICKFETT, T. u. KOCH, H.-J. (1997): Microbial biomass and N mineralization in relation to N supply of sugar beet under reduced tillage. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd.* 160. S. 187-193.
- HOFFMANN, G. (Hrsg.) (1991): Methodenbuch Band I: Die Untersuchung von Böden. 4. Aufl. VdLUFA. Darmstadt. o. S.
- HUANG, P. M. u. GERMIDA, J. J. (2002): Chemical and Biological Processes in the Rhizosphere: Metal Pollutants. In: HUANG, P. M., BOLLAG, J.-M. u. SENESI, N. (Hrsg.): Interactions between Soil Particles and Microorganisms. IUPAC Ser. Anal. Phys. Chem. Environ. Syst. 8. John Wiley & Sons, Chichester. S. 381-438.
- HUBER, D. M. (1989): Introduction. In: ENGELHARD, A. W. (Hrsg.) (1989): Soilborne Plant Pathogens Management of Diseases with Macro- and Microelements. St. Paul, Minnesota. S. 1-8.
- HYAKUMACHI, M., KANZAWA, K. u. UI, T. (1990): Rhizoctonia Root Rot Decline in Sugarbeet Monoculture. In: HORNBY, D. , COOK, R. J., HENIS, Y., KO, W. H., ROVIRA, A. D., SCHIPPERS, B. u. SCOTT, P. R. (Hrsg.) (1990): Biological Control of Soil-borne Plant Pathogens. C. A. B. International, Oxon. S. 227-247.
- HYAKUMACHI, M. u. SUMINO, A. (1984): New Morphological Type (IC) in *Rhizoctonia solani* AG 1 Isolated from the Sugarbeet-Manufactory-Waste-Soils and Some of Its Characteristics. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 50. S. 507-514.
- HYAKUMACHI, M. u. UI, T. (1987): Non-Self-Anastomosing Isolates of *Rhizoctonia solani* obtained from Fields of Sugarbeet Monoculture. *Trans. Br. mycol. Soc.* 89 (2). S. 155-159.
- KEENEY, D. R., SAHRAWAT, K. L. u. ADAMS, S. S. (1985): Carbon Dioxide Concentration in Soil: Effects on Nitrification, Denitrification and Associated Nitrous Oxide Production. *Soil Biol. Biochem.* 17 (4). S. 571-573.
- KIEWNICK, S., JACOBSEN, B. J., BRAUN-KIEWNICK, A., ECKHOFF, J. L. A. u. BERGMAN, J. W. (2001): Integrated Control of Rhizoctonia Crown and Root Rot of Sugar Beet with Fungicides and Antagonistic Bacteria. *Plant Dis.* 85 (7). S. 718-722.
- KOCH, H.-J., BRANDHUBER, R., STOCKFISCH, N. u. SCHÄFER-LANDEFELD, L. (2003): Soil Physical Effects of Sugar Beet Harvest and Slurry Spreading on Regularly Managed Fields. 1st joint IIRB-ASSBT Congress, 26th Feb.-1st March 2003, San Antonio, USA. *Proc. of the IIRB.* S. 755-761.
- KÖLLING, M. (2000): Comparison of Different Methods for Redox Potential Determination in Natural Waters. In: SCHÜRING, J., SCHULZ, H. D., FISCHER, W. R., BÖTTCHER J. u. DUIJNISVELD, W. H. M. (Hrsg.): Redox. Fundamentals, Processes and Applications. Chapter 4. Berlin. S. 42-54.

- KÖPPEN, W. u. GEIGER, R. (1961): Klimakarten der Erde. Darmstadt. o. S.
- KÜHN, J. G. (1858): Die Krankheiten der Kulturgewächse, ihre Ursachen und ihre Verhütung. Gustav Bosselmann, Berlin. 312 S.
- KUZYAKOV, Y. (2002): Review: Factors affecting rhizosphere priming effects. J. Plant Nutr. Soil Sci. 165. S. 382-396.
- LAUGHLIN, R. J. u. STEVENS, R. J. (2002): Evidence for Fungal Dominance of Denitrification and Codenitrification in a Grassland Soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 66. S. 1540-1548.
- LAUER, W. u. FRANKENBERG, P. (1986): Eine Karte der hygrothermischen Klimatypen von Europa. Erdkunde 40 (2). S. 85-92.
- LEWIS, J. A. u. PAPAIVAS, G. C. (1974): Effect of Volatiles from Decomposing Plant Tissues on Pigmentation, Growth, and Survival of *Rhizoctonia solani*. Soil Sci. 118 (3). S. 156-163.
- LIU, Z. u. SINCLAIR, J. B. (1991): Isolates of *Rhizoctonia solani* Anastomosis Group 2-2 Pathogenic to Soybean. Plant Dis. 75 (7). S. 682-687.
- LÜDECKE, H. u. WINNER, C. (1966): Farbtafelatlas der Krankheiten und Schädigungen der Zuckerrübe. 2. Aufl. Frankfurt/M. 87 S., 87 Farbtafeln.
- MACNISH, G. C. (1984): The use of undisturbed soil cores to study methods of controlling rhizoctonia patch of cereals. Plant Pathol. 33. S. 355-359.
- MACNISH, G. C. (1985a): Mapping rhizoctonia patch in consecutive cereal crops in Western Australia. Plant Pathol. 34. S. 165-174.
- MACNISH, G. C. (1985b): Methods of reducing rhizoctonia patch of cereals in Western Australia. Plant Pathol. 34. S. 175-181.
- MACNISH, G. C. (1988): Changes in Take-all (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*), Rhizoctonia Root Rot (*Rhizoctonia solani*) and Soil pH in Continuous Wheat with Annual Applications of Nitrogenous Fertilizer in Western Australia. Aust. J. Exp. Agric. 28. S. 333-341.
- MACNISH, G. C. (1996): Patch Dynamics and Bare Patch. In: SNEH, B., JABAJI-HARE, S., NEATE, S. u. DIJST, G. (Hrsg.) (1996): *Rhizoctonia* Species: Taxonomy, Molecular Biology, Ecology, Pathology and Disease Control. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. S. 217-226.
- MACNISH, G. C., CARLING, D. E., SWEETINGHAM, M. W. u. BRAINARD, K. A. (1994): Anastomosis group (AG) affinity of pectic isozyme (zymogram) groups (ZG) of *Rhizoctonia solani* from the Western Australian cereal-belt. Mycol. Res. 98 (12). S. 1369-1375.
- MACNISH, G. C. u. SWEETINGHAM, M. W. (1993): Evidence that Each Rhizoctonia Bare Patch is Dominated by an Individual Zymogram Group (ZG) of *Rhizoctonia solani* AG 8. Aust. J. Agric. Res. 44. S. 1175-1194.
- MÄRLÄNDER, B. u. BÜTTNER, G. (2001): Zur Bedeutung der Resistenzzüchtung für eine nachhaltige Zuckerrübenproduktion. In: SÜDZUCKER AG (Hrsg.): Fortschritte im Zuckerrübenanbau. Erfahrungen, Erkenntnisse, Visionen. Mannheim, Ochsenfurt. S. 110-119.

- MAIDL, F. X. (1984): Einfluss von Bodenbearbeitung und Gülleanwendung auf die Stickstoffmineralisierung und das Wachstum von Zuckerrüben sowie deren Bedeutung für die Bemessung der mineralischen Stickstoffdüngung bei langjährig differenzierter Bodenbewirtschaftung. Diss. Fak. f. Landwirtsch. u. Gartenbau, TU München. 410 S.
- MANIAN, S. u. MANIBHUSHANRAO, K. (1990): Influence of some factors on the survival of *Rhizoctonia solani* in soil. Trop. Agric. (Trinidad) 67 (3). S. 207-208.
- MANSFELDT, T. (2003): *In situ* long-term redox potential measurements in a dyked marsh soil. J. Plant Nutr. Soil Sci. 166. S. 210-219.
- MANSFELDT, T. (2004): Redox potential of bulk soil and soil solution concentration of nitrate, manganese, iron, and sulfate in two Gleysols. J. Plant Nutr. Soil Sci. 167. S. 7-16.
- MCCABE, P. M., GALLACHER, M. P. u. DEACON, J. W. (1999a): Evidence for segregation of somatic incompatibility during hyphal tip subculture of *Rhizoctonia solani* AG 4. Mycol. Res. 103 (10). S. 1323-1331.
- MCCABE, P. M., GALLAGHER, M. P. u. DEACON, J. W. (1999b): Microscopic observation of perfect hyphal fusion in *Rhizoctonia solani*. Mycol. Res. 103 (4). S. 487-490.
- MENZIES, J. D. (1970): Introduction: The First Century of *Rhizoctonia solani*. In: PARMETER, J. R. jr. (Hrsg.): *Rhizoctonia solani*: Biology and Pathology. Univ. of California Press, Berkeley. S. 3-5.
- MORDUE, J. E. M. (1974): *Thanatephorus cucumeris*. CMI Descriptions of Pathogenic Fungi and Bacteria 406. 2 S.
- MÜLLER, K. O. (1924): Untersuchungen zur Entwicklungsgeschichte und Biologie von *Hypochnus solani* P. u. D. (*Rhizoctonia solani* K.). Arb. aus der Biol. Reichsanst. für Land- u. Forstwirtschaft. 13 (3). S. 197-262.
- NAITO, S. u. KANEMATSU, S. D. (1994): Characterization and Pathogenicity of a New Anastomosis Subgroup AG-2-3 of *Rhizoctonia solani* Kühn Isolated from Leaves of Soybean. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 60. S. 681-690.
- NÉMETH, K., RECKE, H. u. HEUER, C. (1991): Der pflanzenverfügbare organische Bodenstickstoff, EUF-N_{org} und seine Bedeutung für eine umweltgerechte Landbewirtschaftung. 4. Mitteilung: Berechnung des Stickstoff-Düngerbedarfs der Zuckerrübe mittels EUF. Zuckerindustrie 116 (11). S. 991-996.
- NORMENAUSSCHUSS WASSERWESEN (NAW) IM DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. (2002): Bodenbeschaffenheit. Bestimmung der Partikelgrößenverteilung in Mineralböden. Verfahren mittels Siebung und Sedimentation. DIN ISO 11277. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Ref. Nr. DIN ISO 11277:2002-08, August 2002. 25 S.
- OGOSHI, A. (1975): Grouping of *Rhizoctonia solani* Kühn and their perfect stages. Rev. Plant Prot. Res. 8. S. 93-103.
- OGOSHI, A. (1987): Ecology and Pathogenicity of Anastomosis and Intraspecific Groups of *Rhizoctonia solani* Kühn. Annu. Rev. Phytopathol. 25. S. 125-143.
- OGOSHI, A. u. UI, T. (1983): Diversity of Clones within an Anastomosis Group of *Rhizoctonia solani* Kühn in a Field. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 49. S. 239-245.

- PAPAVIZAS, G. C. (1969): Survival of Root-infecting Fungi in Soil. XI. Survival of *Rhizoctonia solani* as affected by inoculum concentration and various soil amendments. *Phytopatholog. Z.* 64 (2). S. 101-111.
- PARMETER, J. R. jr. u. WHITNEY, H. S. (1970): Taxonomy and Nomenclature of the Imperfect State. In: PARMETER, J. R. jr. (Hrsg.): *Rhizoctonia solani: Biology and Pathology*. Univ. of California Press, Berkeley. S. 7-19.
- PAULA JÚNIOR, T. J. DE (2002): Ecological investigations as a basis for integrated management of bean *Rhizoctonia* root rot. Diss. FB Gartenbau, Univ. Hannover. 78 S.
- PFISTERER, U. u. GRIBBOHM, S. (1989): Zur Herstellung von Platinelektroden für Redoxmessungen. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd.* 152. S. 455-456.
- RIECKMANN, W. u. STECK, U. (1995): Krankheiten und Schädlinge der Zuckerrübe. Gelsenkirchen. 196 S.
- ROGET, D. K. (1995): Decline in Root Rot (*Rhizoctonia solani* AG 8) in Wheat in a Tillage and Rotation Experiment at Avon, South Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 35. S. 1009-1013.
- ROVIRA, A. D. u. SIMON, A. (1985): Growth, Nutrition and Yield of Wheat in Calcareous Sandy Loams of South Australia: Effects of Soil Fumigation, Fungicide, Nematicide and Nitrogen Fertilizers. *Soil Biol. Biochem.* 17. S. 279-284.
- RUPPEL, E. G. (1991): Survival of *Rhizoctonia solani* in Fallow Field Soil and Buried Sugarbeet Roots at Three Depths. *J. of Sugar Beet Res.* 28 (3&4). S. 141-153.
- RUPPEL, E. G. u. HECKER, R. J. (1982): Increased severity of *Rhizoctonia* root rot in sugar beet treated with systemic insecticides. *Crop Prot.* 1 (1). S. 75-81.
- RUSH, C. M. u. WINTER, S. R. (1990): Influence of Previous Crops on *Rhizoctonia* Root and Crown Rot of Sugar Beet. *Plant Dis.* 74 (6). S. 421-425.
- SCHÄUFELE, W. R. u. BÜTTNER, G. (2000): Changes of Inoculum of Pathogens for Sugar beet in Tare Soils after Different Storages in Lysimeters and Stacks – Beet Cyst Nematode, Soil-borne Fungal Root Rot Pathogens of Beets, Beet Necrotic Yellow Vein Virus. *Proc. 63. IIRB-Winterkongress, Interlaken.* S. 471-476.
- SCHEFFER, F. u. SCHACHTSCHABEL, P. (Begr.) (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. BLUME, H.-P., BRÜMMER, G. W., SCHWERTMANN, U., HORN, R., KÖGEL-KNABNER, I., STAHR, K., AUERSWALD, K., BEYER, L., HARTMANN, A., LITZ, N., SCHEINOST, A., STANJEK, H., WELP, P. u. WILKE, B.-M. (Bearb.). 15. Aufl. Heidelberg, Berlin. 593 S.
- SCHINK, B. u. BENZ, M. (2000): Microbial Metabolism of Iron Species in Freshwater Lake Sediments. In: SCHÜRING, J., SCHULZ, H. D., FISCHER, W. R., BÖTTCHER J. u. DUIJNISVELD, W. H. M. (Hrsg.): *Redox. Fundamentals, Processes and Applications*. Chapter 18. Berlin. S. 228-234.
- SCHLICHTING, E., BLUME, H.-P. u. STAHR, K. (1995): *Bodenkundliches Praktikum. Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte, und für Geowissenschaftler.* 2. Aufl. Berlin, Wien. 295 S.
- SCHMIEDEKNECHT, G. (1993): Biologische Bekämpfung von *Rhizoctonia solani* Kühn an Kartoffelpflanzen durch mikrobielle Antagonisten. *Archiv Phytopath. u. Pflanzenschutz* 28. S. 311-320.

- SCHOLTE, K. (1987): The effect of crop rotation and granular nematicides on the incidence of *Rhizoctonia solani* in potato. *Potato Res.* 30. S. 187-199.
- SCHÜLER, C., BIALA, J., BRUNS, C., GOTTSCHALL, R., AHLERS, S. u. VOGTMANN, H. (1989): Suppression of Root Rot on Peas, Beans and Beetroots Caused by *Pythium ultimum* and *Rhizoctonia solani* through the Amendment of Growing Media with Composted Organic Household Waste. *J. Phytopathol.* 127. S. 227-238.
- SCHULTE-EBBERT, U. u. HOFMANN, T. (2000): Measurement of Redox Potentials at the Test Site "Insel Hengsen". In: SCHÜRING, J., SCHULZ, H. D., FISCHER, W. R., BÖTTCHER J. u. DUIJNISVELD, W. H. M. (Hrsg.): *Redox. Fundamentals, Processes and Applications.* Chapter 13. Berlin. S. 161-174.
- SNEH, B., BURPEE, L. u. OGOSHI, A. (1991): Identification of *Rhizoctonia* Species. The American Phytopathological Society. APS Press, St. Paul, Minnesota. 135 S.
- SNEH, B., JABAJI-HARE, S., NEATE, S. u. DIJST, G. (Hrsg.) (1996): *Rhizoctonia* Species: Taxonomy, Molecular Biology, Ecology, Pathology and Disease Control. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 578 S.
- STEINHEBER, T. (2001): Untersuchungen zum Einfluss der Sorte auf Ertrag und Qualität bei Zuckerrüben unter *Rhizoctonia*-Befallsbedingungen. Dipl. Arb. FB Land- und Ernährungswirtschaft, FH Weihenstephan. 80 S.
- STOTZKY, G. (1986): Influence of Soil Mineral Colloids on Metabolic Processes, Growth, Adhesion, and Ecology of Microbes and Viruses. In: HUANG, P. M. u. SCHNITZER, M. (Hrsg.): *Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes.* SSSA Special Publication 17. Madison, Wisconsin. S. 305-428.
- STRONG, D. T., DE WEVER, H., MERCKX, R. u. RECOUS, S. (2004): Spatial location of carbon decomposition in the soil pore system. *Eur. J. Soil Sci.* 55. S. 739-750.
- SUMNER, D. R. (1996): Sclerotia Formation by *Rhizoctonia* Species and their Survival. In: SNEH, B., JABAJI-HARE, S., NEATE, S. u. DIJST, G. (Hrsg.) (1996): *Rhizoctonia* Species: Taxonomy, Molecular Biology, Ecology, Pathology and Disease Control. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. S. 207-215.
- SUMNER, D. R. u. BELL, D. K. (1986): Influence of Crop Rotation on Severity of Crown and Brace Root Rot Caused in Corn by *Rhizoctonia solani*. *Phytopathology* 76 (2). S. 248-252.
- TEICHERT, A., BÖTTCHER, J. u. DUIJNISVELD, W. H. M. (2000): Redox Measurements as a Qualitative Indicator of Spatial and Temporal Variability of Redox State in a Sandy Forest Soil. In: SCHÜRING, J., SCHULZ, H. D., FISCHER, W. R., BÖTTCHER J. u. DUIJNISVELD, W. H. M. (Hrsg.): *Redox. Fundamentals, Processes and Applications.* Chapter 8. Berlin. S. 95-110.
- THALHEIMER, M. (2003): Tensiometer Modification for Diminishing Errors due to the Fluctuating Inner Water Column. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67. S. 737-739.
- TOUSSOUN, T. A., BEGA, R. V. u. NELSON, P. E. (Hrsg.) (1970): Root Diseases and Soil-borne Pathogens. Second International Symposium on Factors Determining the Behaviour of Plant Pathogens in Soil. London, July 14-28 1968. Univ. of California Press, Los Angeles. 252 S.
- TROLL, C. u. PAFFEN, K. H. (1964): Karte der Jahreszeiten-Klimate der Erde. *Erdkunde* 18. S. 5-28.

- TU, C. C., KIMBROUGH, J. W. u. ALDRICH, H. C. (1977): Cytology and ultrastructure of *Thanatephorus cucumeris* and related taxa of the *Rhizoctonia* complex. *Can. J. Bot.* 55. S. 2419-2436.
- UNGER, H. J. (1983): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:50.000, Blatt L 7342 Landau a. d. Isar. Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.). München. 141 S., 6 Beilagen.
- VAN BOCHOVE, E., BEAUCHEMIN, S. u. THÉRIAULT, G. (2002): Continuous Multiple Measurement of Soil Redox Potential Using Platinum Microelectrodes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66. S. 1813-1820.
- VDLUFA (Hrsg.) (2004): Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. BROD, H.-G. (Red.), KÖRSCHENS, M., ROGASIĆ, J., SCHULZ, E., ELLERBROCK, R., HÜLSBERGEN, K.-J., MERBACH, I., EBERTSEDER, T., GUTSER, R. (Bearb.). Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), Standpunkt. Bonn, 30.04.2004. 12 S.
- VELVIS, H., BOOGERT, P. H. J. F. VAN DEN u. JAGER, G. (1989): Role of Antagonism in the Decline of *Rhizoctonia solani* Inoculum in Soil. *Soil Biol. Biochem.* 21 (1). S. 125-129.
- VILGALYS, R. u. CUBETA, M. A. (1994): Molecular Systematics and Population Biology of *Rhizoctonia*. *Annu. Rev. Phytopathol.* 32. S. 135-155.
- VORENHOUT, M., VAN DER GEEST, H. G., VAN MARUM, D., WATTEL, K. u. EIJSACKERS, J. P. (2004): Automated and Continuous Redox Potential Measurements in Soil. *J. Environ. Qual.* 33. S. 1562-1567.
- WHEATLEY, R. E., CAUL, S., CRABB, D., DANIELL, T. J., GRIFFITHS, B. S. u. RITZ, K. (2003): Microbial population dynamics related to temporal variations in nitrification in three arable fields. *Eur. J. Soil Sci.* 54. S. 707-714.
- WHITNEY, E. D. u. DUFFUS, J. E. (Hrsg.) (1986): Compendium of Beet Diseases and Insects. APS Press, St. Paul, Minnesota. 76 S.
- WINDT, A. (1995): Entwicklung des Faserwurzelsystems der Zuckerrübe sowie dessen Beziehung zum Wachstum der Gesamtpflanze und der Nährstoffaufnahme. Diss. Univ. Göttingen. 90 S.
- WINNER, C. (1981): Zuckerrübenanbau. Frankfurt/M. 308 S.
- WISEMAN, B. M., NEATE, S. M., OPHEL-KELLER, K. u. SMITH, S. E. (1996): Suppression of *Rhizoctonia solani* Anastomosis Group 8 in Australia and its Biological Nature. *Soil Biol. Biochem.* 28 (6). S. 727-732.
- WOLF, P. F. J. u. VERREET, J.-A. (1999): Untersuchungen zur Epidemiologie und Schadrelevanz der Rhizoctonia-Rübenfäule (*Rhizoctonia solani* Kühn). *Gesunde Pflanz.* 51 (5). S. 133-138.
- YOKOYAMA, K. u. OGOSHI, A. (1986): Studies on hyphal anastomosis of *Rhizoctonia solani* IV. Observation of imperfect fusion by light and electron microscopy. *Trans. Mycol. Soc. Jpn.* 27. S. 399-413.
- YOKOYAMA, K. u. OGOSHI, A. (1988): Studies on hyphal anastomosis of *Rhizoctonia solani* V. Nutrition conditions for anastomosis. *Trans. Mycol. Soc. Jpn.* 29. S. 125-132.

YOKOYAMA, K., OGOSHI, A. u. UI, T. (1983): Studies on hyphal anastomosis of *Rhizoctonia solani* I. Observation of perfect fusion with light microscopy. Trans. Mycol. Soc. Jpn. 24. S. 329-340.

ZENS, I. (2000): Auftreten und Bekämpfung der späten Rübenfäule, verursacht durch *Rhizoctonia solani*. Diss. Landwirtsch. Fak., Univ. Bonn. 120 S.

ZENS, I., STEINER, U. u. DEHNE, H.-W. (2002): Auftreten, Charakterisierung und Kontrolle des Erregers der Rübenfäule, *Rhizoctonia solani*, in Nordrhein-Westfalen. Landwirtschaftliche Fak. d. Univ. Bonn. Schriftenreihe des Lehr- u. Forschungsschwerpunktes USL 91. 99 S.

8 Anhang

8.1 Legende der Konzeptbodenkarte 1:25.000

Tab. 25: Legende der Konzeptbodenkarte 1:25.000 (zu Abb. 4 in Kap. 2.1.3); leicht verändert und vereinfacht; verkürzt auf die in Abb. 4 enthaltenen Einheiten

Nummer:	Beschreibung / Inhalt:
1a	Braunerde aus Flugsand, unter Wald podsolig
2b	Braunerde aus Lößlehm mit Flugsandbeimengungen
3a	Pararendzina aus Löß, örtlich aus Sandlöß
4a	Parabraunerde u. Braunerde aus Löß, örtlich aus Sandlöß, des mittleren Löß-Faziesbereiches
5	Braunerde aus Lößlehm
8a	Braunerde aus Lößlehm u. beigemischtem sandigem bis sandig-lehmigem Molassematerial
9a	Braunerde, z.T. tiefreichend humos, aus schluffig-lehmigen Abschwemmassen über Schotter
12 (12a)	Kolluvisol, örtlich pseudovergleyt o. vergleyt, aus lehmigen Abschwemmassen, vorwiegend aus Lößlehm
13	Pseudogley-Braunerde u. Braunerde, pseudovergleyt, z.T. tiefreichend humos, aus Lößlehm
15	Pseudogley-Braunerde aus Lößlehm mit beigemischtem sandigem bis sandig-lehmigem Molassematerial, im Deckenschottergebiet auch aus Restschottermaterial
19b	Pararendzina aus Flussmergel über carbonatreichem Schotter
20	Braunerde aus Flussmergel über carbonatreichem Schotter
48a	Braunerde aus lehmigem, fein- u. mittelsandigem Molassematerial, verbreitet mit schwacher Kies- und Lößlehm-Beimengung, örtl. mit Lößlehm-Deckschicht (> 3 dm)
55b	Braunerde-Pseudogley u. Pseudogley aus lehmiger Deckschicht (2-3 dm) über tonig-lehmigem Molassematerial
62b	Kalkgley aus Flussmergel oder Alm über carbonatreichem Schotter
64a	Gley-Pararendzina u. Pararendzina-Gley, tiefreichend humos, aus Flussmergel über carbonatreichem Schotter
64b	kalkhaltiger Gley, örtlich tief humos, aus carbonatreichem Schotter mit Flussmergeldecke, teilweise aus Bachschutt
64c	Kalkhaltiger Anmoorgley aus carbonatreichem Schotter mit Flussmergeldecke, teilweise aus Bachschutt
65a	Gley-Braunerde, z.T. tiefreichend humos, aus lehmigen u. lehmig-sandigen Substraten, im Untergrund carbonathaltig
65b	Gley, Braunerde-Gley, z.T. Naßgley, örtl. tiefreich. humos, aus lehmigen u. sandig-lehmigen Substraten (Talsedimenten), im Untergrund carbonathaltig
72a	Gley-Braunerde, unter Wald stellenweise podsolig, aus sandigen u. kiesig-sandigen, carbonatfreien Talsedimenten
73a	Gley-Braunerde aus lehmigen, carbonatfreien Talsedimenten
73b	Gley und Braunerde-Gley aus lehmigen, carbonatfreien Talsedimenten
73c	Anmoorgley u. humusreicher Gley, stellenweise Moorgley, aus lehmigen, carbonatfreien Talsedimenten
76b	Bodenkomplex der Gleye aus carbonatfreien lehmigen Talsedimenten
84a	Kalkpaternia (meist braungrau bis graubraun), bei sehr großen Hochwässern überflutet, aus carbonatreichen, feinsandig-schluffigen Flusssedimenten über Schotter
89	Kalkvega, bei sehr großen Hochwässern überflutet, aus carbonatreichen, schluffigen u. sandigen Flusssedimenten
90a	Gley-Kalkpaternia und Kalkpaternia-Gley, aus carbonatreichen, kiesigen, schluffigen u. tonigen Flusssedimenten
91a	Auen-Kalkgley, örtlich fossiler Ah-Horizont, aus carbonatreichen, kiesigen, sandigen u. schluffigen Flusssedimenten
705	Bodenkomplex der Syroseme, Regosole u. Braunerden aus carbonatfreien Steilhangesedimenten
744	Braunerde aus mäßig steinigem Zersatz saurer bis intermediärer Metamorphite u. quarzführender Plutonite

8.2 Bodentypen

Tab. 26: Bodentypen in den Messflächen 2002 und 2003

Fläche	Bodentyp	Fläche	Bodentyp	Fläche	Bodentyp	Fläche	Bodentyp
AB3I B	LLn	FA4II B	SS-LL	JW1I B	GGx	LH15I B	RZ/GGa
AB3I G	LLn	FA4II G	ykBB-LL	JW1I G	GGx	LH15I G	RZ/GGi
AB4I B	s, ykBB/LL	HM4I B	AZn	JW1II B	cGGa	LH16I G*	GG-YK
AB4I G	s, ykBB/er. LL	HM4I G	AZn	JW1II G	AB-GG	MK4I B	RZn
AB4II B	YK/er. BB	HM6I B	LLn	JW1III B	GGx	MK4I G	RZn
AB4II G	YK/er. BB	HM6I G	LLn	JW1III G	GGx	MK4II B	RZn
AB4III B	sYK	HM7I B	LLn	JW6I B	GHn	MK4II G	RZn
AB4III G	YK/er. LL	HM7I G	LLn	JW6I G	GHn	MK4III B	RZn
AB4IV B	hSS-YK	HM8I B	LLn	JW6II B	HNvv	MK4III G	RZn
AB4IV G	sYK	HM8I G	LLn	JW6II G	HNvv	NN2I B	BB-LL
AB4V B	RZn	HM10I B	YKn	JW6III B	GGi	NN2I G	YKn
AB4V G	RZn	HM10I G	YK/er. LL	JW6III G	i, cGGa	NN4I B	BB-LL
AP4I B	vSS	HM10II B	LLn	JW6IV B	hGGi	NN4I G	BB-LL
AP4I G	SSn	HM10II G	hLLn	JW6IV G	GGi	NN6I B	BB-LL
(AP4II B)	SSh	JF1I B	LLn	LH1I B	GGx	NN6I G	BB-LL
AP4II G	SSn	JF1I G	LLn	LH1I G	GGx	NN7I B	LLn
AP7I B	gBB-LL	JF1II B	BB-LL	LH1II B	hGGx	NN7I G	LLn
AP7I G	gBB-LL	JF1II G	BB-LL	LH1II G	hGGx	NN8I B	BB-RZ
AP7II B	gLL	JF1III B	BB-LL	LH3I B	cGGa	NN8I G	BB-RZ
AP7II G	gBB-LL	JF1III G	BB-LL	LH3I G	GGx	NN9I B	cABn
AP7III B	BB-LL	JF2I B	sLLh	LH3II B	cGGa	NN9I G	cABn
AP7III G	BB-LL	JF2I G	sLL	LH3II G	cGGa	NN10I B	LLn
AR1I B	RZ/YK/er. LL [#]	JF2II B	gSS	LH5I B	LLn	NN10I G	LLn
AR1I G	RZ/YK/er. LL [#]	JF2II G	YK/GG	LH5I G	LLn	NN11I B	BB-LL
AR1II B	RZ/YK/er. BB [#]	JF2III B	SSn	LH5II B	LLn	NN11I G	BB-LL
AR1II G	RZ/YK/er. BB [#]	JF2III G	BB-SS	LH5II G	LLn	NN11II B	BB-LL
FA3I B	LL-SS	JF6I G*	GG-YK	LH5III B	LLn	NN11II G	BB-LL
FA3I G	LLn	JO1I B	LL-SS	LH5III G	LLn	NN12I B	sBB
(FA4I B)	LLn	JO1I G	LL-SS	(LH9I B)	BB-LL	NN12I G	sBB
FA4I G	LLn	JO1II B	LL-SS	LH9I G	LLn	NN12II B	sBB-LL
		JO1II G	LL-SS			NN12II G	sBB-LL

Abkürzungen der Bodentypen siehe in Tab. 27 hier

[#] = anthropogener Auftrag von lößhaltigem Material

Geologie: siehe Tab. 1 in Kap. 2.1.6

Grau unterlegt: 2002

* = auf diesen Schlägen konnte keine Befallsstelle gefunden werden

Tab. 27: Abkürzungen und Namen der Bodentypen; zu Tab. 26 hier; nach DEUTSCHE BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT (1998), verändert

Abkürzung:	Bodentyp:
RZn BB-RZ RZ/GGa RZ/GGi RZ/YK/er. LL[#] RZ/YK/er. BB[#]	Norm-Pararendzina Braunerde-Pararendzina Pararendzina über Auengley Pararendzina über Bleichgley Pararendzina über Kolluvisol über erodierter Parabraunerde Pararendzina über Kolluvisol über erodierter Braunerde
sBB s, yk BB/LL s, yk BB/er. LL	pseudovergleyte Braunerde pseudovergleyte, kolluviale Braunerde über Parabraunerde pseudovergleyte kolluviale Braunerde über erodierter Parabraunerde
LLn s LLh s LL h LLn g LL BB- LL sBB- LL gBB- LL ykBB- LL SS- LL	Norm-Parabraunerde pseudovergleyte Humus parabraunerde pseudovergleyte Parabraunerde humusreiche Norm- Parabraunerde vergleyte Parabraunerde Braunerde- Parabraunerde pseudovergleyte Braunerde- Parabraunerde vergleyte Braunerde- Parabraunerde kolluviale Braunerde- Parabraunerde Pseudogley- Parabraunerde
SSn SSh v SS g SS BB- SS LL- SS	Norm-Pseudogley Humus pseudogley verbraunter Pseudogley vergleyter Pseudogley Braunerde- Pseudogley Parabraunerde- Pseudogley
YKn s YK hSS- YK GG- YK YK/er. BB YK/er. LL YK/GG	Norm-Kolluvisol pseudovergleyter Kolluvisol humusreicher Pseudogley- Kolluvisol Gley- Kolluvisol Kolluvisol über erodierter Braunerde Kolluvisol über erodierter Parabraunerde Kolluvisol über Gley
AZn	Norm-Auenpararendzina (Kalkpaternia)
cABn	kalkhaltige Norm- Vega (Braunauenboden)
GGx h GGx GGi h GGi c GGa i, c GGa AB- GG	Oxigley humusreicher Oxigley Bleichgley humusreicher Bleichgley kalkhaltiger Auengley bleicher, kalkhaltiger Auengley Vega- Gley
GHn	Niedermoorgley
HNvv	basenreiches Mulm niedermoor

= anthropogener Auftrag von lößhaltigem Material

8.3 Bodensaugspannung

Tab. 28: Bodensaugspannung bei "Befall" und "Gesund" in 15, 35 und 55 cm Tiefe 2002; Mittelwerte der gesamten Messperiode; Mittel aus je 5 Wiederholungen (= Tensiometern); Angaben in hPa; Ø = Mittelwert aus 15, 35 und 55 cm Messtiefe

Fläche	15 cm		35 cm		55 cm		Ø 15 + 35 + 55	
	Mittel	Std. abw.	Mittel	Std. abw.	Mittel	Std. abw.	Mittel	Std. abw.
AP7 B	-153	140	-78	71	-44	43	-92	83
AP7 G	-132	125	-90	85	-44	61	-89	88
JF1 B	-163	175	-91	96	-23	42	-93	98
JF1 G	-148	151	-104	111	-44	67	-99	103
JW1 B	-172	225	-79	88	-98	37	-116	116
JW1 G	-191	240	-125	136	-96	48	-137	140
LH5 B	-200	185	-155	158	-90	87	-148	142
LH5 G	-239	194	-236	216	-82	74	-186	158
MK4 B	-170	119	-243	78	-256	76	-223	88
MK4 G	-199	117	-252	57	-312	39	-254	59

fett: 35 cm Messtiefe; zeitlicher Verlauf vgl. Abb. 9 in Kap. 3.4

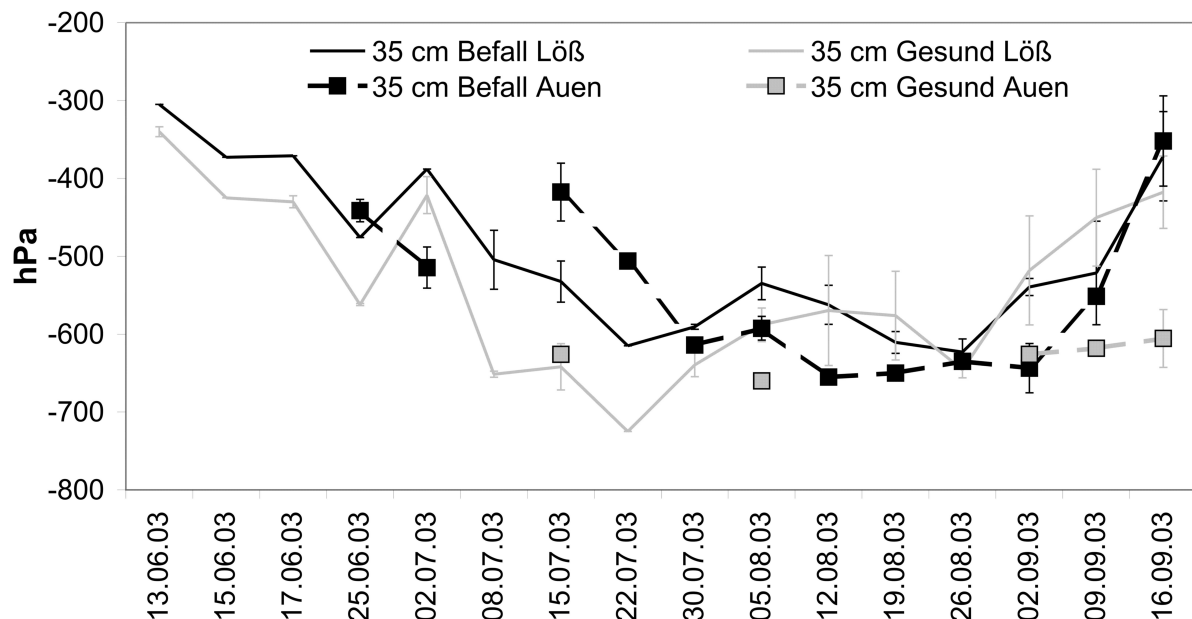


Abb. 23: Bodensaugspannung in 35 cm Tiefe bei "Befall" und "Gesund", getrennt in Lößstandorte und Auenstandorte 2003; Mittelwerte der Messungen aller Messflächen der gesamten Messperiode 2003

Tab. 29: Bodensaugspannung 2003, Einzelmesswerte: bereinigte Messwerte der "Befall"- und "Gesund"-Messflächen der gesamten Messperiode 2003; Mittel aus je 3 – 5 fehlerfreien Wiederholungen (= Tensiometern); Angaben in hPa; Schläge zeitlich nach Einbaudatum geordnet

Ableseung Nr.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Mittel:	Std.abw.:		
	13.06.03	15.06.03	17.06.03	25.06.03	02.07.03	08.07.03	15.07.03	22.07.03	30.07.03	05.08.03	12.08.03	19.08.03	26.08.03	02.09.03	09.09.03	16.09.03				
15 AP4I B	-474	-492	-502		-347											-561	-300	-446	100	
35 AP4I B	-305	-373	-371	-476	-388	-558	-495		-586	-550						-524	-427	-459	92	
Mittel AP4I B	-390	-433	-437		-368											-543	-364	-423	67	
15 AP4I G	-412	-516	-510		-365											-420	-285	-418	88	
35 AP4I G	-331	-425	-419	-564	-455	-657	-600		-661	-610						-656	-465	-531	116	
Mittel AP4I G	-372	-471	-465		-410											-538	-375	-439	65	
15 AP4II G	-389		-410		-328											-355	-284	-353	50	
35 AP4II G	-349		-441	-560	-388	-646	-684	-725	-618	-626	-713	-703	-671			-631	-538	-592	122	
Mittel AP4II G	-369		-426		-358											-493	-411	-411	54	
15 LH3I B				-326	-329									-444	-581		-199	-376	144	
35 LH3I B				-443	-455											-617	-211	-432	167	
Mittel LH3I B				-385	-392											-599	-205	-395	161	
15 LH3I G				-323	-333									-630	-331		-211	-366	156	
35 LH3I G				-479	-578											-742	-414	-553	143	
Mittel LH3I G				-401	-456											-537	-312	-427	95	
15 LH3II B				-276	-296	-624				-630			-472			-369	-428	-197	-412	159
35 LH3II B				-410	-492											-671	-217	-448	188	
Mittel LH3II B				-343	-394											-520	-207	-366	129	
15 LH3II G				-367	-414	-661				-552			-453			-397	-511	-229	-448	130
35 LH3II G				-433	-533											-670	-342	-495	141	
Mittel LH3II G				-400	-474											-534	-286	-424	107	
15 AB4III G						-552	-505	-648	-628	-638				-596		-408	-298	-534	125	
35 AB4III G						-451	-570	-615	-595	-584	-618	-639	-615			-581	-502	-577	58	
Mittel AB4III G						-502	-538	-632	-612	-611				-606		-495	-400	-550	81	
15 JW6I G							-617									-587	-404	-536	115	
35 JW6I G							-365	-506	-614	-571	-655	-650	-635			-597	-562	-475	-563	91
Mittel JW6I G							-491									-592	-439	-507	78	
15 JW6II B							-558			-600	-637					-576	-479	-406	-543	85
35 JW6II B							-470			-614						-565	-541	-452	-528	67
Mittel JW6II B							-514			-607						-571	-510	-429	-526	68
15 JW6II G							-499			-468	-654					-458	-513	-366	-493	94
35 JW6II G							-626			-660						-626	-618	-553	-617	39
Mittel JW6II G							-562			-564						-542	-566	-460	-539	45
15 HM10I G										-324			-338				-232	-298	58	
35 HM10I G										-627	-684	-570		-341	-270			-498	182	
Mittel HM10I G										-475								-475		
15 LH9I G										-581				-554	-642	-231		-502	184	
35 LH9I G										-507	-324	-369		-402	-425			-405	68	
Mittel LH9I G										-544				-478	-534			-519	36	
15 JF2I B										-560	-645	-515		-311	-338	-155		-421	183	
35 JF2I B										-519	-548	-610	-660	-555	-614	-310		-545	114	
Mittel JF2I B										-540	-597	-563		-433	-476	-233		-474	132	
15 JF2I G										-454	-561	-490		-420	-506	-166		-433	139	
35 JF2I G										-567	-600	-557	-631	-561	-608	-437		-566	63	
Mittel JF2I G										-511	-581	-523		-491	-557	-302		-494	100	
15 HM6I B										-519	-578	-522		-393	-445	-150		-435	154	
35 HM6I B										-486	-521	-583	-594		-369	-247		-467	135	
Mittel HM6I B										-503	-550	-553			-407	-199		-442	148	
15 HM6I G										-459	-564	-589		-356	-463	-95		-421	180	
35 HM6I G										-570	-592	-636	-654		-512	-333		-550	117	
Mittel HM6I G										-515	-578	-613			-488	-214		-482	158	
15 FA4I G										-442	-583	-496	-565		-357	-149		-432	161	
35 FA4I G										-609	-505	-622	-627		-437	-316		-519	125	
Mittel FA4I G										-526	-544	-559	-596		-397	-233		-476	137	
15 LH1I G																		-314	-314	
35 LH1I G																		-658	-658	
Mittel LH1I G																		-486	-486	

Lücken in der Tabelle durch große Trockenheit; **fett gedruckt:** die vier "Befall" – "Gesund"-Pärchenvergleiche 2003: AP4I, JW6II, JF2I und HM6I; Erläuterungen s. Kap. 3.4

8.4 Bodentemperatur

Tab. 30: Durchschnittswerte der Bodentemperatur pro Messfläche 2003 in 15 cm Messtiefe der Messperiode vom 12.06. – 31.08.2003; B = "Befall", S = "Stillstand", G = "Gesund", 4 = *R. solani* AG 4; Ø = Mittelwert; Schläge zeitlich nach Einbau der Messgeräte geordnet; vgl. Abb. 11

Messfläche	Art	°C	Messfläche	Art	°C	Messfläche	Art	°C
AP4I B	B	20,62	AB4II B	S	20,56	LH9I B	4	20,81
AP4I G	G	20,09	AB4II G	S	20,88	LH9I G	G	20,01
AP4II B	4	20,20	AB4III B	S	20,30	JF2I B	B	22,28
AP4II G	G	20,05	AB4III G	B	19,93	JF2I G	G	22,24
LH3I B	B	20,78	JW6I B	S	20,06	HM6I B	B	20,92
LH3I G	B	20,14	JW6I G	B	19,47	HM6I G	G	21,34
LH3II B	B	19,93	JW6II B	B	20,49	FA4I B	4	21,70
LH3II G	B	20,02	JW6II G	G	19,57	FA4I G	G	21,42
AB4I B	S	20,02	HM10I B	S	21,12	LH1 B	S	20,95
AB4I G	S	20,08	HM10I G	G	21,17	LH1 G	G	20,56
Mittelwerte								
Ø gesamt		20,59	Ø "Befall"	B	20,46	Ø "Gesund"	G	20,72
			Ø "Stillstand"	S	20,49			

Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen "Befall", "Gesund" und "Stillstand" festgestellt werden

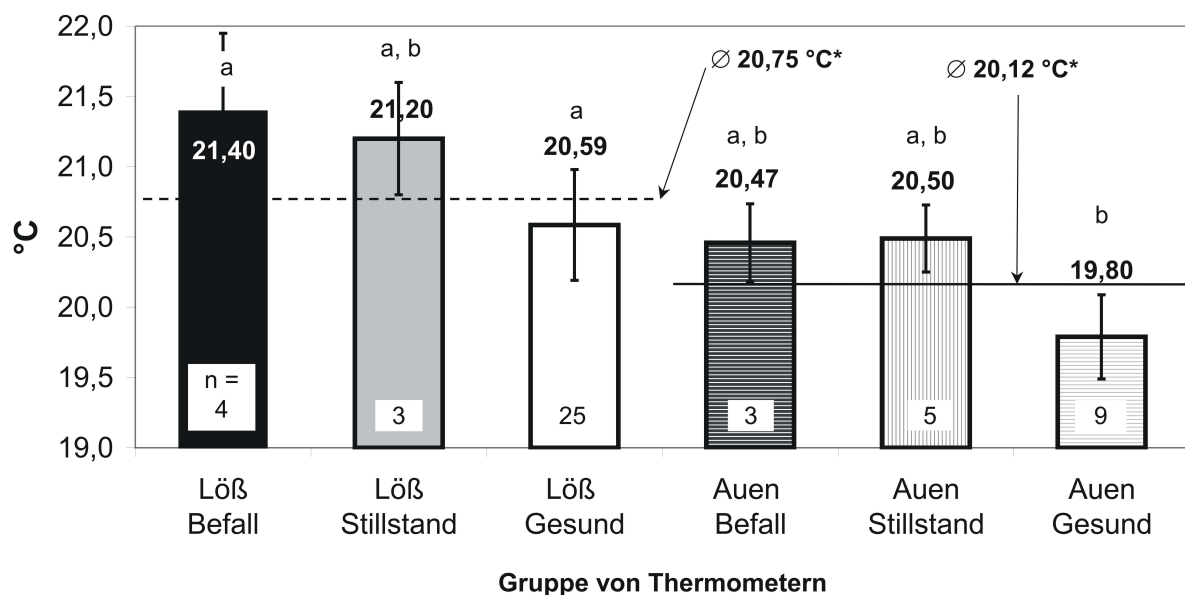


Abb. 24: Bodentemperatur in 15 cm Tiefe 2003: getrennt in Lößstandorte und Auenstandorte, gemessen an 49 Einzelthermometern; Vergleich mit Krankheitsbild; Mittelwert über die Messperiode vom 12.06. – 31.08.2003; links, ohne Muster: Lößstandorte, rechts, liniert: Auenstandorte; "Befall" (schwarz), "Stillstand" (grau) und "Gesund" (weiß); Mittelwerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant bei $P < 0,05$; Ø = Mittelwert; * = signifikanter Unterschied bei $P < 0,05$; n = Anzahl der Werte

8.5 Redoxpotential, Witterung, Klima

Tab. 31: Redoxpotential (E₇), Einzelmesswerte; gesamte Messperiode 13.06. – 17.09.2003; Mittel aus je fünf Wiederholungen; Angaben in mV; Schläge zeitlich nach Einbaudatum geordnet; B = "Befall", S = "Stillstand", G = "Gesund"

Ablesung		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Fläche; Krankheits- bild	Messtiefe [cm]	13.06.03	15.06.03	17.06.03	25.06.03	02.07.03	08.07.03	15.07.03	22.07.03	30.07.03	05.08.03	13.08.03	20.08.03	27.08.03	03.09.03	10.09.03	17.09.03	Ø	Std .abw.
	AP4I B	5	456	474	488	482	510	522	538	489	478	533	528	526	560	500	626	545	516
10		395	388	437	541	464	541	492	508	495	517	457	437	587	516	540	525	490	56
20		360	427	476	521	528	600	500	584	504	523	519	487	577	530	550	538	514	59
30		433	433	434	511	520	545	500	573	517	510	493	485	567	514	545	552	508	45
Ø		411	431	459	514	506	552	508	539	499	521	499	484	573	515	565	540	507	45
AP4I G	5	477	463	524	514	502	559	546	593	521	531	487	539	611	560	552	522	531	40
	10	379	425	438	452	479	467	488	516	528	518	469	514	587	546	497	523	489	51
	20	369	408	476	468	487	513	536	463	493	481	487	516	610	586	549	513	497	59
	30	424	479	525	524	559	562	564	551	531	558	516	548	597	578	565	572	541	42
	Ø	412	444	491	490	507	525	534	531	518	522	490	529	601	568	541	533	515	44
LH3I B	5				428	440	572	468	486	468	488	526	536	594	573	473	508	505	52
	10				455	399	512	481	422	496	410	436	378	563	465	475	446	457	50
	20				489	486	563	538	495	515	484	466	432	516	506	473	472	495	34
	30				435	468	544	594	480	471	509	459	451	536	517	496	461	494	45
	Ø				452	448	548	520	471	488	473	472	449	552	515	479	472	488	35
LH3I G	5				495	497	589	534	464	436	457	474	413	587	523	513	498	498	52
	10				474	493	506	486	516	479	484	464	400	550	499	455	522	487	36
	20				502	524	595	537	550	515	472	462	456	493	509	556	541	516	40
	30				535	525	565	574	528	489	504	517	469	561	475	465	561	521	38
	Ø				502	510	564	533	515	480	479	479	435	548	502	497	531	506	34
AB4I B	5						559	493	562	542	530	550	391	657	606	585	578	550	68
	10						534	475	515	547	528	521	421	591	576	531	550	526	46
	20						527	502	527	479	467	457	464	614	577	570	551	521	52
	30						581	521	497	534	476	484	454	572	549	580	576	529	46
	Ø						550	498	525	526	500	503	433	609	577	567	564	532	48
AB4I G	5						554	575	539	575	542	595	531	668	597	486	575	567	46
	10						513	483	443	466	452	456	421	654	591	509	562	505	71
	20						519	531	487	486	484	502	409	623	614	574	602	530	67
	30						582	489	535	513	474	529	463	614	600	589	602	545	55
	Ø						542	520	501	510	488	521	456	640	601	540	585	537	53
JW6I B	5						477	524	479	464	473	565	553	571	535	518	516	40	
	10						471	481	486	461	511	582	581	582	584	466	521	55	
	20						455	480	442	458	466	530	539	522	563	522	498	42	
	30						494	502	507	494	462	563	538	498	461	486	501	31	
	Ø						474	497	479	469	478	560	553	543	536	498	509	36	
JW6I G	5						496	492	454	461	467	502	578	506	495	532	498	36	
	10						469	458	481	440	441	481	563	503	471	546	485	41	
	20						482	421	472	435	430	475	520	473	510	581	480	48	
	30						519	434	462	455	422	492	538	498	509	541	487	42	
	Ø						492	451	467	448	440	488	550	495	496	550	488	39	
Gesamt- Ø		412	437	475	489	493	547	510	504	496	488	485	479	578	539	528	534		

Ø = Mittelwert der vier Tiefen

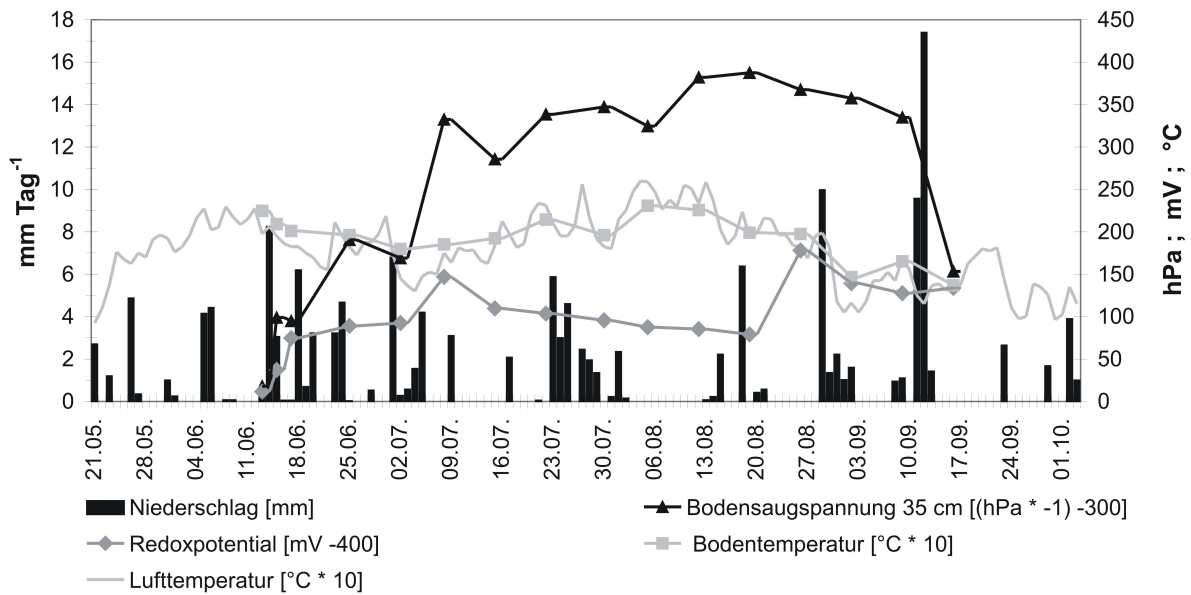


Abb. 25: Verlauf von Niederschlagsmenge, Bodensaugspannung, Redoxpotential, Bodentemperatur und Lufttemperatur vom 21.05. – 03.10.2003 im Mittel aller Messflächen; Messwerte transformiert zur besseren Vergleichbarkeit: Saugspannung als positive Werte dargestellt und linear um 300 hPa verringert, Redoxpotential linear um 400 mV verringert, Temperaturen mit 10 multipliziert

Tab. 32: Definition des Cfb-Klimas nach KÖPPEN u. GEIGER (1961)

Buchstabe	Definition nach KÖPPEN u. GEIGER	Bemerkung
C	warmgemäßigtes Klima, kältester Monat zwischen +18 und –3 °C	Vorkommen weltweit: z.B. Mitteleuropa, Osten der USA, Ostchina
f	alle Monate ausreichende Niederschläge	keine Trockenphasen, Niederschläge über der realen Verdunstung
b	wärmster Monat unter +22 °C, mindestens 4 Monate mit Monatsmitteltemperatur > +10 °C	relativ kühle Sommer, relativ lange Vegetationszeit

8.6 Texturanalyse und Karbonatgehalt

Tab. 33: Textur bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003, Einzelmesswerte; 30 = 0 – 30 cm Tiefe, 60 = 30 – 60 cm Tiefe: a = oberer, 2. Horizont; b = unterer, 3. Horizont; Schläge zeitlich nach Beprobungsdatum geordnet; Analysen der Arbeitsgruppe von Dr. P. CAPRIEL; n = Anzahl Werte; ffS = feiner Feinsand; grau unterlegt: 2002

"Befall"	Angaben in %	Ton	Fein-schluff	Mittel-schluff	Grob-schluff	Gesamt-schluff	ffS	Fein-sand	Mittel-sand	Grob-sand	Gesamt-sand
Probe:	mm	< 0,002	0,002-0,0	0,006-0,0	0,02-0,1	0,002-0,1	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,6	0,6-2,0	0,06-2,0
	Klasse										
AP7I B 30	Ut4	20,4	12,1	15,1	48,2	75,4	2,9	0,7	0,4	0,2	4,2
AP7II B 30	Ut4	18,9	7,7	18,3	51,5	77,4	2,7	0,5	0,3	0,2	3,7
AP7III B 30	Ut4	17,7	10,9	19,1	48,0	78,0	3,2	0,5	0,4	0,2	4,4
MK4I B 30	Ut4	21,4	1,1	16,6	56,0	73,7	3,4	0,8	0,4	0,2	4,9
MK4II B 30	Ut4	20,8	1,5	17,8	55,4	74,8	3,1	0,7	0,5	0,1	4,4
MK4III B 30	Ut4	20,7	0,1	17,6	56,5	74,2	3,4	0,8	0,6	0,3	5,1
JF1I B 30	Ut4	24,0	6,9	20,5	43,4	70,8	3,1	0,7	0,9	0,4	5,2
JF1II B 30	Ut4	23,0	6,6	21,3	43,6	71,4	3,0	0,8	1,0	0,7	5,5
JF1III B 30	Ut4	23,4	6,5	19,4	45,2	71,1	3,3	0,8	0,8	0,5	5,4
LH5I B 30	Ut4	17,3	11,7	19,8	44,2	75,8	3,4	1,6	1,7	0,2	6,9
LH5II B 30	Ut4	17,9	10,6	18,7	45,1	74,4	3,5	2,0	2,2	0,1	7,7
LH5III B 30	Ut3	16,2	11,4	20,5	45,1	77,0	3,6	1,6	1,5	0,1	6,9
JW1I B 30	Lu	23,9	8,3	21,8	20,7	50,8	11,3	8,1	5,3	0,6	25,3
JW1II B 30	Lu	27,1	3,4	21,4	27,9	52,7	9,1	6,4	3,8	0,9	20,2
JW1III B 30	Lu	26,8	0,0	19,9	39,1	59,0	7,5	4,0	1,9	0,7	14,2
AB3I B 30	Tu4	28,4	6,2	18,9	41,8	66,9	3,1	0,8	0,6	0,2	4,7
FA3I B 30	Ut4	17,2	7,7	23,6	47,1	78,3	1,8	0,7	1,2	0,7	4,5
HM4I B 30	Ls3	17,9	5,0	12,6	16,1	33,6	10,2	22,0	16,0	0,3	48,4
HM7I B 30	Ut4	21,8	5,6	20,2	47,1	72,9	3,1	1,0	1,0	0,2	5,3
HM8I B 30	Ut3	16,3	7,9	21,2	49,7	78,8	3,0	0,8	0,6	0,4	4,8
LH15I B 30	Ls2	21,6	8,9	13,1	18,1	40,1	11,2	21,6	5,4	0,2	38,4
NN2I B 30	Ut4	19,9	4,7	21,2	48,2	74,1	3,9	1,0	0,8	0,2	6,0
NN4I B 30	Ut4	21,6	1,8	20,9	50,6	73,4	3,0	1,1	0,8	0,1	5,0
NN6I B 30	Ut4	23,4	3,1	9,9	59,2	72,1	1,9	0,9	1,1	0,5	4,5
NN7I B 30	Ut4	21,3	1,8	20,7	50,0	72,5	2,9	1,2	1,4	0,6	6,2
NN8I B 30	Lu	20,2	5,9	20,1	35,9	61,9	8,7	6,5	1,9	0,8	18,0
NN9I B 30	Ut4	23,2	11,5	24,9	30,7	67,1	5,8	2,6	1,0	0,3	9,6
NN10I B 30	Ut4	20,8	6,5	19,6	48,9	74,9	2,9	0,6	0,6	0,2	4,3
AP4I B, 30	Tu4	25,1	6,0	16,6	42,5	65,1	4,8	2,1	1,8	1,0	9,8
AP4I B, 60a	Ut3	16,7	6,3	19,7	47,8	73,8	5,6	2,1	1,4	0,5	9,5
AP4I B, 60b	Ut3	12,5	5,8	24,1	50,1	79,9	4,6	1,4	1,1	0,5	7,5
LH3I B, 30	Tu2	54,6	23,3	14,6	3,1	40,9	1,7	1,3	1,2	0,4	4,5
LH3I B, 60	Tu3	34,9	26,7	25,5	11,9	64,2	0,3	0,2	0,3	0,1	0,9
LH3I G, 30	Tu2	52,8	21,2	13,8	7,9	42,8	1,6	1,3	1,0	0,5	4,4
LH3I G, 60a	Tu3	38,9	29,2	26,6	4,2	60,0	0,3	0,3	0,3	0,1	1,1
LH3I G, 60b	Tu3	43,5	26,8	24,0	4,9	55,7	0,3	0,2	0,2	0,1	0,9
LH3II B, 30	Tu2	56,7	21,8	15,4	2,0	39,2	1,7	1,4	0,9	0,1	4,1
LH3II B, 60	Tu3	38,2	28,9	26,1	5,5	60,5	0,3	0,4	0,5	0,1	1,4
LH3II G, 30	Tu2	52,3	19,9	13,2	10,3	43,4	1,6	1,3	1,0	0,5	4,3
LH3II G, 60	Tu3	39,0	28,5	28,1	3,8	60,3	0,2	0,1	0,3	0,0	0,6

Fortsetzung Tab. 33, "Befall":

AB4III G, 30	Ut4	20,5	6,3	22,0	46,0	74,4	3,3	0,9	0,6	0,2	5,1
AB4III G, 60a	Tu4	28,9	8,7	21,1	36,9	66,8	2,3	0,9	0,9	0,2	4,3
AB4III G, 60b	Tu3	34,4	7,1	20,4	34,5	62,1	2,6	0,7	0,2	0,1	3,6
AB4IV B, 30	Ut4	21,2	6,4	19,6	46,8	72,8	3,6	1,1	0,9	0,4	6,0
AB4IV B, 60a	Ut4	21,4	9,7	23,0	38,6	71,3	2,5	1,1	1,9	1,9	7,3
AB4IV B, 60b	Lu	27,0	9,5	22,3	32,8	64,6	3,4	1,1	1,7	2,3	8,5
AB4V B, 30	Ut4	20,0	7,8	19,5	45,7	73,0	5,4	0,9	0,6	0,1	7,0
AB4V B, 60	Ut3	16,6	6,5	22,8	48,0	77,3	4,3	0,8	0,6	0,5	6,1
JW6I G, 30	Lu	22,1	9,6	20,0	31,7	61,3	7,8	4,1	3,5	1,1	16,5
JW6I G, 60a	Tu2	46,6	19,1	17,9	4,2	41,2	1,8	4,5	3,1	2,8	12,2
JW6I G, 60b	Ut3	13,9	24,3	36,8	10,9	71,9	3,2	5,0	5,5	0,4	14,2
JW6II B, 30	Ut4	24,8	6,4	23,3	41,0	70,8	1,7	1,0	1,1	0,7	4,5
JW6II B, 60a	Tu3	36,9	20,2	23,3	11,8	55,3	2,3	2,9	2,3	0,2	7,8
JW6II B, 60b	Tu3	37,8	25,7	24,4	10,2	60,3	0,3	0,8	0,8	0,0	1,9
JW6III B, 30	Ut4	23,7	7,0	25,3	39,4	71,7	1,9	0,8	1,3	0,6	4,6
JW6III B, 60	Ut4	23,8	22,0	34,1	12,4	68,6	2,8	3,2	1,1	0,4	7,6
JW6IV B, 30	Ut4	19,0	7,3	20,0	44,4	71,6	4,4	1,4	1,4	2,2	9,4
JW6IV B, 60a	Tu4	28,8	10,9	24,5	32,4	67,8	2,1	0,6	0,6	0,2	3,4
JW6IV B, 60b	Tu3	35,1	9,2	21,5	31,0	61,8	2,0	0,7	0,4	0,0	3,1
HM10II B, 30	Ut4	22,3	7,7	22,1	43,6	73,4	2,5	0,8	0,8	0,2	4,3
HM10II B, 60	Tu3	37,0	7,9	19,2	33,6	60,7	1,7	0,3	0,2	0,0	2,3
JF2I B, 30	Ut4	21,1	8,7	20,5	45,9	75,1	2,6	0,5	0,4	0,2	3,8
JF2I B, 60a	Tu3	38,1	6,2	24,4	28,6	59,2	2,3	0,3	0,1	0,0	2,7
JF2I B, 60b	Tu4	26,1	6,7	20,8	43,6	71,1	2,5	0,3	0,0	0,0	2,8
JF2II B, 30	Ut4	23,2	7,3	20,0	44,5	71,8	3,5	0,8	0,6	0,2	5,1
JF2II B, 60	Tu3	35,6	7,5	19,6	34,7	61,8	2,2	0,3	0,1	0,0	2,6
JF2III B, 30	Ut4	19,7	6,2	20,0	44,8	71,0	4,0	2,1	2,6	0,6	9,3
JF2III B, 60	Sl4	15,0	3,0	8,4	16,2	27,5	14,2	19,5	22,5	1,3	57,5
HM6I B, 30	Ut4	23,6	7,5	22,1	43,1	72,6	1,7	0,7	0,7	0,6	3,8
HM6I B, 60	Tu3	35,9	9,2	22,4	30,5	62,2	1,2	0,3	0,3	0,1	1,9
FA4II B, 30	Lu	19,4	12,5	20,3	30,6	63,4	7,8	4,8	3,8	0,8	17,2
FA4II B, 60	Tu3	35,9	9,2	25,5	26,6	61,3	1,4	0,6	0,6	0,2	2,8
LH1II B, 30	Tu3	32,6	23,6	33,2	7,4	64,2	1,7	1,0	0,5	0,0	3,2
LH1II B, 60a	Tu4	29,3	29,6	30,6	5,6	65,9	2,0	1,2	1,4	0,2	4,8
LH1II B, 60b	Tu3	36,7	26,1	29,1	6,4	61,6	0,4	0,7	0,7	0,0	1,7
JO1I B, 30	Tu3	30,6	10,5	18,4	28,0	57,0	5,3	3,6	2,7	0,8	12,4
JO1I B, 60	Tu3	34,4	6,4	17,8	34,2	58,4	4,2	1,3	0,9	0,8	7,2
JO1II B, 30	Lu	19,9	7,9	18,6	37,5	64,1	7,4	3,9	2,6	1,0	15,0
JO1II B, 60	Tu3	30,1	5,8	21,7	34,6	62,0	5,1	1,2	0,9	0,8	7,9
AR1I B, 30	Ut4	21,2	9,4	23,0	40,8	73,2	3,0	1,3	1,0	0,3	5,6
AR1I B, 60	Tu4	28,5	9,3	22,0	35,8	67,0	2,3	1,0	1,0	0,3	4,5
AR1II B, 30	Ut4	22,8	7,5	23,2	41,3	72,0	3,0	1,1	0,9	0,2	5,2
AR1II B, 60a	Ut4	20,4	11,9	24,7	37,5	74,0	2,6	1,1	1,2	0,7	5,6
AR1II B, 60b	Tu3	33,0	11,6	25,4	25,4	62,5	2,6	1,0	0,7	0,2	4,5
NN11I B, 30	Ut4	18,0	7,1	21,9	47,2	76,2	3,7	1,2	0,9	0,0	5,8
NN11I B, 60a	Ut4	20,9	10,1	23,3	41,2	74,6	2,5	1,0	0,9	0,1	4,5
NN11I B, 60b	Tu4	29,9	8,8	22,3	35,2	66,3	2,4	0,7	0,6	0,1	3,8
NN11II B, 30	Ut4	18,3	6,4	21,6	48,2	76,2	3,6	1,1	0,8	0,1	5,5
NN11II B, 60	Tu4	25,4	9,7	24,9	35,3	69,8	2,8	1,0	0,9	0,1	4,8
NN12I B, 30	Ut4	22,3	7,7	24,1	40,6	72,4	2,7	1,2	1,2	0,2	5,3
NN12I B, 60	Tu4	26,1	9,7	23,7	36,1	69,5	2,2	0,9	0,9	0,4	4,4
NN12II B, 30	Ut4	23,1	8,5	23,5	39,9	72,0	2,4	1,0	1,1	0,4	4,9
NN12II B, 60	Ut4	24,9	10,2	24,2	35,7	70,1	2,2	0,9	1,3	0,6	5,0

Fortsetzung Tab. 33, "Befall":

"Befall"	Mittelwert	26,5	10,5	21,4	34,0	66,0	3,4	2,1	1,6	0,4	7,6
	Median	23,4	7,9	21,2	37,5	69,8	2,9	1,0	0,9	0,2	5,0
	Std. abw.	9,3	7,3	4,5	15,3	10,7	2,5	3,8	2,9	0,5	8,7
	Maximum	56,7	29,6	36,8	59,2	79,9	14,2	22,0	22,5	2,8	57,5
	Minimum	12,5	0,0	8,4	2,0	27,5	0,2	0,1	0,0	0,0	0,6
	n	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93

Fortsetzung Tab. 33, "Gesund":

"Gesund"	Angaben in %	Ton	Fein- schluff	Mittel- schluff	Grob- schluff	Gesamt- schluff	ffS	Fein- sand	Mittel- sand	Grob- sand	Gesamt- sand
	mm	< 0,002	0,002- 0,0	0,006- 0,0	0,02- 0,1	0,002- 0,1	0,06- 0,1	0,1- 0,2	0,2- 0,6	0,6- 2,0	0,06- 2,0
Probe:	Klasse										
AP7I G 30	Ut4	18,2	7,8	22,2	47,9	77,8	2,8	0,7	0,3	0,1	3,9
AP7II G 30	Ut4	17,3	7,1	21,7	49,6	78,5	3,1	0,7	0,3	0,1	4,3
AP7III G 30	Ut4	17,6	7,2	21,6	49,4	78,1	3,2	0,6	0,3	0,1	4,3
MK4I G 30	Ut4	17,9	4,6	17,9	54,5	77,1	3,4	0,8	0,6	0,2	5,1
MK4II G 30	Ut3	16,8	4,9	17,6	55,6	78,0	3,7	0,8	0,5	0,1	5,2
MK4III G 30	Ut3	14,3	4,6	17,7	58,1	80,3	3,9	0,8	0,5	0,2	5,4
JF1I G 30	Ut4	18,7	6,5	20,6	48,5	75,7	3,5	0,7	0,8	0,5	5,6
JF1II G 30	Ut4	19,4	5,0	21,6	48,7	75,4	3,0	0,7	0,9	0,6	5,2
JF1III G 30	Ut4	19,2	6,2	20,6	49,0	75,9	3,0	0,8	0,7	0,4	5,0
LH5I G 30	Ut4	20,5	7,5	19,5	44,7	71,7	4,0	1,8	1,8	0,1	7,8
LH5II G 30	Ut4	19,6	6,9	19,4	46,0	72,3	3,9	1,9	2,0	0,2	8,1
LH5III G 30	Ut4	19,1	7,3	21,6	45,0	73,9	3,4	1,6	1,8	0,3	7,1
JW1I G 30	Lu	21,0	5,3	11,0	36,4	52,6	12,2	9,0	4,8	0,4	26,4
JW1II G 30	Lu	25,2	5,2	12,6	35,3	53,0	9,8	6,9	4,3	0,6	21,8
JW1III G 30	Lu	22,2	5,6	16,8	39,9	62,3	8,8	4,1	1,8	0,6	15,4
AB3I G 30	Ut4	23,9	6,3	20,1	45,4	71,7	3,0	0,6	0,6	0,1	4,4
FA3I G 30	Ut3	15,8	8,3	24,6	46,7	79,6	2,2	0,7	1,0	0,7	4,6
HM4I G 30	Sl4	12,9	4,4	12,9	21,9	39,2	10,8	22,8	14,2	0,1	47,8
HM7I G 30	Ut4	19,9	6,6	20,7	47,8	75,1	3,1	0,9	0,8	0,1	5,0
HM8I G 30	Ut4	18,0	7,4	22,8	47,2	77,4	3,0	0,7	0,6	0,2	4,6
JF6I G 30	Ut4	23,2	4,9	17,9	47,7	70,5	3,7	1,1	1,2	0,3	6,3
LH15I G 30	Ls2	23,5	9,2	14,1	20,0	43,3	10,1	16,5	6,4	0,2	33,1
LH16I G 30	Lu	29,9	14,2	27,4	21,6	63,2	3,3	2,4	1,0	0,2	6,9
NN2I G 30	Ut4	18,2	6,6	19,3	50,7	76,6	3,4	0,7	0,8	0,3	5,2
NN4I G 30	Ut4	19,1	6,4	21,5	46,9	74,8	3,9	1,1	0,9	0,1	6,1
NN6I G 30	Ut4	23,7	6,4	22,4	43,0	71,8	2,2	0,8	0,8	0,7	4,5
NN7I G 30	Ut4	20,7	7,8	20,9	44,0	72,6	3,3	1,3	1,4	0,6	6,7
NN8I G 30	Lu	21,3	5,5	18,1	35,5	59,2	5,2	10,1	3,1	1,0	19,4
NN9I G 30	Ut4	22,5	11,3	24,7	31,3	67,3	4,8	4,2	0,9	0,3	10,2
NN10I G 30	Ut4	22,2	6,5	20,1	47,1	73,7	2,7	0,6	0,6	0,1	4,0
AP4I G, 30	Ut4	21,7	5,6	15,6	47,4	68,6	5,4	2,2	1,5	0,7	9,7
AP4I G, 60	Ut3	12,1	6,2	22,1	52,3	80,6	4,1	1,4	1,3	0,4	7,3
AP4II G, 30	Lu	27,4	5,7	17,7	40,9	64,3	4,1	1,5	1,7	1,0	8,3
AP4II G, 60	Ut3	14,2	5,2	21,1	53,1	79,4	4,5	0,8	0,6	0,6	6,4
AB4IV G, 30	Ut4	19,7	7,3	19,5	48,0	74,7	3,3	1,0	0,9	0,4	5,6
AB4IV G, 60a	Ut4	21,1	9,8	22,4	40,2	72,4	2,6	1,0	1,5	1,3	6,5
AB4IV G, 60b	Tu4	27,3	9,6	23,2	32,8	65,5	3,2	1,2	1,5	1,3	7,2
AB4V G, 30	Ut4	19,6	6,9	20,2	48,6	75,6	3,1	0,8	0,7	0,2	4,8
AB4V G, 60	Ut4	17,5	4,8	18,6	54,6	77,9	3,1	0,7	0,5	0,3	4,6

Fortsetzung Tab. 33, "Gesund":

JW6II G, 30	Ut4	23,3	6,9	24,1	41,2	72,2	1,9	0,9	1,2	0,6	4,5
JW6II G, 60a	Tu3	30,6	20,3	28,0	12,7	61,0	3,1	3,4	2,0	0,0	8,4
JW6II G, 60b	Tu2	45,7	27,4	22,1	4,3	53,8	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5
JW6III G, 30	Ut4	18,7	6,9	20,0	44,8	71,7	4,3	1,4	1,5	2,3	9,6
JW6III G, 60	Ut4	22,0	21,6	33,2	13,7	68,6	3,8	4,3	1,1	0,2	9,4
JW6IV G, 30	Ut4	19,7	6,3	18,5	47,6	72,4	4,0	1,3	1,1	1,6	7,9
JW6IV G, 60a	Ut4	17,2	17,3	31,0	22,9	71,2	3,8	3,5	3,3	1,0	11,6
JW6IV G, 60b	Uls	15,8	20,7	28,5	14,4	63,7	6,0	8,3	5,8	0,4	20,5
HM10I G, 30	Ut4	20,9	7,7	23,7	43,3	74,8	2,5	0,8	0,8	0,3	4,3
HM10I G, 60a	Tu4	28,7	10,0	24,4	33,1	67,5	1,9	0,8	0,7	0,3	3,8
HM10I G, 60b	Tu3	34,4	9,0	20,5	33,2	62,6	1,8	0,6	0,5	0,0	3,0
HM10II G, 30	Ut4	22,1	7,8	21,4	44,8	73,9	2,3	0,7	0,7	0,3	3,9
HM10II G, 60	Tu3	34,6	8,6	21,0	33,0	62,5	1,9	0,5	0,3	0,1	2,9
LH9I G, 30	Ut4	19,5	7,3	22,5	45,7	75,5	3,0	0,9	0,9	0,3	5,0
LH9I G, 60	Tu3	35,8	8,0	19,1	34,4	61,5	2,0	0,3	0,2	0,2	2,7
JF2I G, 30	Ut4	22,5	8,3	20,9	44,3	73,5	2,9	0,5	0,3	0,2	4,0
JF2I G, 60a	Ut4	21,9	6,4	21,3	47,5	75,3	2,3	0,3	0,1	0,0	2,8
JF2I G, 60b	Tu3	33,8	7,4	20,3	35,5	63,2	2,2	0,4	0,2	0,1	3,0
JF2II G, 30	Tu4	25,6	7,1	19,2	42,6	68,8	3,9	0,8	0,6	0,3	5,6
JF2II G, 60	Tu4	30,2	7,9	20,5	38,8	67,2	2,2	0,3	0,1	0,0	2,6
JF2III G, 30	Ut4	19,5	7,5	20,8	44,9	73,2	3,8	1,4	1,5	0,6	7,2
JF2III G, 60	Ut4	17,5	6,9	24,0	43,8	74,6	3,3	1,7	1,9	1,1	7,9
HM6I G, 30	Ut4	24,1	7,8	22,6	42,0	72,4	1,6	0,8	0,6	0,5	3,6
HM6I G, 60	Tu3	35,5	8,5	23,5	30,7	62,8	1,1	0,3	0,2	0,1	1,7
FA4I G, 30	Lu	21,6	12,2	19,4	31,4	63,0	6,8	4,2	3,4	1,0	15,4
FA4I G, 60	Tu3	33,6	9,1	24,3	30,9	64,3	1,2	0,5	0,3	0,0	2,1
FA4II G, 30	Tu3	30,9	9,6	18,5	28,9	57,1	4,8	3,5	3,1	0,7	12,0
FA4II G, 60	Tu3	37,9	9,6	22,0	28,8	60,4	1,0	0,3	0,3	0,1	1,7
LH1I G, 30	Lu	17,2	11,3	20,2	25,3	56,8	13,6	11,5	0,8	0,1	26,0
LH1I G, 60a	Slu	11,7	6,4	12,8	22,7	41,9	20,7	24,0	1,7	0,0	46,4
LH1I G, 60b	Uls	15,8	9,7	17,8	23,4	50,9	14,8	16,6	1,7	0,1	33,3
LH1II G, 30	Tu3	32,9	23,3	32,6	8,3	64,1	1,5	0,9	0,6	0,1	3,0
LH1II G, 60a	Ut4	23,9	23,0	32,5	17,0	72,5	2,1	0,8	0,6	0,1	3,6
LH1II G, 60b	Tu3	41,3	26,4	24,6	6,1	57,2	0,3	0,4	0,5	0,2	1,5
JO1I G, 30	Lu	22,8	9,6	17,7	33,8	61,1	6,9	4,5	3,6	1,1	16,1
JO1I G, 60	Lu	28,7	7,4	18,4	38,0	63,9	3,8	1,1	1,3	1,2	7,4
JO1II G, 30	Ut4	21,9	7,4	20,2	42,6	70,2	3,9	1,5	1,1	1,5	7,9
JO1II G, 60	Tu3	31,5	8,1	15,5	37,4	60,9	4,7	1,2	0,9	0,6	7,4
AR1I G, 30	Ut4	20,5	9,3	22,4	42,5	74,2	2,9	1,3	0,9	0,3	5,3
AR1I G, 60 a	Ut4	21,5	11,5	25,6	36,0	73,0	2,3	1,4	1,2	0,5	5,5
AR1I G, 60b	Tu3	31,0	9,1	20,8	34,7	64,6	2,5	0,8	0,8	0,3	4,4
AR1II G, 30	Ut4	21,0	9,1	22,6	41,7	73,4	3,1	1,3	0,9	0,3	5,6
AR1II G, 60a	Ut4	22,4	11,0	25,4	36,2	72,6	2,2	1,1	1,2	0,4	5,0
AR1II G, 60b	Tu3	35,0	9,3	20,2	31,6	61,1	2,5	0,9	0,6	0,0	4,0
NN11I G, 30	Ut4	18,4	6,9	22,2	47,2	76,4	3,1	1,1	0,9	0,1	5,2
NN11I G, 60	Tu4	26,1	10,1	21,9	37,7	69,7	2,4	0,9	0,9	0,0	4,2
NN11II G, 30	Ut4	17,2	6,4	21,1	50,1	77,6	3,2	1,1	0,7	0,2	5,2
NN11II G, 60	Ut4	23,2	9,0	23,9	39,8	72,6	2,6	0,9	0,7	0,0	4,2
NN12I G, 30	Ut4	21,5	8,2	23,9	41,3	73,5	2,6	1,1	1,0	0,3	5,0
NN12I G, 60	Ut4	24,9	8,9	25,2	36,1	70,3	2,2	0,8	1,2	0,6	4,8
NN12II G, 30	Ut4	23,0	8,4	23,3	39,7	71,3	3,1	1,2	1,0	0,3	5,7
NN12II G, 60	Tu4	26,4	9,9	23,0	36,1	69,0	2,2	0,9	0,9	0,6	4,6

Fortsetzung Tab. 33, "Gesund":

"Gesund"	Mittelwert	23,1	9,0	21,3	38,3	68,6	3,9	2,5	1,4	0,4	8,2
	Median	21,7	7,7	21,1	41,2	71,7	3,1	0,9	0,9	0,3	5,2
	Std. abw.	6,6	4,7	4,0	11,6	8,6	3,1	4,4	1,8	0,4	8,5
	Maximum	45,7	27,4	33,2	58,1	80,6	20,7	24,0	14,2	2,3	47,8
	Minimum	11,7	4,4	11,0	4,3	39,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
	n	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
Signifikanz im Vergleich "Befall" zu "Gesund"; # = P											
Standortgruppe	Ton	Fein- schluff	Mittel- schluff	Grob- schluff	Gesamt- schluff	ffS	Fein- sand	Mittel- sand	Grob- sand	Gesamt- sand	
alle 0 – 30 cm	0,062	0,49	0,40	0,36	0,17	0,33	0,99	0,72	0,87	0,48	
alle 30 – 60 cm	0,11	0,52	0,26	0,044	0,09	0,42	0,69	0,92	0,94	0,57	
Löß 0 – 30 cm	0,30	0,95	0,24	0,98	0,31	0,67	0,97	0,98	0,46	0,90	
Löß 30 – 60 cm	0,73	0,79	0,69	0,17	0,22	0,38	0,49	0,63	0,65	0,48	
Auen 0 – 30 cm	0,075	0,35	0,81	0,12	0,23	0,33	0,27	0,98	0,65	0,29	
Auen 30 – 60 cm	0,060	0,36	0,67	0,060	0,70	0,042	0,060	0,15	0,36	0,08	

Tab. 34: Karbonat-C-Gehalte bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003, Einzelmesswerte; Angaben in mg C g Boden⁻¹; Oberböden (Ap-Horizonte) und Unterbodenhorizonte bis 60 cm Tiefe; Analysen der Arbeitsgruppe von Dr. P. CAPRIEL; Schläge zeitlich nach Beprobungsdatum geordnet; **grau unterlegt: 2002**

1. Oberböden 0 - 30 cm 2002 und 2003								
Messfläche	Art	Karb.- C	Messfläche	Art	Karb.- C	Messfläche	Art	Karb.- C
AB3I B	B	0,0	JW1I B	B	8,9	JW6IV B	B	29,4
AB3I G	G	0,0	JW1I G	G	12,1	JW6IV G	G	26,0
JF1I B	B	0,0	JW1II B	B	13,6	HM10I G	G	0,0
JF1I G	G	0,0	JW1II G	G	9,5	HM10II B	B	0,1
JF1II B	B	0,0	JW1III B	B	31,1	HM10II G	G	0,0
JF1II G	G	0,0	JW1III G	G	33,4	LH9I G	G	0,0
JF1III B	B	0,0	NN2I B	B	5,0	JF2I B	B	0,0
JF1III G	G	0,0	NN2I G	G	0,0	JF2I G	G	0,0
JF6I G	G	17,1	NN4I B	B	0,0	JF2II B	B	8,0
HM4I B	B	45,1	NN4I G	G	0,0	JF2II G	G	3,7
HM4I G	G	42,3	NN6I B	B	0,0	JF2III B	B	23,9
HM7I B	B	0,0	NN6I G	G	0,0	JF2III G	G	23,7
HM7I G	G	0,0	NN7I B	B	0,0	HM6I B	B	0,0
HM8I B	B	0,0	NN7I G	G	0,0	HM6I G	G	0,0
HM8I G	G	0,0	NN8I B	B	55,3	FA4I G	G	0,0
LH5I B	B	0,0	NN8I G	G	49,5	FA4II B	B	0,0
LH5I G	G	0,0	NN9I B	B	63,8	FA4II G	G	0,0
LH5II B	B	0,0	NN9I G	G	53,3	LH1I G	G	69,6
LH5II G	G	0,0	NN10I B	B	1,3	LH1II B	B	70,7
LH5III B	B	0,0	NN10I G	G	0,0	LH1II G	G	68,3
LH5III G	G	0,0	AP4I B	B	9,0	JO1I B	B	0,0
LH15I B	B	43,5	AP4I G	G	12,3	JO1I G	G	0,0
LH15I G	G	36,9	AP4II G	G	2,4	JO1II B	B	0,0
LH16I G	G	51,1	LH3I B	B	41,0	JO1II G	G	0,0
FA3I B	B	0,0	LH3I G	B	42,6	AR1I B	B	2,8
FA3I G	G	0,0	LH3II B	B	37,9	AR1I G	G	0,6
MK4I B	B	33,7	LH3II G	B	39,2	AR1II B	B	1,3
MK4I G	G	27,5	AB4III G	B	0,0	AR1II G	G	6,8

Fortsetzung Tab. 34, Oberböden 0 - 30 cm 2002 und 2003:

MK4II B	B	34,1	AB4IV B	B	1,2	NN11I B	B	0,0
MK4II G	G	29,0	AB4IV G	G	1,3	NN11I G	G	0,0
MK4III B	B	38,2	AB4V B	B	26,1	NN11II B	B	0,0
MK4III G	G	37,5	AB4V G	G	23,4	NN11II G	G	0,0
AP7I B	B	0,0	JW6I G	B	35,4	NN12I B	B	0,0
AP7I G	G	0,0	JW6II B	B	36,0	NN12I G	G	0,0
AP7II B	B	0,0	JW6II G	G	38,8	NN12II B	B	0,0
AP7II G	G	0,0	JW6III B	B	18,3	NN12II G	G	0,0
AP7III B	B	0,0	JW6III G	G	21,0			
AP7III G	G	0,0						(Fortsetzung Tab. 34 s. u. !)

Fortsetzung Tab. 34; a, b = Teilung in 2 Horizonte zwischen 30 und 60 cm Tiefe

2. Unterbodenhorizonte 30 - 60 cm 2003								
Messfläche	Art	Karb.-C	Messfläche	Art	Karb.-C	Messfläche	Art	Karb.-C
AP4I B a	B	40,3	JW6IV B a	B	51,0	LH1II B a	B	69,4
AP4I B b	B	47,0	JW6IV B b	B	95,7	LH1II B b	B	45,6
AP4I G	G	47,9	JW6IV G a	G	46,4	LH1II G a	G	76,1
AP4II G	G	46,6	JW6IV G b	G	96,5	LH1II G b	G	41,8
LH3I B	B	74,3	HM10I G a	G	0,0	JO1I B	B	0,0
LH3I G a	B	74,1	HM10I G b	G	0,0	JO1I G	G	0,0
LH3I G b	B	57,6	HM10II B	B	0,1	JO1II B	B	0,0
LH3II B	B	71,8	HM10II G	G	0,0	JO1II G	G	0,0
LH3II G	B	75,2	LH9I G	G	0,0	AR1I B	B	0,0
AB4III G a	B	0,0	JF2I B a	B	0,0	AR1I G a	G	0,7
AB4III G b	B	0,1	JF2I B b	B	6,6	AR1I G b	G	0,0
AB4IV B a	B	0,0	JF2I G a	G	0,3	AR1II B a	B	0,3
AB4IV B b	B	0,0	JF2I G b	G	26,4	AR1II B b	B	2,6
AB4IV G a	G	0,7	JF2II B	B	21,6	AR1II G a	G	0,8
AB4IV G b	G	0,0	JF2II G	G	0,3	AR1II G b	G	0,0
AB4V B	B	43,1	JF2III B	B	26,0	NN11I B a	B	0,0
AB4V G	G	34,9	JF2III G	G	53,9	NN11I B b	B	0,0
JW6I G a	B	15,7	HM6I B	B	1,2	NN11I G	G	0,0
JW6I G b	B	83,1	HM6I G	G	3,7	NN11II B	B	0,0
JW6II B a	B	38,1	FA4I G	G	2,3	NN11II G	G	0,0
JW6II B b	B	5,0	FA4II B	B	0,0	NN12I B	B	0,0
JW6II G a	G	59,0	FA4II G	G	0,0	NN12I G	G	0,0
JW6II G b	G	0,0	LH1I G a	G	73,0	NN12II B	B	0,0
JW6III B	B	85,4	LH1I G b	G	73,5	NN12II G	G	0,0
JW6III G	G	89,9						

8.7 Organische Substanz

Tab. 35: C_{org}-, N_t-Gehalt und C/N-Verhältnis bei "Befall" und "Gesund" 2002 und 2003, Einzelmesswerte; ∅ aus den 1 – 6 Wiederholungen; 30 = 0 – 30 cm Tiefe, 60 = 30 – 60 cm Tiefe; a = oberer, 2. Horizont; b = unterer, 3. Horizont; Analysen der Arbeitsgruppe von Dr. P. CAPRIEL; n = Anzahl Werte; Schläge geordnet nach Beprobungsdatum; grau unterlegt: 2002

"Befall"	C _{org} [mg C g ⁻¹]	N _t [mg N g ⁻¹]	C/N	"Gesund"	C _{org} [mg C g ⁻¹]	N _t [mg N g ⁻¹]	C/N
AP7I B 30	12,1	1,3	9,5	AP7I G 30	12,0	1,3	9,5
AP7II B 30	12,0	1,2	10,0	AP7II G 30	11,8	1,2	9,9
AP7III B 30	11,6	1,2	9,5	AP7III G 30	11,5	1,2	9,4
MK4I B 30	6,8	1,1	6,2	MK4I G 30	11,5	1,1	10,1
MK4II B 30	5,7	1,2	4,7	MK4II G 30	10,4	1,1	9,6
MK4III B 30	7,1	1,1	6,2	MK4III G 30	8,4	1,0	8,4
JF1I B 30	11,2	1,2	9,4	JF1I G 30	12,6	1,3	9,8
JF1II B 30	11,4	1,2	9,1	JF1II G 30	12,2	1,3	9,5
JF1III B 30	12,6	1,3	10,0	JF1III G 30	12,7	1,3	9,8
LH5I B 30	9,8	1,1	9,0	LH5I G 30	10,2	1,1	9,4
LH5II B 30	9,7	1,0	9,3	LH5II G 30	10,2	1,1	9,7
LH5III B 30	9,8	1,0	9,5	LH5III G 30	10,4	1,0	10,3
JW1I B 30	13,4	1,8	7,6	JW1I G 30	11,7	1,7	7,0
JW1II B 30	21,8	2,7	8,1	JW1II G 30	24,6	2,7	9,1
JW1III B 30	19,4	2,6	7,4	JW1III G 30	22,3	2,4	9,3
AB3I B 30	10,4	1,2	8,8	AB3I G 30	11,0	1,2	9,6
FA3I B 30	11,2	1,2	9,1	FA3I G 30	10,4	1,1	9,3
HM4I B 30	9,8	1,5	6,3	HM4I G 30	12,1	1,6	7,7
HM7I B 30	11,4	1,2	9,7	HM7I G 30	12,0	1,2	9,9
HM8I B 30	10,0	1,1	9,5	HM8I G 30	10,1	1,1	9,5
LH15I B 30	13,3	2,7	5,0	JF6I G 30	18,0	1,8	10,0
NN2I B 30	10,2	1,4	7,4	LH15I G 30	23,5	2,9	8,2
NN4I B 30	12,5	1,3	9,7	LH16I G 30	24,9	3,0	8,4
NN6I B 30	13,9	1,5	9,0	NN2I G 30	13,2	1,4	9,7
NN7I B 30	10,9	1,1	9,6	NN4I G 30	12,1	1,3	9,7
NN8I B 30	10,8	1,2	8,7	NN6I G 30	13,5	1,4	9,6
NN9I B 30	12,1	2,3	5,2	NN7I G 30	12,3	1,2	10,1
NN10I B 30	11,9	1,5	8,2	NN8I G 30	13,5	1,4	9,6
AP4I B, 30	15,4	1,6	9,7	NN9I G 30	23,9	2,5	9,5
AP4I B, 60a	4,0	0,3	11,6	NN10I G 30	13,2	1,4	9,5
AP4I B, 60b	2,2	0,2	13,3	AP4I G, 30	14,5	1,5	9,9
LH3I B, 30	46,9	5,1	9,2	AP4I G, 60a	1,8	0,2	8,6
LH3I B, 60	8,3	0,7	12,6	AP4II G, 30	13,8	1,5	9,2
LH3I G, 30	43,7	4,9	8,9	AP4II G, 60	2,2	0,2	9,5
LH3I G, 60a	8,9	0,7	13,1	AB4IV G, 30	13,2	1,4	9,3
LH3I G, 60b	18,1	1,5	12,0	AB4IV G, 60a	10,6	1,0	10,2
LH3II B, 30	46,1	5,1	9,1	AB4IV G, 60b	8,3	0,7	12,8
LH3II B, 60	10,8	0,9	11,9	AB4V G, 30	12,1	1,3	9,2
LH3II G, 30	46,4	5,1	9,0	AB4V G, 60	4,3	0,3	12,6
LH3II G, 60	7,7	0,7	11,0	JW6II G, 30	73,3	7,2	10,2
AB4III G, 30	11,4	1,2	9,3	JW6II G, 60a	171,6	9,8	17,7
AB4III G, 60a	7,0	0,8	9,3	JW6II G, 60b	319,2	16,8	19,0
AB4III G, 60b	4,1	0,6	7,3	JW6III G, 30	94,5	8,4	11,2
AB4IV B, 30	12,7	1,3	9,5	JW6III G, 60	7,6	0,4	17,1
AB4IV B, 60a	9,7	0,8	12,3	JW6IV G, 30	74,2	6,6	11,2

Fortsetzung Tab. 35:

AB4IV B, 60b	9,6	0,7	14,0	JW6IV G, 60a	84,5	7,0	12,1
AB4V B, 30	9,8	1,2	8,1	JW6IV G, 60b	16,7	1,3	13,0
AB4V B, 60	2,9	0,3	11,5	HM10I G, 30	9,6	1,1	9,0
JW6I G, 30	68,0	6,4	10,6	HM10I G, 60a	7,1	0,8	8,7
JW6I G, 60a	255,4	14,8	17,3	HM10I G, 60b	5,8	0,7	8,1
JW6I G, 60b	39,0	2,3	17,2	HM10II G, 30	10,2	1,2	8,6
JW6II B, 30	72,8	7,3	10,0	HM10II G, 60	6,2	0,8	8,0
JW6II B, 60a	207,0	12,0	17,2	LH9I G, 30	11,1	1,2	9,3
JW6II B, 60b	289,2	16,3	17,6	LH9I G, 60	4,7	0,6	7,9
JW6III B, 30	98,7	8,6	11,4	JF2I G, 30	13,8	1,5	9,3
JW6III B, 60	14,6	0,9	16,2	JF2I G, 60a	6,0	0,7	8,9
JW6IV B, 30	99,3	9,2	10,8	JF2I G, 60b	4,1	0,4	10,3
JW6IV B, 60a	80,4	6,5	12,3	JF2II G, 30	13,7	1,4	9,6
JW6IV B, 60b	17,8	1,2	15,3	JF2II G, 60	9,2	0,7	13,5
HM10II B, 30	9,9	1,1	8,9	JF2III G, 30	13,1	1,3	10,0
HM10II B, 60	5,1	0,6	8,1	JF2III G, 60	2,0	0,1	14,3
JF2I B, 30	14,0	1,5	9,3	HM6I G, 30	11,6	1,3	9,1
JF2I B, 60a	6,3	0,7	9,0	HM6I G, 60	5,4	0,7	8,2
JF2I B, 60b	5,1	0,6	9,0	FA4I G, 30	14,3	1,5	9,3
JF2II B, 30	13,6	1,4	9,4	FA4I G, 60	5,5	0,6	8,9
JF2II B, 60	4,1	0,4	9,3	FA4II G, 30	13,0	1,4	9,5
JF2III B, 30	11,9	1,3	9,4	FA4II G, 60	5,4	0,6	8,7
JF2III B, 60	2,7	0,1	19,4	LH1I G, 30	21,9	2,3	9,7
HM6I B, 30	11,4	1,3	8,9	LH1I G, 60a	5,4	0,3	18,1
HM6I B, 60	6,5	0,7	9,3	LH1I G, 60b	3,7	0,4	10,5
FA4II B, 30	13,2	1,4	9,2	LH1II G, 30	24,8	2,6	9,7
FA4II B, 60	6,2	0,7	9,3	LH1II G, 60a	9,6	0,8	12,3
LH1II B, 30	22,0	2,6	8,6	LH1II G, 60b	33,0	3,6	9,2
LH1II B, 60a	13,6	1,6	8,5	JO1I G, 30	12,5	1,2	10,3
LH1II B, 60b	32,8	3,8	8,7	JO1I G, 60	5,2	0,5	9,7
JO1I B, 30	13,5	1,3	10,6	JO1II G, 30	11,7	1,2	9,6
JO1I B, 60	3,6	0,4	8,9	JO1II G, 60	2,9	0,4	7,1
JO1II B, 30	12,0	1,2	9,8	AR1I G, 30	10,2	1,1	9,1
JO1II B, 60	2,9	0,4	7,1	AR1I G, 60a	7,6	0,9	8,7
AR1I B, 30	8,2	1,0	8,2	AR1I G, 60b	5,3	0,7	8,2
AR1I B, 60	6,7	0,9	7,9	AR1II G, 30	7,3	0,8	9,0
AR1II B, 30	9,0	1,0	9,3	AR1II G, 60a	8,5	1,0	8,9
AR1II B, 60a	8,9	1,0	8,7	AR1II G, 60b	6,6	0,8	8,2
AR1II B, 60b	6,9	0,8	8,3	NN11I G, 30	12,2	1,4	9,0
NN11I B, 30	12,1	1,3	9,1	NN11I G, 60	5,8	0,7	7,8
NN11I B, 60a	6,1	0,7	8,5	NN11II G, 30	11,3	1,3	8,6
NN11I B, 60b	5,8	0,6	9,3	NN11II G, 60	5,6	0,6	9,3
NN11II B, 30	11,5	1,3	8,7	NN12I G, 30	11,9	1,3	9,1
NN11II B, 60	5,8	0,7	8,2	NN12I G, 60	7,8	0,8	9,4
NN12I B, 30	11,5	1,3	8,7	NN12II G, 30	11,2	1,4	8,2
NN12I B, 60	6,9	0,8	9,1	NN12II G, 60	6,6	0,8	8,8
NN12II B, 30	9,4	1,1	8,5	Mittelwert	19,3	1,7	9,9
NN12II B, 60	6,8	0,7	9,4	Median	11,5	1,2	9,5
Mittelwert	23,8	2,1	9,8	Std. abw.	39,1	2,3	2,1
Median	11,2	1,2	9,3	Maximum	319,2	16,8	19,0
Std. abw.	46,0	2,9	2,7	Minimum	1,8	0,1	7,0
Maximum	289,2	16,3	19,4	n	91	91	91
Minimum	2,2	0,1	4,7				
n	93	93	93				

Danksagung

Zum Gelingen dieser Arbeit haben viele Beteiligte beigetragen: Prof. Dr. I. KÖGEL-KNABNER als Vorsitzende der Prüfungskommission, Prof. Dr. U. SCHMIDHALTER als Betreuer und Erstgutachter, Prof. Dr. V. ZINKERNAGEL und Prof. Dr. T. STRECK als weitere Gutachter.

Ohne die großzügige Finanzierung durch den Wohlfahrtsfonds der Deutschen Zuckerindustrie e.V., vertreten durch Dir. Dr. K. BÜRCKY, wäre die Arbeit nicht möglich gewesen. ORR R. BRANDHUBER, Dir. Dr. K. BÜRCKY und Prof. Dr. U. SCHMIDHALTER sei für die Initiative zu diesem Projekt, ORR R. BRANDHUBER und nachfolgend LLD R. RIPPEL von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft sei für die Projektleitung und Betreuung der Arbeit besonders gedankt.

W. BOGER und W. HASSELBECK von der Südzuckerfabrik in Plattling waren wichtige Wegweiser und Unterstützer der Feldarbeiten.

Entscheidend beigetragen haben die Landwirte A. BÜECHL, A. PIRKL, A. RENNBERGER, F. APFELBECK, H. MAIDL, J. FRIEDBERGER, J. OBERLEITNER, J. WEIGL, L. HUBER und M. KRÖNINGER, die mir keinerlei Beschränkungen bei meinem Tun auferlegten.

Prof. Dr. H.-P. BLUME, Prof. Dr. K. STAHR, Dr. T. MANSFELDT, Dr. S. FIEDLER, Dr. H. BLASCHKE und Dr. M. ZELLNER gaben jederzeit Rat und Auskunft.

W. BAUER fertigte die Luftbilder immer termingerecht an. Die Bodenanalysen wurden von Dr. P. CAPRIEL von der Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft (Lagerungsdichte, Textur, Carbonatgehalt, organische Substanz) und Dr. M. KLEMISCH von der Bayer. Landesanstalt für Weinbau u. Gartenbau (pH, P, K) durchgeführt. Dr. I. ANDRUSCHKEWITSCH von der Universität Hohenheim fertigte die Dünnschliffe an, Dr. P. BÜTTNER von der Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft übernahm den Labornachweis des Erregers und die quantitative Auswertung der Dünnschliffe, und Dr. K. HEIL vom Lehrstuhl für Pflanzenernährung der TUM übernahm die Durchführung der Diskriminanzanalyse.

J. UNTERHOLZNER, J. KLER, P. HOLLEIS von der Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft, C. SCHÜTZ, S. JUNGERT, J. ESPERSCHÜTZ, F. HUBER, J. PLASS, B. MISTELE, F. WIESCHER und O. WNUCK-LIPINSKI vom Lehrstuhl für Pflanzenernährung der TUM waren unverzichtbare Helfer im Labor und im Feld.

Eine Vielzahl von weiteren Kollegen war beteiligt, insbesondere AN. ILMBERGER, B. DIRSCHERL, H. SCHERZER-GOIS, C. KUGLER, S. WALSER und D. SEIFFERT.

Dr. R. SODTKE, Dr. K. LORENZ und Dr. P. BÜTTNER halfen durch Korrekturlesen, Dr. S. v. TUCHER, C. STADLER, Dr. H. HEUWINKEL, Dr. A. KHALVATI und M. HELMERT waren immer mit Auskünften zur Stelle. Allen anderen Personen, die in dieser Auflistung vergessen wurden und dennoch mitgeholfen haben, sei hier Dank gesagt.

Bei meiner Familie möchte ich mich für die allzeitige finanzielle Unterstützung bedanken.

Lebenslauf

Name, Vorname: KÜHN , Jürgen
geboren: am 23.09.1965 in Rottweil / Deutschland
Familienstand: geschieden seit 08.03.2000
Kind: Michelle, geboren am 06.12.1997 in Rottweil
Mutter: Erika KÜHN, geb. HIRT, geboren am 12.07.1941
Vater: Hans-Georg, geboren am 14.05.1936, verstorben am 24.12.1976
Geschwister: Edmund, geboren am 30.06.1964

Schulbildung: * Grundschule, 1971 - 1975
* Leibniz-Gymnasium Rottweil, 1975 - 1984

Berufsbildung: * Kreissparkasse Rottweil, September 1984 - Januar 1987,
Abschluss mit Kaufmannsgehilfenprüfung zum Bankkaufmann

Wehrdienst: * Graf-Stauffenberg-Kaserne Sigmaringen, April 1987 - April 1988

Berufstätigkeit: * Kreissparkasse Rottweil, Mai 1988 - September 1988

Studium der Geographie (Diplom):

Universität Stuttgart, Oktober 1988 - März 1992, 1. - 6. Fachsemester;

* Geographie, *Nebenfächer* „Geologie“, „Volkswirtschaftslehre“, *freiwilliges Zusatzfach* „Bodenkunde“

Universität Tübingen, April 1992 - August 1994, 7. - 11. Fachsemester;

* *erstes Hauptfach* „Physische Geographie“, *zweites Hauptfach* „Anthropogeographie“, *Nebenfach* „Bodenkunde“, *freiwilliges Zusatzfach* „Landeskultur und Pflanzenökologie“

* *Diplomarbeit* als Kooperation zwischen Geographischem Institut der Universität Tübingen und Institut für Bodenkunde und Standortslehre der Universität Hohenheim, Thema und Arbeitsgebiet im Alentejo in Portugal

Berufstätigkeit: * Amt für Landwirtschaft, Landschafts- u. Bodenkultur Nürtingen, Nov. 1994 - Dez. 1994
* Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortslehre, und Regierungspräsidium Stuttgart, Februar 1995 - April 1997
* Ökologiezentrum der Universität Kiel April 1996 - Februar 1997
* Fa. Koch-Transport GmbH, Villingen, Mai 1997 - Januar 1998
* Firma Steinwandel GmbH, Rottweil, Februar 1998 - Mai 1998
* Firma A.I.T. GmbH, Alpirsbach, August 1998 - November 1998
* Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF e.V.), Müncheberg, August 1999 - Dezember 2001
* Technische Universität München, Lehrstuhl für Pflanzenernährung, und Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz seit Januar 2002