Schaderreger im Wurzelraum von Reben (*Vitis* spp.) - Vorkommen, Wirkung, Interaktionen - und Möglichkeiten zu deren Kontrolle durch Maßnahmen des Integrated Pest Management (IPM)

Dissertation
zur Erlangung des Grades
Doktor der Naturwissenschaften

Am Fachbereich Biologie
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz

Lars Huber
geboren am 04.06.1972 in Heidenheim an der Brenz

Mainz, den 05.03.2007

Tag der mündlichen Prüfung: 02. Oktober 2007

I	**VERZEICHNIS DER TABELLEN, ABBILDUNGEN UND TAFELN**	V
II	**ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**	XIII
1	**EINLEITUNG**	1
1.1	Mikroorganismen als Schädlinge im Weinbau	1
1.2	Insekten, insbesondere die Reblaus, als Schädlinge im Weinbau	5
1.3	Kontrolle bodenbürtiger Phytopathogene im Rahmen des Integrated Pest Management	7
1.4	Hintergrund und Ziel der Untersuchungen	11
2	**MATERIAL UND METHODEN**	16
2.1	Allgemeine Untersuchungsmethoden	16
2.1.1	Bodenphysikalische und bodenbiologische Untersuchungsmethoden	16
2.1.2	Bodenmikrobiologische Untersuchungsmethoden	18
2.1.3	Bodenzoologische Untersuchungsmethoden	20
2.1.4	Mikroskopische Untersuchungsmethoden	22
2.1.5	Weinbauliche Untersuchungsmethoden	23
2.1.6	Statistische Auswertung	24
2.2	Biologie von *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch	26
2.3	Bodenbiologische Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten in Rebanlagen mit Reblausbefall	26
2.3.1	Freilandversuche	26
2.3.1.1	Kennzeichnung der Versuchsflächen und -varianten, der Probennahmebereiche und der untersuchten Mikrokompartimente	27
2.3.1.2	Geographische Lage, Bodeneigenschaften und Bewirtschaftung der Versuchsflächen	29
2.3.1.3	Klima der Untersuchungsstandorte	34
2.3.1.4	Versuchsaufbau und Probennahme	38
2.3.1.5	Ökologische Bewertung identifizierter Pilzarten	42
2.3.2	Gewächshausversuch zur Pathogenkonduktivität und -suppressivität der Böden der Versuchsflächen	44

2.4	Morphologie und Ökologie von *Sorosphaera viticola* Kirchmair, Neuhauser, Huber	46
2.4.1	Morphologie	47
2.4.2	Geographische Verbreitung und Wirtsspektrum innerhalb der Gattung *Vitis*	48
2.4.3	Häufigkeit und Verteilung in Pfropfrebenanlagen	48
2.5	Biologische Kontrolle von *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch durch den entomopathogenen Pilz *Metarhizium anisopliae* (Metschnikow) Sorokin	49
2.6	Vorkommen und Verbreitung von *Roesleria subterranea* (Weinm.) Redhead	54
3	**ERGEBNISSE**	59
3.1	Biologie von *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch	59
3.1.1	Literaturvergleich	59
3.1.2	Beobachtungen aus Bioassay-, Gewächshaus- und Freilandversuchen in den Jahren 1998 bis 2006	80
3.2	Bodenbiologische Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten in Rebanlagen mit Reblausbefall	83
3.2.1	Freilanduntersuchungen	83
3.2.1.1	Rebwuchs	83
3.2.1.2	Reblausdichten	86
3.2.1.3	Mikroorganismendichten	88
3.2.1.4	Pilzzönosen	92
3.2.1.5	Abiotische Bodenparameter	108
3.2.1.6	Biotische Bodenparameter	114
3.2.1.7	Nematodenzönosen	121
3.2.1.8	Leistungs- und Ertragsdaten der Rebstöcke	123
3.2.2	Gewächshausversuch zur Pathogensuppressivität und -konduktivität der Böden der Versuchsflächen	125
3.3	Morphologie und Ökologie von *Sorosphaera viticola* Kirchmair, Neuhauser, Huber	127
3.3.1	Morphologie	127
3.3.2	Geographische Verbreitung und Wirtsspektrum innerhalb der Gattung *Vitis*	135

3.3.3	Häufigkeit und Verteilung in Pfropfrebenanlagen	137
3.4	Biologische Kontrolle von *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch durch den entomopathogenen Pilz *Metarhizium anisopliae* (Metschnikow) Sorokin	140
3.4.1	Wirksamkeitstests Freiland	140
3.4.2	Begleituntersuchungen Freiland	150
3.5	Vorkommen und Verbreitung von *Roesleria subterranea* (Weinm.) Redhead	153
4.	**DISKUSSION**	159
4.1	Biologie von *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch	159
4.2	Bodenbiologische Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten in Rebanlagen mit Reblausbefall	167
4.2.1	Reblausbefall und die vegetative Leistung der Reben	167
4.2.2	Die Mikroorganismenzönosen verschiedener Bodenmikrokompartimente unter besonderer Berücksichtigung phytopathogener Pilzarten	169
4.2.3	Schadkonduktive und -suppressive Bedingungen in Pfropfrebenanlagen mit Reblausbefall und ihre Bedeutung im Rahmen des IPM	190
4.3	Morphologie und Ökologie von *Sorosphaera viticola* Kirchmair, Neuhauser, Huber	218
4.3.1	Morphologie	218
4.3.2	Ökologie	222
4.4	Biologische Kontrolle von *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch durch den entomopathogenen Pilz *Metarhizium anisopliae* (Metschnikow) Sorokin	229
4.4.1	Wirksamkeitstests Freiland	232
4.4.2	Begleituntersuchungen Freiland	238
4.5	Vorkommen und Verbreitung von *Roesleria subterranea* (Weinm.) Redhead	242
4.6	Ökologische und sozioökonomische Betrachtungen zum Auftreten und zur Kontrolle bodenbürtiger Phytopathogene im Weinbau und deren Kontrolle im Rahmen des IPM	253

5. ZUSAMMENFASSUNG/SUMMARY 272

6. LITERATUR 276
6.1 Eigene Literatur (verwendet) 276
6.2 Recherchierte Literatur 279

7. ANHANG 329
7.1 Abbildungen 329
7.2 Tabellen 337
7.3 Tafeln 373
7.4 Literaturauswertung der Ökologie der Bodenpilze 379

DANKSAGUNG 407

I VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN, TABELLEN UND TAFELN

Kapitel 1: Einleitung

Abbildung

1-1 Pflanzenschutzmaßnahmen im Rahmen des Integrated Pest Management 10

Kapitel 2: Material und Methoden

Abbildungen

2-1 Grabungspunkte des Reblausbonitursystems zur Probennahme im Freiland 20
2-2 Reblausfreie, extensiv bewirtschaftete Versuchsfläche des Fachgebiets Rebenzüchtung und Rebenveredlung der Forschungsanstalt Geisenheim (o/r) 30
2-3 Reblausbefallene, intensiv bewirtschaftete Rebfläche mit organischer Bodenbewirtschaftung ohne oberirdisch sichtbare Schadsymptome (O/R/I-IV/S) 32
2-4 Reblausbefallene, extensiv bewirtschaftete Rebfläche mit oberirdisch sichtbaren Schadsymptomen (o/R/I-IV) 33
2-5 Tagesmittelwerte [°C] der Lufttemperatur in den Jahren 1997 bis August 2005. Station: Geisenheim am Rhein 35
2-6 Tagesmittelwerte [°C] der Bodentemperatur (10 cm Tiefe) in den Jahren 1997 bis Oktober 2005. Station: Geisenheim am Rhein 36
2-7 Niederschläge [mm] in den Jahren 1997 bis August 2005. Station: Geisenheim am Rhein 37
2-8 Mit *R. subterranea* infizierte Rebfläche mit oberirdisch sichtbaren Schadsymptomen im Weinanbaugebiet Rheingau 56

Tabellen

2-1 Boniturklassen zur Berechnung der Befallshäufigkeit (BH) und Befallsintensität (BI) von Reblauspopulationen an Rebwurzeln im Freiland 21
2-2 Boniturklassen zur Bewertung des Wuchses von Rebstöcken im Freiland 23
2-3 Bezeichnung der Versuchsvarianten im Rahmen der bodenbiologischen Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten in Rebanlagen mit Reblausbefall 27
2-4 Düngebehandlungen der Versuchsvarianten auf den Versuchsflächen O/R und o/R in den Jahren 1997 bis 2005 28
2-5 Klasseneinteilung der im Rahmen der bodenbiologischen Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten isolierten Pilzarten nach Literaturangaben 44
2-6 Bezeichnung der Versuchsvarianten im Rahmen der Untersuchungen zur biologischen Kontrolle von *D. vitifoliae* durch den entomopathogenen Pilz *M. anisopliae* 51
2-7 Auf Befall mit *R. subterranea* untersuchte Flächen 57

Tafel

2-1 Versuchsaufbau der bodenbiologischen Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten in Rebanlagen mit Reblausbefall 40

Kapitel 3: Ergebnisse

Abbildungen

3-1 Lebenszyklus, Morphen und Formen von *D. vitifoliae* 61

3-2 Einzelstockbonituren des Wuchses der Rebstöcke der Versuchsfläche O/R in den Jahren 1997 bis 2004 84

3-3 Einzelstockbonituren des Wuchses der Rebstöcke der Versuchsfläche o/R in den Jahren 1997 bis 2004 86

3-4 Stärke des Reblausbefalls der Rebwurzeln auf den Versuchsflächen o/R und O/R 87

3-5 Pilzdichten [CFU / g TM] (Mittelwert und Standardabweichung) der Bodenmikrokompartimente 'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000 88

3-6 Bakteriendichten [CFU / g TM] (Mittelwert und Standardabweichung) der Bodenmikrokompartimente 'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000 90

3-7 Actinomycetendichten [CFU / g TM] (Mittelwert und Standardabweichung) der Bodenmikrokompartimente 'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000 92

3-8 Ergebnisse der Korrespondenzanalyse zum Vorkommen der im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen im Jahre 2000 aus den Mikrokompartimenten 'ng', 'wg', 'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R isolierten Pilzarten basierend auf ihrer Zugehörigkeit zu einer Phytopathogenitätsklasse 94

3-9 Ergebnisse der Korrespondenzanalyse zum Vorkommen der im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen im Jahre 2000 aus den Mikrokompartimenten 'ng', 'wg', 'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R isolierten Pilzarten 97

3-10 Wassergehalte [% TM] der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten Juni, August, September und Oktober sowie der Düngeversuchsvariante IV der Versuchsfläche o/R im Monat August 109

3-11 Organische Bodensubstanz [% TM] der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten Juni, August, September und Oktober 110

3-12 pH-Werte der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben (Mischproben 'mp' der Bodenmikrokompartimente) der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten Juni, August, September und Oktober sowie der Düngeversuchsvariante IV der Versuchsfläche o/R im Monat August 111

3-13 pH-Werte der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten Juni, August, September und Oktober sowie der Düngeversuchsvariante IV der Versuchsfläche o/R im Monat August, Bodenmikrokompartimente 'wn' und 'wf' 113

3-14 Desolved Organic Carbon (DOC) [mg / g TM] der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten Juni, August, September und Oktober 113

3-15 Mikrobieller Kohlenstoff (C_{mic}) [mg / g TM] der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in 115

	den Monaten Juni, August, September und Oktober	
3-16	Basisrespiration [mg CO_2-C / g TM * h] der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten Juni, August, September und Oktober	116
3-17	Substratinduzierte Respiration mit Glucose als Kohlenstoffquelle (SIR_C) [mg CO_2-C / g TM * h] der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten August, September und Oktober	118
3-18	Substratinduzierte Respiration mit Sojamehl als Stickstoffquelle (SIR_N) [mg CO_2-C / g TM * h] der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten August, September und Oktober	118
3-19	Metabolischer Quotient (qCO_2) der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten Juni, August, September und Oktober	119
3-20	Respirationskoeffizient Kohlenstoff der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten August, September und Oktober	120
3-21	Respirationskoeffizient Stickstoff der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten August, September und Oktober	120
3-22	Abundanz [Individuen / 100 g TM Boden] der trophischen Gruppen der Nematoda der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, sowie der Düngevariante IV der Versuchsfläche o/R der Monate August und Oktober und der Versuchsfläche O/R im Monat Oktober im Jahr 2000	121
3-23	Ergebnisse der Rebwuchsbonituren (Mittelwert und Standardabweichung) des Gewächshausversuches zur Pathogenkonduktivität und -suppressivität der Böden der Versuchsflächen O/R und o/R	125
3-24	Sporosori von *S. viticola* in den Feinwurzeln von Reben aus Deutschland und Kanada	129
3-25	Vorkommen von *S. viticola* in Rebwurzeln und Wuchs der untersuchten Rebstöcke auf den Versuchsflächen o/r und O/R (linear interpoliert) im September 2004	137
3-26	Stärke des Befalls der Rebwurzeln mit Reblaus der Versuchsvarianten der Fläche R/5C im Jahr 2003	146
3-27	Befall der Rebwurzeln mit Reblaus der Versuchsvarianten der Fläche R/5C im August 2004	147
3-28	Befallshäufigkeit und Befallsstärke der Wurzeln der Rebstöcke mit Reblaus auf Basis 'Rebstock' und 'Nodosität' der Versuchsvarianten der Fläche R/5C im Jahr 2005	148
3-29	Anzahl der Nodositäten je g Wurzeltrockenmasse in den Boniturklassen 3 bis 9 der untersuchten Rebstöcke der Versuchsvarianten auf der Fläche R/5C im Jahr 2005 basierend auf der beprobten Gesamtwurzelmasse je Rebstock	149
3-30	Anzahl der Rebläuse und Reblauseier sowie der Nodositäten mit Reblaus- und/oder Reblauseibesatz je g Wurzeltrockenmasse der untersuchten Rebstöcke der Versuchsvarianten auf der Fläche R/5C im Jahr 2005 basierend auf der beprobten Gesamtwurzelmasse je Rebstock	149
3-31	Abundanz [Individuen / m^2] des Edaphons im Jahr 2003 in den Bodentiefen 0-10 cm und 10-20 cm	151
3-32	Absterbeerscheinungen von Rebstöcken und Verbreitung von *R. subterranea* in einer kommerziellen Rebanlage im Weinanbaugebiet Rheingau	157

Tabellen

3-1 Im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen aus den Mikrokompartimenten 'ng', 'wg', 'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R isolierte Pilzarten, verwendete Abkürzungen sowie ihre auf Literaturdaten basierende Zuordnung zu Phytopathogenitätsklassen 93

3-2 Im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen in den Jahren 2000 und 2001 aus dem Mikrokompartiment 'rp' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R isolierte Pilzarten gruppiert nach Phytopathogenitätsklassen 99

3-3 Im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen in den Jahren 2000 und 2001 aus dem Mikrokompartiment 'wn' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R isolierte Pilzarten gruppiert nach Phytopathogenitätsklassen 100

3-4 Im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen in den Jahren 2000 und 2001 aus dem Mikrokompartiment 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R isolierte Pilzarten gruppiert nach Phytopathogenitätsklassen 101

3-5 Pilzbefall (Artenanzahl und Infektionsraten) der im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen im Jahre 2000 von den Versuchsflächen O/R und o/R untersuchten Nodositäten (Mikrokompartiment 'ng') 104

3-6 Prozentuales Vorkommen der im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen im Jahr 2000 isolierten Pilzarten in Nodositäten (Mikrokompartiment 'ng') der Versuchsflächen O/R und o/R gruppiert nach Phytopathogenitätsklassen 105

3-7 Pilzbefall (Artenanzahl und Infektionsraten) der im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen im September 2000 von den Versuchsflächen o/r, O/R und o/R untersuchten Wurzeln (Mikrokompartiment 'wg') 106

3-8 Prozentuales Vorkommen der im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen im Jahr 2000 isolierten Pilzarten in Wurzeln (Mikrokompartiment 'wg') der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R gruppiert nach Phytopathogenitätsklassen 106

3-9 Pilzbefall (Artenanzahl und Infektionsraten) der im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen im August 2001 von der Versuchsfläche o/R, Düngeversuchsvariante I untersuchten Nodositäten (Mikrokompartiment 'ng') basierend auf dem Alter der Nodosität 107

3-10 Prozentuales Vorkommen der im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen im August 2001 isolierten Pilzarten in Nodositäten (Mikrokompartiment 'ng') verschiedener Altersstufen der Versuchsfläche o/R, Düngevariante I 108

3-11 Leistungs- und Ertragsdaten (Mittelwert und Standardabweichung) der Rebstöcke der Versuchsfläche O/R, Düngevarianten I bis IV im Jahr 2000, sowie der Düngeversuchsvariante I im Jahr 2003 123

3-12 Leistungs- und Ertragsdaten (Mittelwert und Standardabweichung) der Rebstöcke der Versuchsfläche o/R, Düngevarianten I bis IV in den Jahren 2000 bis 2004 124

3-13 Vorkommen von *S. viticola* in Wurzeln von Wild- und Ertragsreben 127

3-14 Mit *S. viticola* befallene Rebstöcke [%] je Rebzeile auf den Versuchsflächen o/R und O/R im September 2004 138

3-15 Leistungs- und Ertragsdaten (Mittelwerte und Standardabweichung) der Rebstöcke der Versuchsfläche R/5C, Versuchsvarianten KO, GE und MA im Jahr 2003 152

3-16 Vorkommen von *R. subterranea* in Rebanlagen 153

Tafeln

3-1 *D. vitifoliae*, Befallsbilder an *Vitis* spp. 64
3-2 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen verschiedener Morphen von *D. vitifoliae* 65
3-3 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen verschiedener antennaler Sinnesorgane von *D. vitifoliae*. 75
3-4 Antennale Sinnesorgane bei *D. vitifoliae* (Sexupara alata). 78
3-5 Interaktionen an Nodositäten 102
3-6 Befall von Pflanzengewebe durch *Sorosphaera* sp. 130
3-7 Befall von *Vitis* sp. durch *S. viticola* 132
3-8 Ultrastruktur von *S. viticola* 133
3-9 Stereomikroskopische Aufnahmen von Nodositäten der Versuchsvariante MA der Versuchsflächen R/5C, M/Riesling und M/26G mit lebenden und abgestorbenen Rebläusen sowie Reblauseiern 141
3-10 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Nodositäten der Versuchsvariante MA der Versuchsfläche R/5C mit abgestorbenen Rebläusen und Reblauseiern 142
3-11 Oberirdische Schadsymptome einer Infektion mit *R. subterranea* an *Vitis* sp. im Jahr 2005 154
3-12 Unterirdische Schadsymptome einer Infektion mit *R. subterranea* 155
3-13 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Fruchtkörpern von *R. subterranea* an *Vitis* sp. 156

Kapitel 4: Diskussion

Abbildung

4-1 IPM-relevante Interaktionen (vereinfachte Darstellung) im Kontext von Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen in Rebanlagen 255

Kapitel 7: Anhang

Abbildungen

7-1 Lage der Versuchsvarianten (grau) im Rahmen der Untersuchungen zur biologischen Kontrolle von *D. vitifoliae* auf der Versuchsfläche R/5C im Jahr 2003 329
7-2 Lage der Versuchsvarianten im Rahmen der Untersuchungen zur biologischen Kontrolle von *D. vitifoliae* auf der Versuchsfläche R/5C im Jahr 2004 330
7-3 Verhältnis der fungivoren (f) und bakterivoren (b) Nematoda basierend auf ihrer Abundanz [Individuen / 100 g TM Boden] auf den Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, sowie der Düngevariante IV der Versuchsflächen o/R und O/R in den Monaten August und Oktober 2000 331
7-4 Befall der Rebwurzeln mit Reblaus der Versuchsvarianten der Fläche M/Riesling im August 2004 331
7-5 Befall der Rebwurzeln mit Reblaus der Versuchsvarianten der Fläche M/26G im August 2004 332
7-6 Ergebnisse der Korrespondenzanalyse der Faunazönosen auf den Versuchsvarianten KO, GE und MA der Versuchsfläche R/5C im Jahr 2003 333
7-7 Abundanz [Individuen / m^2] der Collembola im Jahr 2003 der Versuchsvarianten GE, KO und MA der Versuchsfläche R/5C 334
7-8 Dichte (CFU / g TM Boden) von *M. anisopliae* im Boden der Versuchsfläche R/5C in den Jahren 2003 bis 2005 335

7-9 Wassergehalt [% TM] (Mittelwert und Standardabweichung) der Bodenproben der Versuchsvarianten GE, KO und MA der Versuchsfläche R/5C in den Tiefenstufen 0-10 cm und 10-20 cm im Jahr 2003 335

7-10 Organische Bodensubstanz [% TM] (Mittelwert und Standardabweichung) der Bodenproben der Versuchsvarianten GE, KO und MA der Versuchsfläche R/5C in den Tiefenstufen 0-10 cm und 10-20 cm im Jahr 2003 336

7-11 pH-Wert (Mittelwert und Standardabweichung) der Bodenproben der Versuchsvarianten GE, KO und MA der Versuchsfläche R/5C in den Tiefenstufen 0-10 cm und 10-20 cm im Jahr 2003 336

Tabellen

7-1 Verzeichnis der auf der Versuchsfläche O/R (Bodenbiologische Untersuchungen) bzw. R/5C (Biologische Kontrolle Reblaus) in den Jahren 2000 bis 2004 eingesetzten Pflanzenschutzmittel (Fungizide, Herbizide und Insektizide) 337

7-2 Stockarbeiten und Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf der Versuchsfläche O/R (Bodenbiologische Untersuchungen) bzw. R/5C (Biologische Kontrolle Reblaus) in den Jahren 2000 bis 2004 340

7-3 Verzeichnis der auf der Versuchsfläche o/R (Bodenbiologische Untersuchungen) in den Jahren 2000 bis 2004 eingesetzten Pflanzenschutzmittel (Fungizide, Herbizide und Insektizide) 341

7-4 Stockarbeiten und Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf der Versuchsfläche o/R in den Jahren 2000 bis 2004 344

7-5 Ergebnisse der bodenchemischen Analysen der Versuchsflächen o/R/I und O/R/I im Jahr 2000 345

7-6 Ergebnisse der Einzelstockbonituren (Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum) des Wuchses der Rebstöcke der Versuchsfläche O/R, Düngevarianten I bis IV, in den Jahren 1997 bis 2004 sowie Signifikanzniveaus (Mann-Whitney U-Test) des Variantenvergleichs der Einzeljahre 346

7-7 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Test des Jahresvergleiches des Rebwuchses der Versuchsfläche O/R, Düngevarianten I bis IV, in den Jahren 1997 bis 2004 347

7-8 Ergebnisse der Einzelstockbonituren (Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum) des Wuchses der Rebstöcke der Versuchsfläche o/R, Düngevarianten I bis IV, in den Jahren 1997 bis 2004 sowie Signifikanzniveaus (Mann-Whitney U-Test) des Variantenvergleichs der Einzeljahre 348

7-9 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Jahresvergleiches des Rebwuchses der Versuchsfläche o/R, Düngevarianten I bis IV, in den Jahren 1997 bis 2004 349

7-10 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Varianten- und Jahresvergleiches des Reblausbefalls (Befallsintensität) der Rebstöcke der Versuchsfläche O/R, Düngevarianten I bis IV, in den Jahren 2000 bis 2002 350

7-11 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Varianten- und Jahresvergleiches des Reblausbefalls (Befallsintensität) der Rebstöcke der Versuchsfläche o/R, Düngevarianten I bis IV, in den Jahren 2000 bis 2004 351

7-12 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs der Pilzdichten (CFU) Bodenmikrokompartimente 'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000 352

7-13 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs der Bakteriendichten (CFU), Bodenmikrokompartimente 353

'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000

7-14 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs der Actinomycetendichten (CFU), Bodenmikrokompartimente 'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000 354

7-15 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs der Bodenwassergehalte der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Mai, Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000 355

7-16 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs der Organischen Bodensubstanz (OBS) der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Mai, Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000 355

7-17 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs der Boden-pH-Werte (Mischprobe der Mikrokompartimente 'wn' und 'wf') der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Mai, Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000 356

7-18 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Vergleichs des pH-Wertes der Bodenmikrokompartimente 'wf' und 'wn' (n = 10) der Versuchsflächen o/r, O/r und o/R in den Monaten Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000 356

7-19 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs des löslichen organischen Kohlenstoffs (DOC, Desolved Organic Carbon) der Versuchsflächen o/r, O/r und o/R in den Monaten Mai, Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000 357

7-20 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs des mikrobiellen Kohlenstoffs (C_{mic}) der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Mai, Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000 357

7-21 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs der Basisrespiration der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Mai, Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000 358

7-22 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs der substratinduzierten Respiration mit Glucose als Kohlenstoffquelle (SIR_C) der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten August, September und Oktober im Jahr 2000 358

7-23 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs der substratinduzierten Respiration mit Sojamehl als Stickstoffquelle (SIR_N) der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten August, September und Oktober im Jahr 2000 359

7-24 Vorkommen der Nematodenfamilien (prozentualer Anteil einer Familie an der Gesamtabundanz) auf den Versuchsvarianten der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten August und Oktober im Jahr 2000 gruppiert nach der Familienzugehörigkeit zu einer trophischen Gruppe 360

7-25 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsvariantenvergleichs (Versuchsvarianten I bis IV) der Leistungs- und Ertragsdaten der Rebstöcke der Versuchsflächen O/R (Jahr 2000) und o/R (Jahre 2000-2001 und 2003-2004) 361

7-26 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Wuchses der Gewächshauspflanzen im Rahmen der Versuche zur Pathogenkonduktivität und -suppressivität der Böden der Versuchsflächen 363

7-27 Ergebnisse des Gewächshausversuchs zur biologischen Reblauskontrol- 363

le durch den entomopathogenen Pilz *M. anisopliae*

7-28 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsvariantenvergleichs der Reblausbefallsstärke der Rebwurzeln (Einzelprobennahmepunkte und Rebstock) der Versuchsfläche R/5C in den Monaten Mai und Juli im Jahr 2003 364

7-29 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests der Anzahl der Nodositäten je g Wurzeltrockenmasse in den Boniturklassen 3 bis 9 der untersuchten Rebstöcke der Versuchsvarianten auf der Fläche R/5C im Jahr 2005 basierend auf der beprobten Gesamtwurzelmasse je Rebstock 364

7-30 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests der Anzahl der Rebläuse und Reblauseier sowie der Nodositäten mit Reblaus- und/oder Reblauseibesatz je g Wurzeltrockenmasse der untersuchten Rebstöcke der Versuchsvarianten auf der Fläche R/5C im Jahr 2005 basierend auf der beprobten Gesamtwurzelmasse je Rebstock 365

7-31 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests der Abundanz [Individuen / m^2] des Edaphons im Jahr 2003 in den Bodentiefen 0-20 cm, 0-10 cm und 10-20 cm 366

7-32 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests der Abundanz [Individuen / m^2] der Collembola im Jahr 2003 in den Bodentiefen 0-20 cm, 0-10 cm und 10-20 cm 368

7-33 Ergebnisse der ANOVA der Leistungs- und Ertragsdaten der Rebstöcke der Versuchsfläche R/5C, Versuchsvarianten KO, GE und MA im Jahr 2003 369

7-34 Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Bodenwassergehaltes [% TM], der organischen Bodensubstanz [% TM] und des pH-Wertes im Jahr 2003 in den Bodentiefen 0-20 cm, 0-10 cm und 10-20 cm 370

7-35 Vergleich der aus Nodositäten- und Wurzelgewebe isolierten Pilzarten und deren Vorkommen in verschiedenen Mikrokompartimenten der Versuchsflächenböden sowie deren ökologische Bewertung in kontextbezogener Literatur 372

Tafeln

7-1 Zeitlicher Verlauf der im Rahmen der bodenbiologischen Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten in Rebanlagen mit Reblausbefall im Jahr 2000 durchgeführten Arbeiten 373

7-2 Tuberositäten bei *Vitis* sp. 374

7-3 Ergebnis der Endbonitur des Gewächshausversuchs zur Pathogensuppressivität und -konduktivität der Böden der Versuchsflächen 375

7-4 Applikation von *M. anisopliae* zur biologischen Reblausbekämpfung 377

7-5 Schematische Darstellung verschiedener Befallsbilder bei Reblausbefall an Unterlagsreben 378

II ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Bodenbiologische Untersuchungen

f	Fahrgasse
mp	Mischprobe der Mikrokompartimente
ng	Mikrokompartiment Nodositätengewebe
O, o	mit, ohne organische Bodenbewirtschaftung
R, r	mit, ohne Reblaus
rp	Mikrokompartiment Rhizoplane
u	Unterstockbereich
wf	Mikrokompartiment wurzelfern
wg	Mikrokompartiment Wurzelgewebe
wn	Mikrokompartiment wurzelnah
S, s	mit und ohne Schädigung der Rebstöcke
VF	Versuchsfläche
Vv	Versuchsvariante
I-IV	Düngeversuchsvarianten (Anlage der Versuchsflächen 1998) I: Volldünger 40 kg N ha^{-1}; II: Volldünger 120 kg N ha^{-1}; III: Kalkstickstoff 120 kg N ha^{-1}; IV: Fichtensägemehl und Kalkammonsalpeter

Phytopathogenitätsklassen Pilze

A1	Primärpathogen an *Vitis*-Wurzeln
A2	Sekundärpathogen an *Vitis*-Wurzeln
B	Pathogen an *Vitis*
C	An *Vitis* gefunden, pathogene Wirkung an anderen Pflanzen
D	Pathogen an anderen Pflanzen
E1	An *Vitis* gefunden, keine pathogene Wirkung oder: An *Vitis* gefunden und Saprophyt
E2	Saprophyt oder andere Lebensweise, keine phytopathogene Wirkung bekannt

Gewächshausversuche

C, c	Boden erhitzt, Boden nicht erhitzt
I, i	inokuliert mit Bodensuspension, nicht inokuliert mit Bodensuspension
-O/R	Suspension aus Boden der Fläche O/R
- o/R	Suspension aus Boden der Fläche o/R

Biologische Reblauskontrolle

BI	Versuchsvariante *Metarhizium*-Stamm BIPESCO 5
f	Probennahmepunkt Fahrgasse
GE	Versuchsvariante Gerste
KO	Versuchsvariante Kontrolle
MA	Versuchsvariante *Metarhizium*-Stamm MA 500
M	Weinanbaugebiet Mosel
P	Weinanbaugebiet Pfalz
R	Weinanbaugebiet Rheingau
u	Probennahmepunkt Unterstock

Pilzarten

Acr-cha	*Acremonium charticola*	Lep-con	*Leptosphaeria coniothyrium*
Acr-fur	*Acremonium furcatum*	Mor-alp	*Mortierella alpina*
Acr-kil	*Acremonium kiliense*	Muc-hie	*Mucor hiemalis*
Acr-str	*Acremonium strictum*	Nec-inv	*Nectria inventa*
Act-cra	*Acrodontium crateriforme*	Pen-aur	*Penicillium aurantiogriseum*
Alt-alt	*Alternaria alternata*	Pen-bre	*Penicillium brevicompactum*
Asp-ust	*Aspergillus ustus*	Pen-chr	*Penicillium chrysogenum*
Bot-pil	*Botryotrichum piluliferum*	Pen-cit	*Penicillium citrinum*
Cla-cla	*Cladosporium cladosporoides*	Pen-cor	*Penicillium corylophilum*
Cyl-lic	*Cylindrocarpon cf. lichenicola*	Pen-exp	*Penicillium expansum*
Cyl-des	*Cylindrocarpon destructans*	Pen-mic	*Penicillium miczynskii*
Cyl-mag	*Cylindrocarpon magnusianum*	Pen-res	*Penicillium restrictum*
Fus-cul	*Fusarium culmorum*	Pen-sim	*Penicillium simpilicissimum*
Fus-equ	*Fusarium equiseti*	Pen-spi	*Penicillium spinulosum*
Fus-inc	*Fusarium incarnatum*	Pen-vir	*Penicillium viridicatum*
Fus-mer	*Fusarium merismoides*	Pen-wak	*Penicillium waksmanii*
Fus-oxy	*Fusarium oxysporum*	Ram-sub	*Ramichloridium subulatum*
Fus-sac	*Fusarium sacchari*	Rhi-sto	*Rhizopus stolonifer*
Fus-sam	*Fusarium sambucinum s. l.*	Sch-com	*Schizophyllum commune*
Fus-sol	*Fusarium solani*	Tri-kon	*Trichoderma koningii*
Fus-tab	*Fusarium tabacinum*	Ver-nig	*Verticillium nigrescens*
Geo-can	*Geotrichum candidum*		
Gli-cat	*Gliocladium catenolatum*		
Gli-ros	*Gliocladium roseum*		

Sonstige verwendete Abkürzungen

a	Jahr
AFE	Alkohol (70 %), Formol (37 %), Eisessig; 90:5:5
BCA	Biological control agent
BH	Befallshäufigkeit
BI	Befallsintensität (syn. Befallsstärke)
CFU	Colony Forming Unit
C_{mic}	Mikrobielle Biomasse
cv.	Kultivar
det.	determinavit (= hat bestimmt)
DOC	Desolved Organic Carbon
DPI	Days Post Inoculation
f.sp.	Forma speciales
h	Stunde
ha	Hektar
IPM	Integrated Pest Management
k_{EC}	Korrekturfaktor nach JOERGENSEN (1996)
leg.	legit (= hat gesammelt)
mg	Milligramm
N	Stickstoff
n	Stichprobenzahl
qCO_2	metabolischer Quotient
rqC	Respirationsquotient Kohlenstoff
rqN	Respirationsquotient Stickstoff
SIR_C	Substratinduzierte Repiration, Kohlenstoffquelle
SIR_N	Substratinduzierte Repiration, Sickstoffquelle
TG	Trockengewicht
TM	Trockenmasse
U / min	Umdrehungen in der Minute

1 EINLEITUNG

'Einige Böden haben etwas Besonderes, welches als eine fremde Materie in ihnen steckt, sich vom Wasser auflösen lässt, mit dem Saft in die Wurzel dringt, oder als ein Dunst in die Atmosphäre geht, und vom Stock eingeatmet wird. Daher kommt es, dass einerlei Sorten Stöcke bei einerlei Umständen, Wartung und so weiter in dem einen Boden eine bessere Frucht als im anderen geben, daher kommen Bodengefährte, welche bisweilen dem Wein einen Vorzug machen' (SPRENGER 1766).

Neben der Bedeutung des Bodens als Lebensgrundlage für alle landbewohnenden Lebewesen (DORAN et al. 1996) kommt dem Boden im Weinbau seit jeher eine besondere Bedeutung zu, wie auch dem Zitat von SPRENGER aus dem Jahre 1766 zu entnehmen ist. Umso verwunderlicher ist die vergleichsweise geringe Beachtung des Bodens und des Wurzelsystems im Rahmen wissenschaftlicher Untersuchungen im Allgemeinen (GUCKERT 1992, YAALON 2000, GREGORY 2006) und im Weinbau im Besonderen (STEINBERG 1968, RICHARDS 1983, CHIARAPPA & BUDDENHAGEN 1994, KELLOW et al. 2000, SMART et al. 2003). Vor allem im Kontext der seit einigen Jahren weltweit vermehrt auftretenden Schädigungen von Rebstöcken durch bodenbürtige phytopathogene Mikroorganismen (MARAIS 1979, HIGHET & NAIR 1995, SCHECK et al. 1998a,b, OMER et al. 1999a, GARRIDO et al. 2004a,b, OLIVEIRA et al. 2004, GUBLER et al. 2004, HALLEN et al. 2004, ROONEY-LATHAM et al. 2005) wird auf die Notwendigkeit derartiger Untersuchungen hingewiesen (WHITELAW-WECKERT 2004a,b, GUBLER et al. 2004). Dies gilt insbesondere, da die Ursachen dieser Zunahme sehr unterschiedlich sind und von verschiedenen abiotischen und biotischen Faktoren, sowie anthropogenen Einflüssen wie Züchtung oder Bewirtschaftung beeinflusst werden (POPUSCHOI & MARZHINA 1980). Die hier vorliegende im Fokus vorwiegend bodenbiologische Arbeit steht in Zusammenhang mit den durch bodenbürtige Schädlinge verursachten Schäden in Rebanlagen und deren Kontrolle im Rahmen des IPM. Dabei wurden die Interaktionen des Beziehungsgefüges Rebwurzel - phytopathogene Bodenmikroorganismen - Antagonisten - *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch - Boden - Bodenbewirtschaftung untersucht.

1.1 Mikroorganismen als Schädlinge im Weinbau

Phytopathogene Mikroorganismen spielen im Weinbau sowohl in ökonomischer als auch ökologischer Hinsicht eine bedeutende Rolle. Einerseits kann ein Befall der oberirdischen Organe der Reben durch pilzliche Schädlinge, wie *Plasmopara viticola* Berk. & Curt, *Oidium tuckeri* Berk. oder *Botrytis cinerea* Pers., zu erheblichen Ertrags-

und Qualitätsverlusten führen (FLAHERTY et al. 1992, MOHR 2005). Andererseits sind erforderliche Pflanzenschutzmaßnahmen mit einem erheblichen Mittelaufwand verbunden. Dabei werden allein in den Staaten der europäischen Union (EU-15) zur Bekämpfung pilzlicher Schaderreger jährlich mehr als 130000 t Fungizide (Volumenanteil des aktiven Wirkstoffs) eingesetzt, wobei der Anteil am Verbrauch bei der Sonderkultur *Vitis* über 70 % beträgt (EUROSTAT 2002). Zudem treten auch in Deutschland vermehrt phytopathogen wirkende Mikroorganismen, wie *Guignardia bidwellii* Viala & Ravaz, *Eutypa lata* (Pers.) Tul. et C. Tul. oder *Pseudopeziza tracheiphila* Müll.-Thurg. auf, welche in nördlichen Weinanbaugebieten bis vor wenigen Jahren nicht beobachtet wurden oder nur eine sehr untergeordnete Rolle spielten (HOLZ 2003, GRIEBEL & REIß 2006, MOHR 2005, FISCHER 2006). Zusätzlich zu konventionellen Pestiziden stehen zur Kontrolle einige Schaderreger wie *Botrytis cinerea* neuerdings auch biologische Kontrollmaßnahmen zur Verfügung. Hierzu zählen beispielsweise Antagonisten wie *Trichoderma harzianum* Rifai (HARMAN et al. 1996, WILSON 1997a), *Gliocladium roseum* Bainier (SUTTON et al. 1997) oder Bakterien (PAUL et al. 1998, ELMER & REGLINSKI 2006). Aber auch andere pilzliche Schaderreger der oberirdischen Reborgane wie *Erysiphe necator* Schwein (Echter Mehltau) können durch Milben wie *Tydeus lambi* Baker (ENGLISH-LOEB et al. 1999b) oder antagonistische Mikroorganismen (reviewed in KISS 2003) kontrolliert werden. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass auch von den natürlich die Weintrauben besiedelnden Hefen eine Kontrollwirkung auf diese pilzlichen Schaderreger ausgeht (SUZZI et al. 1995). Im Falle der biologischen Kontrolle des Echten Mehltaus durch Milben scheinen in kommerziell genutzten Rebanlagen ähnliche Problematiken zu bestehen wie bei der Kontrolle von *Pananychus ulmi* Koch durch Raubmilben. Wie ENGLISH-LOEB et al. (1999b) feststellten, ist *T. lambi* nur auf wilden Reben häufig anzutreffen während in kommerziell genutzten Rebanlagen diese Milbe durch den Einsatz von Pestiziden wie Schwefel und Mancozeb suppressiert wird. Im Gegensatz hierzu sind für die in neuerer Zeit vermehrt auftretenden pilzlichen Schaderreger derzeit aber keine effektiven Bekämpfungsmaßnahmen verfügbar bzw. können diese Schädlinge nicht durch konventionelle Pestizide kontrolliert werden. Erste Untersuchungen deuten auf eine Kontrollmöglichkeit durch biologische Schädlingsbekämpfungsmittel hin, wie das Beispiel der Kontrolle von *Eutypa lata* Pers. Tul. & C. Tul. durch *Erwinia herbicola* Löhnis und *Bacillus subtilis* Cohn (SCHMIDT et al. 2001a,b) zeigt. In diesem Zusammenhang ist vor allem die auch in Deutschland weit verbreitet auftretende Esca-Erkrankung der Reben zu nennen, welche einen Krankheitskomplex, verursacht von verschiedenen Krankheitserregern wie *Phaeomoniella chlamydospora* Crous & W. Gams oder *Phaeoacremonium aleophilum* W. Gams, Crous, M.J. Wingf. & Mugnai, darstellt (GROENEWALD et al. 2001, GUBLER et al. 2004, ROONEY-LATHAM et al.

2005, FISCHER 2006). Obgleich bereits die Beschreibung von Schadsymptomen an Reben in antiken Schriften auf einen Befall mit diesen Schaderregern schließen lässt (MUGNAI et al. 1999), stammen Berichte über ein verbreitetes und bestandsgefährdendes Auftreten dieser Erreger nur aus neuerer Zeit.

Auch auf ein Auftreten von bodenbürtigen phytopathogenen Mikroorganismen im Weinbau, beispielsweise zur römischen Zeit, ist aus verschiedenen historischen Quellen zu schließen (AHRENS 1972, BASSERMANN-JORDAN 1923). Im Gegensatz zu den die oberirdischen Teile der Rebe schädigenden Mikroorganismen existieren bis zur heutigen Zeit aber kaum Erkenntnisse zur Biologie und Ökologie sowie zur Schadwirkung und zum Ausmaß der Schäden in Rebkulturen verursacht durch bodenbürtige Phytopathogene (WHITELAW-WECKERT 2004A, GUBLER et al. 2004). Hierfür sind mehrere Gründe zu nennen. Wie bei allen bodenbiologischen Untersuchungen so stehen auch im Fall der Weinbergsböden die auf den Untersuchungsgegenstand zurückzuführenden Problemstellungen im Vordergrund. Im Wesentlichen sind dies bereits durch eine Vielzahl von Autoren beschriebene Faktoren wie die Unzugänglichkeit des Untersuchungsobjektes, die Heterogenität des Lebensraums Boden, die sehr hohen Organismendichten sowie die komplexen Wechselwirkungsketten sowohl zwischen biotischen als auch abiotischen Einflussgrößen. Zudem handelt es sich bei der Bodenmikrobiologie um ein vergleichsweise junges Forschungsgebiet. Die Frage: 'Do fungi life and produce mycelium in soil?' (WAKSMAN 1916) wurde erst Anfang des 19. Jahrhunderts aufgegriffen und wissenschaftlich untersucht. In den darauf folgenden Jahren wurden eine Vielzahl von Untersuchungen durchgeführt, unter anderem zu den Fragen, ob Pilze aktiv an den im Boden ablaufenden Prozessen Teil haben, ob Pilze zur Bodenfruchtbarkeit beitragen oder ob Pilze im Boden eine ökonomische Bedeutung besitzen (WAKSMAN 1922, 1944, JENSEN 1931, D'AETH 1939). Im Laufe weniger Jahre konnte von verschiedenen Autoren gezeigt werden, dass die im Boden lebenden Pilze an einer Vielzahl unterschiedlicher Prozesse beteiligt sind und auf vielfältige Weise mit abiotischen und biotischen Faktoren interagieren. Bereits zu dieser Zeit wurde beispielsweise ein hemmender Einfluss organischer Düngemittel auf Phytopathogene bzw. ein fördernder Einfluss auf deren Antagonisten konstatiert (reviewed in D'AETH 1939). Hinzu kommt, dass die durch bodenbürtige phytopathogene Mikroorganismen verursachten Schädigungen an den oberirdischen Organen von Pflanzen in vielen Fällen fälschlicherweise auf andere Ursachen wie abiotische Faktoren (MOHR 2005, FLAHERTY et al. 1992) oder Insekten (YACHEVSKIY 1906, PETRI 1907, HÖFER 1993) zurückgeführt wurden. Die Verbreitung oder das Ausmaß der durch bodenbürtige phytopathogene Mikroorganismen verursachten Schäden im Weinbau in der Vergangenheit lässt sich nicht abschätzen. Aus heutiger Sicht ist eine weltweit steigende Anzahl von

Berichten über Schäden in Rebanlagen, verursacht durch bodenbürtige phytopathogene Mikroorganismen innerhalb der letzten Jahrzehnte festzustellen. So berichten HIGHET & NAIR (1995) über Wuchsdepressionen und Ertragsrückgänge in Verbindung mit einem stark reduzierten Wurzelsystem und einer Verbraunung der Rinde und des vaskulären Gewebes bei *Vitis vinifera* verursacht durch *F. oxysporum* in Australien. Ähnliche Berichte über die Schadwirkung von *F. oxysporum* an Reben liegen auch aus Nordamerika vor (OMER et al. 1999a). Wuchsdepressionen, Absterbeerscheinungen und Wurzelfäule an Rebstöcken (*V. vinifera*), verursacht von Arten der Gattungen *Phytophthora* und *Phytium*, wurden in Südafrika, Australien und Nordamerika festgestellt (CHIARAPPA 1959, BUMBIERIS 1972, MARAIS 1979). In Australien betrug die Zahl der Stockausfälle in mit *Phytium*-Arten infizierten Rebanlagen bis zu 60 % (BUMBIERIS 1972). Durch *Cylindrocarpon*-Arten verursachte Schäden an Rebstöcken (Black foot disease) und deren Wurzelsystemen treten in Nordamerika vermehrt seit ca. 1990 auf, werden aber weltweit beobachtet (SCHECK et al. 1998a,b, HALLEN et al. 2004). Bei neueren Untersuchungen wurden dabei Arten dieser Gattung identifiziert, welche bis dahin nicht als Schädlinge von Reben angesehen wurden (HALLEN et al. 2004). Für Europa liegen Beschreibungen beispielsweise aus Portugal (OLIVEIRA et al. 2004), Italien (GRASSO 1984) und Frankreich (HALLEN et al. 2004) vor. Die auch in Europa stark zunehmenden (OLIVEIRA et al. 2004) durch verschiedene Arten der Gattung *Phaeoacremonium* hervorgerufenen Erkrankungen von Rebstöcken unterscheiden sich in ihrer Symptomatik bei jungen und alten Reben bzw. je nach infiziertem Wirtsorgan. Dabei werden die durch eine Wurzelinfektion hervorgerufenen Symptome als 'Petri Disease' (Synonym: Young Esca) bezeichnet. Die an älteren Rebstöcken durch eine Infektion der oberirdischen Reborgane verursachten Schäden werden unter dem Begriff Esca-Erkrankung zusammengefaßt; Wurzelinfektionen finden auch bei älteren Rebstöcken statt, es ist jedoch bislang nicht geklärt, ob diese Infektionen bei der Schadentstehung in diesen Fällen eine Rolle spielen (GUBLER et al. 2004). Im Falle von *Phaeoacremonium aleophilum* wird die Wirtspflanze wahrscheinlich parallel durch die anamorphe und die teleomophe Form (*Togninia minima* (Tul. et C. Tul.) Berl.) besiedelt (ROONEY-LATHAM et al. 2005). SCHECK et al. (1998b) sehen die an dieser Erkrankung beteiligten Pilzarten als vermutlich gut adaptierte Endophyten an, welche asymptomatisch in Rebstöcken leben können, unter schlechten Bewirtschaftungsbedingungen bzw. Pflanzenstress aber pathogen werden können. Auslösende Faktoren können schlechte Bewässerung, verfrühte Fruchtbildung, unvorteilhafte Pflanzbedingungen oder unvorteilhafte Böden und Standortbedingungen für die jeweilige Unterlage und/oder Unterlags-/Edelreiskombination sein (ROONEY-LATHAM et al. 2005). In neuerer Zeit ist aber nicht nur eine steigende Anzahl von Berichten über neu auftretenden pilzliche Schaderreger

zu beobachten, sondern es steigt auch die Zahl der Berichte über Schädigungen durch seit langem als Rebpathogene bekannte bodenbürtige Mikroorganismen. Als Beispiele hierfür sind Arten der Gattung *Armillaria* (ANGUÍN-CASAL et al. 2004) *Rosellinia* oder *Roesleria* (BEHDAT 1975, BRENDEL 1983, BRENDEL & HANFF 1984, MARAIS 1988, VÉGHELYI 1989, HÖFER 1993, BERGER & ANDERT 2003) zu nennen.

1.2 Insekten, insbesondere die Reblaus, als Schädlinge im Weinbau

'Weinberge wirst du pflanzen und bauen, aber keinen Wein trinken noch lesen; denn die Würmer werden's verzehren' (MOSES V 28, 39). Wie auch im Falle anderer historischer Quellen zur Schädigung von Pflanzenbeständen, so ist auch hier nicht eindeutig zu klären, auf welche Tierart Bezug genommen wird. Im Gegensatz zu pflanzlichen oder mikrobiellen Schädlingen kann bei tierischen Pathogenen und Parasiten aufgrund der historischen Beschreibungen an anderen Kulturpflanzen und unter Einbeziehung verschiedener Quellen aus griechischer und römischer Zeit das Spektrum oft auf wenige Arten eingegrenzt werden. Im Falle des oben angeführten Bibelzitats ist mit großer Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass es sich bei dem genannten Weinbauschädling um das erste bzw. zweite Larvenstadium von *Eupoecilia ambiguelle* Hbn. oder *Lobesia botrana* Schiff. handelt (eine ausführliche Besprechung historischer Quellen findet sich in BASSERMANN-JORDAN 1923). Erst ab dem 16. Jahrhundert sind die Beschreibungen so differenziert, dass auf bestimmte Schädlingsarten geschlossen werden kann. Obgleich in den historischen Quellen vielfach erhebliche auf tierische Schädlinge zurückzuführende Ertragsausfälle in Rebanlagen beschrieben sind, blieben diese meist zeitlich oder räumlich stark beschränkt. Dies änderte sich mit dem Auftreten von *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch. Dieser Ende des vorletzten Jahrhunderts mit kontaminiertem Zuchtmaterial aus Nordamerika nach Europa eingeschleppte Rebschädling verursachte das Absterben von Reben auf einer Fläche von mehr als 2 Mio. ha (ORDISH 1987). Durch die Verwendung reblaustoleranter Unterlagsreben konnte der Schaden für mehr als ein Jahrhundert unter Kontrolle gebracht werden. Seit ca. 1985 treten nun erneut weltweit Schäden in Rebkulturen auf, die mit der Reblaus in Zusammenhang gebracht werden (KING & RILLING 1985, PRESSER et al. 1993, WEBER et al. 1996, JOHNSON et al. 1996, SOPP et al. 1997, 1998, PORTEN et al. 2000a,b). Auch wird in europäischen Weinanbaugebieten in den letzten Jahren vermehrt ein Blattbefall an Europäerreben beobachtet (QUAGLIA & ROSSI 1987, mündl. Mittl. PRESSER) Obgleich während der letzten 130 Jahre zahlreiche Untersuchungen zur Populationsentwicklung (z.B. BÖRNER 1909a, GRANETT et al. 1983, WILDMAN et al. 1983, OMER et al. 1997, FORNECK et al. 2001a, PORTEN & HUBER 2003a), zur Biologie und Ökologie (z.B. STELLWAAG 1928, BREIDER 1952, BECKER 1952, SCHAEFER 1985, FORNECK et al. 2000,

FORNECK & HUBER 2007) sowie zur Schadwirkung (z.B. BREIDER & HUSFELD 1938, BÖRNER 1939, ANDERS 1955, 1957a,b, MARTIN 1977, KING & RILLING 1985, OMER et al. 1995a, EL-NADY 2001) der Reblaus durchgeführt wurden, bleiben immer noch viele Fragen unbeantwortet. Wirksame, umweltverträgliche Kontrollmaßnahmen stehen in Europa derzeit nicht zur Verfügung. Ähnliches gilt auch für andere Weinbau betreibende Länder, obgleich beispielsweise in Kalifornien systemische Insektizide in Einzelfällen eingesetzt werden (GRANETT et al. 2001). Versuche, die Reblaus biologisch zu kontrollieren, beispielsweise durch den Einsatz von entomopathogenen Nematoden (ENGLISH-LOEB et al. 1999a) oder Pilzen wie *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. (GRANETT et al. 2001), zeigten bislang keinen Erfolg. Auch die bisher im Sinne der Prävention eingesetzten reblaustoleranten Unterlagsreben scheinen - zumindest unter bestimmten Einflussfaktoren - ihre Schadtoleranz nicht aufrecht halten zu können. Zudem hat sich die Zahl der reblausbefallenen Flächen in deutschen Weinanbaugebieten in den letzten Jahren stark erhöht. Im Anbaugebiet Rheingau (Bundesland Hessen) stieg die Zahl reblausbefallener Rebanlagen von 185 ha im Jahr 1994 auf 361 ha im Jahr 1997 (JUNG 1998). Nach Untersuchungen in Rheinhessen stellt SCHLAMP (1997) fest, dass in diesem Anbaugebiet nahezu alle Gemarkungen mit Reblaus befallen sind. Im Jahr 2006 wurde auch im bis dahin als reblausfrei geltenden Anbaugebiet 'Hessische Bergstraße' ein Reblausbefall festgestellt (mündl. Mitt. PRESSER). Auch in den Weinanbaugebieten des Bundeslandes Rheinland-Pfalz wurde eine sehr starke Zunahme beobachtet. Die auf der 'Verordnung zur Bekämpfung der Reblaus', vom 27. Juli 1988 (BGBl. I S. 1203), basierende 'Bekanntmachung der nicht von der Reblaus befallenen Gemeinden und Ortsteile der rheinland-pfälzischen Weinbaugebiete', vom 3. Mai 1990 (BAnz. Nr. 89, 12. Mai 1990), musste zum 1. August 2006 aufgehoben werden (BAnz. 119, 29. Juni 2005), so dass in diesem Bundesland alle Gemeinden als von der Reblaus befallenen angesehen werden müssen.

Die Reblaus verursacht durch ihre Saugtätigkeit an den Frischwurzeln der Unterlagsreben schnabelartige Verdickungen, welche als Nodositäten bezeichnet werden. An Altwurzeln werden diese, als eine Art Gewebswucherung erkennbaren Saugstellen als Tuberositäten bezeichnet (BLANKENHORN & MORITZ 1875). Dies wirkt sich negativ auf die vegetative Leistung vor allem wurzelechter Reben der Art *Vitis vinifera* aus und kann zum Absterben der Rebstöcke führen. Aber auch in deutschen Pfropfrebenanlagen mit reblaustoleranten Unterlagsrebsorten, beispielsweise der Kreuzung *V. berlandieri x V. riparia*, treten in den letzten Jahren vermehrt Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen auf, welche mit einem Befall des Wurzelsystems dieser Reben mit virginoparen apteren Rebläusen in Zusammenhang gebracht werden (PRESSER et al. 1993, SOPP et al. 1997, 1998, PORTEN et al. 2000a,b, PORTEN & HOFFMANN 2004,

SCHWAPPACH 2006). Schätzungen über die ökonomischen Auswirkungen dieses Reblausbefalls in Deutschland liegen nicht vor. In Kalifornien wird der in neuerer Zeit verursachte Schaden auf einige Mrd. US-Dollar (SULLIVAN 1996) geschätzt. Verschiedene Autoren weisen allerdings auch auf eine Beteiligung von pathogenen Mikroorganismen am Absterbeprozess hin (MILLARDET 1878, THÜMEN 1878, PETRI 1909, HOFMANN 1957b, MILKO 1961, PEROV et al. 1970, VANNACCI et al. 1984, NEDOV 1985, NEDOV & GULER 1987, GRANETT et al. 1998, PORTEN et al. 2000b). Die Mehrzahl diesbezüglicher Untersuchungen wurden an Wurzeln der hochanfälligen Art *V. vinifera* bzw. an Unterlagsreben mit *V. vinifera*-Erbgut durchgeführt. Dabei konnten verschiedene Pilzarten bzw. Pilzgattungen isoliert werden, welche den Wurzelverlust infizierter Rebstöcke bedeutend erhöhen (GRANETT et al. 1998). Ältere Untersuchungen russischer Wissenschaftler weisen darauf hin, dass die Fäulnisprozesse an Nodositäten von Reben mit *V. vinifera*-Erbgut denen von Unterlagsrebsorten mit Amerikaner-Erbgut ähneln bzw. ähnliche Pilzarten am Fäulnisprozess beteiligt sind (MILKO 1961).

1.3 Kontrolle bodenbürtiger Phytopathogene im Rahmen des Integrated Pest Management

'Integrated Pest Management (IPM) ist ein Entscheidungsfindungssystem für die Auswahl und die Anwendung von Schädlingskontrollmaßnahmen, welche einzeln oder harmonisch zu einer Managementstrategie abgestimmt werden, basierend auf Kosten-/Nutzenanalysen, welche die Interessen von und die Auswirkungen auf Produzenten, Gesellschaft und Umwelt berücksichtigen' (KOGAN 1998).

IPM entwickelte sich aus verschiedenen Forschungskonzepten und -richtungen und ist erst seit ca. 30 Jahren ein feststehender Begriff (eine ausführliche Darstellung der historischen Entwicklung, der Konzepte und Begriffsdefinitionen erfolgt beispielsweise in NORDLUND 1996, KOGAN 1998 und BAJWA & KOGAN 2002). Dabei ist der Begriff des IPM nicht unmittelbar mit dem Begriff des 'Integrierten Pflanzenschutzes' gleich zusetzten. Zum einen, da in ursprünglichen Definitionen unter dem Begriff 'Pest' alle für den Menschen schädlichen Organismen eingeschlossen wurden (BAJWA & KOGAN 2002). Zum anderen wird heutzutage vielfach auch die Kontrolle von nicht an Pflanzen vorkommenden Schädlingen wie Moskitos in den Kontext des IPM bzw. der biologischen Kontrolle gestellt (UNIVERSITY OF FLORIDA AND THE AMERICAN MOSQUITO CONTROL ASSOCIATION 2006), auch in Deutschland (KABS 2006). Ein über die Definition hinausreichendes Kennzeichen des Integrated Pest Management ist, dass IPM eine multidisziplinäre Aufgabe darstellt (KOGAN 1998).

Die wohl bekannteste und am weitesten verbreitete Maßnahme im Rahmen des IPM im Weinbau ist die Verwendung reblaustoleranter Unterlagsreben (Abb. 1-1, Host

Resistance). Aber auch andere IPM-Maßnahmen werden im Weinbau seit langem genutzt. Hierzu gehört beispielsweise die Verwendung raubmilbenschonender Pestizide zur Aufrechterhaltung natürlicher Bestände der Raubmilbe *Typhlodromus pyri* Scheuten, um eine natürliche Kontrolle von Spinnmilben wie *Panonychus ulmi* Koch und *Tetranychus urticae* Koch oder Kräuselmilben (*Calepitrimerus vitis* Nalepa) zu gewährleisten (MARSHALL & LESTER 2001, PRISCHMANN et al. 2002; Abb. 1-1, Conservation biological control). Letztgenannte Maßnahme gehört zum IPM-Komplex der biologischen Schädlingskontrolle (Biological Control, Synonym: Biocontrol; EILENBERG et al. 2001). Unter Biocontrol ist nach EILENBERG et al. 2001 der 'Einsatz lebender Organismen zur Suppression der Populationsdichte oder des Einflusses eines spezifischen Schadorganismus, welcher dazu führt, dass der Schadorganismus weniger abundant oder weniger schädlich wird, als es ohne die angewandte Maßnahme der Fall wäre' zu verstehen. In einer erweiterten Beschreibung definiert EILENBERG 2006 den Begriff Biocontrol als 'eine auf Beobachtungen basierenden Vision einer nahezu perfekten ökologischen Balance, welche zu einem Management der Interaktionen zwischen dem Schädling und seiner natürlichen Feinde führt'. Wie derselbe Autor weiter betont, ist hierbei hervorzuheben, dass diese natürliche Regulation von Schädlingspopulationen der Hauptgrund dafür ist, dass nicht alle oder nahezu alle Insekten, welche sich von Pflanzen ernähren, Schädlinge sind; ihre Populationen werden durch Prädatoren, Parasitoide oder Insektenpathogene an einer Massenentwicklung gehindert. In Bezug auf die Ausbreitung und Vermehrung des *Vitis*-Parasiten Reblaus muss zwischen der natürlichen Umgebung (native range) und dem natürlichen Wirt (native host) einerseits und den Bedingungen im Ertragsweinbau andererseits differenziert werden. Zur Massenvermehrung und Dynamik von Insektenpopulationen liegen eine Vielzahl von Untersuchungen und Hypothesen vor, allgemeingültige Theorien und Modelle werden aber erst seit vergleichsweise kurzer Zeit entwickelt (BERRYMAN 1987). Viele Fragen sind sowohl aufgrund der komplexen Lebenszyklen als auch der Vielzahl an Interaktionen mit abiotischen und biotischen Einflussfaktoren immer noch unbeantwortet. So sind auch die einer Massenvermehrung von Aphiden zugrunde liegenden Mechanismen größtenteils nicht bekannt (WELLINGS et al. 1985). Es kann im Falle der Reblaus aber mit großer Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass in der native range und am native host die Reblauspopulationen zum überwiegenden Teil durch die Wirtsresistenz an einer übermäßigen Aus- und Verbreitung bzw. einer Schädigung ihres Wirtes gehindert werden. In kommerziell genutzten Rebanlagen mit hochanfälligen *V. vinifera*-Beständen oder Pfropfrebenanlagen mit reblaustoleranten Unterlagsreben hingegen ist dieser natürliche Mechanismus gänzlich oder teilweise aufgehoben oder gestört. Wie WELLINGS & DIXON (1987) so folgen auch PORTEN & HUBER (2003a)

für *D. vitifoliae* in kommerziell genutzten Rebanlagen der Definition von JOYCE (1983) und bezeichnen einen Schädlingsausbruch als ein Ereignis, bei dem eine große Anzahl von Insekten an einer Wirtspflanze einen Produktivitätsverlust verursacht. Es sind also verschiedene Maßnahmen im Rahmen des IPM und insbesondere im Rahmen der Biocontrol denkbar, mit welchen die Reblauspopulationen beeinflusst bzw. unter eine zu einem Schaden an den Rebstöcken führenden Dichte abgesenkt werden können.

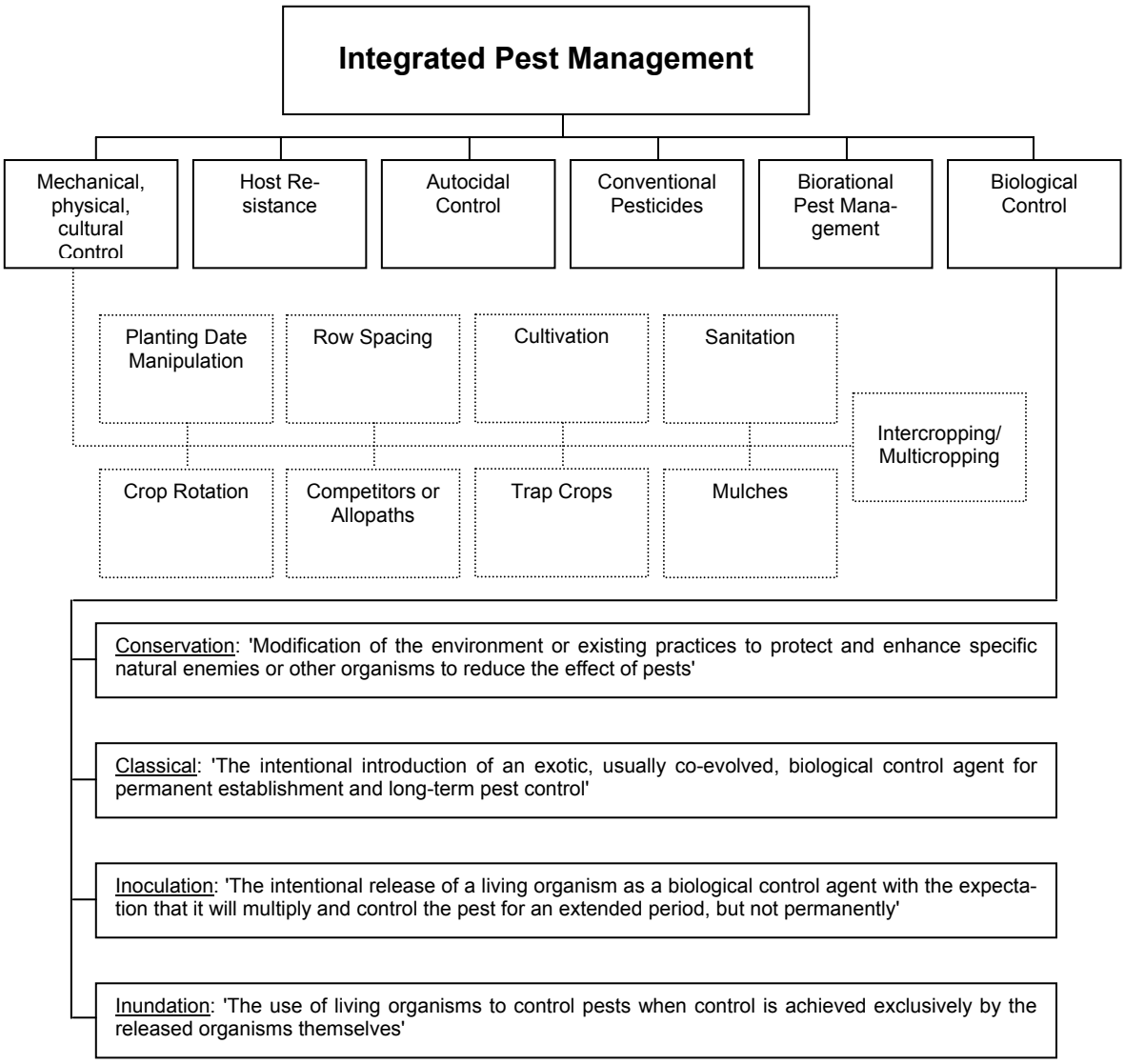


Abb. 1-1: Pflanzenschutzmaßnahmen im Rahmen des Integrated Pest Management (IPM).
Aufgeführt sind verschiedene Maßnahmen im Rahmen der Bewirtschaftung und der biologischen Schädlingskontrolle. Zusätzlich sind die Definitionen der einzelnen biologischen Kontrollmöglichkeiten nach EILENBERG et al. (2001) aufgeführt.
Verändert nach NORDLUND (1996) und EILENBERG et al. (2001).

Im Falle einer Beteiligung von phytopathogenen Bodenmikroorganismen am Schadausmaß und -verlauf reblausbefallener Unterlagsreben wären die Maßnahmen des IPM auf diese Organismen zu erweitern. Hier sind die unter dem Begriff der 'Con-

servation biological control' einzuordnenden, natürlichen Eigenschaften von Böden zu nennen, welche in der Literatur unter den Begriffen pathogensuppressive und pathogenkonduktive Böden (ALABOUVETTE et al. 1982), bzw. dem Begriff des antiphytopathogen Potentials (REINMUTH 1963), beschrieben sind. Dass die Begriffe der 'suppressiven Böden' und des 'antiphytopathogenen Potentials' in der Literatur getrennt behandelt werden, ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Arbeiten REINMUTHs aufgrund der politischen Gegebenheiten nicht in die seit den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts vor allem in den USA durchgeführten bodenhygienischen Untersuchungen eingingen, aus welchen der Begriff der 'suppressiven Böden' hervorging (TIEDEMANN 2002). Suppressive Eigenschaften von Böden wurden bei unterschiedlichen durch Pilze, Bakterien und Nematoden verursachten Pflanzenkrankheiten beobachtet. Es handelt sich dabei nicht um Ausnahmeerscheinungen, sondern vielmehr um ein Phänomen, welches potentiell allen Böden innewohnt (REINMUTH 1968, ALABOUVETTE & STEINBERG 2006). Pathogensuppressive Bodeneigenschaften können dabei sowohl auf biotische als auch abiotische Faktoren zurückgeführt werden, welche das Pathogen, die Wirtspflanze oder die Interaktionen zwischen Pathogen und Wirt beeinflussen. Somit sind pathogensuppressive Böden ein Beispiel für eine - der Conservation Biological Control im Rahmen des IPM gleichzusetzende - natürlich vorkommende biologische Schädlingskontrolle (ALABOUVETTE & STEINBERG 2006). Hierbei ist besonders hervorzuheben, dass es sich - im Gegensatz zu der weit verbreiteten Meinung - dabei nicht unbedingt um eine Verringerung der Masse oder Dichte des entsprechenden Pathogens in suppressiven Böden handelt. Im Sinne von ALABOUVETTE et al. (1982) sind diese Bodeneigenschaften maßgeblich dadurch definiert, wie sich die Anwesenheit eines Pflanzenschädlings auf die potentiellen Wirtspflanzen auswirkt, unabhängig von dessen Dichte im Boden. Wie HORNBY (1983) im Rahmen eines Reviews feststellt, können die untersuchten Böden in pathogensuppressive und krankheitssuppressive Böden unterschieden werden, wobei in vielen Fällen keine eindeutige Zuordnung vorgenommen werden kann. Pathogensuppressivität beschreibt dabei die Fähigkeit eines Bodens, die Dichte eines Pathogens zu reduzieren, während Krankheitssuppressivität die Fähigkeit eines Bodens beschreibt, die negativen Auswirkungen eines Pathogens auf die Wirtspflanze zu reduzieren, also die Erkrankung der Pflanze zu unterbinden. So können krankheitssuppressive Böden sogar eine höhere Pathogendichte aufweisen und ein besseres Überleben des Pathogens gewährleisten als konduktive. Andererseits können pathogensuppressive Böden sogar krankheitskonduktiv sein (HÖPER & ALABOUVETTE 1996). Eine weitere Unterscheidung suppressiver Bodeneigenschaften liegt in der Wirkungsdauer begründet. Langanhaltende, d.h. über Jahrzehnte andauernde Suppressivität, ist HORNBY (1983) zufolge nur in sehr wenigen Fällen, beispiels-

weise an einigen Weizenanbaustandorten zu beobachten und wird von HÖPER & ALABOUVETTE (1996) auf stabile Bodenbedingungen zurückgeführt. Kurzfristige Suppressivität wird durch verschiedene äußere Faktoren oder die Einführung von Antagonisten beeinflusst und dauert in der Regel nur wenige Vegetationsperioden an, wobei Änderungen in den Bewirtschaftungsmethoden hierbei eine bedeutende Rolle spielen können (HÖPER & ALABOUVETTE 1996).

1.4 Hintergrund und Ziel der Untersuchungen

Die Ausgangspunkte für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen stellten einerseits die in den obigen Kapiteln beschriebenen Beobachtungen über die in neuerer Zeit auftretenden Schädigungen in Ertragsrebanlagen mit reblaustoleranten Unterlagsreben dar. Andererseits wurden in den Jahren 1997 bis 2000 am Fachgebiet Rebenzüchtung und Rebenveredlung der Forschungsanstalt Geisenheim, in Kooperation mit der Arbeitsgruppe Bodenökologie des Instituts für Zoologie der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz, Freilanddüngeversuche durchgeführt, auf deren Grundlage die hier vorliegende Arbeit mit folgenden Arbeitshypothesen begonnen wurde:

1. Die Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen in mit *D. vitifoliae* befallenen Pfropfrebenbeständen mit Unterlagsrebsorten der Kreuzung *V. berlandieri x V. riparia* werden nicht per se durch die Reblaus, sondern durch die Interaktionen zwischen Reblaus, phytopathogenen Bodenmikroorganismen und Umweltbedingungen verursacht.
2. Das Ausmaß und der Verlauf der Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen in mit *D. vitifoliae* befallenen Pfropfrebenbeständen mit Unterlagsrebsorten der Kreuzung *V. berlandieri x V. riparia* werden durch Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen beeinflusst.

Durch die im Rahmen dieser Freilanddüngeversuche bereits im Vorfeld durchgeführten Untersuchungen (PORTEN in Bearb., HUBER 1999) konnte bereits festgestellt werden, dass die Auswirkungen einer organischen Bodenbewirtschaftung auf die Nährstoffversorgung der Reben sowie die auf diesen Düngemaßnahmen beruhenden Veränderung physikalischer und chemischer Bodenparameter einerseits und des Bodenedaphons andererseits nicht ausreichen, um die zu beobachtenden Unterschiede in der Schadsymptomatik der Reben zu erklären. Es stellten sich zu Beginn der vorliegenden Arbeit darum die folgenden Hauptfragen:

1. Trifft die erste Arbeitshypothese zu und sind Unterschiede zwischen den Mikroorganismenzönosen der Bodenmikrokompartimente und der Wurzeln in geschädigten und ungeschädigten Rebanlagen festzustellen?

2. Trifft die erste Arbeitshypothese zu und wie interagieren die verschiedenen Faktoren in Rebanlagen mit und ohne Schaden?

3. Trifft die zweite Arbeitshypothese zu und wie müssen die im Rahmen des IPM anwendbaren Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen gestaltet sein, damit eine Schädigung der Rebstöcke verhindert werden kann?

Die Ergebnisse der zu diesen Fragestellungen durchgeführten Untersuchungen, welche im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Forschungsprojektes 'Experimente über zunehmende Schädigungen an Rebstöcken durch die Reblaus *Daktulosphaira vitifoliae* (Fitch): Mikrokompartimentuntersuchungen im Wurzelsystem' (EI87/6-1; Laufzeit 2000-2001) sowie in dem vom Hessischen Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz geförderten Projekts 'BISGRAM (Biological Soilborne Grapepest Management): Implementierung des wissenschaftlichen und technischen Fortschritts des integrierten Pflanzenschutzes im Weinbau' geförderten Vorhabens werden in Kap. 3.2 dargestellt und in Kap. 4.2 diskutiert. Es ist dabei hervorzuheben, dass der Fokus der Untersuchungen auf der deskriptiven Beschreibung und dem Vergleich einer möglichst großen Zahl verschiedener Bodenparameter in ungeschädigten und geschädigten Rebanlagen lag. Auf einen Vergleich einzelner Messergebnisse mit Literaturangaben aus anderen Agrikulturen wurde weitestgehend verzichtet. Dies geschah einerseits vor dem Hintergrund, dass bis dato nur sehr wenige Erkenntnisse über die Interaktionen abiotischer und biotischer Faktoren in Weinbergsböden vorliegen, andererseits können Ergebnisse von Anbaukulturen mit Fruchtwechsel und Fruchtfolgen nur sehr bedingt auf Dauerkulturen ohne Fruchtfolgen, wie der Sonderkultur *Vitis* übertragen werden. Eine Ausnahme hierbei stellt die ökologische Bewertung der aus den Weinbergsböden isolierten Pilzarten dar (Kap. 7.4). Aufgrund des Fehlens entsprechender Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenmikroorganismen an *Vitis* wurde auf die in der Literatur an anderen Kulturpflanzen beschriebenen Ergebnisse zurückgegriffen. Die Ergebnisse der in dieser vorliegenden Arbeit beschriebenen Untersuchungen werden ausschließlich unter den Aspekten der aus den Arbeitshypothesen hervorgehenden Fragestellungen diskutiert. Darüber hinausreichende Aspekte, wie beispielsweise der Einfluss der Düngemaßnahmen auf die Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen und die Auswirkungen auf den Rebwuchs, sind Gegenstand der Dissertation von PORTEN (Arbeitstitel: Entwicklung eines Reblausmangement-Konzepts). Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass

auch verschiedene andere Aspekte wie beispielsweise die jahreszeitliche Veränderung der Mikroorganismenzönosen nach Applikation verschiedener Düngestoffe auf einer langjährig mit Mineraldüngern bewirtschafteten Versuchsfläche, ebenfalls nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit sind, sondern in der seit 2003 in Bearbeitung befindlichen Dissertation von HAMMES (Arbeitstitel: Untersuchungen zum Einfluss phytopathogener Bodenpilze auf Absterbeerscheinungen von Rebstöcken) dargestellt und diskutiert werden. Gleiches gilt auch für die begleitend zu den in den Kap. 3.2 dargestellten Ergebnissen im Rahmen verschiedener Diplomarbeiten auf denselben Versuchsanlagen durchgeführten Untersuchungen (siehe Kap. 6), auf welche teilweise an entsprechenden Stellen zurückgegriffen wird.

Im Verlauf der im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchungen wurden verschiedene Ergebnisse erzielt und Beobachtungen gemacht, welche zusätzliche Fragestellungen aufwarfen. Zu einigen dieser Fragen konnten Untersuchungen durchgeführt werden, deren Ergebnisse in verschiedenen Kapiteln dieser Arbeit dargestellt sind.

Hier sind verschiedene Beobachtungen die Reblaus betreffend, wie beispielsweise zum Auftreten geflügelter Rebläuse und die Ergebnisse kontextbezogener rasterelektronenmikroskopischer Untersuchungen, zu nennen. Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit Literaturangaben wies verschiedene Abweichungen auf, was Anlass zu intensiven Recherchen auch historischer Reblausliteratur gab. Die zur Bearbeitung der sich daraus ergebenden Fragestellungen wurden im Rahmen des seit dem Jahr 2005 vom Hessischen Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz geförderten Projekts 'BISGRAM (Biological Soilborne Grapepest Management): Implementierung des wissenschaftlichen und technischen Fortschritts des integrierten Pflanzenschutzes im Weinbau' durchgeführt. Die gewonnenen Ergebnisse werden in den Kap. 3.1 und 4.1 besprochen.

Ein weiterer Aspekt, welcher im Rahmen dieser Arbeit untersucht wurde, ist das Auftreten eines bis zur Durchführung der in den Kap. 3.2 und 4.2 vorgestellten Untersuchungen unbeschriebenen Wurzelparasiten von *Vitis*. Wie durch mikroskopische Wurzeluntersuchungen festgestellt werden konnte, befällt dieser Organismus, welcher der Gruppe der Plasmodiophorales (BRASELTON 1995) zugeordnet werden konnte, die Rebwurzeln und tötet diese ab. Somit war für eine Bewertung der durch die Interaktionen von Reblaus und phytopathogenen Mikroorganismen verursachten Schäden die Aufklärung der Auswirkungen einer Wurzelinfektion der Reben mit dieser neuen Mikroorganismenart von entscheidender Bedeutung. In den Kap. 3.3 und 4.3 werden die Artneubeschreibung und die Ergebnisse der weiteren Untersuchungen zur Verbreitung und Schadwirkung dieser neuen Plasmodiophoridenart im Rahmen des von der

Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekts '*Sorosphaera sp*. (Plasmodiophorales), eine neue Endoparasitenart bei *Vitis* sp. - Erstbeschreibung, Phylogenie und Ökologie' (EI87/9-1; Laufzeit: 2004-2006) dargestellt und diskutiert.

Im Rahmen des IPM stehen, wie bereits beschrieben, eine Vielzahl von Maßnahmen zur Schädlingskontrolle bzw. des von ihnen hervorgerufenen Schadens zur Auswahl. Bei der Entwicklung pilzlicher biologischer Kontrollorganismen (fungal biological control agents; BCA) für den Einsatz im Rahmen eines integrierten Pflanzenschutzes, konnten in den letzten Jahren deutliche Fortschritte erzielt werden. Dies gilt vor allem für den Einsatz des Insektenpathogens *M. anisopliae* (BUTT & COPPING 2000; PICKETT et al. 1995). *M. anisopliae*-Stämme können weltweit von infizierten Insekten und aus Böden isoliert werden. Diese Stämme unterscheiden sich in ihrer genetischen Stabilität, Haltbarkeit, Virulenz und Spezifität. Durch die Kooperation mit dem Institut für Mikrobiologie der Leopold-Franzens-Universität in Innsbruck ergab sich im Jahr 2001 die Möglichkeit, Versuche zur biologischen Kontrolle der die Wurzeln besiedelnden Rebläuse mit dem entomopathogenen Pilz *M. anisopliae* durchzuführen. Nach Voruntersuchungen an Topfpflanzen (KIRCHMAIR et al. 2004d) lag der Fokus bei den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Freilanduntersuchungen sowohl in der Erprobung geeigneter Applikationsverfahren sowie der Ermittlung des Wirkungsgrades und der Persistenz des Pilzes im Boden. Ein weiterer Untersuchungsgegenstand waren mögliche Auswirkungen eines Einsatzes auf Non-target-Organismen in Weinbergsböden. Die Ergebnisse der im Rahmen der Forschungsprojekte 'Evaluierung von Möglichkeiten zur biologischen Kontrolle der Reblaus (*Daktulosphaira vitifoliae*) durch den entomophagen Pilz *Metarhizium anisopliae*' (Bundesprogramm Ökologischer Landbau; 03OE001; Laufzeit: 2003) und 'Biologische Kontrolle von Wurzelrebläusen durch den insektenpathogenen Pilz *Metarhizium anisopliae*' (Forschungsring des Deutschen Weinbaues (FDW) bei der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft; 8502 187; Laufzeit 2004-2006) bisher durchgeführten Untersuchungen werden in Kap. 3.4 dargestellt und in Kap. 4.4 diskutiert.

Auch hinsichtlich eines als Primärpathogen von *Vitis* anzusehenden Bodenpilzes - *Roesleria subterranea* (Weinm.) Redhead (= *R. hypogaea* Thüm. et Pass.). - konnten im Verlauf der Untersuchungen verschiedene von der neueren Literatur abweichende Beobachtungen auf den Versuchsflächen gemacht werden. Dies war auch in diesem Fall der Anlass für weiterführende Untersuchungen, da die Relevanz dieses Wurzelschimmelerregers im Kontext der Schädigungen reblausbefallener Rebanlagen aufgrund der Literatur nicht abgeschätzt werden konnte. Eine Darstellung und Besprechung der entsprechenden Ergebnisse erfolgt in den Kap. 3.5 und 4.5.

Wie bereits ausgeführt, ist der Kenntnisstand zur Wirkung pathogener Organismen am Wurzelsystem von Reben, dem Wurzelsystem selber sowie der Abwehrmechanismen von *Vitis* spp. derzeit noch sehr gering. So konnten bei Untersuchungen im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit eine Vielzahl neuer Erkenntnisse gewonnen werden, welche durch die zu den einzelnen Themengebieten vorliegenden Literatur nicht zur Gänze erklärt werden können. Allerdings ergeben sich für einige diese Aspekte Erklärungsmöglichkeiten aus der Gesamtbetrachtung der in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchungen. Die Diskussion hierzu erfolgt in Kap. 4.6.

2 MATERIAL UND METHODEN

Wie in Kap. 1 dargestellt, ist die vorliegende Arbeit in mehrere eigenständige Themenbereiche aufgegliedert. Einige der zu beschreibenden Methoden, wie beispielsweise rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen, die Bonitur von Reblauspopulationen oder die Bestimmung bodenphysikalischer und bodenbiologischer Parameter wie Wassergehalt oder organische Bodensubstanz wurden dabei mehrfach eingesetzt. Um Wiederholungen zu vermeiden, werden diese Methoden nachfolgend in Kap. 2.1 (Allgemeine Untersuchungsmethoden) beschrieben. In den Kapiteln 2.2 bis 2.6 sind die für die einzelnen Themenbereiche spezifischen Methoden sowie der jeweilige Versuchsaufbau dargestellt.

2.1 Allgemeine Untersuchungsmethoden

2.1.1 Bodenphysikalische und bodenbiologische Untersuchungsmethoden

Für die Bestimmung des Bodenwassergehaltes wurden je 20 g frischer und gesiebter (5 mm Maschenweite) Boden in 10 Parallelen in Rollrandgläser eingewogen, bei 105 °C für 24 h im Trockenschrank getrocknet, im Exsikkator abgekühlt und erneut gewogen. Die Angabe des Bodenwassergehaltes erfolgt in Prozent der Trockenmasse des Bodens [% TM].

Der pH-Wert der Bodenproben wurde nach DIN 19684 ermittelt. Hierfür wurden je 10 g luftgetrockneter und gesiebter (5 mm Maschenweite) Boden in 10 Parallelen in Rollrandgläser eingewogen. Der Boden wurde mit je 25 ml 0,01 M $CaCl_2$-Lösung kurz suspendiert und nach einer halbstündigen Ruhephase nach einmaligem Aufwirbeln bei Raumtemperatur mit einer pH-Sonde gemessen.

Die Bestimmung der organischen Bodensubstanz (OBS) erfolgte gravimetrisch durch Bestimmung des Glühverlustes nach der Veraschung des Bodens. Je 20 g des gesiebten (5 mm Maschenweite) und bei 105 °C für 24 h getrockneten Bodens wurden in 10 Parallelen für 4 h bei 400 °C im Muffelofen verascht. Die Angabe der organischen Bodensubstanz erfolgt in Prozent der Trockenmasse des Bodens [% TM].

Der Gehalt des mikrobiellen Kohlenstoffs (C_{mic}) in den Bodenproben wurde nach der Fumigations-Extraktions-Methode (JENKINSON 1988, VANCE et al. 1987) ermittelt. Die zu untersuchenden Proben wurden in zwei Fraktionen geteilt. Ein Teil wurde mit Chloroform fumigiert, wodurch die Zellmembranen der in den Bodenproben enthaltenen Organismen zerstört werden, der verbleibende Teil blieb unbehandelt. Die Differenz zwischen der fumigierten und der nicht fumigierten Probe stellt den Anteil des mikrobiellen Kohlenstoffs dar. Es ist zu berücksichtigen, dass nur die durch autolytische Prozesse aus den Polymeren hervorgehenden Oligomere extrahiert werden können. Nicht depolymerisierte Anteile werden bei der Berechnung der mikrobiellen Bio-

masse nach JOERGENSEN (1996) durch einen Korrekturfaktor (k_{EC} = 0,45) berücksichtigt. Die Bestimmungen des Kohlenstoffgehaltes erfolgten in jeweils 10 Parallelen zuzüglich einer Blindprobe (ohne Boden). Zur Extraktion des Kohlenstoffs aus den nicht-fumigierten Proben wurde eine 15 g TM entsprechende Menge gesiebten Bodens (5 mm Maschenweite) in 100 ml-Schraubflaschen eingewogen, mit 60 ml einer 0,5 M K_2SO_4-Lösung versetzt und anschließend 30 min bei 250 U / min geschüttelt. Anschließend wurde die Suspension gefiltert und bis zur Analyse bei -25 °C verwahrt. Für den Aufschluss des mikrobiell gebundenen Kohlenstoffs wurden die Bodenproben vor der Extraktion für 24 h in einem Exsikkator mit Chloroform fumigiert. Nach Entfernung des Chloroforms durch wiederholtes Evakuieren und Entlüften des Exsikkators wurde der Kohlenstoff analog zu den nicht-fumigierten Proben extrahiert. Die Messung des Kohlenstoffgehaltes der Bodenextrakte erfolgte mit einem Fließ-Injektions-System (Perstorp Analytical Company). Die Angabe des mikrobiellen Kohlenstoffs erfolgt in Milligramm je Gramm Trockenmasse Boden [mg / g TM].

Der Anteil des löslichen organischen Kohlenstoffs (Desolved Organic Carbon, DOC) am gesamten organischen Kohlenstoffgehalt des Bodens wurde durch die Messung des Kohlenstoffgehalts der nicht-fumigierten Bodenproben bestimmt. Die Angabe des löslichen organischen Kohlenstoffs erfolgt in Milligramm je Gramm Trockenmasse Boden [mg / g TM].

Die Messung der Basisrespiration wurde nach der Methode von ISERMEYER (1952) durchgeführt. Sie stellt ein Maß für die Aktivität der Bodenorganismen dar, wobei der Hauptanteil des gebildeten Kohlendioxids auf den Metabolismus der Bodenmikroorganismen zurückzuführen ist. Unter Freilandbedingungen tragen auch Pflanzenwurzeln zur Kohlendioxidbildung bei, der Anteil des Kohlendioxids tierischen Ursprungs ist sehr gering (GISI 1997). Bei den hier eingesetzten Bodenproben wurden Pflanzenwurzeln durch Sieben (5 mm Maschenweite) entfernt, womit der im Laborversuch bestimmte Kohlendioxidgehalt fast ausschließlich mikrobiellen Ursprungs ist. Die Bestimmungen der Basisrespiration erfolgten in jeweils 10 Parallelen zuzüglich einer Blindprobe (ohne Boden). Je Einzelprobe wurde eine 30 g TM entsprechende Menge an gesiebtem Boden in Inkubationsgefäße aus Glas (1000 ml Volumen) eingewogen und mit sterilem Aqua dest. auf einen Wassergehalt von 40 % TM eingestellt. In jedem Inkubationsgefäß wurde eine Glasschale mit 2 ml 1 M NaOH platziert, das Gefäß anschließend luftdicht verschlossen und 24 h bei 22 °C im Dunkeln verwahrt. Das während der Inkubationszeit gebildete, als Na_2CO_3 gebundene Kohlendioxid wurde anschließend durch Zugabe von $BaCl_2$ (gesättigt) als $BaCO_3$ ausgefällt. Die Menge an nicht umgesetzter NaOH wurde durch Titration gegen HCl (0,1 M) bestimmt (Indikator

Phenolphthalein). Die Angabe der Basisrespiration erfolgt in Milligramm Atmungskohlenstoff je Gramm Trockenmasse Boden und Stunde [mg CO_2-C / g TM * h].

Die substratinduzierte Respiration (SIR) ist eine Variation des Versuchsansatzes zur Messung der Basisrespiration. Die Versuchsergebnisse informieren über die Fähigkeit der präsenten Mikroorganismen auf leicht verfügbare Kohlenstoff- bzw. Stickstoffquellen zu reagieren und spiegeln somit den Gehalt an leicht zugänglichen C- und N-haltigen Substanzen im Boden wieder. Zur Durchführung dieser Versuche wurden die Proben vor Versuchsbeginn mit einem 0,5 % der Bodentrockenmasse entsprechenden Zusatz einer Kohlenstoffquelle (D(+)-Glucose Monohydrat) bzw. einer Stickstoffquelle (Sojamehl) angereichert. Das weitere Vorgehen ist analog dem der Basisrespiration. Aufgrund der Zugabe einer zusätzlichen Kohlenstoff- bzw. Stickstoffquelle muss gemäß DUNGER & FIEDLER (1997) allerdings von einer erhöhten Atmungsaktivität der Mikroorganismen und somit einer höheren Menge an gebildetem CO_2 ausgegangen werden. Demzufolge wurde die Konzentration der Natronlauge bei den Versuchen zur substratindizierten Respiration erhöht (2 M). Die Angabe der substratinduzierten Respiration erfolgt analog zur Basisrespiration.

Der metabolische Quotient (qCO_2) beschreibt die Menge an Atmungskohlenstoff, die je Masseneinheit mikrobiellen Kohlenstoffs gebildet wird, stellt also das Verhältnis der Basisrespiration zum mikrobiellen Kohlenstoff dar ($qCO_2 = CO_2\text{-}C/C_{mic}$).

Die Respirationsquotienten Kohlenstoff (rqC) und Stickstoff (rqN) stellen das Verhältnis der substratinduzierten Respiration mit Kohlenstoff- bzw. Stickstoffquelle zur Basisrespiration dar.

2.1.2 Bodenmikrobiologische Untersuchungsmethoden

Die Dichtebestimmung (Colony Forming Units, CFU) der Bodenpilze, Bakterien und Actinomyceten erfolgte in Anlehnung an WOLLUM (1982). Im Rahmen der bodenbiologischen Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Mikroorganismen und deren Antagonisten in Rebanlagen mit Reblausbefall wurden die Bodenproben für die Dichtebestimmungen in verschiedene Bodenmikrokompartimente unterteilt (siehe Kap. 2.3.1.1). Zur Keimzahlbestimmung des Bodenmikrokompartiments '(reb)wurzelferner Boden (wf)' wurden für die Ausgangssuspensionen unter sterilen Bedingungen je 95 ml Leitungswasser und 20, 2 mm große Glasperlen in 100 ml Schraubflaschen mit je 10 g frischem, naturfeuchtem Boden versetzt. Die Ausgangssuspension zur Extraktion der Mikroorganismen des Mikrokompartiments '(reb)wurzelnaher Boden (wn)' bestand aus 99 ml sterilem Leitungswasser ohne Zusätze welchem jeweils 5 g frische Wurzeln mit anhängendem Boden zugesetzt wurden. Für die Untersuchung der Mikroorganismendichte des Mikrokompartiments 'Rhizoplane (rp)' wurden die Wurzeln in sterilem Lei-

tungswasser vorsichtig gewaschen und von anhaftenden Bodenteilchen befreit. Die Ausgangssuspension setzte sich zusammen aus 90 ml sterilem Leitungswasser, 5 g sterilem Quarzsand und 2-5 g der gewaschenen Frischwurzeln. Alle Proben wurden 20 min bei 200 U / min auf einem Horizontalschüttler durchmischt. Von den Ausgangssuspensionen wurden Dezimalverdünnungsreihen hergestellt. Von jeder Verdünnungsstufe wurden je 100 µl in 6 Parallelen ausplattiert und bei 24°C inkubiert. Hierfür wurden folgende Nährmedien verwendet:

Actinomyceten: Antibiotika-Nährboullion (Merck; 17,5 g / l) + Agar-Agar (20 g / l) + Streptomycinsulfat (0,03 g / l) + Chlortetracyclin [#] (0,05 g / l)

Bakterien: Standard-II-Nährboullion (Merck; 15 g / l) + Agar-Agar (20 g / l) + Chlortetracyclin [#] (0,05 g / l)

[#] Bei zwei Untersuchungsterminen musste das Fungizid Chlortetracyclin durch Cycloheximid (0,05 g / l) bzw. Nystatin (0,1 g / l) ersetzt werden.

Pilze: Czapek-Dox Agar (48 g / l) + Streptomycinsulfat (0,05 g / l)

Zur Auswertung wurden Platten mit 0 bis 300 Kolonien (Actinomyceten und Bakterien) und 0 bis 50 Kolonien (Pilze) herangezogen. Die für die Untersuchungen der einzelnen Mikrokompartimente eingesetzten Boden- und/oder Wurzelanteile wurden gefiltert und ihr Trockengewicht bestimmt (105 °C, 24 h). Die Bestimmung der Dichte des Pilzes *Metarhizium anisopliae* im Rahmen der Versuche zur biologischen Reblauskontrolle erfolgte nach STRASSER et al. (1996) am Institut für Mikrobiologie, Arbeitsgruppe Systematik, Taxonomie und Evolutionsbiologie der Leopold-Franzens-Universität in Innsbruck, Österreich. Die Angabe der Mikroorganismendichte der Proben erfolgt als Anzahl koloniebildender Einheiten (colony forming units) je Gramm Trockenmasse Boden bzw. Wurzel [CFU / g TM].

Für die Isolation von Pilzarten aus Wurzel- und Nodositätengewebe von *Vitis* wurden ganze Nodositäten bzw. Wurzelstücke von Frischwurzeln (Länge ca. 1 cm) oberflächensterilisiert (Natriumhyperchlorid-Lösung (10 %, 6 s), anschließend mehrfach mit sterilem Aqua dest. gespült, auf sterilen Zellulosefiltern abgetrocknet und auf Agarplatten inkubiert (Czapek-Dox Agar (48 g / l) + Streptomycinsulfat (0,05 g / l)). Im Rahmen der Untersuchungen im Jahr 2000 wurden ausschließlich junge (hellgelbe bis gelbe) Nodositäten verwendet.

Um Informationen über das Artspektrum der Bodenpilze in den verschiedenen untersuchten Bodenmikrokompartimenten zu erlangen, wurden von den im Rahmen der Dichtebestimmungen isolierten Pilzarten durch Abimpfungen Reinkulturen hergestellt. Hierfür wurden sowohl die Koloniecharakteristika als auch die vegetativen und generativen Strukturen der einzelnen Pilze makroskopisch und mikroskopisch verglichen und von allen Morphotypen Abimpfungen vorgenommen. In gleicher Weise wurde mit den aus Nodositäten- und Wurzelgewebe isolierten Morphotypen verfahren. Die

Reinkulturen dieser Morphotypen wurden zur Artdifferenzierung an das Institut für Mikrobiologie, Arbeitsgruppe Systematik, Taxonomie und Evolutionsbiologie der Leopold-Franzens-Universität in Innsbruck, Österreich übersandt.

2.1.3 Bodenzoologische Untersuchungsmethoden

Die Bonitur der Reblauspopulationen erfolgte nach PORTEN & HUBER (2003a). Hierfür wurden je Versuchsvariante von 20 zufällig ausgewählten Rebstöcken mit einem Spaten Wurzelproben entnommen. Die Probennahmepunkte je Rebstock lagen dabei 10 bis 15 cm links und rechts des Rebstocks in der Zeile sowie in der Mitte der Fahrgasse gegenüber des Rebstocks (Abb. 2-1).

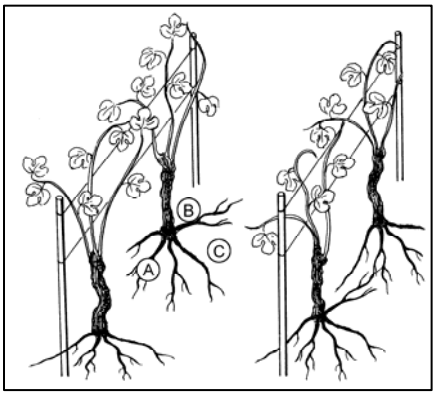


Abb. 2-1: Grabungspunkte des Reblausbonitursystems zur Probennahme im Freiland (PORTEN & HUBER 2003a).
A+B: 10 - 15 cm neben dem Rebstock in der Zeile; C: In der Mitte der Fahrgasse gegenüber dem Rebstock.

Die Wurzeln wurden auf das Vorkommen von alten und neuen Nodositäten sowie auf deren quantitativen Besatz mit Rebläusen aller Entwicklungsstadien und Reblauseiern untersucht. Die Bewertung des Befalls eines Rebstocks mit Rebläusen erfolgte nach dem in Tab. 2-1 dargestellten Klassensystem. Nach Abschluss der Bewertung wurden für jede Versuchsvariante die Befallshäufigkeit und die Befallsintensität berechnet (Tab. 2-1).

Die Extraktion zur Bestimmung der Nematodenzönosen wurde unter Verwendung der Schwemmtrichter-Methode (OOSTENBRINK 1960) durchgeführt. Je Versuchsvariante wurden die Nematoden aus 5 Bodenproben extrahiert. Je Einzelprobe wurden 100 g frischer und ungesiebter Boden in Plastikbehälter eingewogen und mit Leitungswasser 15 min auf einem Horizontalschüttler (80 U / min) aufgeschwemmt. Anschließend wurde die Suspension in den Oostenbrink-Elutriator überführt und die Nematoden extrahiert (15 min, Wasserdurchfluss 0,6 m^3 h^{-1}). In dem Extrakt verbleibende Bodenpartikel wurden durch Filterung auf einer vierstufigen Filterkaskade (Maschenweite 45 µm) entfernt. Die Nematoden wurden in Edelstahlbehälter mit eingelegtem Zellulosefilter überführt, mit Wasser bedeckt und für 18 h bei Raumtemperatur stehen gelassen. Während dieser Zeit wandern die Nematoden durch den Zellulosefilter aktiv in den darunter liegenden Edelstahlbehälter, die Probe ist damit fast vollständig frei von Ver-

unreinigungen. Die Wassermenge wurde durch nochmalige Filterung reduziert, die Nematoden mit wenig Wasser in ein Reagensglas gespült und in einem Wasserbad (60° C) abgetötet. Die Fixierung erfolgte durch Zusatz von Formalin bis zu einer Endkonzentration von ca. 4 %. Die Proben wurden bis zur Weiterverarbeitung bei 4° C verwahrt. Für die Herstellung der mikroskopischen Präparate wurden je Einzelprobe 100 µl der Formalinlösung auf einen Objektträger (50 x 76 mm) mit aufgelegtem Paraffinrahmen pipettiert und mit einem Deckglas abgedeckt. Von jeder der 5 Bodenproben je Versuchsvariante wurden 10 mikroskopische Präparate hergestellt. Durch Erhitzen des Objektträgers auf einer Heizplatte wurde das Paraffin geschmolzen und die Nematodensuspension so zwischen Objektträger und Deckglas eingeschlossen. Die Auszählung und Bestimmung erfolgte unter Verwendung eines Inversmikroskops (Zeiss Axiovert 135). Die Angabe der Nematodenabundanz erfolgte als Anzahl Individuen je Gramm Trockenmasse Boden [Individuen / g TM]. Die Differenzierung der Familien bzw. Gattungen erfolgte nach BONGERS (1988), die Eingliederung zu einer trophischen Gruppe nach YEATES et al. (1993) und BONGERS (1999). In Fällen unklarer oder unzureichend geklärter Ernährungsweise wurde die nach YEATES et al. (1993) wahrscheinlichste Trophiegruppe angenommen. Die Bestimmung der Nematoden erfolgte im Rahmen der Diplomarbeit PETERSON (2002).

Tab. 2-1: Boniturklassen zur Berechnung der Befallshäufigkeit (BH) und Befallsintensität (BI) von Reblauspopulationen an Rebwurzeln im Freiland (PORTEN & HUBER 2003a).

Befallshäufigkeit [%] = (i/s) * 100; Befallsintensität [Klasse] = $\sum_{K=3}^{K=9} (s_K * K) / \sum_{K=3}^{K=9} s_K$

Befallsintensität [%] = (BI_K * 100) / 9

BI_K = Befallsintensität in Klassen, i = Anzahl reblausinfizierter Rebstöcke, K = Boniturklasse, s = Anzahl untersuchter Rebstöcke gesamt, s_K = Anzahl an Rebstöcken einer Boniturklasse

	Charakteristik der Boniturklasse			
Boniturklasse	Alte Nodisitäten	Neue Nodositäten	Reblaus (alle Morphen und Stadien)	Reblauseier
1	+	-	-	-
3	+	+	<x	- (<x)
5	+	+	x	<x
7	+	+	>x	x
9	+	+	>x	>x

x = einfacher Besatz, + = vorhanden, - = nicht vorhanden

Für die Bestimmung des Edaphons im Rahmen der Versuche zur biologischen Reblauskontrolle wurde zur Austreibung der Tiere aus den Bodenproben eine nach KEMPSON et al. (1963) modifizierte BERLESE-Apparatur (BERLESE 1905) verwendet,

deren Wirkungsweise auf der Fluchtreaktion der Bodentiere vor Wärme, Licht und Trockenheit beruht. Der obere beleuchtete Bereich dieser Apparatur kann durch ein Heizgebläse stufenweise erwärmt und getrocknet werden, der untere dunkle Bereich ist wassergekühlt. Die Bodenproben werden in Plastikgefäße mit Siebboden gegeben, welche von einem Auffangbehälter umgeben sind. Die Fang- und Konservierungsflüssigkeit in den Auffanggefäßen bestand aus 2 %-iger Pikrinsäure (2,4,6-Trinitrophenol) und einigen Tropfen eines Tensids. Die Temperatur wurde über einen Zeitraum von mehreren Wochen schrittweise um jeweils 5 °C erhöht. Nach Beendigung der Extraktion wurde der Inhalt der Auffanggefäße über einen Trichter mit Gaze-Einsatz (45 µm) gefiltert und mit 70 %-igem Ethanol quantitativ in Rollrandgläser überführt. Die so gewonnenen Proben wurden mit Hilfe eines Stereomikroskops bis auf Ordnungsniveau bestimmt und gezählt. Die Angabe der Abundanz der Tiere erfolgt in Anzahl Individuen pro m².

2.1.4 Mikroskopische Untersuchungsmethoden

Die Fixierung aller Wurzel-, Nodositäten-, Mikroorganismen- und Reblausproben für licht- und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen erfolgte in AFE (Eisessig : Formol (37 %) : Ethanol (70 %) = 1 : 1 : 18) bzw. bei Freilandsammlungen zuerst in Ethanol (70 %). Die in Ethanol fixierten Proben wurden anschließend im Labor in AFE überführt.

Für die Herstellung lichtmikroskopischer Präparate wurden 5 mm lange Stücke von Nodositäten und Wurzeln 2 Tage in 70 %igem Ethanol gespült, in einer aufsteigenden Ethanolreihe entwässert und in Butanol überführt. Es folgte die Einbettung in Paraffin. Die eingebetteten Proben wurden auf Holzstücken fixiert und mit einem Schlittenmikrotom geschnitten (Schnittdicke 8 µm). Die Schnitte wurden auf Aqua bidest. gestreckt und auf gereinigte Objektträger gezogen. Die Entparaffinierung erfolgte über Xylol (100%) und eine absteigende Ethanolreihe. Die entparaffinierten Proben wurden in Aqua dest. gespült und anschließend für 60 min in einer Pianese-Lösung (GERLACH 1969) gefärbt. Die Differenzierung erfolgte in einem Gemisch aus Ethanol (92 %) und Eisessig (99: 1; 1 min) nach vorherigem Spülen in Ethanol (92 %). Nach erneutem kurzen Spülen (Ethanol 92 %) wurden die Proben in einer aufsteigenden Ethanolreihe und Xylol (100 %) entwässert und in Eukitt eingebettet.

Die Herstellung rasterelektronenmikroskopischer Präparate erfolgte durch Entwässerung der Proben in einer aufsteigenden Ethanolreihe, Überführung in Aceton (100 %) und anschließender Kritisch-Punkt-Trocknung. Die Proben wurden auf Aluminiumtellern fixiert und mit Gold gesputtert. Für die Untersuchungen wurde ein Philips ESEM Rasterelektronenmikroskop verwendet.

Für die Herstellung von Ultradünnschnitten für die Transmissionselektronenmikroskopie wurden die Proben in Glutaraldehyd-Lösung (2,5 % mit 0,05 M Na-Cacodylat-Puffer, pH 7,2) für 12 h fixiert. Anschließend wurden die Proben mit 0,05 M Na-Cacodylat-Puffer gespült, für 1 h in Osmiumtetroxyd (1 %) inkubiert, mit Aqua dest. gespült, in einer aufsteigenden Ethanolreihe entwässert und in Spurr eingebettet. Die Ultradünnschnitte (0,1 bis 0,2 µm) wurden auf Kupfernetze überführt und mit Uranylacetat (2 %) und Bleizitrat (1 %) kontrastiert. Für die Untersuchungen wurde ein FEI Tecnai Transmissionselektronenmikroskop verwendet.

2.1.5 Weinbauliche Untersuchungsmethoden

Die Bonitur des Rebwuchses erfolgte durch visuelle Begutachtung des Einzelstockes und seiner Zuordnung zu einer Wuchsklasse (Tab. 2-2).

Tab. 2-2: Boniturklassen zur Bewertung des Wuchses von Rebstöcken im Freiland.

Boniturklasse	Charakteristik der Boniturklasse
1	sehr schwacher Wuchs
3	schwacher Wuchs
5	mittlerer Wuchs
7	starker Wuchs
9	sehr starker Wuchs

Zusätzlich zu dieser Klassifizierung wurde bei jeder Bestandsbonitur das potentielle Vorkommen einer Reihe von durch biotische und abiotische Faktoren verursachten Schadsymptomen an den Rebstöcken begutachtet. Dies sollte gewährleisten, auftretende Rückgangserscheinungen an Reben einer Schadursache zuordnen zu können. Einerseits, um die zu beobachtenden Rückgangserscheinungen von denen durch die Interaktionen Reblaus-Mikroorganismen verursachten Schäden abgrenzen zu können und andererseits, um bei Vorkommen eines den Rebbestand negativen beeinflussenden Schaderregers gegebenenfalls Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Dies gilt beispielsweise für die durch Trockenstress verursachten Beeinträchtigungen des Rebwuchses in der Vegetationsperiode 2003. So wurden die auf den Versuchsflächen vorkommenden Rebbestände während der Vegetationsperioden in regelmäßigen Abständen auf folgende Schadsymptome bzw. Schaderreger untersucht: A. Abiotische Schädigungen (z.B. Trockenschäden, Frostschäden, Ernährungsstörungen wie Stickstoff-, Bor-, Kalium- oder Eisenmangel). B. Tierische Schädlinge (z.B. *Sparganothis pilleriana* Schiff. (Springwurmwickler), *Otiorrhynchus sulcatus* F. (Gefurchter Dickmaulrüssler) *Colomerus vitis* Pagenstecher (Blattgallmilbe), *Empoasca vitis* Goethe (Grüne Rebzikade). C. Pilzkrankheiten (z.B. *Guignardia bidwellii* (Ellis) Viala & Ravaz (Schwarzfäule), *Eutypa lata* (Pers) Tul. & C. Tul. (Eutypiose), Esca, *Plasmopara viticola* Berk. &

Curt (Falscher Mehltau), *Erysiphe necator* Schwein. (Echter Mehltau). D. Virus- und virusähnliche Krankheiten (z.B. Blattroll- und Reisigkrankheit). E. Bakteriosen wie z.B. Vergilbungskrankheiten (Phytoplasmose).

Für die Erhebung der Leistungs- und Ertragsparameter wurden an zufällig ausgewählten Rebstöcken Einzelstocklesen durchgeführt. Dies musste aus arbeitstechnischen Gründen ein bis zwei Wochen vor den eigentlichen Leseterminen durchgeführt werden, um die Arbeiten auf den in allen Fällen kommerziell genutzten Versuchsflächen nicht zu behindern. Die Trauben wurden von Hand gelesen, in Plastiksäcke verpackt und zur Analyse ins Labor überführt. Dort wurde zunächst der Gesamtstockertrag [kg] ermittelt. Das 100-Beerengewicht [g] wurde durch Abzählen und Wiegen von 100 zufällig ausgewählten Trauben je Stock bestimmt. Die Messung des Zuckergehaltes des Mostes erfolgte refraktometrisch, angegeben in °Oechsle und Brix (80 °Oechsle = 9.3 Brix). Der pH-Wert des Mostes wurde mit einer Messsonde bestimmt.

Die Untersuchung auf Virenbefall der Rebstöcke erfolgte mittels ELISA-Tests (Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay; Testkit Bioreba). Die Reben wurden auf Infektionen mit Arabis mosaic virus (ArMV), Grapevine fanleaf virus (GFLV) und Grapevine leafroll-associated virus Typen 1 und 3 (GLRaV-1 und 3) untersucht (untersuchte Flächen und Stichprobenumfang siehe Kap. 2.4.3). Hierfür wurden im Januar 2005 Holzproben (5 cm eines einjährigen Triebs) entnommen. 0,5 bis 1 g jeder Probe wurde in Extraktionspuffer zerkleinert und für 10-20 h bei 5 °C inkubiert. Serum wurde zu den Proben hinzugefügt und für 4-5 h bei 30 °C inkubiert. Die Platten wurden gewaschen und mit Nitrophenyl-Phosphat im Dunkeln für 1 h bei Raumtemperatur inkubiert. Die photometrische Messung erfolgte bei 405/410 nm (Protokoll des Fachgebiets Rebenzüchtung und Rebenveredlung der Forschungsanstalt Geisenheim).

2.1.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Daten wurde mit dem Softwarepaket STATISTIKA 6.1 (StatSoft Inc.) vorgenommen. Wie in Kap. 1 dargestellt, lag bei den bodenbiologischen Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Mikroorganismen und deren Antagonisten in reblausbefallenen Rebanlagen der Fokus des Interesses auf der Beschreibung der Gegebenheiten auf den Versuchsflächen mit und ohne Schädigungen der Reben bzw. den Düngeversuchsvarianten. Aus diesem Grund wurden neben den analytischen vor allem explorative Analysemethoden wie Korrespondenz- oder Diskriminanzanalysen eingesetzt. Vor der Durchführung entsprechender Verfahren wurde getestet, welchem Verteilungsmodus die Grundgesamtheiten der auszuwertenden Daten innerhalb der Gruppen folgten. Die Prüfung der Daten auf Normalverteilung wurde mit dem Shapiro-Wilks W-Test, die auf Homogenität der Vari-

anzen mit dem Levene-Test durchgeführt. Korrelationen zwischen Mittelwerten und Varianzen wurden graphisch überprüft. In einigen Fällen wurden die Daten vor der Analyse Extremwertbereinigt [Wert > (MW+Stabw) + 2 * 1,5 * ((MW+ Stabw)-(MW-Stabw)) oder Wert < (MW- Stabw) - 2 * 1,5 * ((MW+ Stabw)-(MW- Stabw))]. Ausreißer wurden belassen (Angabe bei den Ergebnisdarstellungen, Kap. 3). Zur weiteren Untersuchung der Daten wurden eine einfaktorielle ANOVA oder der Mann-Whitney U-Test durchgeführt. In den meisten Fällen waren nicht alle Voraussetzungen für die Durchführung einer ANOVA, wie Normalverteilung der Daten, die Homogenität der Varianzen oder das Fehlen der Korrelation zwischen Mittelwerten und Varianzen erfüllt, weshalb in diesen Fällen die nichtparametrische Analyse angewandt wurde. Vor allem im Zusammenhang der Beschreibung der Versuchsflächen- und Variantenvergleiche im Rahmen der bodenbiologischen Untersuchungen wurde auf multivariate, explorative Techniken zurückgegriffen. Dies erlaubte die graphische Darstellung umfassender Datenmengen in einer übersichtlichen Form. So wurde das Auftreten der isolierten Bodenpilzarten bzw. der Phytopathogenitätsgruppen auf den Versuchsflächen mit Hilfe der Korrespondenzanalyse näher beschrieben. Hierbei können mehrdimensionale Datentabellen analysiert werden, welche in einer beliebigen Art und Weise ein Maß für die Korrespondenz zwischen den Zeilen- und Spaltenwerten enthalten. Die Ergebnisdarstellung einer Korrespondenzanalyse hat zum Ziel, die relativen Häufigkeiten mit Hilfe von euklidischen Distanzen zwischen den einzelnen Zeilen und/oder Spalten in einem Raum niedrigerer Dimension darzustellen. Dabei erklären aufeinander folgende, von einander unabhängige Dimensionen immer weniger zusätzliche Anteile am Chi-Quadrat-Wert bzw. an der Trägheit, dargestellt durch die Angabe der Eigenwerte der Dimensionen in den Graphen. Für den Vergleich der erhobenen bodenphysikalischen und bodenbiologischen Parameter der Versuchsflächen und -varianten wurde die Diskriminanzanalyse verwendet. Hiermit kann geprüft werden, ob sich Gruppen hinsichtlich des Mittelwertes einer Variablen unterscheiden, d.h. es werden Diskriminanzfunktionen berechnet, wobei sukzessive, voneinander unabhängige Funktionen immer weniger Trennschärfe besitzen. Die Voraussetzungen zur Durchführung einer Diskriminanzanalyse ähneln denen einer ANOVA, wobei das Hauptkriterium das Fehlen der Korrelation zwischen Mittelwerten und Varianzen ist. War diese Voraussetzung erfüllt, wurde die Analyse durchgeführt. Aufgrund der vorliegenden Datenmatrix wurde die kanonische Analyse verwendet, welche die aufeinander folgenden Funktionen und kanonischen Wurzeln (Roots) berechnet. Die gewichteten Summen stellen dabei ein Paar kanonischer Variablen dar, deren quadrierte Korrelation als kanonische Wurzel (Root) bzw. Lösung der Eigenwert-Gleichung bezeichnet wird. Der Eigenwert stellt dabei den Anteil an der Varianz dar, der durch die Korrelation der kanonischen Variablen erklärt

werden kann. Signifikanztests werden dabei nicht angewandt, da der Sinn der Analyse nicht in einer Hypothesenablehnung, sondern in der niedriger dimensionierten Darstellung der Inhalte einer umfassenden Datenmatrix liegt.

2.2 Biologie von *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch

Im Verlauf der Durchführung der Untersuchungen zu der hier vorliegenden Arbeit konnten, beispielsweise im Rahmen der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen von Rebläusen aus den Versuchen zur biologischen Reblauskontrolle, mehrfach Sachverhalte beobachtet werden, welche nicht mit den bisher in der gängigen Reblausliteratur getroffenen Aussagen in Übereinstimmung gebracht werden konnten. Vor diesem Hintergrund wurden einerseits weitreichende Literaturrecherchen durchgeführt, deren Ergebnisse in Kap. 3.1 dargestellt sind. Diese Literaturrecherchen wurden zum einen unter Verwendung digitaler Literaturdatenbanken wie ISI Web of Science© oder der BnF/Gallica durchgeführt, zum anderen wurden nicht digital erfasste Literaturstellen, vor allem aus dem 19. und 20. Jahrhundert in Bibliotheksarchiven im In- und Ausland recherchiert. Ergänzt wurden diese durch ein Literaturreview zur sexuellen und asexuellen Reproduktion bei *D. vitifoliae* (FORNECK & HUBER 2007). Andererseits wurden weiterführende rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen an verschiedenen Reblausmorphen, vor allem deren antennaler Sinnesorgane durchgeführt. Ein Teil der für einen Vergleich notwendigen genotypisierten Reblausproben z.B. aus Nordamerika oder Australien wurden von Prof. Dr. A. Forneck (Universität für Bodenkultur, Wien) zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse dieser ersten morphologischen Untersuchungen werden in Kap 3.1 dargestellt und in Kap. 4.1 diskutiert. Diese Ergebnisse werden, obgleich die Untersuchungen noch längst nicht abgeschlossen sind hier bereits kurz dargestellt, da sie für die Diskussion des erneuten Auftretens der Reblaus und den mit ihrem Auftreten verbundenen sowohl weltweit als auch regional sehr unterschiedlichen Schadbilder von Bedeutung sind (vergleiche Kap. 4).

2.3 Bodenbiologische Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten in Rebanlagen mit Reblausbefall

2.3.1 Freilandversuche

Wie in Kap. 1 beschrieben, wurden die Freilandversuche auf bereits bestehenden Versuchsflächen der Forschungsanstalt Geisenheim durchgeführt. Auf diesen Flächen wurden im Rahmen der von PORTEN bearbeiteten Dissertation 'Untersuchungen zur Entwicklung eines Reblausmanagementkonzeptes' im Jahr 1998 Düngemittelversuche angelegt. In Anlehnung an diese Düngemittelversuche wurden die hier beschriebenen Untersuchungen durchgeführt.

2.3.1.1 Kennzeichnung der Versuchsflächen und -varianten, der Probennahmebereiche und der untersuchten Mikrokompartimente

Für die Kennzeichnung der Versuchsvarianten, d.h. der einzelnen Versuchsflächen, Düngevarianten, Probenahmebereiche und Bodenmikrokompartimente wurden die in Tab. 2-3 dargestellten Abkürzungen verwendet. Die Bezeichnungen setzten sich aus den Kennziffern 1 bis 5 bzw. deren Kürzeln zusammen, die jeweils durch einen Schrägstrich getrennt werden (1/2/3/4/5).

Tab. 2-3: Bezeichnung der Versuchsvarianten im Rahmen der bodenbiologischen Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten in Rebanlagen mit Reblausbefall.

Kennziffer	Kürzel	Charakteristik der Kennziffer
1		Ameliorationsmaßnahmen vor 1998
	O	Intensiv, primär basierend auf Zufuhr organischer Substanz
	o	extensiv, primär basierend auf Zufuhr von Mineraldüngern
2		Reblausbefall im Jahr der Untersuchung
	R	Reblausbefall
	r	kein Reblausbefall
3		Düngeversuchsvariante (Bezeichnung nach Versuchsdesign 1998)
	I	Volldünger 40 kg N ha^{-1} (NPK 12/12/20/2)
	II	Volldünger 120 kg N ha^{-1}(NPK 12/12/20/2)
	III	Kalkstickstoff 120 kg N ha^{-1}
	IV	Fichtensägemehl 1000 m^3 ha^{-1} + Kalkammonsalpeter 40 kg N ha^{-1}
4		Wuchszustand des Rebsprosses
	S	sehr schwacher bis schwacher Wuchs
	s	normaler bis sehr guter Wuchs
5		Mikrokompartiment Boden/Wurzel
	wf	Boden wurzelfern
	wn	Boden wurzelnah
	mp	Mischprobe aus wf und wn
	rp	Rhizoplane
	ng	Nodositätengewebe
	wg	Wurzelgewebe

Kennziffer 1 beschreibt die Art und Weise der Ameliorationsmaßnahmen vor dem Jahr 1998, also dem Jahr der Anlage der Düngemittelversuche. Hierbei werden Flächen beschrieben, deren Bodenbewirtschaftung intensiv und unter primärer Verwendung von organischen Substanzen wie Stallmist durchgeführt wurde (Kennziffer 1 = O), bzw. Flächen mit extensiver Bodenbewirtschaftung und unter ausschließlicher Verwendung von Mineraldüngern (Kenziffer 1 = o). Das Kürzel (O, o) steht für 'organisch'. Bei den verwendeten Mineraldüngern handelt es sich um Volldünger der Zusammensetzung N: P_2O_5: K_2O, MgO: S: B: Zn (12: 12: 17: 2: 6: 0,02: 0,01 [%]), bei den als organisch bezeichneten Düngestoffen um abgelagerten Pferde-, oder Rindermist.

Tab. 2-4: Düngebehandlungen der Versuchsvarianten auf den Versuchsflächen O/R und o/R in den Jahren 1997 bis 2005 (Angaben je ha).
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Jahr	Versuchsvariante			
	I	II	III	IV
		Versuchsfläche O/R		
bis 1997	Stallmist 30 t a^{-1}	Stallmist 30 t a^{-1}	Stallmist 30 t a^{-1}	Stallmist 30 t a^{-1}
1998	Volldünger 40 kg N	Volldünger 120 kg N	Kalkstickstoff 120 kg N	Fichtensägemehl 1000 m^3 + Kalkammonsalpeter 40 kg N
1999	-	-	-	-
2000	-	-	-	-
2001	-	-	-	-
2002	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N
2003	Stallmist 60 t	Stallmist 60 t	Stallmist 60 t	Stallmist 60 t
2004	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N
2005	Stallmist 60 t	Stallmist 60 t	Stallmist 60 t	Stallmist 60 t
		Versuchsfläche o/R		
bis 1997	Volldünger 40 kg N a^{-1}	Volldünger 40 kg N a^{-1}	Volldünger 40 kg N a^{-1}	Volldünger 40 kg N a^{-1}
1998	Volldünger 40 kg N	Volldünger 120 kg N	Kalkstickstoff 120 kg N	Fichtensägemehl 1000 m^3 + Kalkammonsalpeter 40 kg N
1999	-	-	-	-
2000	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N
2001	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N
2002	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N
2003	Volldünger 40 kg N	Fichtensägemehl 500 m^3 + Kalkammonsalpeter 40 kg N	Stallmist 40 t	Volldünger 40 kg N
2004	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N
2005	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N	Volldünger 40 kg N

Kennziffer 2 beschreibt den Reblausbefall an Wurzeln im Jahr der Untersuchung (Jahr 2000), wobei Reblausbefall der Wurzeln mit ’R’ und kein Reblausbefall mir ’r’ gekennzeichnet wird. Das Kürzel (R, r) steht für Reblausbefall.

Kennziffer 3 gibt Auskunft über die Art der Düngemittelgabe bei Anlage des Versuchs im Jahr 1998 und den Folgejahren. Die Art und Menge der Düngemittelgaben ist in Tab. 2-4 dargestellt (weitere Angaben hiezu siehe Kap. 2.3.1.2). Die Düngeversuchsvarianten sind mit den Kürzeln I bis IV gekennzeichnet.

Kennziffer 4 beschreibt die Probennahmebereiche innerhalb einer Versuchsflächenvariante. Hierbei wurde unterschieden in Bereiche mit sehr schwachem bis schwachem Wuchs der Reben und abgestorbenen Rebstöcken (S) und in Bereiche mit normalem bis sehr gutem Rebwuchs (s). Das Kürzel (S, s) steht für Schaden.

Kennziffer 5 beschreibt das untersuchte Mikrokompartiment, das verwendete Kürzel besteht aus zwei Kleinbuchstaben: ’wf’ = wurzelferner Boden (bezogen auf Rebwurzeln), ’wn’ = wurzelnaher Boden (bezogen auf Rebwurzeln). Wurzelnaher Boden (’wn’) entspricht in weiterem Sinn dem Bereich der so genannten Rhizosphäre. Für diesen von Lorenz Hiltner am Anfang des letzten Jahrhunderts eingeführten Begriff bestehen derzeit eine Vielzahl mehr oder weniger voneinander abweichender Definitionen. Er beschreibt im einfachsten Sinne die die Pflanzenwurzeln umgebende Bodenzone, die direkt von den Wurzelexudaten beeinflusst wird. Die räumliche Ausdehnung dieses Rhizosphärenbereichs ist dabei von einer Vielzahl von Faktoren wie Pflanzenart- und gesundheitszustand oder Bodenbeschaffenheit und -art abhängig. Für *Vitis* liegen darüber keine Informationen vor. Aus diesem Grunde wurde in der vorliegenden Arbeit der neutrale Begriff 'wurzelnah’ verwendet und eine räumliche Ausdehnung von 0 bis 5 mm um die Rebwurzel angenommen. Das Kürzel ’mp’ steht für eine Mischprobe aus den Bodenmikrokompartimenten ’wf’ und ’wn’. Mit dem Kürzel ’rp’ wird die unmittelbare Wurzeloberfläche (Rhizoplane) bezeichnet. Die Kürzel ’ng’ und ’wg’ stehen für Nodositäten- bzw. Wurzelgewebe.

2.3.1.2 Geographische Lage, Bodeneigenschaften und Bewirtschaftung der Versuchsflächen

Alle der im Rahmen der bodenbiologischen Untersuchungen genutzten Versuchsflächen liegen im ca. 3200 ha umfassenden Weinanbaugebiet Rheingau, einem Gebiet, in welchem seit mindestens 1200 Jahren - vermutlich aber bereits seit der Römerzeit - Weinbau betrieben wird. Der Rheingau wird - auch aufgrund der vorkommenden Böden - in die Bereiche Oberer Rheingau und Unterer Rheingau (Mittelrheintal) unterteilt. Das Gebiet des Oberen Rheingaus zwischen Wiesbaden und Rüdesheim, in welchem die Versuchsflächen liegen, zählt geologisch zum Mainzer Becken. Durch die

Jahrhunderte lange Nutzung dieses Gebietes zu weinbaulichen Zwecken handelt es sich bei den vorkommenden Böden um Rigosole der Klasse der Terrestrischen Kultursole (FRIEDRICH & SABEL 2004). Dieser seit vielen hundert Jahren kontinuierlich fortdauernde menschliche Einfluss macht sich immer wieder sowohl direkt, z.B. durch die Veränderung der Bodeneigenschaften, als auch indirekt bemerkbar. So hatte beispielsweise die durch die Einschleppung der Reblaus Ende des 19. Jahrhunderts notwendig gewordene Einführung des Pfropfrebenanbaus ebenfalls einen nachhaltigen Einfluss auf die Bedeutung des Standortfaktors Boden. Namentlich, da ein entscheidender Faktor für die Leistungs- und Ertragsfähigkeit der Edelreissorten bei der Verwendung von Pfropfreben die Bodenverträglichkeit der Unterlagssorte ist. Aus diesem Grunde wurde auch im Jahre 1947 mit der bodenkundlichen Kartierung des Rheingaus begonnen. Die nachstehenden diesbezüglichen Angaben zu den Versuchsflächen sind dieser 'Standortkartierung der hessischen Weinbaugebiete' (LÖHNERTZ et al. 2004) bzw. den entsprechenden Weinbau-Standortkarten entnommen.

Versuchsfläche o/r

Die Versuchsfläche o/r ist Teil der Außenanlagen des Fachgebiets Rebenzüchtung und Rebenveredlung der Forschungsanstalt Geisenheim. Sie gehört zur Großlage



Abb. 2-2: Reblausfreie, extensiv bewirtschaftete Versuchsfläche des Fachgebiets Rebenzüchtung und Rebenveredlung der Forschungsanstalt Geisenheim (o/r). Umfang der Versuchsfläche orange markiert.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Burgweg (Lage Fuchsberg) und liegt 105 m über NN. Beim Ausgangsgestein handelt es sich im Untergrund um Löß, im Rigolhorizont um Löß mit geringen Beimengungen von anderem Gesteinsmaterial. Im Untergrund (Kalkgehalt 15 - 30 %) handelt es sich um schwach lehmigen Schluff bis schluffigen Feinsand zum Teil über Sand und Kies, im Rigolhorizont (Kalkgehalt 8 - 30%) um lehmigen bis stark lehmigen Schluff. Die Wasserdurchlässigkeit ist mittel bis zum Teil gering, die Feldkapazität ist hoch (Nutzbare Feldkapazität > 200 mm). Die Hangneigung beträgt 4° bis 7° in südlicher bis südwestlicher Richtung. Die Böden neigen zur Austrocknung. Im für die Versuche genutz-

ten Abschnitt der Rebfläche von ca. 500 m^2 Umfang (Abb. 2-2) wird seit 1971 die Edelreissorte „Weißer Riesling“ auf der Unterlagssorte 5 C (*V. berlandieri* x *V. riparia*) kultiviert. Die Zeilenbreite beträgt 172 cm, der Stockabstand 150 cm. Die Begrünung jeder zweiten Zeile alterniert jährlich. Düngemaßnahmen beschränken sich auf die jährliche Gabe von Volldünger (40 kg N ha^{-1} a^{-1}). Da sich die Fläche seit ca. 1995 nicht mehr in der Nutzung befindet, wurden seit dieser Zeit keine zusätzlichen Dünge- oder Pflegemaßnahmen durchgeführt. Rückgangs- oder Krankheitserscheinungen an den Rebstöcken konnten im Untersuchungsjahr 2000 nicht festgestellt werden. Auf dieser Fläche wurde seit Versuchsanlage noch nie ein Reblausbefall dokumentiert. Im Untersuchungsjahr 2000 konnten weder Rebläuse oder Reblauseier noch Nodositäten festgestellt werden. Auch alte Nodositäten, die auf einen Befall der Wurzeln mit Reblaus im Vorjahr hinweisen würden, wurden nicht festgestellt. Die Fläche ist somit als reblausfrei anzusehen.

Versuchsfläche O/R

Die Versuchsfläche O/R ist eine kommerziell genutzte Rebfläche in der Gemarkung Geisenheim. Sie gehört ebenfalls zur Großlage Burgweg (Lage Mönchspfad) und liegt 150 m über NN. Das Ausgangsgestein wird im Untergrund von pleistozänem Terrassenkies, im Rigolhorizont von Lößlehm mit schwachen Terassenkiesbeimengungen gebildet. Die Bodenart ist im Untergrund ein sandiger Lehm über Kies und Sand (Kalkgehalt 0-15 %) und im Rigolhorizont ein sandig-schluffiger bis kiesiger Lehm ohne messbaren Kalkgehalt. Der Boden besitzt eine mittlere Wasserdurchlässigkeit und eine hohe nutzbare Feldkapazität (150-175 mm), der Wasserhaushalt ist ausgeglichen. Die Hangneigung beträgt 2° bis 4° in südlicher bis süd-westlicher Richtung. Der Umfang der für die Versuche genutzten Anteile an der Gesamtfläche beträgt ca. 1600 m^2 (Abb. 2-3 A+B). Die Pflanzung erfolgte 1985 mit der Edelreissorte „Weißer Riesling“ auf der Unterlagssorte 5 C (*V. berlandieri* x *V. riparia*). Die Zeilenbreite beträgt 200 cm, der Stockabstand 135 cm. Jede zweite Zeile ist begrünt (alternierend im jährlichen Wechsel; Abb. 2-3 C+D). Die Anlage wird seit über zwei Jahrzehnten sehr arbeitsintensiv bewirtschaftet. Die Düngemaßnahmen bis 1997 basierten auf einem jährlichen Humuseintrag auf Basis von Stallmist (Pferde-, Rinder- oder Hühnermist). Düngemittelgaben wurden für die Versuchsdurchführung ab dem Jahr 1998 geändert und sind bis zum Jahr 2005 der Tab. 2-4 zu entnehmen. Die Bodenbearbeitung erfolgte stets ohne den Einsatz von tiefenlockernden Geräten. Die in den Versuchsjahren auf dieser Versuchsfläche eingesetzten Pflanzenschutzmittel sind in Tab. 7-1, die Stockarbeiten und Bodenbearbeitungsmaßnahmen in Tab. 7-2 aufgeführt. Die Ergebnisse einer im Jahr 2000 vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie durchgeführten bodenchemischen Analyse dieser Fläche sind der Tab. 7-5 zu entnehmen. Seit 1989 wird auf

dieser Fläche ein starker Reblausbefall beobachtet, ohne dass Rückgangserscheinungen an den Rebstöcken zu erkennen sind.

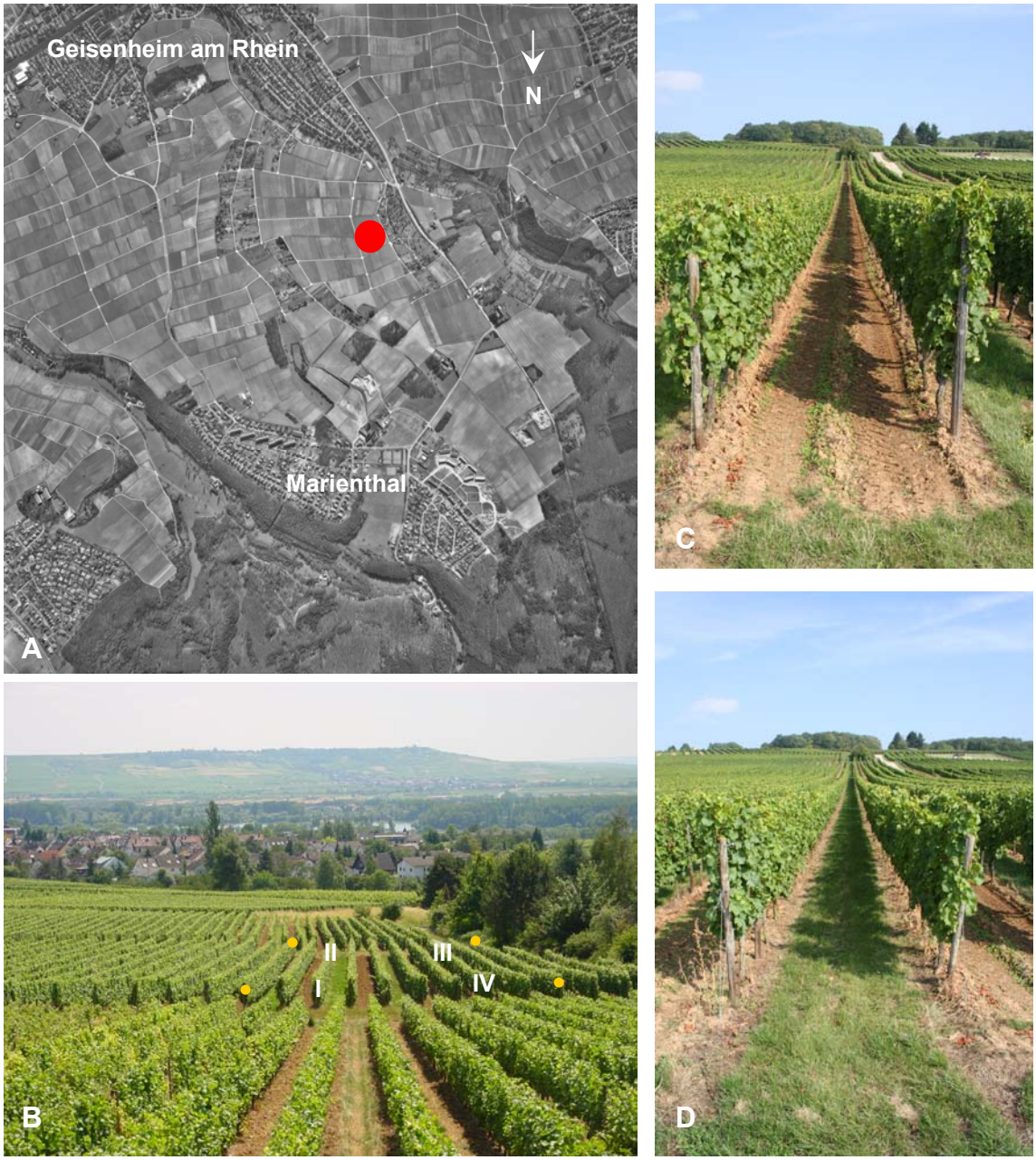


Abb. 2-3: Reblausbefallene, intensiv bewirtschaftete Rebfläche mit organischer Bodenbewirtschaftung ohne oberirdisch sichtbare Schadsymptome (O/R/I-IV/s). A: Lage der Versuchsfläche (rot markiert; Bildquelle: Hessisches Landesvermessungsamt). B: Umfang (orange markiert) der Versuchsfläche und Lage der Versuchsvarianten des Düngemittelversuchs (I-IV; Bezeichnung der Versuchsvarianten siehe Tab. 2-3). C + D: Unbegrünte und begrünte Fahrzeilen (alternierend).

Versuchsfläche o/R

Die 3100 m^2 umfassende Versuchsfläche o/R liegt in der Gemarkung Kiedrich, gehört der Großlage Heiligenstock (Lage Sandgrub) an und liegt auf einer Höhe von 150 m über NN (Abb. 2-4 A+B). Beim Ausgangsgestein handelt es sich im Untergrund um zum Teil schwach verlehmten Löß. Im Rigolhorizont wird es von Lößlehm oder

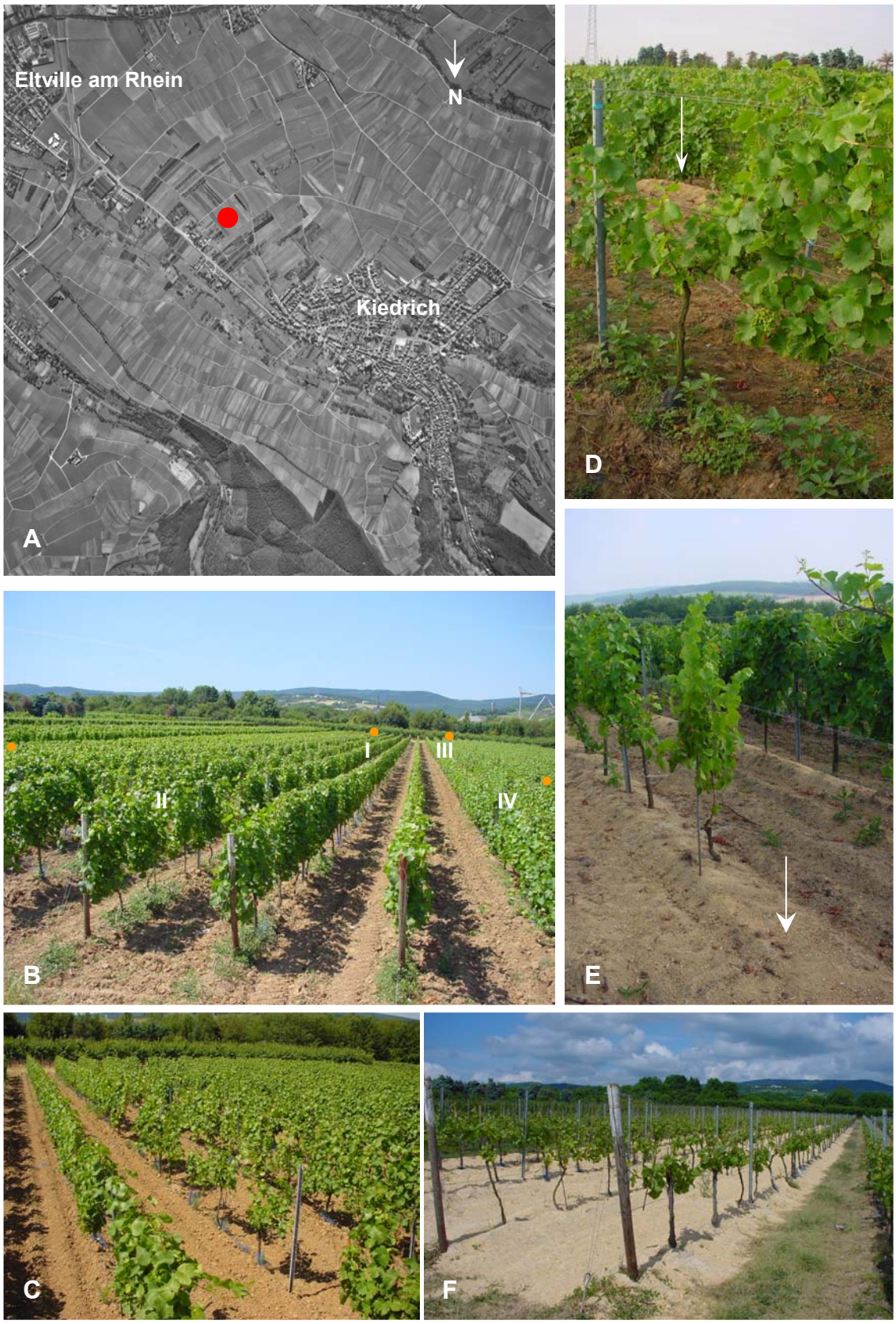


Abb. 2-4: Reblausbefallene, extensiv bewirtschaftete Rebfläche mit oberirdisch sichtbaren Schadsymptomen (o/R/I-IV).
A: Lage der Versuchsfläche (rot markiert; Bildquelle: Hessisches Landesvermessungsamt). B: Umfang (orange markiert) der Versuchsfläche und Lage der Versuchsvarianten des Düngemittelversuchs (I-IV; Bezeichnung der Versuchsvarianten siehe Tab. 2-3). C: Schadherd in der Düngevariante I (S). D + E: kümmerwüchsige Reben und Fehlstöcke (Pfeil). F: Sägemehlapplikation vor der Einarbeitung.

Lößhanglehm mit geringen Terrassenbeimengungen gebildet. Der Untergrund (Kalkgehalt 15 – 30 %) wird von schwach lehmigem Feinsand bis Lehm gebildet. Im Rigolhorizont (Kalkgehalt 0 - 2 %) handelt es sich um einen sandigen bis tonigen, zum Teil schwach kiesigen Lehm. Die Wasserdurchlässigkeit des Bodens ist mittel bis hoch, die nutzbare Feldkapazität mit > 200 mm hoch. Der Wasserhaushalt ist ausgeglichen. Die Hangneigung beträgt 4° bis 7° in östlicher Richtung. Die Fläche wurde 1994 mit Blauem Spätburgunder auf der Unterlagssorte SO 4 (*V. berlandieri* x *V. riparia*) gepflanzt. Die Zeilen sind unbegrünt, die Zeilenbreite beträgt 200 cm, der Stockabstand 130 cm. Zur Bodenbearbeitung werden auch tiefenlockernde Geräte eingesetzt. Die Fläche wurde bis zur Anlage der Versuche arbeitsextensiv unter ausschließlicher Verwendung von Mineraldünger bewirtschaftet. Die Düngemaßnahmen von 1998 bis 2005 sind in Tab. 2-4 dargestellt. Die Art und Menge der während der Versuchsdauer auf dieser Fläche applizierten Pflanzenschutzmittel können der Tab. 7-3 entnommen werden. Zeit und Art der Stockarbeiten sowie der Bodenbearbeitungsmaßnahmen sind aus der Tab. 7-4 ersichtlich. Die im Jahr 2002 vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie erhobenen bodenchemischen Analysewerte dieser Versuchsfläche sind in der Tab. 7-5 wiedergegeben. Seit Anlage dieses Rebbestandes wurde Reblausbefall mit starken Rückgangserscheinungen im Rebwuchs bereits in den ersten Standjahren sowie ein Absterben der Rebstöcke festgestellt (Abb. 2-4 C-E).

2.3.1.3 Klima der Untersuchungsstandorte

Die klimatischen Verhältnisse eines Standorts spielen im Falle der Kulturpflanze *Vitis* eine besondere Rolle. Die Standortbedingungen müssen nicht nur den Anforderungen der Pflanze selbst, sondern auch den weinbaulichen Anforderungen, also den Ertrags- und Qualitätszielen des Winzers gerecht werden. Der deutsche Weinbau genießt insofern eine Sonderstellung, da mit geschlossenen Anbaugebieten wie Mosel und Mittelrhein der Weinbau in Deutschland seine nördlichste Grenze erreicht (50. bis 51. Breitengrad). Aber auch in Deutschland ist Weinbau nur an klimatisch begünstigten Standorten möglich. Im Anbaugebiet Rheingau sind hierbei vor allem die Temperatur ausgleichende und Luftfeuchtigkeit spendende Wirkung der Wasserfläche des Rheins sowie die Südneigung des gesamten Taunusrandes zu nennen (VOGT & GÖTZ 1979). Aber auch innerhalb relativ kleinräumiger Bereiche können Klimabedingungen wie Temperatur oder Niederschlag variieren. So ist innerhalb des Anbaugebiets Rheingau beispielsweise eine Zunahme der Niederschläge von West nach Ost zwischen Geisenheim und Wiesbaden (Entfernung Luftlinie ca. 22 km) festzustellen. Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten nur ca. 1 km in Nord-Süd-Richtungen entfernt liegenden Flächen o/r und O/R sind ca. 10 km in Ost-West-Richtung von der östlich liegenden

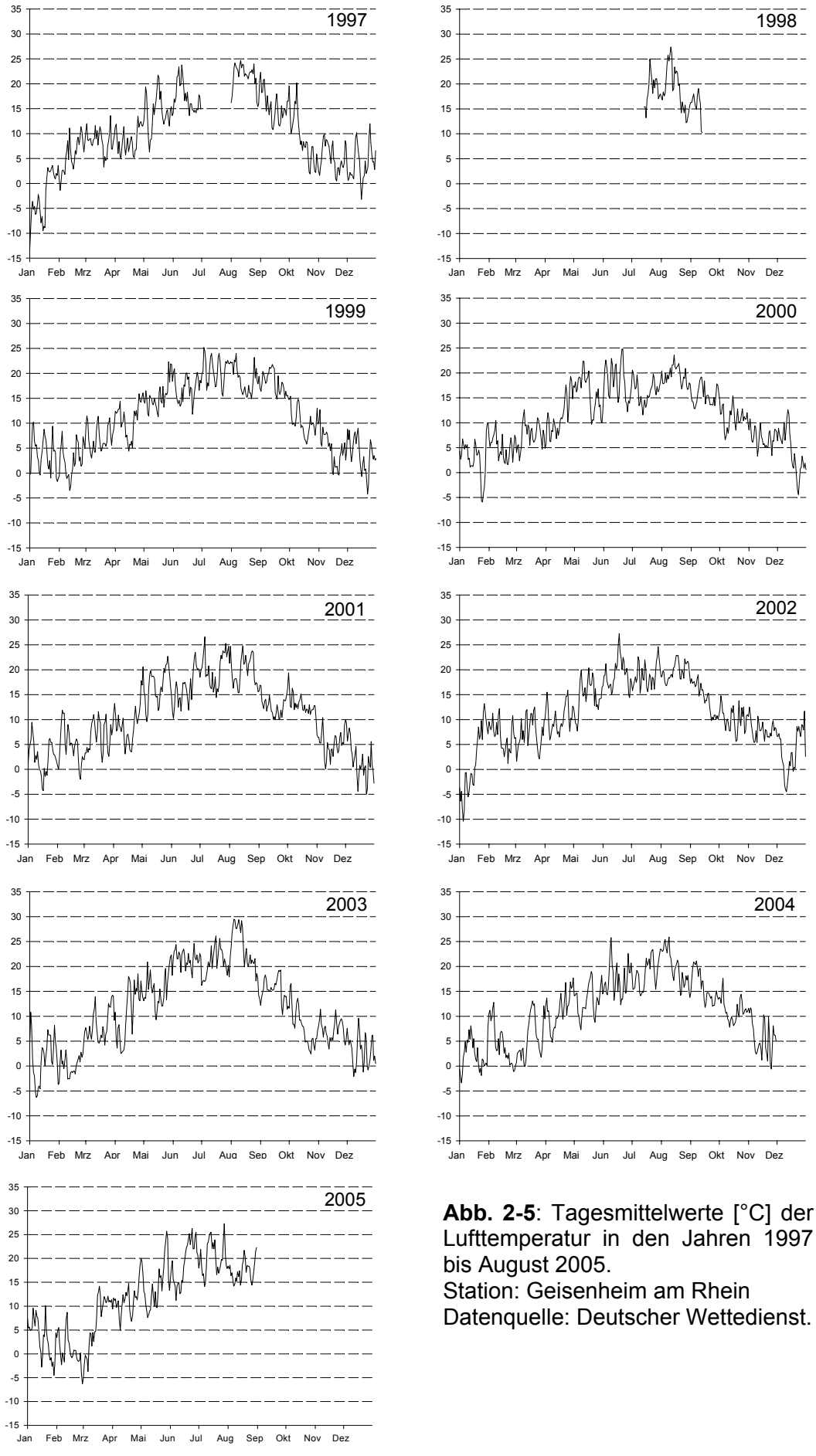


Abb. 2-5: Tagesmittelwerte [°C] der Lufttemperatur in den Jahren 1997 bis August 2005.
Station: Geisenheim am Rhein
Datenquelle: Deutscher Wettedienst.

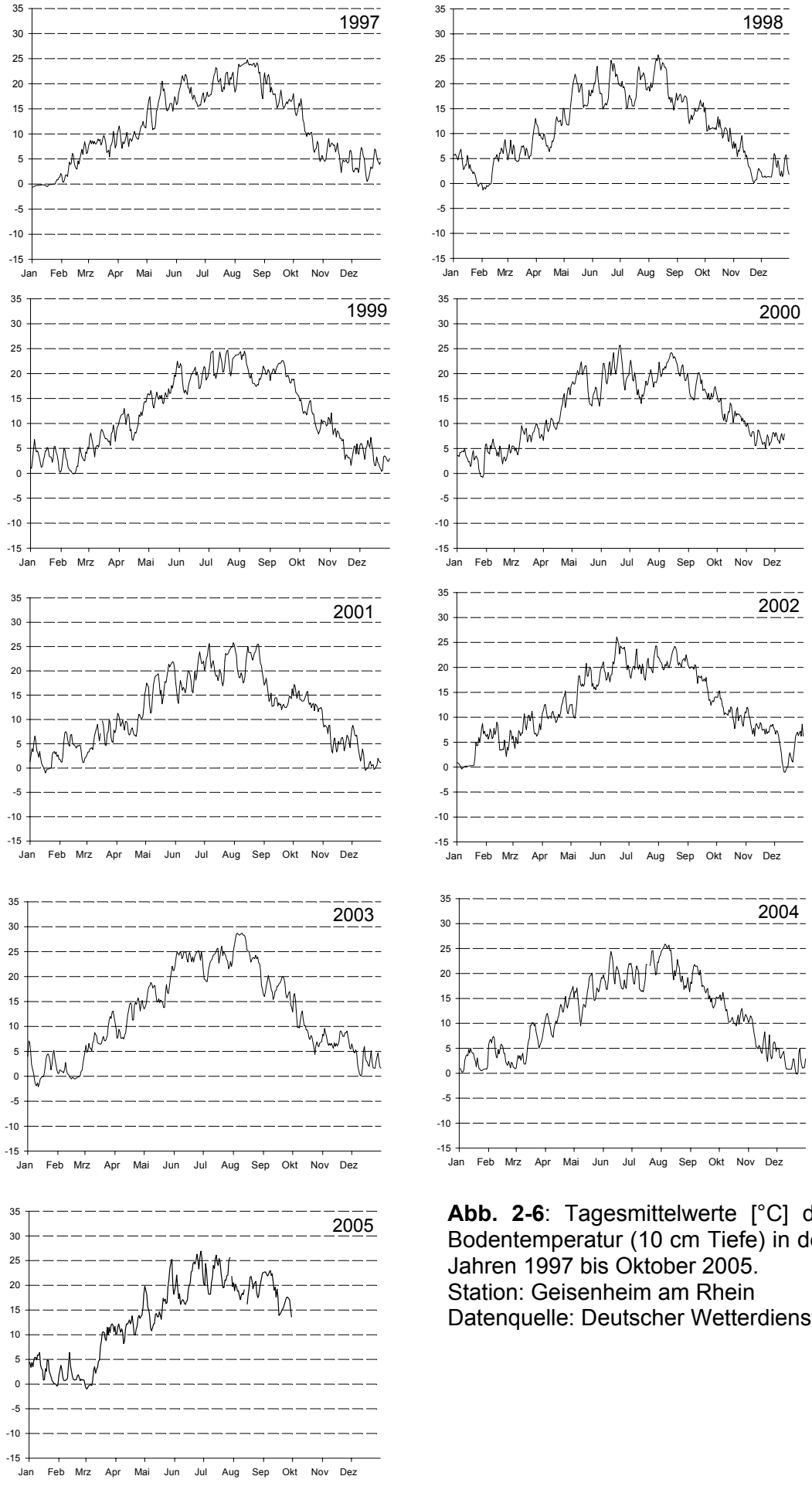


Abb. 2-6: Tagesmittelwerte [°C] der Bodentemperatur (10 cm Tiefe) in den Jahren 1997 bis Oktober 2005.
Station: Geisenheim am Rhein
Datenquelle: Deutscher Wetterdienst.

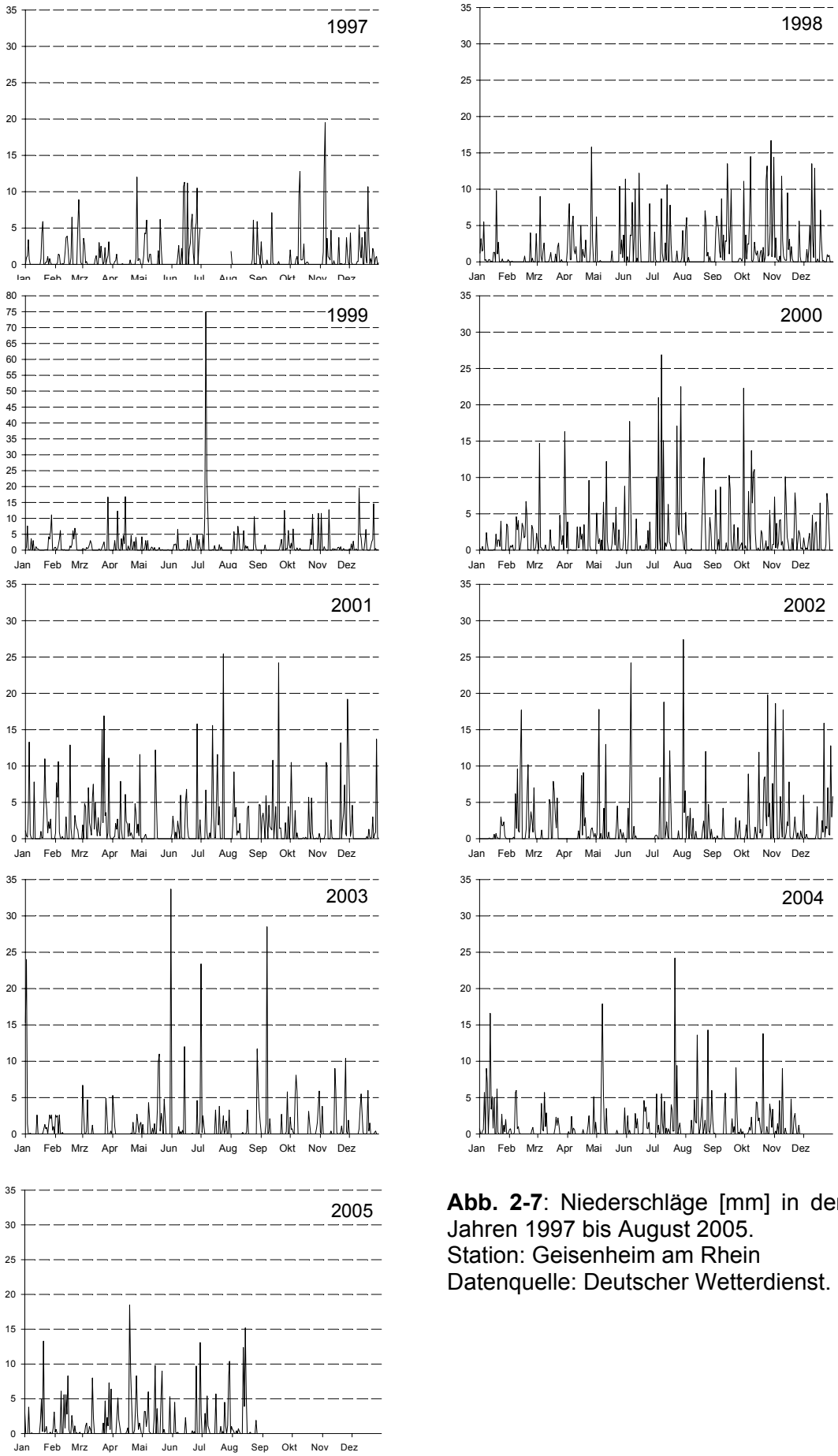


Abb. 2-7: Niederschläge [mm] in den Jahren 1997 bis August 2005.
Station: Geisenheim am Rhein
Datenquelle: Deutscher Wetterdienst.

Fläche o/R entfernt. Sie weisen dennoch sehr ähnliche Klima- und Witterungsbedingungen auf (siehe unten), so dass klimatische Faktoren als Ursache von Unterschieden in den vegetativen Leistung der Reben bzw. deren Absterben im Zusammenhang mit Reblausbefall ausgeschlossen werden können. So beträgt beispielsweise die direkte Sonneneinstrahlung [kJ / cm^2; April bis Oktober] auf der Fläche o/r 159 bis 160, der Fläche O/R 153 bis 154 und auf der Fläche o/R 151 bis 154. Die Mitteltemperatur der hellen Tagesphase [°C] während der Reifezeit des Rieslings beträgt 14,0 bis 14,1 am Standort o/r, 13,8 bis 13,9 am Standort O/R und 13,6 bis 13,7 am Standort o/R (Daten aus LÖHNERTZ et al. 2004). Somit können auch die in Abb. 2-5 bis 2-7 dargestellten von der Messstation des Deutschen Wetterdienstes in Geisenheim stammenden Wetterdaten auf alle Versuchsflächen übertragen werden. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Zeitdauern der durchgeführten Untersuchungen zwischen einem (z.B. abiotische und biotische Bodenparameter) und sechs Jahren (z.B. Rebwuchs bei Düngemittelversuchen) erfolgt die Besprechung der Wetterdaten an den entsprechenden Stellen in Kap. 4.

2.3.1.4 Versuchsaufbau und Probennahme

Grundlage des im Rahmen dieser Arbeit angewendeten Versuchsaufbaus sind die im Jahre 1997 an der Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Rebenzüchtung und Rebenveredlung begonnenen Untersuchungen zur Entwicklung eines Reblausmanagementkonzeptes (PORTEN, in Bearbeitung). Anlass für diese Untersuchungen waren die seit Ende des letzten Jahrhunderts in Pfropfrebenanlagen vermehrt auftretenden Schäden (Rückgangserscheinungen), welche mit Rebausbefall in Zusammenhang gebracht wurden (PRESSER et al. 1993, SOPP et al. 1997, 1998). Diese Rückgangserscheinungen zeigten dabei eine sehr unterschiedliche Ausprägung und reichten von leichten Wuchsdepressionen mit Schadsymptomen wie Aufhellung der Blätter, reduziertem Trieblängenwachstum, geringerer Triebzahl oder schwächerem Austrieb bis hin zum Absterben von Rebstöcken. Wie durch erste Untersuchungen im Rahmen dieses Projektes nachgewiesen werden konnte, konnte aber nicht von einer direkten Korrelation zwischen dem Grad des Reblausbefalls (Populationsdichte) und dem Grad der Rückgangserscheinungen ausgegangen werden. Es wurde aber ein Einfluss der Bewirtschaftungsform auf den Grad der Schädigung durch die Reblaus festgestellt. Um den Einfluss verschiedener Faktoren auf die Leistungsfähigkeit von Rebanlagen mit Reblausbefall zu analysieren, wurden im Sommer 1997 50 Flächen auf Eignung als Versuchsflächen überprüft. Es wurden dabei Faktoren wie das Vorhandensein eines dauerhaften Reblausbesatzes, Variationen im Auftreten von Rückgangserscheinungen, die verwendeten Unterlags- und Edelreissorten, die Bodenarten, die Bewirtschaf-

tungsweise oder das Alter der Rebanlage berücksichtigt. Auf insgesamt 6 Versuchsflächen wurden in den Folgejahren verschiedene weinbauliche Maßnahmen variiert, um ihren Einfluss auf den Grad der Schädigung durch die Reblaus zu prüfen. Es handelte sich dabei im Wesentlichen um die Anlage verschiedener Düngevarianten. Die einzelnen Flächen wurden hierfür so ausgewählt und in Teilareale gleichen Umfanges unterteilt, dass einerseits die Verbreitung der Reblaus und andererseits der vegetative Wuchs der Rebstöcke zwischen den Teilarealen vergleichbar waren. Im Mai 1998 wurden Düngevarianten (I-IV) angelegt und in den Folgejahren wie in Tab. 2-4 dargestellt gedüngt. Die Applikation der Mineraldünger (Versuchsvarianten I bis III) erfolgte nach guter fachlicher Praxis. Das auf der Versuchsvariante IV zu applizierende Fichtensägemehl wurde von Hand mit Schubkarren und Schaufeln in den Rebzeilen ausgebracht. Alle Versuchsvarianten wurden nach der Düngerapplikation gegrubbert. Ebenso wurde bei Anlage des Kreuzversuchs auf der Versuchsfläche o/R im Jahr 2003 verfahren. Auch die Versuchsvariante III der Fläche o/R mit Applikation von abgelagertem Rinderstallmist wurde gegrubbert. Aufgrund der in den Folgejahren gewonnenen Erkenntnisse wurden für die hier dargestellten bodenbiologischen Untersuchungen zwei dieser Versuchsflächen ausgewählt und bodenbiologisch untersucht. Als Vergleichsfläche diente die reblausfreie und nicht mehr bewirtschaftete Rebanlage o/r. Der Versuchsaufbau ist schematisch in Tafel 2-1 dargestellt. Unter Berücksichtigung der in Kap. 1 dargelegten Arbeitshypothesen war die Intension dieser Versuche, ein breites Spektrum an Untersuchungsparametern zu bearbeiten, um die Interaktionen in dem Gefüge Pflanze - Reblaus - Boden - Mikroorganismen möglichst umfassend beschreiben zu können.

Um Aussagen über die vegetative Leistung der Rebstöcke auf den Versuchsflächen zu erhalten, wurde der Wuchs der Rebstöcke in den Jahren 1999 bis 2004 zweimal im Monat während der Vegetationsperiode auf Schädlingsbefall und Ausmaß der Rückgangserscheinungen wie in Kap. 2.1.5 beschrieben begutachtet. Jeweils in der letzten Hälfte des Monats Augusts eines jeden Jahres wurden Einzelstockwuchsbonituren auf den Versuchsflächen durchgeführt. Dieser Zeitpunkt wurde gewählt, da unter den im Weinanbaugebiet Rheingau herrschenden Bedingungen die Wurzelreblauspopulationen zu dieser Zeit in der Regel am größten sind (PORTEN & HUBER 2003a).

Parallel zu den Rebwuchsbonituren wurden auch die Reblauspopulationen an den Wurzeln der Rebstöcke der Versuchsflächen in den Jahren 2000 bis 2004 quantitativ untersucht (Kap. 2.1.3).

Die bodenbiologischen Untersuchungen der Mikrokompartimente im Boden wurden im Wesentlichen im Jahr 2000 durchgeführt. Hierfür wurden die Böden der Versuchsflächen hinsichtlich einer Anzahl verschiedener Parameter verglichen (Tafel

2-1). Die Probennahmen erfolgten am 16.05., 27.06., 01.08., 04.09. und 30.10.2000. Die Probennahmen wurde in Anlehnung an PORTEN & HUBER (2003a) durchgeführt. Mit einem Spaten wurden an 10 zufällig ausgewählten Rebstöcken je Versuchsvariante je 10 bis 15 cm rechts und links neben einem Rebstock Boden- und Wurzelproben bis in eine Tiefe von 25 cm entnommen. Die ausgestochenen Bodenblöcke wurden in desinfizierte Plastiktonnen überführt und gekühlt ins Labor transportiert.

Bodenbiologische Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten in Rebanlagen mit Reblausbefall

→ VEGETATIVE LEISTUNG DER REBEN	Kap. 3.2.1.1
→ REBLAUSPOPULATIONEN	Kap. 3.2.1.2
→ MIKROKOMPARTIMENTUNTERSUCHUNGEN BODEN	
Probennahme in Anlehnung an PORTEN & HUBER (2003a) gekühlter Transport ins Labor; Probensplitting	
→ REBWURZELN: Nodositätengewebe (ng) und Wurzelgewebe (wg)	
– Isolation Pilze	Kap. 3.2.1.3
– Histologische Wurzeluntersuchungen	Kap. 3.2.1.4
– Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen	Kap. 3.2.1.4
– *Sorosphaera viticola*	Kap. 3.3
→ BODENMIKROKOMPARTIMENTE: Rhizoplane (rp), wurzelnaher (wn) und wurzelferner Boden (wf)	
– Dichtebestimmung Mikroorganismen (Pilze, Bakterien, Actinomyceten)	Kap. 3.2.1.3
– Charakterisierung der Pilzzönosen	Kap. 3.2.1.4
– Abiotischer Bodenparameter pH-Wert	Kap. 3.2.1.5
→ BODENMIKROKOMPARTIMENTE: Mischproben (mp)	
– Abiotische und biotische Bodenparameter (pH-Wert, Organische Bodensubstanz, Basisrespiration, Substratinduzierte Respiration, Mikrobieller Kohlenstoff)	Kap. 3.2.1.5 Kap. 3.2.1.6
– Nematoda	Kap. 3.2.1.7
→ WEINBAULICHE BEGLEITUNTERSUCHUNGEN	Kap. 3.2.1.8

Tafel 2-1: Versuchsaufbau der bodenbiologischen Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten in Rebanlagen mit Reblausbefall (Kap 3.2). Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Dort wurden die Proben für die verschiedenen Folgeuntersuchungen aufgeteilt. Zunächst wurden die Bodenschollen aufgebrochen und unter sterilen Bedingungen mit Pinzetten und Scheren die Nodositäten- und Wurzelproben sowie die Bodenproben der Mikrokompartimente 'wf' und 'wn' für die Isolation der Mikroorganismen mit Spateln entnommen, in sterile Behältnisse überführt und bis zur weiteren Verarbeitung bei 4 °C dunkel gelagert. Die Entnahme von Bodenblöcken und deren Aufteilung in Mikrokompartimente unter Laborbedingungen sollte eine Kontamination der Proben mit Fremdkeimen während der Entnahme und des Transports verhindern. Die Weiterverarbeitung erfolgte wie in Kap. 2.1.2 dargestellt. Nach Abschluss dieser Arbeiten konnte unter halbsterilen Bedingungen die weitere Aufteilung der Proben in die zu untersuchenden Mikrokompartimente durchgeführt werden. Für die Untersuchung der weiteren bodenphysikalischen und bodenbiologischen Parameter wurde der Boden gesiebt (Maschenweite 5 mm). Vor dem Sieben wurden vom Boden der Mikrokompartimente 'wf' und 'wn' gleiche Teile entnommen und für die Extraktion der Nematoden (Kap. 2.1.3) gekühlt (4 °C) verwahrt. Alle Proben mit Ausnahme der für die Bestimmung des pH-Wertes vorgesehenen wurden bis zur Weiterverarbeitung gekühlt (4 °C) im Dunkeln verwahrt. Die Messungen erfolgten wie in Kap 2.1.1 dargestellt. Die Wurzel- und Nodositätenproben für histologische und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen wurden nach der Abtrennung der für die mikrobiologischen Untersuchungen benötigten Mengen umgehend in AFE-Gemisch fixiert.

Die im Rahmen der weinbaulichen Untersuchungen durchgeführten Einzelstocklesen erfolgten in Absprache mit den Besitzern der Versuchsflächen stets circa ein bis zwei Wochen vor der Hauptlese, um die Arbeiten auf diesen Flächen nicht zu stören. Auf der Fläche O/R erfolgten die Lesen am 10.10.2000 und 01.10.2003. Die Lese im Jahr 2001 konnte nicht durchgeführt werden, da das vom Besitzer der Versuchsfläche beauftragte Vollernterunternehmen auch die für die Versuchsdurchführung vorgesehenen Rebzeilen gelesen hatte. Im Jahr 2002 konnte aus finanziellen Gründen keine Bestimmung der Leistungs- und Ertragsparameter durchgeführt werden. Ab dem Jahr 2003 wurden auf dieser Fläche Untersuchungen zur biologischen Reblauskontrolle durchgeführt. Aus diesem Grunde wurde kein Vergleich der Leistungs- und Ertragsparameter im Rahmen der Düngemittelversuche vorgenommen. Auf der Fläche o/R erfolgten die Einzelstocklesen am 27.09.2000, 01.10.2001, 24.09.2003 und 03.10.2004. Auch auf dieser Fläche erfolgte im Jahr 2002 aus finanziellen Gründen keine Einzelstocklese. Die Bestimmung der Leistungs- und Ertragsparameter erfolgte wie in Kap. 2.1.5 beschrieben.

Die Untersuchungen des Pilzbefalls von Nodositäten verschiedener Altersstufen wurden mit Pflanzenmaterial der Versuchsfläche o/R durchgeführt. Hierfür wurden am

01.08.2001 auf der Düngeversuchsvariante I von 6 zufällig ausgewählten Rebstöcken der Wuchsboniturklasse 1 und 3 je 5 Teilproben mit Wurzeln und anhaftendem Boden entnommen. Die Proben wurden gekühlt ins Labor überführt und die Nodositäten in 3 Altersklassen unterteilt: 1. junge Nodositäten (weiß/hellgelb), 2. ältere Nodositäten (gelb/hellbraun), alte Nodositäten (braun). Die Weiterverarbeitung des Probenmaterials erfolgte wie in Kap. 2.1.2 beschrieben.

2.3.1.5 Ökologische Bewertung identifizierter Pilzarten

Zum Vorkommen von Bodenpilzarten und deren Interaktionen mit Reben und deren Wurzeln liegen derzeit kaum Erkenntnisse vor. Im Zusammenhang mit dem durch die Reblaus verursachten Schäden an Reben wurden vor Beginn dieser Arbeit in neuerer Zeit lediglich einige wenige Untersuchungen an Rebsorten mit *V. vinifera*-Erbgut durchgeführt (GRANETT et al. 1998). Erste Hinweise auf einen Einfluss pathogener Mikroorganismen auf die Rückgangserscheinungen an reblausbefallenen Reben stammen aber bereits aus dem späten 19. und frühen 20. Jahrhundert (MILLARDET 1878, PETRI 1907, 1909). Die wohl umfassendste Arbeit betreffend die Interaktionen zwischen Rebe, Reblaus und Mikroorganismen stammt von POPUSCHOI & MARZHINA (1980). Nicht berücksichtigt wird in den verfügbaren Literaturstellen aber die Frage, ob Weinbergsböden so genannte krankheits- oder pathogensuppressive Eigenschaften besitzen können, welche einen negativen Einfluss pathogener Mikroorganismen auf den Wuchs reblausbefallener Reben abschwächen oder verhindern können und welcher Mechanismus diesen pathogensuppressiven Eigenschaften zugrunde liegt. Um die im Rahmen der bodenbiologischen Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten isolierten Bodenpilzarten hinsichtlich ihrer Phytopathogenität bzw. ihrem phytopathogen-antagonistischen Potential weiter beschreiben und analysieren zu können, wurden die isolierten Pilzarten in ein Klassensystem eingeteilt. Die Einteilung in eine Klasse beruht auf der Auswertung von kontextbezogenen Literaturstellen. Hierfür wurden mehrere Literaturquellen genutzt. Einerseits wurden digitale Literaturdatenbanken wie ISI Web of Science© genutzt, andererseits wurden nicht digital erfasste, ältere Literaturstellen in verschiedenen Bibliotheken im In- und Ausland recherchiert und deren Literaturverzeichnisse auf kontextbezogene Literatur durchsucht. Die so erarbeiteten Literaturstellen wurden digital erfasst, wenn erforderlich übersetzt und anschließend hinsichtlich verschiedener Gesichtspunkte ausgewertet. Für jede in den Versuchen isolierte Pilzart wurde nach Hinweisen auf folgende Kriterien gesucht: Verbreitungsbereich, Vorkommen (Waldböden, Ackerböden, Grünflächenböden, Pflanzenschulböden, sonstige Böden), Vorkommen in/an Pflanzen (Wurzelgewebe, Samen, Blätter, Holz, sonstige), Lebensweise (phytoparasitisch, mycopa-

rasitisch, saprophytisch, symbiontisch/mutualistisch, andere Lebensweise), antagonistisch gegenüber, wird suppressiert durch, bildet chemische Stoffe (*in vitro*, *in vivo*), Abbau chemischer Stoffe, Nahrungsquelle für, Wirt(e), verursacht Pflanzenkrankheiten (Krankheitssymptome, Name der Krankheit, Interaktionen, etc.). Die Ergebnisse dieser Recherchen sind in Kap. 7.4 zusammengefasst. Im Rahmen dieses Literaturreviews wurden auch die nachstehenden Kompendien und Sammelwerke verwendet, um einen möglichst breiten Zeitraum abzudecken. Für das Klassensystem und die Beschreibung (Kap. 7.4) aus diesen Werken entnommene Angaben sind nicht gesondert gekennzeichnet. Die Einzelangaben der Literaturstellen erfolgt nur, wenn die entsprechenden Angaben nicht bereits in einer der nachstehenden Literaturstellen enthalten sind:

DOMSCH, K.H. & W. GAMS (1993): Compendium of soil fungi.- IHW-Verlag, Eching.

FARR, D., BILLS,G., CHAMURIS, G. & A. ROSSMAN (1989): Fungi on plants and plant products in the United States.- American Phytopathological Society Press, St. Paul.

FLAHERTY, D.L., CHRISTENSEN, P.T., LANINI, T., MAROIS, J. & L.T. WILSON (1992): Grape pest management.- University of California Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland.

MILKO, A.A. (1961): Vine roots rotting caused by phylloxera damages. - Phylloxera and measures of fighting it [russ.].- Shtiintsa, Kishinev, Vol. 1.

NEDOV, P.N. & A.P. GULER (1987): Normal and pathological anatomy of vine roots [russ.].- Shtiintsa, Kishinev.

PEARSON, R.C. & A.C. GOHEEN (1994): Compendium of grape diseases.- APS Press, Minnesota.

POPUSCHOI, J.S. & L.A. MARZHINA (1980): Vine mycosis (World report) [russ.].- Shtiintsa, Kishinev.

Angaben wurden mit Literaturstellen versehen, wenn sie einer der beiden nachstehenden Datenbanken entnommen wurden: Bestehende Datenbank kontextbezogener Literatur der Arbeitsgruppe Bodenökologie, Universität Mainz (verschiedene Bezugsquellen, Zeitraum 1837 - 2005; ca. 6000 Literaturstellen); Recherche ISI Web of Science (Science Citation Index Expanded), Zeitraum 1994-2004, aus 28457 recherchierten Artikeln 1691 ausgewertet.

Da es sich bei den oben genannten Sammelwerken bereits um Literaturauswertungen handelt, wurden - unter Einbeziehung der Angaben der Autoren dieser Kompendien - für die Literaturauswertung der Ökologie der isolierten Bodenpilze und somit der Klasseneinteilung (Kap. 7.4) ca. 19000 Literaturstellen aus den Jahren 1837 bis 2005 berücksichtigt, ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Es wurden stets nur kontextbezogene Literaturstellen in Kap. 7.4 aufgenommen. Bei Arten, bei

denen keine derartigen Angaben gefunden werden konnten, erfolgte die Angabe von Artname, Beschreiber und systematischer Stellung. Diese Arten wurden in die Klasse E2 eingruppiert. In manchen Fällen wie beispielsweise *Fusarium oxysporum* ist eine phytopathoge Wirkung hinlänglich bekannt und in einer Vielzahl wissenschaftlicher Abhandlungen dokumentiert. In diesen Fällen wurde nur eine Auswahl an Literaturstellen in Kap. 7.4 aufgenommen.

Für viele der im Rahmen dieser Arbeit aufgeführten Pilzarten existierten seit ihrer Erstbeschreibung (bzw. Erstbeschreibungen) verschiedene Synonyme. Dies war im Besonderen bei der Auswertung von Literaturstellen des 19. Jahrhunderts von Bedeutung. Für alle Pilzarten wurden aus diesem Grunde auch die synonymen Artnamen recherchiert. Alle der in dieser Arbeit verwendeten Artnamen und deren systematische Eingliederung wurden, um die Einheitlichkeit zu gewährleisten, nach der Online-Datenbank 'Index Fungorum' (CABI Bioscience, CBS, Landcare Research; Date of access 12.08.2005, 21.04.2006) vorgenommen.

Aufgrund dieser Literaturauswertung wurden die von den Versuchsflächen isolierten Pilzarten in die in Tab. 2-5 dargestellten Klassen eingeteilt und ihr Vorkommen in den Versuchsflächenböden mit Hilfe einer Korrespondenzanalyse beschrieben (Kap. 2.1.6).

Tab. 2-5: Klasseneinteilung der im Rahmen der bodenökologischen Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten isolierten Pilzarten nach Literaturangaben.

Klasse	Charakteristik der Klasse
A1	Primärpathogen an *Vitis*-Wurzeln
A2	Sekundärpathogen an *Vitis*-Wurzeln
B	Pathogen an *Vitis*
C	An *Vitis* gefunden, pathogene Wirkung an anderen Pflanzen
D	Pathogen an anderen Pflanzen
E1	An *Vitis* gefunden, keine pathogene Wirkung oder: An *Vitis* gefunden und Saprophyt
E2	Saprophyt oder andere Lebensweise, keine phytopathogene Wirkung bekannt

2.3.2 Gewächshausversuch zur Pathogenkonduktivität und –suppresivität der Böden der Versuchsflächen

In Anlehnung an die in Kap. 1 formulierten Arbeitshypothesen sollte im Rahmen dieses Gewächshausversuchs untersucht werden, ob die Böden der beiden Versuchsflächen O/R und o/R so genannte pathogensuppressive bzw. -konduktive, also schädlingshemmende bzw. -fördernde Bodeneigenschaften aufweisen. Hierbei ist hervorzuheben, dass es sich - im Gegensatz zu der weit verbreiteten Auffassung - dabei nicht

unbedingt um den quantitativen Aspekt der Masse oder Dichte des entsprechenden Schädlings in diesen Böden handelt. Im Sinne von ALABOUVETTE et al. (1982) sind diese Bodeneigenschaften maßgeblich dadurch definiert, wie sich die Anwesenheit eines Pflanzenschädlings auf die potentiellen Wirtspflanzen auswirkt, unabhängig von dessen Dichte im Boden. In konduktiven Böden ist bereits eine geringe Dichte des Schädlings ausreichend, um Krankheitssymptome an der Wirtspflanze zu verursachen, während in suppressiven Böden auch bei einer hohen Schädlingsbelastung keine Krankheitssymptome auftreten. Für die Versuche wurden am 24.05.2000 von den Versuchsflächen O/R und o/R je 30 Bodenproben (Probenvolumen Einzelprobe ca. 5 l) bis in eine Tiefe von 30 cm entnommen, in desinfizierte Plastiktonnen überführt und gekühlt ins Labor transportiert. Dort wurden die Bodenproben jeder Versuchsfläche gesiebt (Maschenweite 5 mm), gut durchmischt und in 2 Fraktionen geteilt. Die eine Hälfte wurde durch Zugabe von sterilem Aqua dest. auf einen Wassergehalt von 40 % eingestellt, portionsweise (Volumen ca. 1 l) in Glasschalen überführt und 6 min bei 650 W in der Mikrowelle sterilisiert (CHEN et al. 1995). Der so sterilisierte Boden wurde in desinfizierten Plastiktonnen gesammelt. In gleicher Weise wurde mit ca. 400 l Standardpflanzerde (Einheitserde Werksverband ED 73) verfahren. Der zweite Teil der Proben blieb unbehandelt und wurde bis zur Weiterverarbeitung gekühlt (9° C) in Plastiktonnen verwahrt. Am 30.05.2000 wurden die so vorbereiteten Böden der Versuchsflächen mit Pflanzperlit (Volumenverhältnis Perlit : Boden = 1 : 5) vermischt, um zu starke Bodenverdichtungen während der Dauer des Versuchs zu verhindern. Die Standardpflanzerde wurde nicht mit Perlit vermischt. In dieses Pflanzgemisch wurden am selben Tag Unterlagsstecklinge der Sorte 5BB (Klon 13-11 Gm, *V. berlandieri* x *V. riparia*) in 4 l-Gefäße gepflanzt und im Gewächshaus angezogen. Am 12.07.2000 erfolgte die Infektion der Stöcke mit Reblaus. Die Pflanzen wurden mit dem Wurzelballen einzeln aus den Töpfen entnommen und je ein Blatt einer reblausbefallenen Amerikanerrebe (ca. 20 Blattgallen je Blatt) von den Versuchsflächen der Forschungsanstalt Geisenheim auf den Boden des Pflanzgefäßes gelegt. Danach wurden die Pflanzen wieder in die Töpfe gesetzt und weiter im Gewächshaus belassen. Nach 2 weiteren Tagen wurden in einen Teil der Pflanzgefäße ca. 120 ml einer Bodensuspension gegeben (Aufbau des Kreuzversuchs siehe unten). Hierfür wurden am 13.07.2000 von jeder der zwei Versuchsflächen je 10 Bodenstechproben 10-15 cm rechts und links neben den Rebstöcken im Zeilenverlauf entnommen, in desinfizierte Plastiktonnen überführt und gekühlt ins Labor transportiert. Die Proben einer jeden Fläche wurden gesiebt (Maschenweite 5 mm) und durchmischt. Je Inokulat wurden 20 g des Bodens mit 100 ml sterilem Leitungswasser suspendiert und für 20 min bei 200 U / min geschüttelt. Die Inokulate wurden bis zur Weiterverwendung am Folgetag gekühlt (9 °C) im Dunkeln verwahrt.

Während der Versuchsdauer wurden die Pflanzen weder gedüngt noch mit Fungiziden behandelt. Bei Anlage der Versuche wurden für jede Versuchsvariante 10 Pflanzen vorbereitet, um bedingt durch Ausfälle je Versuchvariante 6 Rebstöcke am Ende der Versuchsdauer auswerten zu können. Am 08.07.2000 wurden alle Pflanzen einzeln auf Wuchs und Reblausbefall untersucht. Nicht angewachsende Rebstöcke wurden entweder bei dieser Gelegenheit oder am Tag der Beimpfung mit Reblaus entfernt. In Fällen in denen am 08.07.2000 noch mehr als 6 Rebstöcke einer Versuchsvariante vorhanden waren, wurden hiervon 6 Stück zur Weiterzucht zufällig ausgewählt, der Rest wurde entfernt. Für die Bezeichnung der Versuchsvarianten wurden Kürzel verwendet: C: Boden erhitzt; c: Boden nicht erhitzt; I: inokuliert mit Bodensuspension; i: nicht inokuliert mit Bodensuspension; -O/R: Suspension des Bodens der intensiv, primär auf der Zufuhr organischer Substanz basierend bewirtschafteten Versuchsfläche; -o/R: Suspension des Bodens der extensiv, primär auf der Zufuhr von Mineraldüngern basierend bewirtschafteten Versuchsfläche; Pflanzerde O/R: Boden der intensiv, primär auf der Zufuhr organischer Substanz basierend bewirtschafteten Versuchsfläche; Pflanzerde o/R: Boden der extensiv, primär auf der Zufuhr von Mineraldüngern basierend bewirtschafteten Versuchsfläche. Folgende Versuchsvarianten wurden etabliert:

Pflanzerde Einheitserde, Varianten: c_i, C_i, c_I-O/R, c_I-o/R, C_I-O/R, C_I-o/R

Pflanzerde Versuchsfläche O/R, Varianten: c_i, C_i, c_I-o/R, C_I-o/R

Pflanzerde Versuchsfläche o/R, Varianten: c_i, C_i, c_I-O/R, C_I-O/R

Der Versuch wurde am 14.09.2000, ca. 2 Monate nach Inokulation der Pflanzen mit Bodensuspension beendet. Die Bewertung des Rebwuchses erfolgte in Klassen, wie in Tab. 2-2 beschrieben.

2.4 Morphologie und Ökologie von *Sorosphaera viticola* Kirchmair, Neuhauser, Huber

Im Verlauf der bodenbiologischen Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Mikroorganismen und deren Antagonisten in Rebanlagen mit Reblausbefall wurden in den im Jahr 2000 entnommenen Wurzelproben von den Flächen O/R und o/R Dauersporen eines bis dahin unbeschriebenen Plasmodiophoriden festgestellt (HUBER et al. 2004a). Da es sich bei Plasmodiophoriden um obligate, intrazellulär vorkommende Parasiten handelt, wurden in der Folge eine Reihe von Untersuchungen zur Morphologie, Verbreitung in Pfropfrebenanlagen sowie zur geographischen Verbreitung und dem Wirtsspektrum dieses Plasmodiophoriden innerhalb der Gattung *Vitis* durchgeführt. Diese mehrere Jahre umfassenden Untersuchungen werden, obgleich der Fund von *S. viticola* im Rahmen der bodenbiologischen Untersuchungen (Kap 2.1) erfolgte, aufgrund des Umfanges in einem eigenen Kapitel dieser Arbeit vorgestellt.

2.4.1 Morphologie

Die ersten Exemplare von Dauersporen von *S. viticola* wurden in lichtmikroskopischen Schnitten (Herstellung wie in Kap. 2.1.4 beschrieben) festgestellt. Ein Befall der nur 1-3 mm dicken Rebwurzeln mit *S. viticola* konnte mit anderen Methoden, z.B. durch stereomikroskopische Untersuchungen, nicht festgestellt werden. Für die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen waren aber die Verfügbarkeit größerer Mengen an infiziertem Wurzelmaterial, eine vergleichsweise schnelle und unkomplizierte Untersuchungsmethode für Rebwurzeln sowie die Möglichkeit zur Gewinnung von Dauersporen aus vorher unbehandeltem oder z.B. durch Färbung oder Schneiden beeinträchtigtem Wurzelmaterial erforderlich. Eine Methode, die diese Voraussetzungen erfüllte, war die Nutzung der bereits durch WALSH et al. (1996) für *Spongospora subterranea* Walr. beschriebene Autofluoreszenz der Dauersporen und somit die fluoreszenzmikroskopische Untersuchung von Wurzelmaterial. Für alle in der Folge beschriebenen Erstuntersuchungen von Wurzelmaterial wurde die Fluoreszenzmikroskopie verwendet. Die Untersuchung erfolgte unter Verwendung eines Leica MZFLIII Fluoreszenz-Stereomikroskops (480/40 nm).

Für die morphologischen Untersuchungen der Dauersporen zur Erstbeschreibung der Art (KIRCHMAIR et al. 2005) wurde Material der in Kap. 2.1 beschriebenen Flächen O/R und o/R verwendet. Die Proben wurden wie in Kap. 2.1.4 beschrieben licht-, rasterelektronen- und transmissionselektronenmikroskopisch untersucht. Die Ergebnisse sind in Kap. 3.3.1 dargestellt.

Um Hinweise auf weitere Stadien im Lebenszyklus von *S. viticola* (Kap 3.3.1) zu erhalten, wurden verschiedene Versuche unternommen, aus den Dauersporen die primären Zoosporen züchten zu können. Hierfür wurde im Frühjahr 2004 von der Versuchsfläche o/R ein mit *S. viticola* infizierter Rebstock vollständig entnommen. Die Wurzeln wurden mit dem anhaftenden Boden für mehrere Wochen an der Luft getrocknet. Nach der Trocknung wurden Wurzeln bis zu einem Durchmesser von 3 mm fluoreszenzmikroskopisch auf Befall mit *S. viticola* untersucht. Wurzelstücke von ca. 5 mm Länge wurden leicht aufgebrochen und in 1 ml sterilem Leitungswasser im Dunkeln bei Raumtemperatur inkubiert. Die Flüssigkeit wurde täglich kurz aufgewirbelt, 50 µl mit einer Pipette entnommen und lichtmikroskopisch mit Phasenkontrast auf Zoosporen untersucht. Nach 8 bis 10 Tagen konnten in den meisten Proben Zoosporen festgestellt werden. Daraufhin wurde eine Probe (1 ml), in welcher Zoosporen festgestellt wurden, mit 100 µl Glutaraldehyd (wässrige Lösung) versetzt und 30 min inkubiert. Die Lösung wurde durch einen Sterilfilter (Rotilabo-Spritzenfilter PVDF, 0,22 µm) gefiltert und zweimal mit Ethanol (30 %) gespült. Der Sterilfilter wurde geöffnet, das Filternetz

entnommen, in einer aufsteigende Ethanolreihe entwässert und wie in Kap. 2.1.4 für die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen präpariert.

2.4.2 Geographische Verbreitung und Wirtsspektrum innerhalb der Gattung *Vitis*

Für diese Untersuchungen wurden zunächst in Deutschland in den Anbaugebieten Rheingau, Mosel-Saar-Ruwer und Pfalz im Jahr 2005 von je 10 zufällig ausgewählten Rebstöcken verschiedener Ertragsrebflächen Wurzeln entnommen, luftgetrocknet und im Labor fluoreszenzmikroskopisch auf Dauersporen von *S. viticola* untersucht. Auf diesen Flächen wurden sowohl wurzelechte Reben der Sorte Riesling (*V. vinifera*) als auch Unterlagsreben verschiedener Kreuzungen angebaut.

Da bis zum Zeitpunkt dieser Untersuchungen nur Reben der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* als Wirte bekannt waren, wurde zunächst einer dieser Kreuzungspartner als natürlicher Wirt angenommen. Der Lebenszyklus von *S. viticola* weist ein zur selbstständigen freien Bewegung im Bodenwasser fähiges Stadium in Form einer begeißelten Zoospore auf. Dies ließ vermuten, dass das natürliche Vorkommen von *S. viticola* bzw. ihr Wirt an feuchten Standorten zu suchen ist. Aus diesem Grunde wurden die Probennahmen auf das natürliche Verbreitungsgebiet der Uferrebe (*V. riparia*) in Nordamerika (Kanada) ausgedehnt. Die Probennahmen für diese Untersuchungen wurden mit freundlicher Unterstützung von Herrn V. Pagay (Brock University, Ontario, Kanada) im Jahr 2005 durchgeführt. Die von Wildreben entnommenen Wurzeln wurden luftgetrocknet, in Plastikbehälter verpackt und an der Universität Mainz fluoreszenzmikroskopisch auf Befall mit *S. viticola* untersucht. Insgesamt wurden bislang 40 Standorte in Deutschland, Österreich und Kanada untersucht. Von allen positiven Proben wurden rasterelektronenmikroskopische Präparate für die morphologischen Untersuchungen und die Messung der Durchmesser der Dauersporen angefertigt. Die Ergebnisse sind in Kap. 3.3.2 dargestellt.

2.4.3 Häufigkeit und Verteilung in Pfropfrebenanlagen

Plasmodiophoriden sind obligate Parasiten von Pflanzen und Straminopilen. So ist z.B. *Plasmodiophora brassicae* Woronin der Erreger der Kohlhernie (club root disease) bei Kohlpflanzen und anderen Brassicaceen, *Spongospora subterranea* (Walr.) Lagerheim var. *subterranea* ist der Erreger der Pulverschorf-Krankheit (powdery scab disease) bei Kartoffeln. Eine Vielzahl der bekannten Plasmodiophoriden wie *Polymyxa graminis* Ledingham (Vektor des SBWM- (soil-borne wheat mosaic) und des OM- (oat mosaic) Virus) oder *Polymyxa betae* Keskin (Überträger des BSB- (beet soil-borne) Virus) sind als Virenvektoren bekannt (ADAMS 1991). Für zukünftige Untersuchungen

war es aus diesen Gründen notwendig, mehr über das Vorkommen sowie über die Aus- und Verbreitung von *S. viticola* in kommerziell genutzten Rebanlagen in Erfahrung zu bringen. Hierfür wurden am 14.09.2004 auf den in Kap. 2.1 beschriebenen Versuchsflächen O/R und o/R Wurzelproben von je 200 Rebstöcken entnommen. Auf der Versuchsfläche o/R war aus Voruntersuchungen die genaue Position eines Rebstocks mit *S. viticola*-Infektion bekannt. Ausgehend von diesem Rebstock wurden in seiner Umgebung in 10 benachbarten Rebzeilen je 20 nebeneinander liegende Rebstöcke beprobt. Auf der Versuchsfläche O/R war keine genaue Position eines infizierten Rebstocks bekannt. Aus diesem Grund wurden in sechs Rebzeilen jeder zweite Rebstock (30 Stock je Zeile) beprobt, um die gesamte Länge der Rebanlage untersuchen zu können. In der siebten Zeile wurden von insgesamt 20 Rebstöcken (jeder zweite Rebstock) Wurzelproben entnommen. Die Probennahme erfolgte mit einem Spaten bis in 25 cm Bodentiefe je 10 bis 15 cm neben dem Rebstock im Zeilenverlauf. Die entnommenen Feinwurzeln wurden ins Labor überführt, mehrere Tage luftgetrocknet, mit einer Schere zerkleinert (maximale Länge 5 mm) und das Gesamtvolumen je Einzelprobe bestimmt. Je Einzelprobe wurden 3 ml Wurzeln fluoreszenzmikroskopisch auf Befall mit *S. viticola* untersucht. Von jeder als positiv gewerteten Probe wurde zur Kontrolle ein lichtmikroskopisches Präparat hergestellt (Einbettungsmedium Marc-André-II) und auf Dauersporen untersucht. Im Falle der Fläche o/R wurden von allen 200 auf Befall mit *S. viticola* untersuchten Rebstöcken Holzproben genommen und diese wie in Kap. 2.1.5 beschrieben auf Virenbefall untersucht. Von der Fläche O/R wurden bei 10 zufällig ausgewählten Rebstöcken ein Virentest durchgeführt.

2.5 Biologische Kontrolle von *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch durch den entomopathogenen Pilz *Metarhizium anisopliae* (Metschnikow) Sorokin

Trotz zahlreicher Bemühungen zur Entwicklung von Verfahren zur Kontrolle von Reblauspopulationen im Freiland stehen bis dato keine wirksamen direkten Bekämpfungsmaßnahmen zur Verfügung. Sowohl der Einsatz von systemischen Insektiziden wie z.B. Thiamethoxam (GRANETT et al. 2001) als auch von entomopathogenen Nematoden (ENGLISH-LOEB et al. 1999) führten bislang nicht zu einer ausreichenden Reduzierung der Reblauspopulationen in Rebanlagen. Der seit 1993 verbotene Einsatz von Schwefelkohlenstoff (CS_2) zur Bekämpfung der Reblaus ist in mehrfacher Hinsicht als äußerst bedenklich anzusehen. Hier sind sowohl die gesundheitlichen Gefahren für den Anwender als auch mögliche Umweltgefährdungen zu nennen (§ 20 GefStoffV). GRANETT et al. (2001) weisen auf die Möglichkeiten der biologischen Kontrolle durch *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. hin, welche auch für den ökologischen Weinbau geeignet wäre, allerdings ohne Angabe einer weiterführenden Datenanalyse. Im Rahmen

der Kooperation mit dem Institut für Mikrobiologie, Arbeitsgruppe Systematik und Taxonomie, Universität Innsbruck und aufgrund der dort vorhandenen langjährigen Erfahrungen mit biologischen Kontrollorganismen wie *B. bassiana* wurden Versuche zur biologischen Kontrolle der an den Wurzeln lebenden Rebläusen durch den entomopathogenen Pilz *M. anisopliae* durchgeführt. In am Institut für Zoologie (Arbeitsgruppe Bodenökologie) der Universität Mainz und im Fachgebiet Rebenzüchtung und Rebenveredlung der Forschungsanstalt Geisenheim durchgeführten Vorversuche (Bioassay und Gewächshausversuche) konnte eine gegen *D. vitifoliae* gerichtete Aktivität von *M. anisopliae* festgestellt werden. Auf eine Darstellung dieser Versuche wird im Rahmen dieser Arbeit verzichtet, die Ergebnisse sind in HUBER et al. (2004c) und KIRCHMAIR et al. (2004d) wiedergegeben. Zu Diskussionszwecken ist eine Übersicht der Ergebnisse dieses Gewächshausversuchs im Anhang (Tab. 7-27) enthalten. In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse erster Freilandversuche dargestellt.

Ziel der Untersuchungen war es, unter verschiedenen örtlichen Gegebenheiten (Bodenverhältnisse, Klima, Edelreis- und Unterlagssorten etc.) den Wirkungsgrad und das Verhalten von *M. anisopliae* in Weinbergsböden zu untersuchen. Aus diesem Grunde wurden in den Jahren 2003 bis 2005 auf 8 Flächen - teilweise mit mehreren Unterlagssorten - in den Anbaugebieten Rheingau, Mosel-Saar-Ruwer und Pfalz Versuchsflächen mit verschiedenen *M. anisopliae*-Präparaten angelegt und in Abständen sowohl die Reblauspopulationen als auch die Dichten von *M. anisopliae* im Boden untersucht. Im Laufe dieser Versuche hat sich gezeigt, dass die Validierung der Wirkung von *M. anisopliae* auf Reblauspopulationen unter Freilandbedingungen mit den bisher zur Verfügung stehenden Methoden nicht oder nur sehr unzureichend durchgeführt werden kann. Dies liegt in unterschiedlichen Ursachen wie beispielsweise dem Lebensraum der die Wurzeln besiedelnden Rebläuse, deren Größe und ihrer Populationsentwicklung während der Vegetationsperiode begründet. Diese und weitere Punkte werden in Kap. 3.4 ausführlicher dargestellt und in Kap. 4.4 eingehend diskutiert. Da die im Verlauf der Untersuchungen erzielten Ergebnisse aber auch Einfluss auf die weiteren, in der Folge eingesetzten Methoden hatten, wurde an dieser Stelle die voranstehende kurze Schilderung der Verhältnisse gegeben. So werden, um Wiederholungen zu vermeiden, in Kap 3.4 auch nur die Ergebnisse einer Versuchsfläche im Anbaugebiet Rheingau dargstellt. Einzelne Ergebnisse anderer Flächen zu Diskussionszwecken finden sich im Anhang.

Für die Bezeichnung der Versuchsflächen wurden Kürzel gewählt, die auf das Anbaugebiet, die dort vorhandene Unterlagssorte bzw. wurzelechte Edelreissorte, die Versuchsvariante und den Probennahmeort verweisen (Kennziffern im Kürzel: 1/2/3/4).
Kennziffer 1: Anbaugebiet (M = Mosel-Saar-Ruwer, P = Pfalz, R = Rheingau)

Kennziffer 2: Wurzel (Unterlagssorte oder wurzelechte Edelreissorte: 5C, 5BB, SO4, 125AA, 26G, Riesling)

Kennziffer 3: Versuchsvariante (KO = Kontrolle, GE = Gerste, MA = Stamm Ma500, BI = Stamm BIPESCO5 und Jahr der Applikation)

Kennziffer 4: Probennahmepunkt (f = Fahrgasse, u = Unterstockbereich)

Tab. 2-6: Bezeichnung der Versuchsvarianten im Rahmen der Untersuchungen zur biologischen Kontrolle von *D. vitifoliae* durch den entomopathogenen Pilz *M. anisopliae*.

Kennziffer	Kürzel	Bedeutung der Kennziffer
1		Anbaugebiet
	M	Mosel-Saar-Ruwer
	P	Pfalz
	R	Rheingau
2		Wirt (Rebsorte)
	z.B. 5C, 5BB, SO4, 125AA, 26G, Riesling	Unterlagsrebe (bei wurzelechten Reben, Name der Rebsorte)
3		Versuchsvariante
	BI	Stamm BIPESCO 5
	GE	Gerste
	KO	Kontrolle
	MA	Stamm MA 500
4		Probenahmepunkt
	f	Fahrgasse
	u	Unterstockbereich

Die im Rahmen dieser Arbeit vorrangig bearbeitete Versuchsfläche R/5C entspricht der im Rahmen der Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten (Kap. 2.3) vorgestellten Versuchsfläche O/R. Die Standortbeschreibung der Boden- und Klimaverhältnisse sowie versuchsflächenspezifische Angaben wie Bodenbearbeitungstermine, eingesetzte Pflanzenschutzmittel etc. sind den Kapiteln 2.3.1.1 bis 2.3.1.3 zu entnehmen. Diese Fläche wurde gewählt, da aus den in den Vorjahren auf dieser Fläche durchgeführten bodenbiologischen Untersuchungen bereits eine Vielzahl von abiotischen und biotischen Parametern bekannt waren. Dies war unter anderem für die Beurteilung der Non-target-Effekte von Bedeutung, da das auf dieser Fläche vorkommende Edaphon ebenfalls in den Vorjahren untersucht wurde (HUBER 1999). Weitere Gründe für die Auswahl dieser Fläche für die Versuche zur biologischen Reblauskontrolle waren zum einen die auf dieser Fläche seit 1997 durchgeführten Untersuchungen und Beobachtungen der vorhandenen Reblauspopulation. Zum anderen hätte eine potentielle negative Beeinflussung des Rebwuchs infolge einer *Metarhizium*-Applikation aufgrund der ebenfalls seit 1997 durchgeführten Rebwuchsbonituren zuverlässig festgestellt werden können.

Die Anlage des Freilandversuchs im Jahr 2003 auf dieser Fläche erfolgte in Anlehnung an internationale Richtlinien (EPPO-Richtlinie PP 1/152). Ein 12 Rebzeilen mit je 58 Stock umfassendes Areal wurde in 20 m^2 große Parzellen (8 Stock je Zeile) unterteilt. Insgesamt wurden von den 42 so gebildeten Parzellen 12 im Zufallsverfahren für die Versuche ausgewählt. Je 4 Parzellen wurden als Kontrollparzellen (KO), zur Applikation von Gerste (GE) und des *Metarhizium*-Präparats (MA, Stamm MA 500) ausgewiesen (Abb. 7-1). Die Applikation der Gerstenkörner bzw. des *Metarhizium*-Präparats (Trägersubstanz Gerstenkörner) im Bereich der Fahrgasse erfolgte mit einer Anbaukombination bestehend aus Saatmaschine und Kreiselegge (Heckanbau) im Schmalspurverfahren am 05.05.2003 (Tafel 7-4 A+B). Die applizierte Menge des Präparats betrug 40 kg / ha. Im selben Umfang wurde auf den GE-Parzellen autoklavierte Saatgerste appliziert. Dies diente zur Kontrolle eines potentiellen Effektes der Trägersubstanz (Gerste) des *Metarhizium*-Präparats. Auf den Kontrollparzellen wurden ebenfalls Maschinenüberfahrten vorgenommen, um Effekte durch die bei der Applikation durchgeführten Bearbeitungsmaßnahmen ausschließen zu können.

Die Probennahmen im Jahr 2003 zur Untersuchung der Reblauspopulationen, der Bodenparameter Wassergehalt, organische Bodensubstanz und pH-Wert, sowie zur Bestimmung des Edaphons, der Collembolenzönosen und der Dichte von *Metarhizium anisopliae* erfolgten am 04.05., 08.07., 02.09. und 06.10.2003. Die Probenentnahmen zur Bestimmung des Wassergehaltes, der organischen Bodensubstanz, des pH-Wertes, des Edaphons und der Collembolenzönosen erfolgten mit einem Mesofaunabohrer (Durchmesser 4,3 cm) bis in eine Tiefe von 20 cm. Nach der Entnahme wurden die Bohrkerne in Tiefenstufen von 0 - 10 cm und 10 - 20 cm unterteilt, in PE-Beutel verpackt und gekühlt ins Labor transportiert. Von jeder der 4 Parzellen je Versuchsvariante (KO, GE, MA) wurden 2 Stechproben, also insgesamt 8 Proben je Versuchsvariante entnommen. Die weiterführenden Untersuchungen wurden wie in den Kap. 2.1.1 und 2.1.3 beschrieben durchgeführt. Die Bonitur der Reblauspopulationen erfolgte wie in Kap. 2.1.3 dargestellt. Aus arbeitstechnischen Gründen variierte die Anzahl untersuchter Proben. Die Stichprobenzahlen sind dem Anhang zu entnehmen. Zur Bestimmung der Dichte (CFU) von *M. anisopliae* im Boden wurden von jeder Versuchsparzelle je 2 Bodenproben mit einem Bodenbohrer (Durchmesser 2,1 cm) entnommen, in Tiefenstufen (0 - 10 cm, 10 - 20 cm) unterteilt, in PE-Beutel verpackt und zur Weiteruntersuchung an das Institut für Mikrobiologie der Universität Innsbruck übersandt.

Für die Anlage des Freilandversuchs im Jahr 2004 auf der Versuchsfläche R/5C wurde ein vom Jahr 2003 abweichender Versuchsaufbau gewählt. Hierbei wurden am 14.05.2004 der in Abb. 7-2 wiedergegebenen schematischen Darstellung folgend 33 bis dahin unbehandelte Rebzeilen in den Versuch aufgenommen. Im Rahmen dieser

Versuche wurden auch Versuchsparzellen in dem mit der Unterlagsrebe 125 AA bepflanzten Teil der Rebfläche eingerichtet. Zusätzlich wurde auch ein neues *Metarhizium*-Inokulat (Stamm BIPESCO5) eingesetzt. Die Applikation der Inokulate erfolgte nicht wie im Fall der im Jahr 2003 angelegten Versuchsvarianten nur im Bereich der Fahrgasse. Unter Verwendung eines Scheibenpfluges im Seitenanbau an einen Schmalspurschlepper konnten die Präparate auch im Unterstockbereich appliziert werden (Tafel 7-4 C-H). Auch der Versuchsaufbau wurde abweichend vom Jahr 2003 gewählt. 2004 wurde das Präparat nicht in Versuchsparzellen, sondern in durchgängigen Rebzeilen appliziert. Dies sollte zum einen die Verschleppung des entomopathogenen Pilzes in die Kontrollen durch Bodenbearbeitungsgeräte verhindern und andererseits eine schärfere Abgrenzung behandelter und nicht behandelter Versuchsvarianten gewährleisten. Die weitere Anlage der Versuchsfläche erfolgte wie im Jahr 2003.

Wie bereits zu Beginn dieses Kapitels geschildert, mussten im Verlauf der Versuche neue Methoden entwickelt werden, um den Einfluss von *M. anisopliae* auf Reblauspopulationen unter Freilandbedingungen bewerten zu können. Hierfür wurden in Anlehnung an die Untersuchungen zur Entwicklung eines Reblausbonitursystems (PORTEN & HUBER 2003a) in den Jahren 2004 und 2005 Validierungsgrabungen und -zählungen durchgeführt und die Ergebnisse der Versuchsvarianten verglichen. Die Probennahmen erfolgten analog zur Bonitur von Reblauspopulationen, allerdings wurden die Probenbereiche Unterstock (u) und Fahrgasse (f) hierfür getrennt untersucht. Die entnommenen Boden- und Wurzelproben wurden in PE-Beutel überführt und gekühlt ins Labor transportiert. Von jeder Versuchsvariante wurden 5 Proben entnommen. Trotz zusätzlicher Befeuchtung der Proben im Juli 2004 und August 2005 mussten mehrfach Proben verworfen und die Probennahme wiederholt werden, da die Wurzeln für eine quantitative und qualitative Bewertung zu stark ausgetrocknet waren (Kap. 4.4.1). In Kap. 3.4.1 sind die Ergebnisse der Zählungen vom 12.08.2004 und 18.08.2005 dargestellt. Die in den Proben enthaltenen Wurzeln wurden im Labor vorsichtig von anhaftender Erde befreit und die Anzahl von Nodositäten, lebenden und toten Rebläusen aller Morphen und Entwicklungsstadien und der Reblauseier unter Verwendung eines Stereomikroskops bestimmt. Zusätzlich wurde die Zahl der Rebläuse und Reblauseier je einzelner Nodosität bestimmt und jede Nodosität in eine der in Tab. 2-1 dargestellten Befallsklassen eingeteilt. Nach Abschluss der Zählungen wurden die Wurzeln bei 105° C getrocknet und ihr Trockengewicht bestimmt. Ebenso wurde mit den Proben der anderen Versuchsflächen verfahren. Die Probenentnahmen auf diese Flächen erfolgten zeitversetzt am 23.08.2004 (Versuchsfläche M/Riesling) und 24.08.2004 (Versuchsfläche M/26G).

Um einen direkten Nachweis der Infektion von *D. vitifoliae* mit *M. anisopliae* unter Freilandbedingungen führen zu können sind - aufgrund der Größe sowohl des Schädlings als auch der bestimmungsrelevanten Merkmale des Pathogens - stereo- bzw. lichtmikroskopische Untersuchungen nicht ausreichend. Diese Methoden zur Untersuchung einer Infektion können nur bei größeren und stärker sklerotisierten Insekten eingesetzt werden wie sie beispielsweise im Rahmen der Untersuchungen zur biologischen Kontrolle der Zikade *Hyalesthes obsoletus* eingesetzt wurden (Ergebnisse hier nicht dargestellt, siehe hierfür LANGER et al. 2005). Zur Untersuchung einer Infektion von Rebläusen wurden im Jahr 2004 und 2005 mehrmals Wurzelproben (Nodositäten) entnommen, in AFE fixiert und für die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung aufbereitet (siehe Kap. 2.1.4).

2.6 Vorkommen und Verbreitung von *Roesleria subterranea* (Weinm.) Redhead

Die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse zum Vorkommen und zur Verbreitung von *R. subterranea* (= *R. hypogaea* Thüm. & Pass.) stehen, obgleich die Untersuchungen auch auf anderen Versuchsflächen durchgeführt wurden, in direktem Zusammenhang zu den durch die Interaktionen Reblaus - Bodenpilze - Boden verursachten Schäden an reblausbefallenen Reben. Aus diesem Grund wurden die Ergebnisse der Untersuchungen zum Vorkommen und Verbreitung von *R. subterranea* mit in diese Arbeit aufgenommen. Zwar handelt es sich bei *R. subterranea* um einen Wurzelschimmelerreger bei Reben und der Pilz wurde auch auf den Versuchsflächen O/R und o/R (Kap. 2.3) festgestellt. Dennoch wurden die Untersuchungen nicht im Kontext der bodenbiologischen Untersuchungen durchgeführt. Deshalb soll an dieser Stelle zur Übersicht die nachstehende kurze Schilderung der Ausgangslage für die *R. subterranea* betreffenden Untersuchungen gegeben werden.

Anlass für die Untersuchungen zur Aus- und Verbreitung von *R. subterranea* im Jahr 2005 waren zum einen die im Rahmen der bodenbiologischen Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten in reblausbefallenen Rebanlagen gemachten Beobachtungen aus den Jahren 2001 bis 2005. In Zusammenhang mit diesen Untersuchungen in reblausbefallenen Rebanlagen ist *Roesleria subterranea* erstmals 2001 auf einer Fläche im Rheingau (o/R; Kap. 2.3) beobachtet worden. Dabei war ein Befall nur vereinzelt an sehr dünnen, peripheren Wurzeln kümmerwüchsiger Stöcke zu beobachten. 2002 konnte der Pilz auf dieser Fläche nicht festgestellt werden. Im Herbst 2003 und 2004 hingegen war auf der Fläche o/R ein häufigeres Auftreten von Fruchtkörpern an einigen Altwurzeln mancher Rebstöcke zu beobachten ohne erkennbaren Bezug zum Wuchszustand der infizierten Rebe. Ein

Befall des Wurzelstamms lag allerdings nur bei bereits abgestorbenen bzw. nahezu abgestorbenen Reben beobachtet vor (Fruchtkörperbildung). Auch auf der Versuchsfläche O/R (Kap. 2.3) wurde ein vereinzeltes Vorkommen von *R. subterranea* in den Jahren 2002 bis 2005 festgestellt. Aufgrund der aus der Literatur zu entnehmenden Sachverhalte wurde nicht von einer weiträumigeren Verbreitung des Pilzes ausgegangen. Auch aufgrund der neueren weinbaulichen Fachliteratur war nicht auf ein verbreitetes Vorkommen oder erhöhte Absterbeerscheinungen verursacht durch *Roesleria subterranea* zu schließen (z.B. MOHR 2005). Die seit 2003 an *Roesleria subterranea* durchgeführten Untersuchungen beschränkten sich deshalb vorwiegend auf die mykologische Grundlagenforschung (z.B. KIRCHMAIR et al. 2007). Außer den eigenen Beobachtungen lag nur ein Bericht neueren Datums über das Vorkommen von *Roesleria subterranea* auf einer Fläche im Anbaugebiet Mosel vor. Es handelte sich dabei um den Befall einer Fläche mit leichten Rückgangserscheinungen bei Neumagen-Drohn, festgestellt durch Herrn Dr. C. Hoffmann von der Biologischen Bundesanstalt in Bernkastl-Kues. Der zweite Beweggrund zur Durchführung dieser Untersuchungen waren die Befunde auf einer Fläche mit starken Absterbeerscheinungen im Rheingau. Eine Begehung dieser Fläche wurde im Juli 2005 auf Anregung des Weinbauamts Eltville erstmals durchgeführt. Bereits bei der ersten Begutachtung wurde an den kümmerwüchsigen Rebstöcken ein Befall des Wurzelhalses mit *R. subterranea* festgestellt. Allerdings hatte die Fruchtkörperbildung erst begonnen und es konnten nur vereinzelt unreife Fruchtkörper von ca. 0,5 bis 1 mm Länge festgestellt werden. Im Rahmen zweier intensiver Untersuchungen der Fläche im Oktober 2005 konnten der in Kap. 3.5 dargestellte und in Kap. 4.5 diskutierte Befall festgestellt werden. Die auf dieser Fläche gemachten Beobachtungen gaben Anlass für die Untersuchung weiterer Rebflächen in den Anbaugebieten Rheingau, Pfalz und Mosel-Saar-Ruwer.

Die Verbreitung von *R. subterranea* innerhalb eines Rebbestandes wurde auf einer kommerziell genutzten Rebfläche im Rheingau (Abb. 2-8) untersucht. Die Fläche liegt in der Gemarkung Kiedrich, Großlage Heiligenstock (Lage Sandgrub), 181 m über NN. Das Ausgangsgestein wird im Untergrund von Löß, im Rigolhorizont von Löß mit Terrassen- oder Meersandbeimengungen gebildet. Die Bodenart ist im Untergrund ein lehmiger Sand bis stark sandiger Lehm mit einem Kalkgehalt von 15 - 30 %. Im Rigolhorizont findet sich ein stark sandiger bis sandiger, zum Teil schwach kiesiger Lehm mit einem Kalkgehalt von 8 - 30 %. Die Wasserdurchlässigkeit ist gering bis mittel, die nutzbare Feldkapazität ist mit > 200 mm hoch. Der Wasserhaushalt ist ausgeglichen. Die Hangneigung beträgt 0,5° bis 2° in nord-östlicher Richtung (Daten aus: LÖHNERTZ et al. 2004). Die Fläche wurde 1991 mit Dunkelfelder auf 5 BB (*V. berlandieri* x *V. riparia*) und Spätburgunder auf SO4 (*V. berlandieri* x *V. riparia*) bepflanzt. Bereits seit den

ersten Standjahren wurden vom Besitzer der Fläche Rückgangserscheinungen im Wuchs der Reben festgestellt. Der Stockabstand beträgt 95 cm, der Zeilenabstand 155 cm. Düngemaßnahmen basieren auf der Zufuhr von Mineraldüngern. Ein Reblausbefall wurde bis Juni 2005 nicht festgestellt (mündl. Mitt. Weinbauamt Eltville, PRESSER).

Die Erstbegehung der Fläche erfolgte im Juli 2005, wobei *R. subterranea* an den Wurzeln der Reben festgestellt werden konnte. Oberirdisch konnten Blattverfärbungen, herdförmige auftretende Rebstöcke mit Kümmerwuchs und abgestorbene Rebstöcke festgestellt werden (Abb. 2-8 C+D). Eine weitere Untersuchung der Wurzeln wurde am 14.09.2005 durchgeführt, wobei bereits ein stärkeres Auftreten von *R. sub-*

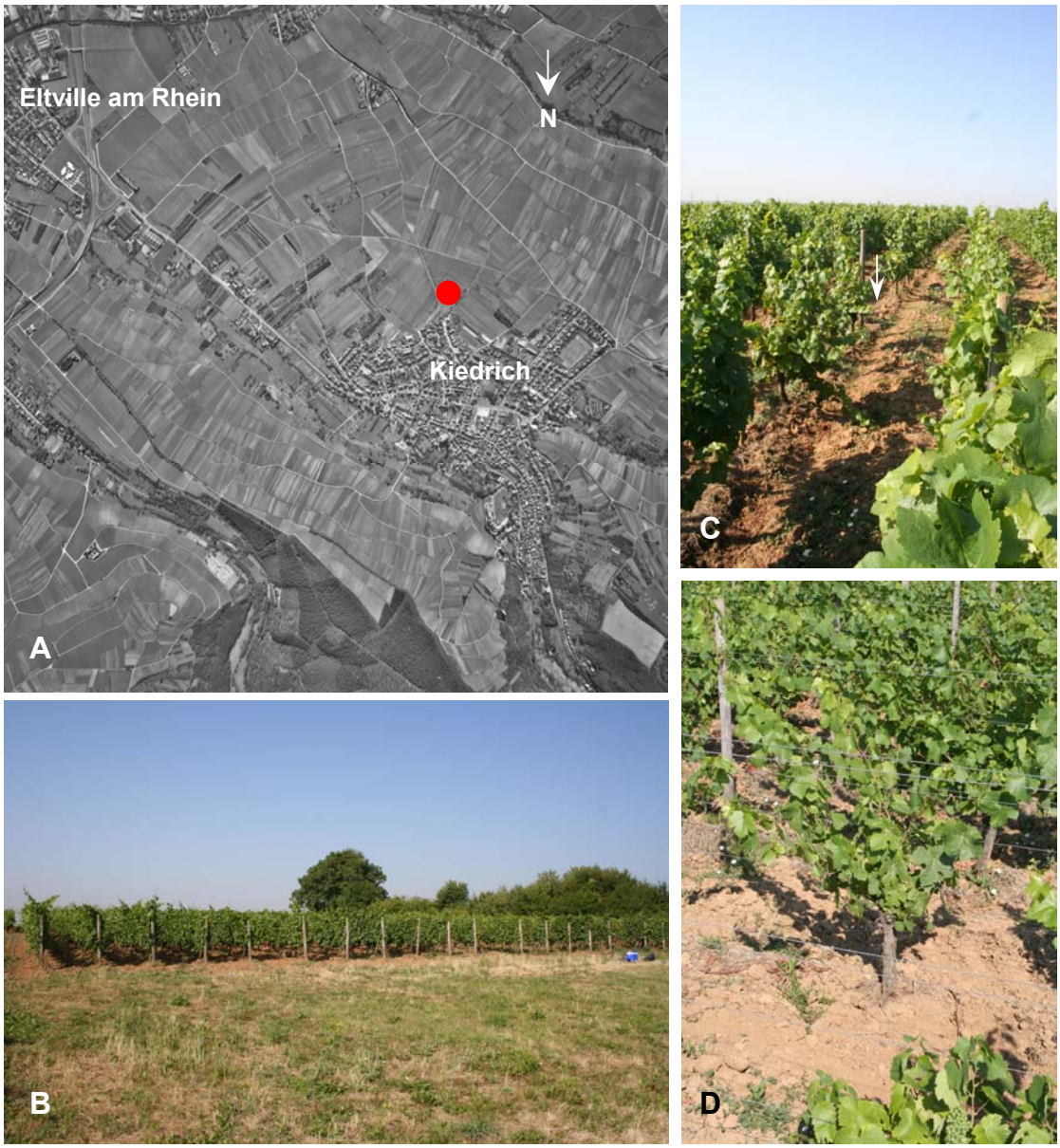


Abb. 2-8: Mit *R. subterranea* infizierte Rebfläche mit oberirdisch sichtbaren Schadsymptomen im Weinanbaugebiet Rheingau.
A: Lage der Versuchsfläche (rot markiert; Bildquelle: Hessisches Landesvermessungsamt). B: Übersicht. C: Schadherd mit kümmerwüchsigen Reben und Fehlstöcken (Pfeil). D: Rebstock mit Kümmerwuchs und Befall mit *R. subterranea*.

terranea beobachtet wurde. Die in den Kap. 3.5 dargestellten und in Kap. 4.5 diskutierten Ergebnisse stammen von zwei Untersuchungen am 03.10. und 05.10.2005. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden die Rebstöcke von allen Seiten mit einem Spaten bis in eine Tiefe von 40 - 50 cm, in einigen Fällen bis 90 cm Tiefe angegraben und dann vollständig entnommen. Die Wurzeln der 148 entnommenen Rebstöcke wurden vor Ort auf Fruchtkörper von *R. subterranea* untersucht. Die Verteilung der entnommenen Rebstöcke ist Kap. 3.5 zu entnehmen.

Tab. 2-7: Auf Befall mit *R. subterranea* untersuchte Flächen.
* bestimmt durch Genotypisierung (Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Rebenzüchtung und Rebenveredlung).

Flächen-nummer	Anbaugebiet	Ort	Edelreis	Unterlage	Pflanzjahr
1	Mosel	Longen	Riesling	wurzelecht	1990
2	Mosel	Thörnich	Riesling	wurzelecht	1905
3	Mosel	Bekond	Riesling	Börner	1995
4	Mosel	Piesport	Riesling	26G	1970
5	Mosel	Wehlen	Riesling	wurzelecht	1970
6	Rheingau	Geisenheim	Riesling	5C	1989
7	Rheingau	Geisenheim	Riesling	126AA	1989
8	Rheingau	Hattenheim	Riesling	SO4	1988
9	Rheingau	Hochheim	Riesling	Börner	1987
10	Rheingau	Hochheim	Riesling	Börner	1987
11	Rheingau	Kiedrich	Spätburgunder	5BB	1994
12	Rheingau	Kiedrich	Spätburgunder	SO4	1991
13	Rheingau	Kiedrich	Dunkelfelder	5BB	1991
14	Pfalz	Dackenheim	Cabernet Cubine	5BB	1988
15	Saar	Wiltingen	Riesling	26G	1989
16	Saar	Wiltingen	Riesling	26G, SO4, 5C	1988
17	Saar	Wiltingen	Spätburgunder	*V. berlandieri* x *V. riparia* *	1988
18	Saar	Konz-Krettnach	Riesling	26G	1988

Das Vorkommen und die Verbreitung in deutschen Weinanbaugebieten wurde zwischen 15.10. und 16.11.2005 untersucht. Hierfür wurden in Absprache mit den Besitzern der 18 untersuchten, kommerziell genutzten Rebflächen je Hektar von 20 zufällig ausgewählten Rebstöcken ca. 10 cm neben dem Rebstock im Unterstockbereich mit einem Spaten bis in ca. 40 cm Tiefe Wurzelproben entnommen und vor Ort auf Fruchtkörper von *R. subterranea* untersucht. Auf eine vollständige Entnahme der Rebstöcke und Beprobungen bis in tiefere Bodenschichten musste bei diesen Untersuchungen verzichtet werden, da es sich bei allen untersuchten Flächen um kommerziell genutzte Rebanlagen handelte. Angaben zu den untersuchten Flächen sind der Tab. 2-7 zu entnehmen.

Die bei diesen Probennahmen entnommenen Wurzeln, bzw. Pilzfruchtkörper wurden auf unterschiedliche Arten weiterbehandelt. Teile der Proben wurden in Herbarien hinterlegt, zur Genotypisierung der *R. subterranea*-Stämme ans Institut für Mikrobiologie der Universität Innsbruck übersandt, eingefroren oder für licht- und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen (Kap. 2.1.4) aufbereitet.

3 ERGEBNISSE

3.1 Biologie von *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch

3.1.1 Literaturvergleich

In dem hier vorliegenden Kapitel 3.1 zur Biologie von *D. vitifoliae* werden die Ergebnisse ausführlicher Literaturrecherchen beschrieben (Kap. 2.2). Es ist in der Form einer eigenständigen Abhandlung gehalten, d.h. aus der Literatur zu entnehmende kontextbezogene Befunde werden bereits hier besprochen. Eine ausführlichere Darstellung der Gegebenheiten bezüglich der sexuellen und asexuellen Reproduktion der Reblaus ist FORNECK & HUBER (2007) zu entnehmen. Sich aus diesen Literaturstellen ergebende Diskussionspunkte im Kontext der bodenbiologischen Untersuchungen zur Schadwirkung der Reblaus oder zur biologischen Reblauskontrolle werden in den entsprechenden Kapiteln bzw. im Rahmen einer Gesamtbewertung in Kap. 4.6 behandelt. Die hier verwendeten rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen der Reblaus werden, sofern sie neue Erkenntnisse zur Biologie der Reblaus darstellen, ebenfalls bereits in diesem und in den Kapiteln 3.2 und 4.1 behandelt. Die in Klammern gesetzten Zahlen im Text verweisen auf die in Abb. 3-1 gekennzeichneten Morphen und Formen im Lebenszyklus der Reblaus.

Lebenszyklus allgemein / Terminologie

Der Lebenszyklus der Reblaus wurde Mitte bis Ende des 19. Jahrhunderts von mehreren Autoren in Europa und Nordamerika beschrieben (FITCH 1854, SHIMER 1867, BALBIANI 1874a, 1875, 1881, RILEY 1876, CORNU 1878, DREYFUS 1889) und in der Folge von verschiedenen Autoren ergänzt und verändert. Im Rahmen dieser Neubewertungen des Lebenszyklus und der taxonomischen Bearbeitungen wurden von den Autoren verschiedene Begriffe zur Beschreibung der einzelnen Morphen und Formen im komplexen Lebenszyklus der Reblaus eingeführt und verwendet. Ähnliches gilt auch für andere Aphiden. Verschiedene Literaturübersichten und Vorschläge zur Vereinfachung der Aphidenterminologie liegen vor (HILLE RIS LAMBERS 1966, LAMPEL 1968, BLACKMAN 1994). Im Falle der Reblaus sind derzeit immer noch verschiedene falsche oder unklare Begriffe in Verwendung. Im Folgenden sollen die in der vorliegenden Bearbeitung verwendeten Definitionen kurz vorgestellt werden. Nach der Definition von MYAZAKI (1987) werden im Rahmen dieser Arbeit ‘Morphen’ und ‘Formen’ im Lebenszyklus der Reblaus unterschiedenen. Als Morphe wird ein morphologisch differenzierbarer adulter Phänotyp bezeichnet. Eine Form stellt eine “Kategorie einer Morphe mit bestimmten morphologischen, biologischen und/oder physiologischen Eigenschaften” dar. Im Gegensatz zu einer Reihe von Autoren, die vier oder fünf Morphen im Reblauszyklus unterscheiden (DAVIDSON & NOUGARET 1921, STELLWAAG 1928, MAILLET 1957, GALET 1982), unterscheidet FEDEROV (1959) nur drei Morphen: Virginopara aptera, Sexupara

alata und Sexuales. Die Annahme von anderen als diesen drei Morphen in der angeführten historischen Literatur ist einerseits auf die große Variabilität der morphologischen Merkmale sowie dem Einfluss verschiedener Umweltfaktoren auf diese zurückzuführen (RILLING 1961). Diese Variabilität wird ausführlich in der Literatur diskutiert (GRASSI et al. 1912, SCHNEIDER-ORELLI & LEUZINGER 1924, STELLWAAG 1928, SCHNEIDER-ORELLI 1939, BREIDER 1952, MAILLET 1957, RILLING 1968, GALET 1982). Andererseits wurden von manchen Autoren bestimmte Morphen nicht anerkannt oder sie waren ihnen nicht bekannt.

Um sich dieser Problemstellung nähern zu können, ist es von Nöten, den historischen Hintergrund der Aphidenterminologie genauer zu betrachten. Dies kann hier nur auszugsweise und anhand weniger Beispiele erfolgen; eine ausführliche Darstellung findet sich beispielsweise in LAMPEL (1968). Für die folgende kurze Darstellung wurden vor allem Beispiele gewählt, welche einen Einfluss auch auf die in jüngerer Zeit entstandene Reblausliteratur haben. Der Reblaus kommt in diesem Zusammenhang eine besondere Bedeutung zu, da ihr erstes Auftreten in Europa Ende des 19. Jahrhunderts den Auslöser für umfassende Untersuchungen an verschiedenen Aphidenarten darstellt. Aus diesem Anlass gegründete Reblauskommissionen wie beispielsweise die der Académie des Sciences in Paris förderten ebenfalls eine Vielzahl von Forschungsprojekten an anderen Aphiden. Der in dieser Zeit wirkende Begründer der Aphidenterminologie J. LICHTENSTEIN verwendete vorwiegend biologische Merkmale zur Beschreibung der Stadien im Lebenszyklus der Aphiden wie 'Pupiferae' oder 'Gemmans'. Allerdings erkannte er nur die Eier der bisexuellen Generation als wirkliche Eier und die sexuellen Individuen als wirkliche Imagines an. Alle anderen, parthenogenetisch entstandenen Individuen betrachtete er als Zwischenformen und deren Eier lediglich als Knospen. Aus diesem Grunde erhielten parthenogenetische Stadien die Zusatzbezeichnung 'Pseudogyne' (LICHTENSTEIN 1880). Der Autor prägte ebenfalls den Begriff der Migration bei Aphiden, allerdings ohne diese mit einem Wirtswechsel in Verbindung zu bringen. Andere Aphidiologen erkannten, dass es sich auch bei den Eiern parthenogenetischer Weibchen um wirkliche Eier handelt, was in der Konsequenz zu einer Änderung der die Stadien beschreibenden Termini führte (z.B. DREYFUS 1889). BLOCHMANN (1889) sah die Migrationsbewegungen von Aphiden als Wirtswechsel an. Eine Auffassung, welcher sich verschiedene Forscher anschlossen, was in der Folge zu einer Vielzahl unterschiedlicher Begrifflichkeiten führte. Auch BÖRNER (1907, 1908) betrachtete die Migration gleichzeitig als Wirtswechsel, kehrte aber die Richtung der Migration um und machte somit die Individuen des Hauptwirtes zu Nebenwirtstieren. Zusätzlich zu den sich daraus ergebenden Veränderungen der Termini unterteilte er seine Virginogenien in Sommer- und Winterformen (Aestivalis und Hiema-

lis). Weiterhin veränderte er die bis dahin in Gebrauch befindliche Aphidenterminologie dergestalt, dass er nicht länger biologische Begriffe wie Emigrans, Migrans und Exulis zur Beschreibung der Stadien verwendete sondern Begriffe, welche morphologische Eigenschaften in den Vordergrund stellten. Nahezu zeitgleich wendeten italienische Forscher vorwiegend biologische Begriffe zur Beschreibung des Lebenszyklusses an (GRASSI et al. 1912), welche bis heute in der Reblausliteratur Verwendung finden. Um den Wert dieser Termini zu eruieren, sind genauere Betrachtungen und der Einbezug moderner Forschungsergebnisse notwendig. Diese Zusammenhänge werden in den folgenden Abschnitten dargestellt, wobei auch hier nicht alle Befunde berücksichtigt werden können (eine Darstellung dieser Forschungsergebnisse erfolgt in FORNECK & HUBER 2007).

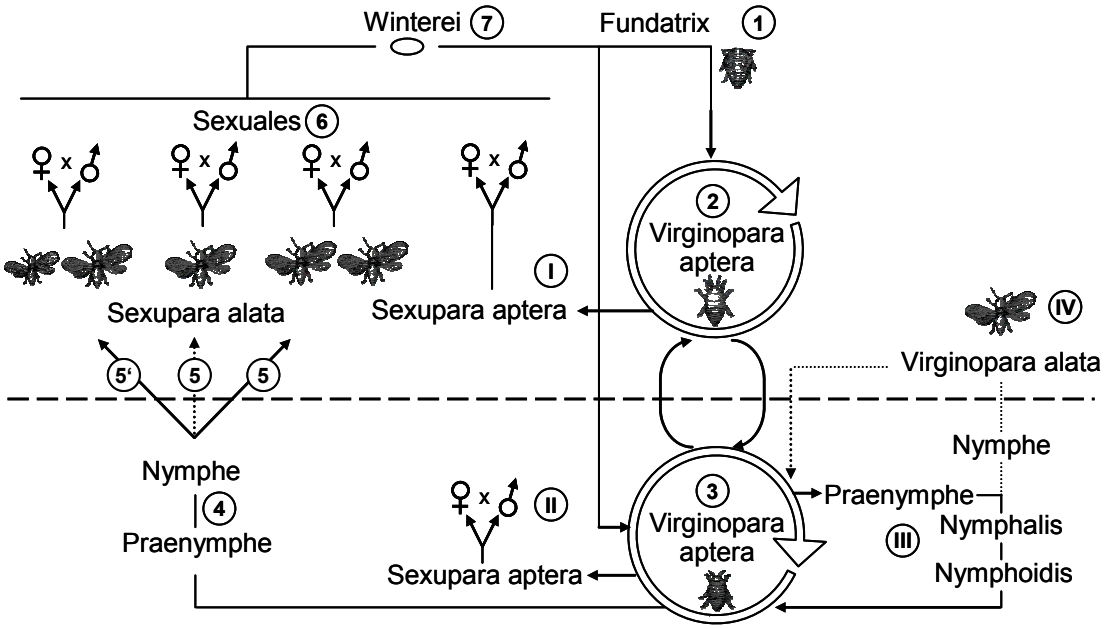


Abb. 3-1: Lebenszyklen, Morphen und Formen von *D. vitifoliae*.
Erläuterungen im Text.

Die Unterscheidung zweier Morphen im Lebenszyklus der Reblaus, der Sexuales und der Sexuparae alata ist sowohl aufgrund der morphologischen Merkmale sowie der Lebensweise eindeutig und somit in der Literatur auch unmissverständlich beschrieben. Dies ist für die virginoparen Apteren nicht der Fall und es können verschiedene mehr oder minder unterschiedliche Formen beschrieben werden. In Übereinstimmung mit der allgemeinen Aphidenterminologie ist die erste Form die Fundatrix (1). Sie ist der Abkömmling der Sexuales (6) und geht aus dem von ihnen produzierten Winterei (7) hervor. Die Fundatrix ist die Stammmutter der folgenden parthenogenetischen Linien (2), (3), (4). In aller Regel besiedelt die Fundatrix die Blätter ihres Wirtes (BALBIANI 1875, DREYFUS 1889, RITTER & RÜBSAAMEN 1900 (Befunde diskutiert in BÖR-

NER 1909b, 1911, GRASSI et al. 1912). FEDEROV (1959) konnte ausnahmsweise Fundatrices auch an Wurzeln beobachten, aber nur wenn sie bereits im Sommer oder Herbst geschlüpft waren. Neuere Untersuchungen belegen diese Beobachtungen und zeigen weiterhin, dass eine Fundatrix durchaus auch an Wurzeln saugen und unterirdisch eine neue rekombinante Linie hervorbringen kann (YVON & LECLANT 1999). Dies ist jedoch nicht mit dem falschen, von MAILLET (1957) geprägten Begriff 'Radicicole Fundatrix' für die Abkömmlinge einer an den Wurzeln überwinternden Reblaus (wurzelbesiedelnde Virginoparae aptera) gleichzusetzten.

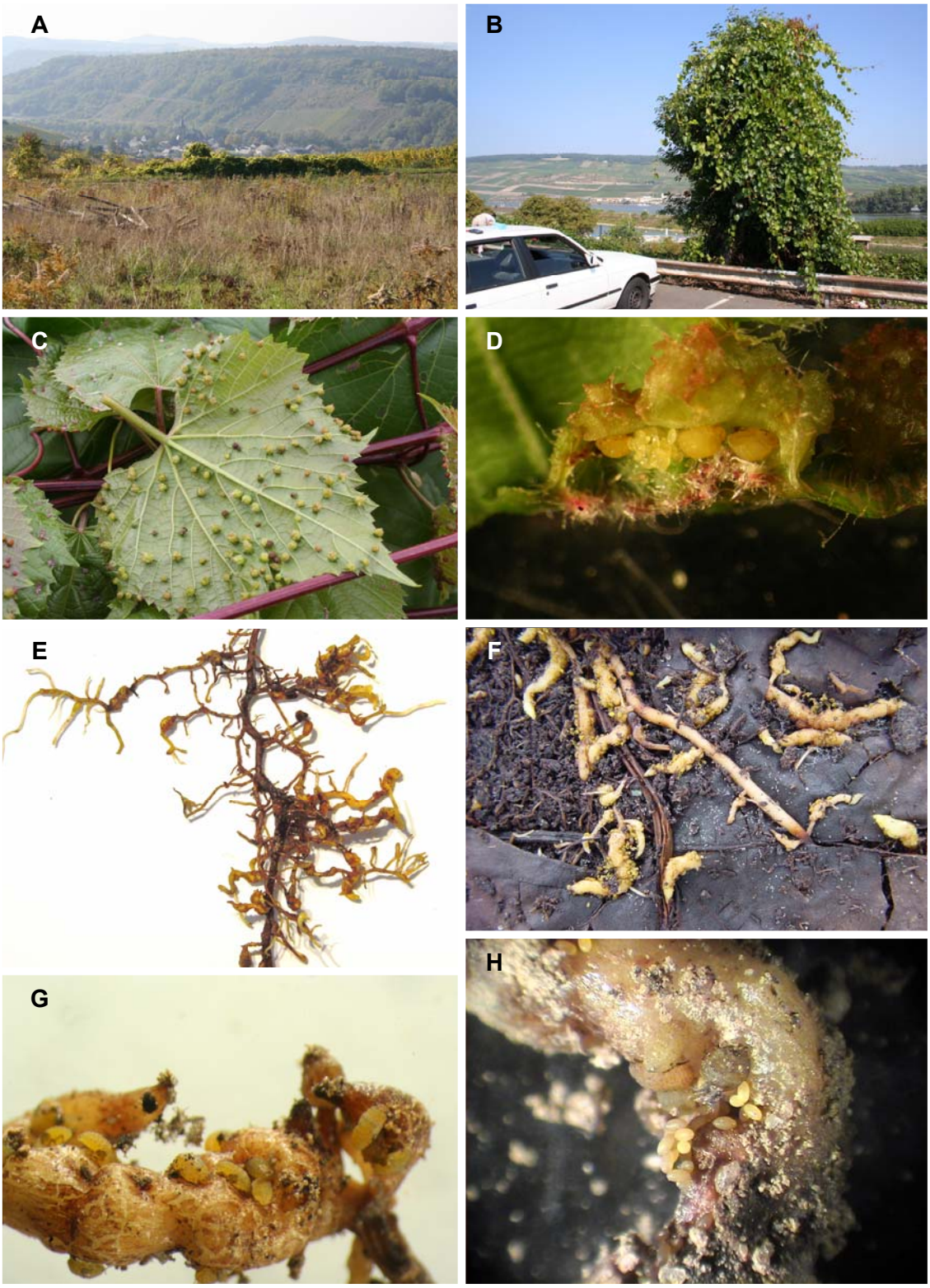
Die auf Blättern (2) und Wurzeln (3) von *Vitis* lebenden parthenogenetischen Weibchen werden als Virginoparae aptera bezeichnet (Tafeln 3-1, 3-2). Beide Formen weisen mehr oder weniger starke morphologische Unterschiede auf, was zu einer Vielzahl von Spekulationen und in der Folge zu einer Vielzahl von Bezeichnungen für diese Reblausformen führte. Zusätzliche Komplikationen ergaben sich durch die Tatsache, dass einige der blattbesiedelnden Individuen nicht auf den Blättern verbleiben, sondern an die Wurzeln abwandern, sich dort ernähren und reproduzieren. Diese an die Wurzeln abwandernden Individuen gleichen den wurzelbewohnenden Rebläusen bzw. zeigen intermediäre Merkmale. Um zwischen den beiden Formen zu unterscheiden, führte LAMPEL (1968) die Begriffe 'Civis', für die blattbesiedelnden Individien und 'Exulis' für die wurzelbewohnenden Individuen ein (bezogen auf den Lebenszyklus der Reblaus; im Kontext allgemeingültiger Aphidenterminologie stehen die Bezeichnungen für Haupt- und Nebenwirtstiere). Als Gegenstück zu den primären und sekundären Wirten von wirtswechselnden Aphidengruppen, wird für die Reblaus und ihren Wirt vielfach das Blatt als primärer und die Wurzel als sekundärer Wirt angesehen. Diese Unterscheidung ist im Falle der Reblaus aber nicht gerechtfertigt, weshalb bereits LAMPEL 1968 nicht von einer Heterözie, sondern Subheterözie ausgeht. Im Falle der Subheterözie handelt es sich um eine Vorstufe der Heterözie, d.h. ein Nebenwirt ist noch nicht vorhanden. Die in dieser Übergangsform zwischen holozyklischer Monözie und Heterözie lebenden Arten 'gleichen im Rhythmus des Geflügeltenauftretens heterözischen Arten' und bilden geflügelte Sexuparae. Bei der Reblaus handelt es sich nach LAMPEL (1968) also nicht um einen Wirts- sondern einen Platzwechsel, wobei der Autor die an den Wurzeln lebenden Rebläuse als 'Präeexulis' bezeichnet. Wie vielfach gezeigt werden konnte, wandern immer wieder an den Blättern lebende Rebläuse an die Wurzeln ab. Auch eine Besiedlung von Blättern durch von den Wurzeln abgewanderte Individuen wurde wiederholt beobachtet. Nach CLEVER (1959a,b) und RILLING (1961, 1962, 1968) liegt dabei auch keine maternale Prädetermination der Eier vor. Wie die oben genannten Autoren weiterhin zeigen konnten, haben alle Eier der virginoparen Apteren

das Potential, sich zu wurzel- oder blattbesiedelnden Individuen, Intermediären oder Sexuparae alata zu entwickeln.

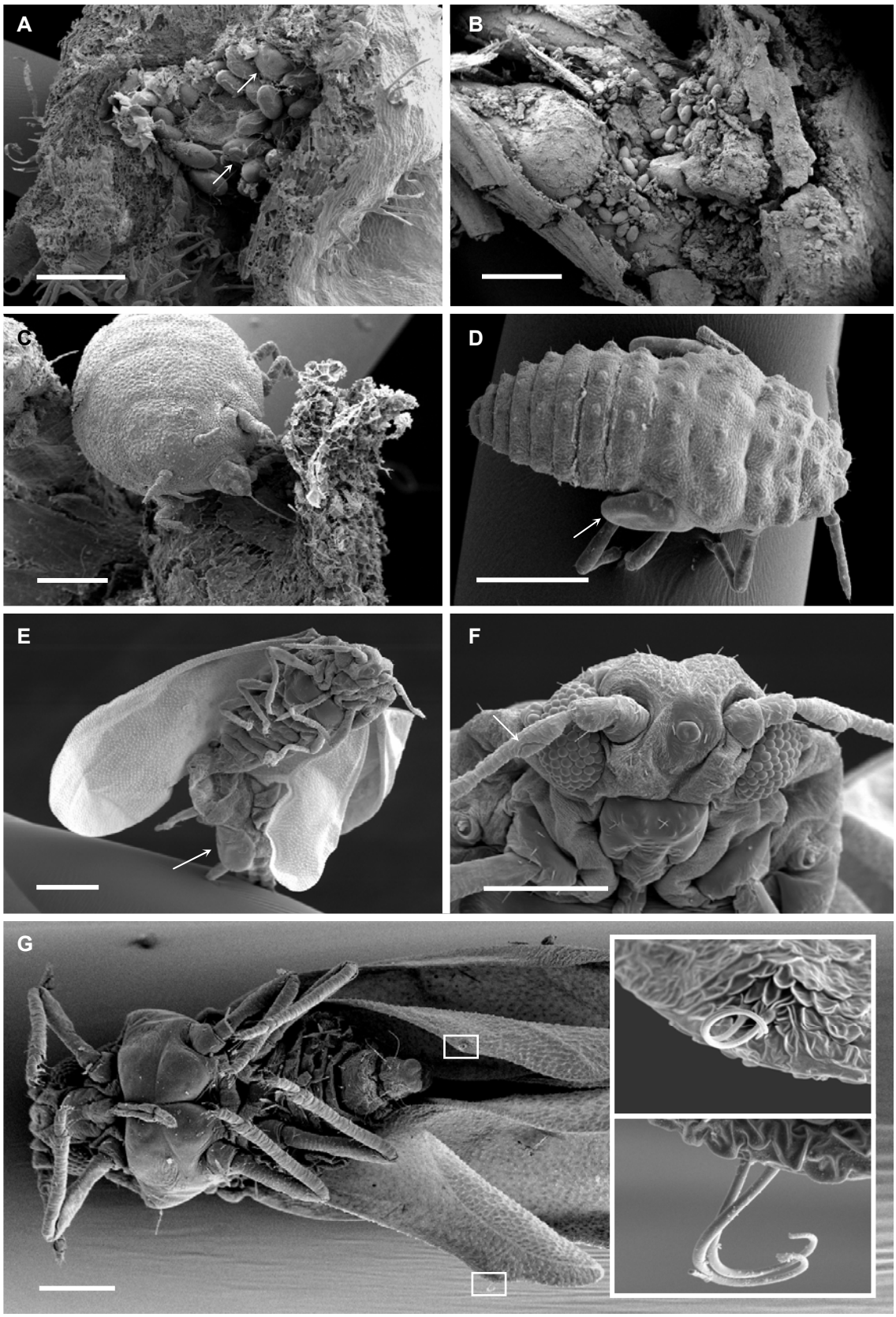
Andere, einen unterschiedlichen genetischen Hintergrund oder eine maternale Prädetermination implizierende Bezeichnungen für die virginoparen Apteren sind ungeachtet ihrer Verwendung auch in eher jüngerer Literatur (MAILLET 1957, GALET 1982) als falsch anzusehen. Dies gilt beispielsweise auch für die von GRASSI et al. (1912) eingeführten Bezeichnungen Radicicolae, Gallicolae, Neogallicolae-Gallicolae oder Bezeichnungen wie Blattblattjunglarven (SCHNEIDER-ORELLI 1939) zur Beschreibung parthenogenetischer blattbewohnender Rebläuse bzw. Neogallicolae-Radicicolae und Blattwurzeljunglarven zur Beschreibung von an den Blättern entstandenen aber an die Wurzel abgewanderten Individuen. Im Kontext einer vielfach propagierten Vereinfachung der Aphidenterminologie (BLACKMAN 1994) und der Verwendung von fortpflanzungsbiologischen Beschreibungen der Stadien des Lebenszyklusses von Aphiden wird in dieser Arbeit für alle ungeflügelten parthenogenetischen Weibchen, mit Ausnahme der die sexuelle Generation hervorbringenden, der von FORNECK & HUBER (2007) vorgeschlagene Begriff Virginopara(e) aptera verwendet. Die Überwinterung wurzelbewohnender virginoparer Apteren, meist des ersten Larvenstadiums, ist weit verbreitet. Die an den Wurzeln überwinternden Individuen werden als Hiemalis bezeichnet

Weibchen, welche die sexuelle Generation hervorbringen, werden als Sexuparae bezeichnet. Im Falle der Reblaus können diese Individuen ungeflügelt (Sexuparae aptera (I) und (II)) oder geflügelt (Sexuparae alata (5), Tafel 3-2 E-G) sein. Sexuparae, welche die sexuellen Weibchen hervorbringen, werden in der Literatur als Gynoparae, die die sexuellen Männchen hervorbringenden als Androparae und die sowohl sexuelle Männchen als auch Weibchen hervorbringende (BALBIANI 1884, MAYET 1890) als Amphitoke bezeichnet. Neuere Hinweise auf eine klare Teilung in Gynoparae und Androparae liegen keine vor. Auch die wenigen vor allem Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts vorgenommenen Zuchtversuche lassen keine eindeutige Zuordnung zu. Das vierte zur alaten Morphe führende Larvenstadium ist von anderen Larvenstadien durch die Entwicklung von Flügeltaschen unterscheidbar. Diese Larvenstadien werden als Praenymphe und Nymphe bezeichnet (4). Intermediäre Formen, welche morphologische Eigenschaften von alaten und apteren Morphen aufweisen werden als Nymphoide (III) bezeichnet (MAILLET 1957).

Der hier beschriebene Lebenszyklus, meist als klassischer Zyklus bezeichnet, ist ähnlich dem vieler anderer Aphidiodea, namentlich eine zyklische Parthenogenese mit zeitweiligem Polyphänismus.



Tafel 3-1: *D. vitifoliae*, Befallsbilder an *Vitis* spp.
A. Vordergrund: Gerodete Brache mit einzelnen Unterlagsausschlägen; Hintergrund: Eine sich über ca. 50 m erstreckende Driesche mit Europäer- und Amerikanerreben mit Blattreblausbefall im Weinbaugebiet Mosel. B. Amerikanerrebe (Höhe ca. 5 m) in einer Driesche bei Bingen (Rheinland-Pfalz) mit Blattreblausbefall. C. Blattgallen an einer Amerikanerrebe (Binova). D. Reblaus und Reblauseier in einer Blattgalle einer Amerikanerrebe. E. Nodositäten an Frischwurzeln einer Unterlagsrebe (*V. berlandieri* x *V. riparia*, 5C) einer Ertragsfläche im Rheingau. F. Nodositäten, Rebläuse und Reblauseier an der Unterlagssorte 5C (Topfversuch). G+H. Nodositäten, Rebläuse und Reblauseier an Wurzeln der Unterlagsrebe 5BB (Freiland).



Tafel 3-2: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen verschiedener Morphen von *D. vitifoliae* (Herkunft Deutschland).
A. Blattgalle einer Amerikanerrebe mit Eiern, Fundatrix (Pfeil oben) und frisch geschlüpfter Reblaus (1. Larvenstadium, Pfeil unten). B. Eigelege an einer Tuberosität an *V. vinifera* (Riesling). C. An Wurzel saugende Virginopara aptera. D. Nymphe mit Flügeltaschen (Pfeil). E. Schlüpfende Sexupara alata; an der Exuvie ist die Flügel-

tasche zu erkennen (Pfeil). F. Vergrößerung von E; neben den Komplex- und dem Stirnauge ist das sekundäre Rhinarium der geflügelten Reblausmorphe zu erkennen (Pfeil). G. Ventralansicht einer Sexupara alata; in den Vergrößerungen sind die Hamuli an den Flügeln zu erkennen.
Größenbalken: A. 500 µm. B. 1000 µm. C-E. 200 µm. F. 100 µm. G. 200 µm.

Holozyklus

Die Rebläuse reproduzieren sich parthenogenetisch während des Frühjahrs und des Sommers an den Blättern und Wurzeln reblausanfälliger Reben. Im Verlauf der Vegetationsperiode nehmen die Populationsdichten zu und gleichzeitig verändert sich die Nährstoffzusammensetzung des Wirtes. Auch setzt mit fortschreitender Vegetationsperiode die sexuelle Reproduktion ein. Im Frühjahr wird die erste Generation parthenogenetisch von der Fundatrix erzeugt. Diese asexuell erzeugten Nachkommen schlüpfen als Larven des ersten Stadiums aus den Blattgallen, um selbst neue Blattgallen zu erzeugen und so je nach Umweltbedingungen mehrere parthenogenetische Generationen pro Jahr hervorzubringen. Im Verlauf der Vegetationsperiode wandern aptere Virginopare zu den Wurzeln ab und erzeugen dort die als Nodositäten bezeichneten Wurzelgallen an im Wachstum befindlichen Frischwurzeln. Wurzelschwellungen an alten lignifizierten Wurzeln werden als Tuberositäten bezeichnet. Die wurzelbesiedelnden apteren Virginoparen bringen weitere sich parthenogenetisch vermehrende Generationen hervor. Von Mitte des Sommers bis zum späten Herbst produzieren diese Weibchen geflügelte Individuen, die sogenannten Sexuparae alata, welche sich an die Bodenoberfläche begeben. Diese legen an den oberirdischen Organen von *Vitis* Eier ab, aus denen die Sexuales hervorgehen. Sexuales nehmen keine Nahrung mehr auf. Die begattungsfähigen Weibchen legen ein überwinterungsfähiges Ei auf dem Holzkörper von *Vitis* ab.

Anholozyklus an Wurzeln

Bei anholozyklischen Reblauspopulationen leiten die an den Wurzeln überwinternden Hiemalis zu Beginn der Vegetationsperiode einen neuen Zyklus ein. Aus ihnen gehen neue, sich parthenogenetisch fortpflanzende, Reblausgenerationen hervor, welche die Wurzeln und die Blätter besiedeln können. Eine Modifikation des Lebenszyklusses ist in kalifornischen mit *Vitis vinifera* bepflanzten Rebanlagen zu beobachten. Diese Reblauspopulationen weisen eine scheinbare Anholozyklie auf. Sie leben ausschließlich als virginopare Aptere an den Wurzeln und überwintern in Form der Hiemalis (DAVIDSON & NOUGARET 1921). Diese Beobachtung steht in Einklang mit Befunden aus Australien (CORRIE et al. 2002) und Teilen Europas (HERRMANN & HERRMANN 2000). Es konnte bislang aber nicht gezeigt werden, dass diese Reblauspopulationen die Fähigkeit zur sexuellen Reproduktion verloren haben. Trotz intensiver Literaturrecherchen konnte kein Beleg für eine obligate Anholozyklie bei Reblauspopulationen

gefunden werden. Aus diesem Grunde muss das Auftreten dieser Form des Lebenszyklusses als eine durch Umweltfaktoren oder einen Mangel an geeigneten Habitaten hervorgerufene Erscheinung angesehen werden. Eine andere Erklärung hierfür könnte sein, dass aptere Sexuparae und Sexuales (siehe unten) an den Wurzeln bisher nicht berücksichtigt wurden.

Holozyklus an Blättern

An den natürlichen Standorten von *V. arizonica* Engelmann und *V. girdiana* Munson ist eine weitere Variation des Lebenszyklusses zu beobachten. Hier fehlen die an den Wurzeln lebenden Formen. Die Sexuales werden in den Blattgallen von Sexuparae aptera hervorgebracht (KIMBERLING & PRICE 1996, DOWNIE & GRANETT 1998, DOWNIE et al. 2000). Diese Sexuales sind unbeweglich, pupiform und tragen keine funktionsfähigen Mundwerkzeuge (FORNECK et al. 2000). Die ersten Generationen in einer Vegetationsperiode vermehren sich asexuell. Im Verlauf des Jahres nimmt wie bei anderen Aphiden mit zyklischer Parthenogenese die Zahl der Sexuales zu (DOWNIE & GRANETT 1998). DOWNIE & GRANETT (1998) konnten nur Individuen nachweisen, welche während ihrer gesamten Lebensdauer stets nur eine Morphe hervorbrachten. Das heißt Virginoparae aptera, welche Eier produzierten, aus denen entweder Sexuparae aptera oder wiederum blattbesiedelnde Virginoparae aptera hervorgingen. Es wurden allerdings keine weiterführenden Untersuchungen zum Einfluss der determinierenden Faktoren durchgeführt. Ein bedeutender Unterschied liegt in der von DOWNIE & GRANETT (1998) beschriebenen Zahl von Eiern, die von einer Sexupara aptera abgelegt werden. Hier wurde eine Anzahl von 1 – 63 beobachtet, während Sexuparae alata lediglich 4 – 8 Eier hervorbringen (FORNECK et al. 2000). Dies könnte auf einen Tradeoff der Flugfähigkeit zugunsten höherer Eilegeraten zurückgeführt werden (ZERA & DENNO 1997).

Reblauspopulationen mit modifizierten Lebenszyklen treten in natürlichen Habitaten im Südwesten Nordamerikas an einheimischen *Vitis*-Arten auf. Werden klonale Linien dieser Populationen unter künstlichen Bedingungen auf anderen Wirtspflanzen z.B. der Kreuzung *V. rupestris* x *V. berlandieri* gehalten, wird die holozyklische Lebensweise an den Blättern aufrecht erhalten; eine Besiedlung der Wurzeln konnte in keinem Fall beobachtet werden (FORNECK et al. 1999, FORNECK et al. 2000). Gewächshausuntersuchungen von DOWNIE & GRANETT (1998) zeigen dieselben Befunde und belegen, dass asexuelle und sexuelle Eier gleichzeitig abgelegt werden. Dieselben Autoren verweisen auf zwei Publikationen von BALBIANI aus den Jahren 1874 und 1875 - zitiert aus RILEY (1876) - welcher Reblauspopulation mit Sexuparae aptera an den Wurzeln beschreibt. Die in RILEY (1876) angeführten Zitate BALBIANIs enthalten allerdings nur Hinweise auf die Existenz holozyklischer Reblauspopulationen an Wurzeln

von Reben, ohne weiterführende Informationen zu nennen. Vermutlich mit aus diesem Grunde wurden die Beobachtungen BALBIANIS in der modernen Reblausforschung lange Zeit nicht beachtet. Auch GRASSI et al. (1912) beobachteten Sexuales an den Wurzeln, hielten diese aber nicht für holozyklisch an den Wurzeln lebende Reblauspopulationen, sondern für in Einzelfällen aus Nymphoiden hervorgehende Sonderfälle. GRASSI et al. (1912) greifen die Befunde aus BALBIANI (1874a) auf und erklären sie mit den beschriebenen Sonderfällen.

Holozyklus an Wurzeln

Sowohl GRASSI et al. (1912) als auch LAMPEL (1968) hatten von der erst 1998 von DOWNIE & GRANETT (1998) beschriebenen Existenz eines holozyklischen Lebenszyklusses an den Blättern von *Vitis* keine Kenntnis. Es ist anzunehmen, dass bei Kenntnis über eine Holozyklie an Blättern die Bewertung der Befunde BALBIANIS anders ausgefallen wäre. Zudem scheint den Autoren eine weitere Publikation BALBIANIS (BALBIANI 1874b) nicht bekannt gewesen zu sein. Dieser Arbeit sind mehrere konkrete Hinweise auf die Morphologie und Lebensweise dieser holozyklisch an den Wurzeln lebenden Reblauspopulationen zu entnehmen. Morphologisch konnte BALBIANI keine Unterschiede zwischen den von alaten oder apteren Sexuparae hervorgebrachten Sexuales feststellen. Sowohl in der Gestalt und der Färbung, als auch in der Rückbildung der Verdauungsorgane stimmten sie dem Autor zur Folge vollständig überein. Unterschiede konnte er allerdings im Auftreten der Sexuales feststellen. Aus alaten Sexuparae hervorgehende Sexuales traten in südlichen Gebieten in der Regel von Juli bis September auf. BALBIANI beobachtete die aus apteren Sexuparae hervorgehenden Sexuales nie vor Mitte Oktober. Zusätzlich scheint ihre Verbreitung auf einzelne Bereiche des Wurzelsystems beschränkt zu sein. Nach BALBIANI ist die Bildung der hypogäischen Sexuales von lokalen Einflüssen des Bodens oder den Wurzeln abhängig. Lokale Unterschiede im Zusammenhang mit Reblausbefall im Wurzelsystem ein und derselben Pflanze wurden auch von HOFMANN (1957b) beschrieben. Ein weiterer Unterschied besteht in der erhöhten Fruchtbarkeit der Sexuparae aptera. Nach BALBIANI traten die Sexuales an bestimmten Bereichen ‘zu Hunderten’ an den Wurzeln auf. Diese Beobachtung steht in Übereinstimmung zu den Beobachtungen von DOWNIE & GRANETT (1998) von Sexuparae aptera in Blattgallen. Zudem tragen die an den Wurzeln vorkommenden Sexuales stets nur ein Ei (BALBIANI 1881).

Sexuparae alata in Blattgallen

Obgleich weiterführende Untersuchungen fehlen, kann in Anlehnung an die Umstände bei anderen Aphiden angenommen werden, dass die Bildung geflügelter Morphen bzw. Formen auch im Falle der Reblaus durch äußere Faktoren wie Photope-

riode oder Temperatur direkt oder indirekt durch Vermittlung des Wirtes ausgelöst wird. Verschiedene Autoren wie SHIMER (1867), RITTER & RÜBSAAMEN (1900), BÖRNER (1911) und FEDEROV (1939), beschreiben das Auftreten von geflügelten Individuen in Blattgallen. FEDEROV (1939) fand bei Untersuchungen in der Ukraine in einigen Fällen in Blattgallen eine vielfach höhere Anzahl an geflügelten als an ungeflügelten Individuen. Er schloss hieraus auf ein neues Verbindungsglied zwischen holozyklischer und anholozyklischer Lebensweise. Eine alternative Erklärung hierfür könnte sein, dass es sich um an Wurzeln lebende und zur Flügelbildung determinierte Individuen handelte, welche an die Blätter abgewandert waren. Hierfür spricht auch der Befund, dass keine Blattgallen festgestellt werden konnten, welche ausschließlich mit alaten Individuen besetzt waren. In der späteren Vegetationsperiode können immer wieder aptere und alate Individuen nebeneinander in Blattgallen beobachtet werden, sowohl unter Freiland- als auch unter Gewächshausbedingungen (mündl. Mitt. FORNECK). Diese Befunde stimmen mit denen von BÖRNER (1911, 1921) überein.

Habitat, Umwelt und Lebenszklus

Wie von verschiedenen Autoren immer wieder betont (ORDISH 1987), entsteht bei Durchsicht der bisher zu *D. vitifoliae* verfassten Literatur meist der Eindruck als existierten im Lebenszyklus dieser Aphide mehr Ausnahmen von den Regeln denn Regeln. Dies ist teilweise auf die hohe Adaptationsfähigkeit des Insekts gegenüber Wirtspflanzen und Umweltbedingungen zurückzuführen. Ähnliches gilt auch für andere Aphidenarten (HILLE RIS LAMBERS 1966). Im Falle der Reblaus erwachsen aber zusätzliche Problemstellung aus der durch die menschliche Nutzung als Kulturpflanze hervorgegangenen Komplexität der Wirtspflanzengattung *Vitis*, ihrer verschiedenen Kulturbedingungen und den daraus folgenden Auswirkungen auf das Insekt. Die überwiegende Vielzahl der über 10000 zu *D. vitifoliae* abgefassten Publikationen beschreiben Befunde aus kommerziell genutzten Reb- und Zuchtanlagen sowie Gewächshaus- und Laboruntersuchungen vor dem Hintergrund der Rebenzüchtung bzw. -veredlung. Untersuchungen unter natürlichen Bedingungen am natürlichen Wirt liegen dagegen nur sehr wenige vor (FERGUSSON-KOLMES & DENNEHY 1993, DOWNIE & GRANETT 1998, DOWNIE 1999, DOWNIE et al. 2000, DOWNIE 2003). Dies erschwert die Bewertung der verschiedenen bereits vorhandenen Befunde erheblich (FERGUSSON-KOLMES & DENNEHY 1991). Auch die bei kommerzieller Nutzung bzw. im Rahmen kontextbezogener Untersuchungen angewandten unnatürlichen Wachstumsbedingungen des Wirtes können Auswirkungen auf das Verhalten des Insektes haben (GRASSI 1915).

Sexuparae alata und Virginoparae alata

Seit der Beschreibung apterer Sexuparae durch DOWNIE & GRANETT (1998) ist offensichtlich, dass sexuelle Fortpflanzung und Flügelbildung auch im Falle der Reblaus nicht unmittelbar verknüpft sind. Diese Erkenntnis wäre bereits aus der Beschreibung von BALBIANI (1874b) abzuleiten gewesen. Allerdings wurden seine Befunde nur von wenigen Fachleuten anerkannt, aber nicht richtig interpretiert (GRASSI et al. 1912, LAMPEL 1968) oder waren den Verfassern späterer Arbeiten nicht bekannt (KAWADA 1987, DOWNIE & GRANETT 1998). Von GRASSI et al. (1912) wurde das Auftreten der apteren Sexuparae an den Wurzeln mit einer 'Form' im Lebenszylus der Reblaus, den sogenannten Nymphalen in Zusammenhang gebracht. Diese Intermediären wurden meines Wissens erstmals von MORITZ (1893) beschrieben und in der Literatur unter verschiedenen Begriffen geführt: Ninfali (GRASSI et al. 1912), Intermediates (DAVIDSON & NOUGARET 1921), Nymphalis oder Nymphoidis (MAILLET 1957). Adulte Intermediäre (Nymphoidis) weisen einerseits reduzierte Flügeltaschen auf, anderseits besitzen sie wie adulte wurzelbesiedelnde Virginoparae aptera einen Genitalporus und sind zur Eiablage befähigt. Aus diesen Eiern schlüpfen ausschließlich virginopare Aptere und nur in Sonderfällen Sexuales (GRASSI et al. 1912). Zusätzlich zu diesen intermediären 'Formen' wurden immer wieder verschiedene Phänotypen von Nymphen bzw. Alaten beschrieben (PLANCHON 1868, MORITZ 1891, 1893). Dies führte zu der Annahme, dass kleine Nymphen kleine Alate hervorbringen, welche ihrerseits wiederum ausschließlich Männchen hervorbringen. Größere Nymphen hingegen bringen größere Alate hervor, welche nur sexuelle Weibchen produzieren. Die Untersuchungen dieser unterschiedlichen Phänotypen wiederum gab Anlass zu der Annahme, dass auch *D. vitifoliae* wie andere Aphiden eine virginopare alate Form besitzt ((IV) MORITZ 1893, STAUFFACHER 1907). Dies wurde von verschiedenen Autoren wie BÖRNER (1909a), GRASSI (1915) und SCHNEIDER-ORELLI (1921) negiert. Die von diesen Autoren durchgeführten Untersuchungen unterscheiden sich allerdings in vielen Gesichtspunkten von den von STAUFFACHER beschriebenen, worauf an dieser Stelle allerdings nicht ausführlich eingegangen werden kann. Dies trifft aber sowohl auf die geographische Herkunft der untersuchten Populationen, Unterschiede in der Biologie der Individuen (beispielsweise im Zeitpunkt des Auftretens in der Vegetationsperiode) als auch auf die Versuchsbedingungen zu. Auch beschreibt STAUFFACHER nicht wie andere Autoren zwei, sondern drei alate Reblausmorphen bzw. -formen (α, β, γ), wobei die sehr seltene γ-Form ein sogenanntes statisches Organ aufweisen soll (STAUFFACHER 1903a,b, 1905, 1907). Dies wurde von BÖRNER (1909a) nicht bestätigt. Seine morphologischen Untersuchungen beschränkten sich allerdings auf ein einziges Exemplar.

Noch eine weitere Arbeit weist auf die Existenz einer virginoparen alaten Form im Lebenszyklus der Reblaus hin, basierend auf Untersuchungen, welche durch GERSTÄCKER, NÖRDLINGER und MÄRKER im August 1877 im südlichen Frankreich durchgeführt wurden (GERSTÄCKER et al. 1877). Die Autoren berichten von einer alaten Reblausmorphe bzw. -form, welche sie bei 'verschiedenen Gelegenheiten und an verschiedenen Orten' beobachten konnten. Die abgelegten Eier dieser Individuen waren mit denen von apteren wurzelbesiedelnden Virginoparen in Größe und Form identisch. Die aus diesen Eiern schlüpfenden Rebläuse unterschieden sich der Beschreibung zur Folge in keinster Weise von der Nachkommenschaft apterer wurzelbesiedlender Virginoparae. Die mikroskopische Analyse dieser Individuen zeigte, dass sie in der Körperform, den morphologischen Merkmalen der Antennen und der vollständig entwickelten Mundwerkzeuge mit der parthenogenetisch erzeugten Nachkommenschaft apterer Virginoparen vollständig übereinstimmten. Bei den durchgeführten Zuchtversuchen konnten in keinem Fall Männchen oder sexuelle Weibchen beobachtet werden. Obgleich diese Beobachtungen bereits 1877 publiziert wurden, wurden sie von STAUFFACHER, BÖRNER, GRASSI et al. oder SCHNEIDER-ORELLI nicht besprochen. Die Auswertung der durchgeführten Literaturrecherchen legen nahe, dass lediglich MORITZ (1893) auf die Befunde in GERSTÄCKER et al. (1877) hinweist.

In Anbetracht der Tatsache, dass auch die Sexuparae aptera an den Blättern erstmals 1998 beschrieben wurden (DOWNIE & GRANETT 1998), ist das Vorkommen einer virginoparen alaten Reblausmorphe - ebenso wie das der Sexuparae aptera an den Wurzeln - als wahrscheinlich anzusehen bzw. muss aufgrund der eindeutigen Beschreibung von GERSTÄCKER et al. (1877) als gegeben angesehen werden. Es stellt sich hiernach die Frage, warum alate virginopare Rebläuse nicht häufiger beobachtet wurden und werden. Hierfür sind sicherlich mehrere Gründe in Betracht zu ziehen. Einerseits wurde mit Ausnahme der beiden hier genannten Beobachtungen niemals in größerem Umfang nach dieser Reblausmorphe gesucht. Auch die beispielsweise von BÖRNER (1909a) und SCHNEIDER-ORELLI (1921) durchgeführten Zuchtversuche beschränkten sich auf vergleichsweise wenige Individuen aus sehr wenigen Habitaten. Ein weiterer Grund könnte sein, dass sich wie bei vielen Aphidenarten auch bei der Reblaus die virginoparen Alaten und die Sexuparae alata morphologisch sehr ähnlich sind (HARDIE & LEES 1985) bzw. nur anhand der antennalen Sinnesorgane unterschieden werden können (MYAZAKI 1987) und somit besonders bei Freilanduntersuchungen nicht zu unterscheiden sind. Im Falle von Zuchtversuchen ist zu bedenken, dass sich bei verschiedenen Aphidenarten die virginoparen Alaten sehr stark in ihrem Flugverhalten unterscheiden (Migranten, Flieger, Nicht-Flieger; SHAW 1970a, b) und dass manche dabei nur nach einem Migrationsflug Eier ablegen. Unterschiede im Flugverhalten wur-

de bei alaten Rebläusen vielfach beschrieben, bei Untersuchungen zum Vorkommen virginoparer Alata aber nicht berücksichtigt. Ein weiterer Grund sei an dieser Stelle angefügt. Es besteht auch die Möglichkeit, dass virginopare Alate bei der Reblaus nur sehr selten oder nur an den sehr selten untersuchten natürlichen Habitaten und Wirten vorkommen. Das immer wieder beschriebene Vorkommen von Nymphoiden (siehe oben) könnte ein Hinweis darauf sein. Unter Berücksichtigung der Arbeiten von STOETZEL (1985a, b) ist es vielmehr wahrscheinlich, dass diese Nymphoiden auf einen virginoparen alaten Vorfahr zurückzuführen sind und nicht eine Intermediärform sexueller und asexueller Individuen darstellen wie von BÖRNER (1909a) vermutet.

Induktion der sexuellen Reproduktion

Bei vielen Aphiden wird der Wechsel von parthenogenetischer zu sexueller Vermehrung durch Umwelteinflüsse gesteuert. Die sexuellen Morphen vieler Arten werden als direkte Reaktion auf sinkende Temperaturen oder verkürzte Tageslängen hervorgebracht. Andere Aphidenarten reagieren auf Änderungen im Nahrungsangebot (reviewed in KAWADA 1987). Untersuchungen zur sexuellen Entwicklung oder Flügelpolyphänismus bei *D. vitifoliae* sind sehr begrenzt. Hinweise zur sexuellen Entwicklung der Reblaus stammen aus Feld-, *in vitro*- und Gewächshausversuchen (FORNECK et al. 2000). Die Produktion der Wintereier durch die sexuellen Morphen wird meist mit den jahreszeitlich bedingten Änderungen des Wirtes bzw. den herbstlichen Bedingungen in Verbindung gebracht. Allerdings werden in den meisten Weinbaugebieten die Sexuparae alata von Hochsommer bis Herbst beobachtet. Zu diesen Jahreszeiten sind die Bodentemperaturen jedoch hoch und die durchschnittlichen Tageslängen liegen am Maximum. Demzufolge können niedrige Temperaturen, kurze Tageslängen oder der Rückgang der Wirtspflanze, wie von verschiedenen Autoren angenommen (PLANCHON 1868, STELLWAAG-KITTLER 1954), nicht die bestimmenden Faktoren für die Induktion der sexuellen Vermehrung, bzw. für die Ausbildung von Flügeln bei der Reblaus sein. Im Falle des Einflusses ungünstiger Wirtsbedingungen weisen verschiedene Autoren darauf hin, dass Nymphen sich hauptsächlich an den frischen und saftreichen Teilen der Wurzeln (BALBIANI 1874c, MORITZ 1907) und an schnellwachsenden Arten der Wirtsgattung (CLEVER 1959a,b) bilden. Einer der ersten Autoren, der sich kritisch gegenüber den direkten Einflüssen ungünstiger Wirtsbedingungen, der Photoperiode oder der Temperaturbedingungen auf die Bildung Alater äußerte, war BÜCKLE (1963). Er vertrat die Ansicht, dass die Differenzierung der alaten Form vollständig durch die Physiologie des Wirtes erklärt werden könne. Die Einflüsse von Temperatur und Photoperiode sind BÜCKLE (1963) zufolge indirekte, welche durch die Wirtspflanze vermittelt werden. Im Falle der Reblaus wurden derartige Vermutungen bereits von BÖRNER (1909a,b) angestellt. In Gewächshausversuchen konnte BÖRNER (1909a) nachweisen,

dass alle Generationen der wurzelbesiedelnden Virginoparae alata eines Jahres fähig sind, Sexuparae alata zu produzieren. Dies gilt auch für die ersten an den Wurzeln überwinternden wurzelbesiedelnden Virginoparae alata einer Vegtationsperiode.

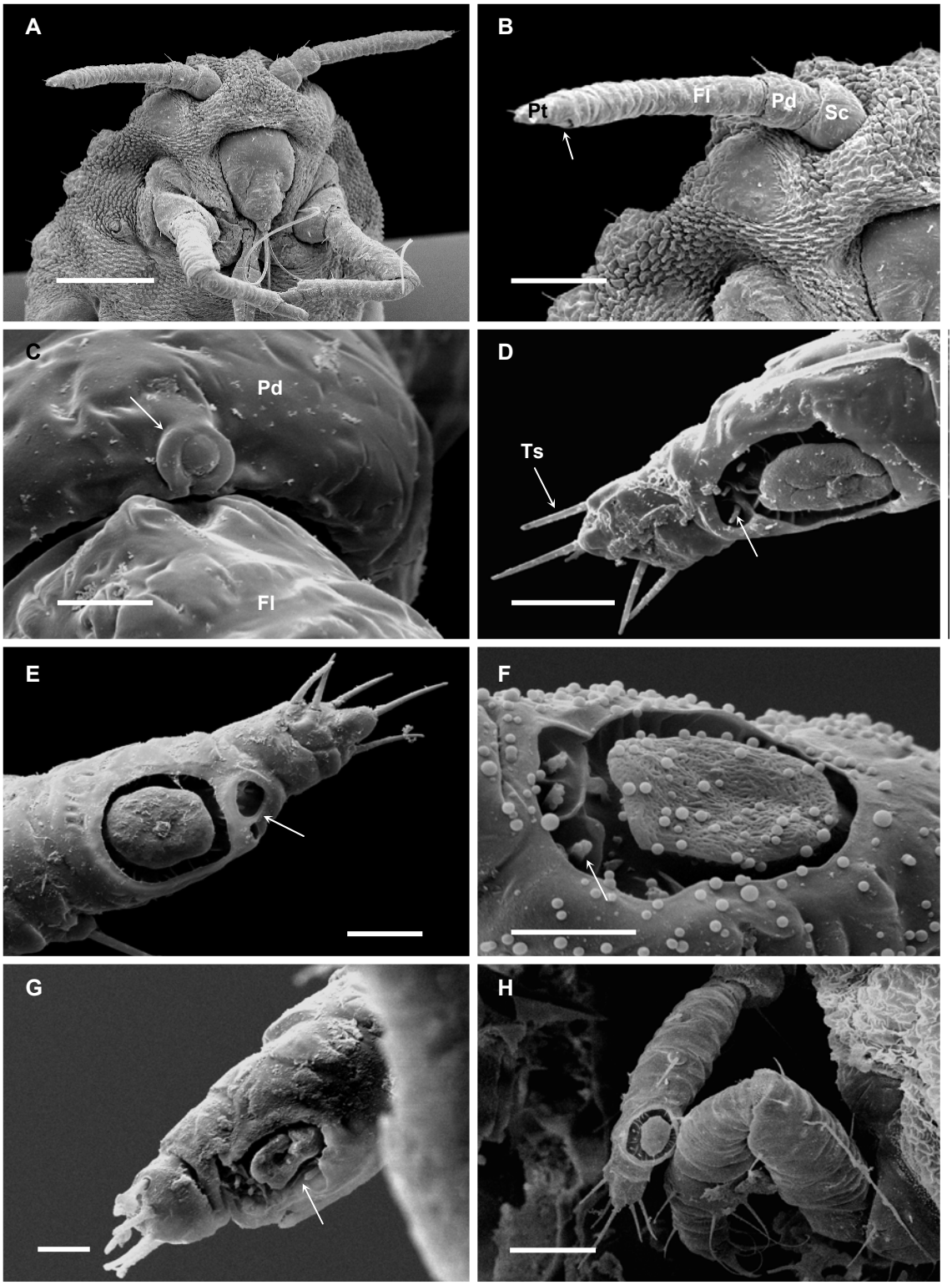
Ein bedeutender Umstand ist das bei weltweit allen holozyklisch lebenden Reblauspopulationen zu beobachtende Fehlen alater Individuen in den ersten Jahresgenerationen. Dieses Phänomen wird auch bei einer Vielzahl anderer Aphidenarten beobachtet und wurde der Wirkung intrinsischer Faktoren zugeschreiben (reviewed in KAWADA 1987). Hinweise auf einen durch die Wirtspflanze gesteuerten Einfluss auf die Bildung sexueller Individuen stammen von TROITZKY (1929). Er versuchte, die Entwicklung von Reblauspopulationen mit den physiologischen Zuständen der Wirtspflanzen während einer Vegetationsperiode zu korrelieren. Seine Untersuchungen zeigen, dass beispielsweise die Entwicklung von Nymphen vom Beginn der Beerenreife abhängt. Diese Untersuchungsergebnisse wurden in den Folgejahren nicht verifiziert, sie stimmen aber mit Beobachtungen bei anderen Aphiden wie *Eriosoma pyricola* Baker & Davidson überein. Bei dieser Aphide wird die Bildung von Sexuparae durch einen Stillstand im Triebwachstum ausgelöst (KAWADA 1987).

Über die von der Wirtspflanze ausgehenden, die Induktion der sexuellen Reproduktion auslösenden Faktoren kann im Falle der Reblaus nur spekuliert werden, da hierzu keine weiterführenden Untersuchungen vorliegen. Für andere Aphidenarten wie beispielsweise *Myzus persicae* Sulzer konnte gezeigt werden, dass bestimmte Aminosäuren einen direkten Einfluss auf die Flügelbildung haben (DADD 1968). Der Gehalt an für die Reblaus als essenziell angesehenen Aminosäuren (RILLING et al. 1974) in der Wirtspflanze schwankt während der Vegegationsperiode erheblich (STOEV et al. 1966). Es liegt somit im Bereich des Möglichen, dass auch im Falle der Reblaus eine bestimmte Aminosäurezusammensetzung oder andere bislang unbekannte Substanzen im Wirtsgewebe für den Wechsel von parthenogenetischer zu sexueller Fortpflanzung verantwortlich sind. In vielen Fällen werden die endokrinen Kontrollmechanismen, welche in die Regelung zur Bildung geflügelter und ungeflügelter Morphen involviert sind, auch in Zusammenhang mit der Regulation der Reproduktionsmodi in Zusammenhang gebracht (MORAN 1992).

Perennierende Wirtspflanzen einer bestimmten geographischen Region weisen annähernd gleiche Entwicklungszustände während des Verlaufs der Vegetationsperiode auf. Somit kann, entsprechende Regelmechanismen vorausgesetzt, auch die sexuelle Reproduktion der Parasiten in einem weiten geographischen Bereich zeitgleich induziert werden. Damit kann eine der Voraussetzungen für eine erfolgreiche sexuelle Reproduktion - hohe Dichte der Sexualpartner - erfüllt werden. Jedoch spielt für eine erfolgreiche Vervollständigung des Holozyklusses das Auffinden eines Geschlechts-

partners die bedeutendste Rolle (DIXON 1987). Dies kann im Falle von migrierenden Organismen mit einer Vielzahl von Schwierigkeiten verbunden sein. Ein effektiver Weg, um die Chancen des Zusammentreffens der Geschlechtspartner zu erhöhen, ist die gleichzeitige Massenproduktion der sexuellen bzw. der sie hervorbringenden Formen. Im Falle der Reblaus treten die Sexuparae alata zu dem Zeitpunkt in der Vegetationsperiode auf, an dem die Populationsdichten das Maximum erreichen (HELM 1983). Gemäß CLEVER (1959a,b) ist dies auf die Kontaktstimulation (Crowding) zwischen den Individuen zurückzuführen. Der für die Beschreibung dieses Phänomens verwendete Begriff Crowding ist auch im Falle der Reblaus missverständlich, da davon ausgegangen werden muss, dass dieser sogenannte Crowding-Effekt auch durch von der Aphide induzierte biochemische Signale vermittelt werden kann (CLEVER 1959a,b). Ähnliche Befunde liegen für *Eucallipterus tiliae* L. vor (KIDD 1977). In Reblauspopulationen konnten durch Reblauseier induzierte biochemische Signale im Kontext mit der Besiedlung von *Vitis*-Wurzeln beobachtet werden (ANDERS 1957a). Auch ist der Crowding-Effekt nicht als eigentlicher Auslöser für die Entwicklung von Sexuparae alata zu sehen. Vielmehr scheinen Crowding-Effekte nur die Zahl der gebildeten Sexuparae alata zu erhöhen (CLEVER 1959a,b). Welcher der hier geschilderten physikalischen oder molekularen Faktoren für die Flügelbildung bzw. die Induktion der sexuellen Reproduktion bei der Reblaus verantwortlich ist, ist derzeit nicht geklärt. Es ist aber anzunehmen, dass in diesen Regelkreisen verschiedene Einflussgrößen wirksam sind bzw. interagieren.

Auch hinsichtlich des Produktes der sexuellen Fortpflanzung, dem Winterei, sind immer noch viele Fragen unbeantwortet. Die Suche nach Wintereiern der Reblaus ist mit einer Reihe von Schwierigkeiten verbunden. Hier sind unter anderem ihre geringe Größe und der Ort der Ablage unter der Rinde der Rebstöcke zu nennen. Trotz ausführlicher Literaturrecherche konnte kein Hinweis darauf gefunden werden, dass in den letzten 50 Jahren in den gemäßigten Zonen Europas ein Winterei gefunden wurde. Dies könnte auf ein frühzeitiges Absterben der Sexuparae alata, d.h. vor der Eiablage zurückzuführen sein (STELLWAAG 1928). Auch konnte gezeigt werden, dass die Sexuparae alata nur eine sehr kurze Lebensdauer aufweisen und beispielsweise aufgrund ungünstiger Witterungsbedingungen oft frühzeitig absterben (STELLWAAG-KITTLER 1954). Das Vorkommen von Wintereiern wird aus Sizilien berichtet (GRASSI et al. 1912). Dahingegen wird das Ausbleiben der sexuell erzeugten Fundatrix in Frankreich und Norditalien mit den niedrigeren Temperaturen in diesen Gebieten in Zusammenhang gebracht (MAILLET 1957, STELLWAAG-KITTLER 1954).



Tafel 3-3: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen verschiedener antennaler Sinnesorgane von *D. vitifoliae* (Virginoparae aptera).
A. Ventralansicht einer Nymphe (Herkunft: Bingen, Deutschland). B. Ausschnitt aus A; dargestellt ist die für *D. vitifoliae* typische dreigliedrige Antenne. C. Campaniformes Sensillum (Pfeil) einer Nymphe auf dem Pedicellus (Herkunft wie A). D. Primäres Rhinarium mit coelokonischen Zapfen (Pfeil) ohne Septierung oder Abgrenzung der einzelnen coelokonischen Zapfen. E. Primäres Rhinarium einer Nympmphe mit einer Abgrenzung zwischen den coelokonischen Zapfen (Pfeil; Herkunft Bingen, Deutschland). F. Primäres Rhinarium einer die Wurzeln besiedelnden virginoparen

Apteren mit schwach ausgebildeten Septen zwischen den coelokonischen Zapfen (Pfeil; Herkunft: Australien; Material: A. Forneck). G. Primäres Rhinarium einer die Wurzeln besiedelnden virginoparen Apteren; der vierte coelokonische Zapfen (Pfeil) freistehend (Herkunft USA, Material: A. Forneck). H. Primäres Rhinarium einer Blattreblaus; die dem Rhinarium vorgelagerte Borste (Pfeil) berührt das Rhinarium nicht (Herkunft: Geisenheim, Deutschland; Amerikanerrebe).
Fl = Flagellum, Pd = Pedicellus, Pt = Processus terminalis, Sc = Scapus, Ts = Trichoidsensillum
Größenbalken: A. 100 µm, B. 50 µm, C. 5 µm, D+E. 10 µm, F+G. 5 µm, H. 20 µm.

Um die Frage der sexuellen Reproduktion bei der Reblaus zu klären reicht allerdings der Nachweis von Wintereiern bzw. Fundatrices alleine nicht aus, da hiermit nicht zu klären wäre, ob die sexuelle Fortpflanzung der Regelfall ist. So gibt es Hinweise, dass in bestimmten Populationen keine sexuelle Reproduktion stattfindet (mündl. Mitt. FORNECK). Um also zu beurteilen, ob, wie häufig und unter welchen Bedingungen es zu einer sexuellen Fortpflanzung in Reblauspopulationen kommt, müssen Untersuchungen mit molekularen Markern durchgeführt werden, um klonale, sexuelle oder zyklisch parthenogenetische Reproduktionsmuster erkennen zu können. Die bisherigen Ergebnisse derartiger Untersuchungen sollen hier nicht dargestellt werden, sondern werden in FORNECK & HUBER (2007) diskutiert. Er sei allerdings darauf hingewiesen, dass den ersten Ergebnissen entsprechender Untersuchungen zu Folge in Europa die asexuelle Reproduktion bislang überwiegt (VORWERK & FORNECK 2006).

Beschreibung der Morphen und Formen

Im komplexen Lebenszyklus der Reblaus wurden bislang verschiedene Phänotypen beschrieben. Unter Berücksichtigung der zu *D. vitifoliae* bislang publizierten Untersuchungen werden folgende Stadien im Lebenszuyklus der Reblaus unterschieden:

Virginoparae aptera: Diese Phänotypen sind flügellos und weisen eine parthenogenetische Reproduktion auf. Die Tagmen sind nicht deutlich voneinander getrennt, der Körper ist unterteilt in einen breiten vorwärts gerichteten Cephalothorax mit hypognather Kopfstellung und neun abdominale Segmente. Der Genitalporus liegt im achten Segment, eine Genitalplatte ist ausgebildet. Die Mundwerkzeuge liegen ventral nach hinten gerichtet. Sie setzen sich aus dem von den Mandibeln und Maxillen gebildeten Stilett und dem vom modifizierten Labium gebildeten Saugrüssel (Proboscis) zusammen. Die Länge des Stiletts variiert abhängig vom Wirt und den Umweltbedingungen. Eine frühere Unterscheidung zweier Reblausrassen bzw. -arten basierend auf der Länge der Stechborsten bzw. der Form der Rückentuberkel wie BÖRNER (z.B. 1914, 1922, zusammenfassende Darstellung in MÜLLER 1930) sie postulierte, wurde wiederholt widerlegt (GRASSI & TOPI 1924, SCHNEIDER-ORELLI & LEUZINGER 1924, TOPI 1929, SCHNEIDER-ORELLI 1939, RILLING 1968), aber später immer wieder erneut aufgegriffen (BREIDER 1952). Der Cephalothorax ist verbreitert und trägt in jedem Larvensta-

dium drei Ommatidienpaare; Komplexaugen fehlen. Die Antennen setzen sich aus drei Gliedern zusammen (Tafel 3-3 A+B). Das distale Antennenglied (Flagellum) ist lang gestreckt und trägt neben fünf Trichoidsensillen auch ein primäres Rhinarium (Riechplatte, Tafel 3-3 D-G). Die Größe und Form des primären Rhinariums ist bei den verschiedenen Larvenstadien unterschiedlich. Auch sind Unterschiede in Form, Größe und Ausbildung der Rhinarien bzw. der coelokonischen Zapfen bei Adulten unterschiedlicher Reblausgenotypen und/oder Herkünfte zu beobachten (HUBER et al. unpubliziert.) Die Beine weisen ein Tarsusglied mit zwei Krallen auf. Die Anzahl der Borsten ist konstant, ihre Länge und Form variiert aber je nach Larvenstadium. Die an den Spitzen knotig verdickten Borsten an den Tarsen (Digituli nach SHIMER 1867) variieren ebenfalls in Länge und Form. Zwischen jedem Thoraxsegment findet sich ein Stigmenpaar. Das Abdomen trägt zwischen jedem der ersten fünf Segmente ebenfalls ein Paar Stigmen, welche aber deutlich kleiner sind als die des Thorax.

Fundatrix: Die adulte Fundatrix weist eine Länge von 1100 - 1250 µm und eine Breite von ca. 800 µm auf. Die Körperform ist kompakt, die Extremitäten erscheinen klein im Vergleich zur Gesamtkörpergröße. Im Vergleich mit den nachfolgend beschreibenen blattbesiedelnden Virginoparae aptera erscheint das Flagellum kleiner und dünner. Ausgeprägte Integumentstrukturen wie Tuberkel fehlen (GALET 1982).

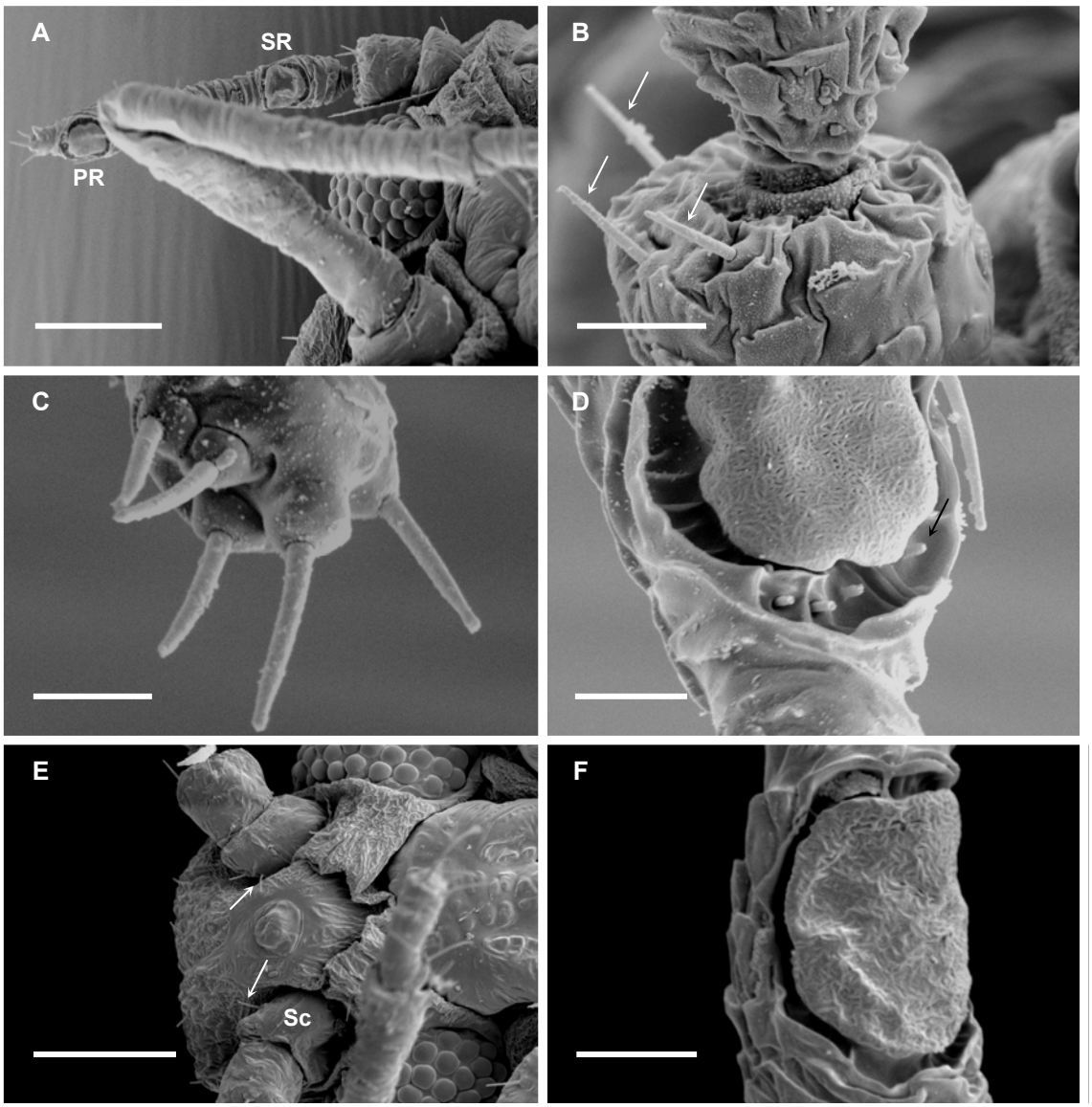
Virginoparae aptera (blattbesiedelnd): Die Eier dieser virginoparen Apteren sind ca. 250 - 300 µm lang und 150 - 200 µm breit, abhängig vom Zustand der Mutter. Die Länge der adulten virginoparen Apteren variiert zwischen 800 - 1100 µm (STELLWAAG 1928) bzw. 1000 - 1500 µm (MAYET 1890). Die Körperform ist rundlich, die Extremitäten sind dünn und klein. Integumentstrukturen wie Tuberkel variieren.

Virginoparae aptera (wurzelbesiedelnd): Die Größe der Eier ist gleich der der blattbesiedelnden virginoparen Apteren. Individuen des ersten Larvenstadiums sind ungefähr gleich groß wie die der blattbesiedelnden Virginiparae aptera. Adulte Individuen erreichen eine Größe von 800 - 1200 µm (GALET 1982). Die Beine und Antennen sind stärker ausgeprägt und das Rhinarium erscheint breiter als bei blattbesiedelnden virginoparen Apteren. Tuberkel sind meist ausgeprägt.

Hierbei muss nochmals betont werden, dass es sich bei den morphologischen Differenzen zwischen wurzel- und blattbesiedelnden Virginoparae aptera um umweltbedingte bzw. habitatbedingte Unterschiede handelt; intermediäre Phänotypen kommen vor. Morphologische Umgestaltungen bzw. Anpassungen der Folgegenerationen der Individuen nach einem Habitatwechsel finden statt.

Virginoparae alata: Morphologische Beschreibungen dieser Morphe von GERSTÄCKER et al. (1877) liegen nicht vor, ebenso wenig wie Hinweise auf Abweichungen der morphologischen Merkmale von denen der alaten Sexuparen. Auch bei verschie-

denen anderen Aphidenarten gleichen sich diese beiden Morphen sehr stark (HARDIE & LEES 1985, MYAZAKI 1987). Mit Ausnahme der Untersuchung von GERSTÄCKER et al. (1877) liegt meines Wissens kein weiterer zweifelsfreier Beweis einer derartigen Morphe im Lebenszyklus der Reblaus vor.



Tafel 3-4: Antennale Sinnesorgane bei *D. vitifoliae* (Sexupara alata, Herkunft: Deutschland).
A. Primäres (PR) und sekundäres (SR) Rhinarium auf dem Flagellum der dreigliedrigen Antenne. B. Trichoidsensillen (Pfeile) und Johnston'sches Organ auf dem Pedicellus. C. Trichoidsensillen auf dem Processus terminalis. D. Primäres Rhinarium mit coelokonischen Zapfen; der vierte coelokonische Zapfen (Pfeil) ist im Vergleich zu apteren Morphen weiter vorn angeordnet. E. Neben den antennalen Trichoidsensillen z.B. auf dem Scapus (Sc, Pfeil) sind noch weitere Sensillen in der Kopfregion zu erkennen (Pfeil). F. Sekundäres Rhinarium.
Größenbalken: A. 50 µm, B. 10 µm, C. 5 µm, D. 10 µm, E. 50 µm, F. 10 µm.

Sexuparae alata: Die ersten beiden Larvenstadien der Sexuparae alata sind von denen apterer wurzelbesiedelnder Virginoparae nicht zu unterscheiden. Wie diese weisen auch alle Larvenstadien der alaten Morphe Tuberkel auf. Bei den Larven des dritten Stadiums (Praenymphen) ist der Meso- und Metathorax stärker ausgeprägt. Verglichen mit dem dritten Larvenstadium der apteren wurzelbesiedelnden Virginoparae sind die Praenymphen schlanker. Das vierte Larvenstadium (Nymphe) weist Flügeltaschen auf. Die Körperlänge der Adulten beträgt 1000 - 1500 µm. Die Vorderflügel sind 1100 - 1500 µm, die Hinterflügel 600 - 800 µm lang (MAILLET 1957). Der Hinterflügel trägt am Rand zwei kleine Haken (Hamuli (Tafel 3-2 G)). Der Hinterrand des Vorderflügels ist zu einem gebogenen Band geformt, in welches die Hamuli des Hinterflügels während des Fluges eingehakt werden. Die Thoraxsegmente sind dunkler gefärbt als der Rest des Körpers. Der Mesothorax ist viel stärker entwickelt als der Metathorax. Neben den typischen Ommatidien trägt die adulte alate Morphe Komplexaugen. Zusätzlich befinden sich zwei laterale Ocelli nahe des anterioren Bereichs und ein Ocellus (Tafel 3-4 E) mittig zwischen den Komplexaugen. Die Beine und Antennen sind länger als bei anderen Morphen, das Flagellum ist gestreckt und trägt neben dem primären (Tafel 3-4 A+D) ein sekundäres Rhinarium (Tafel 3-4 A+F). Der Pedicellus trägt ein campaniformes Sensillum (HUBER et al. unpubliziert) sowie weitere Sinnesorgane mit bislang ungeklärter Funktion (HUBER et al. unpubliziert, MICHAELIS in Bearb.). Am Pedicellus befindet sich neben Trichoidsensillen (Tafel 3-4 B) weiterhin ein Johnston'sches Organ (HUBER et al. unpubl.). Der Processus terminalis trägt fünf Trichoidsensillen (Tafel 3-4 C).

Sexuparae aptera: Wie auch im Falle der Virginoparae alata wurden von den Beschreibern dieser Reblausmorphe in Blattgallen (DOWNIE & GRANETT 1998, DOWNIE et al. 2000) und an den Wurzeln (BALBIANI 1874a, b, 1875) keine morphologischen Untersuchungen durchgeführt.

Sexuales: Das Männchen ist ca. 270 - 350 µm lang und 130 µm breit. Das Weibchen ist mit 400 - 480 µm Länge und 210 µm Breite größer. Beide Geschlechter sind flügellos, der Körper der Männchen ist zylinderförmig, die Weibchen haben eine eher ovale Form. Komplexaugen sind nicht vorhanden. Die Antennen besitzen nur ein primäres Rhinarium. Die Mundwerkzeuge und der Darm sind zurückgebildet und nicht funktionsfähig. Die Larvenstadien sind pupiform und entwickeln sich in 3 - 10 Tagen (BALBIANI 1875, STOETZEL 1985b).

3.1.2 Beobachtungen aus Bioassay-, Gewächshaus- und Freilandversuchen in den Jahren 1998 bis 2006

Nachstehend sollen einige Beobachtungen beschrieben werden, welche unter anderem im Rahmen der Untersuchungen zu dieser Arbeit gemacht wurden. Die Ergebnisse werden in den Kapiteln 4.1 und 4.6 im Rahmen einer Gesamtbewertung diskutiert. Sie stehen im Zusammenhang mit der bereits im vorhergehenden Kapitel angesprochenen Plastizität des Lebenszyklusses der Reblaus bzw. der von ihr hervorgerufenen Schädigungen an Reben.

Beobachtung 1: Im Rahmen von Vorversuchen zur biologischen Reblauskontrolle durch den entomopathogenen Pilz *M. anisopliae* in Bioassays (Kap. 3.4 und 4.4 und KIRCHMAIR et al. 2004) wurden im April 2001 Wurzelproben von verschiedenen Rebflächen im Anbaugebiet Rheingau entnommen und ins Labor überführt. Hintergrund war, zu einem möglichst frühen Zeitpunkt im Jahr Reblausmaterial für weiterführende Untersuchungen zur Verfügung zu haben. Die bis zum Zeitpunkt der Entnahme inaktiven, in der Winterruhe befindlichen Rebläuse sollten unter Laborbedingungen aufgezogen und zur Eiablage gebracht werden. Neben virginoparen Apteren konnten in der ersten Folgegeneration bereits alate Individuen beobachtet werden.

Beobachtung 2: Bei der Durchführung der Bioassay-Versuche zur biologischen Reblauskontrolle (KIRCHMAIR et al. 2004) konnte eine auffallend hohe Anzahl von alaten Tieren beobachtet werden; aufgrund der sehr schnellen Infektion und dem Absterben der Rebläuse der mit *M. anisopliae* behandelten Testgruppen konnten keine Vergleiche der Anzahl der Alaten zwischen behandelten und unbehandelten Varianten angestellt werden.

Beobachtung 3: Die oben beschriebenen Beobachtungen wurden im Zusammenhang mit den Ergebnissen von lichtmikroskopischen Untersuchungen zum Anlass genommen, verschiedene Reblausstadien und Populationen rasterelektronenmikroskopisch zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigten stets Hamuli an den Flügeln der alaten Individuen.

Beobachtung 4: Ebenfalls bei rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen wurden Unterschiede im Aufbau des primären Rhinariums an der Antenne von Rebläusen verschiedener Entwicklungsstadien und Herkünfte gefunden (Tafel 3-3, D-H). Diese Unterschiede bestanden sowohl im Gesamthabitus der Rhinarien, der Lage auf dem Flagellum, der Stellung der Rhinariumsborste, der Septierung zwischen den einzelnen coelokonischen Zapfen sowie der Art und Form der coelokonischen Zapfen selbst.

Beobachtung 5: Zusätzlich zu den bereits in der Literatur für *D. vitifoliae* beschriebenen antennalen Sinnesorgane konnten bei den durchgeführten rasterelektro-

nenmikroskopischen Untersuchungen weitere Sinnesorgane identifiziert werden. Dabei handelt es sich um ein campaniformes Sensillum und ein Johnston'sches Organ auf dem Pedicellus von Nymphen und Alaten. Bei weiterführenden Untersuchungen konnte noch ein weiteres Sensillum am Pedicellus sowie weitere Unterschiede festgestellt werden (MICHAELIS in Bearb.; HUBER et al. unpubl.).

Beobachtung 6: Bei Untersuchungen zum Auftreten und dem Wirtsspektrum von *Roesleria subterranea* in deutschen Weinanbaugebieten im November 2005 wurde im Weinanbaugebiet Rheingau (Hochheim) an mit diesem Pilz befallenen Rebstöcken der Unterlagsrebsorte Börner im Freiland ein massives Vorkommen von Nodositäten festgestellt. Aktive Rebläuse konnten in diesem Jahr zu diesem Zeitpunkt im Anbaugebiet Rheingau nicht mehr festgestellt werden. Bei der untersuchten Fläche handelt es sich um eine seit vielen Jahren vom Fachgebiet Rebenzüchtung und Rebenveredlung der Forschungsanstalt Geisenheim wissenschaftlich betreuten Fläche (SCHMID et al. 2005). Ein Befall mit *R. subterranea* wurde erstmals durch die Untersuchungen im Jahr 2005 festgestellt. Die Fläche mit süd-südwestlicher Lage wurde 1987 mit 'Weißer Riesling' auf verschiedenen Unterlagsrebsorten gepflanzt. Der Zeilenabstand beträgt 1,8 m, der Stockabstand 1,2 m. Beim Boden dieser Rebanlage handelt es sich um verlehmten Corbiculakalk mit teilweise sandigen Beimengungen und einem hohen Skelettanteil (mündl. Mittl. SCHMID). Um Verwechslungen auszuschließen, wurden die Stöcke markiert, die befallenen Rebwurzeln bis zu ihrem Ursprung am Stock nach verfolgt, anschließend entnommen und ins Labor überführt. Die Genotypisierung erfolgte nach Protokoll des Fachgebiets Rebenzüchtung und Rebenveredlung der Forschungsanstalt Geisenheim. Im Folgejahr 2006 wurden die Rebstöcke erneut untersucht. Im Monat August konnten wiederum Nodositäten an den Wurzeln festgestellt werden, in zwei Fällen wurde ein einfacher Reblausbesatz beobachtet, Eier konnten in keinem Fall festgestellt werden.

Beobachtung 7: Die seit 1997 durchgeführte Erfassung der Reblauspopulationsdichten verschiedener reblausbefallener Rebanlagen im Anbaugebiet Rheingau (Kap. 3.2 und 4.2) wurde in den Jahren 1997 bis 1999 jeweils zu Ende September oder Anfang Oktober abgebrochen, da zu diesem Zeitpunkt keine aktiven Rebläuse oder Reblauseier mehr an den Wurzeln festzustellen waren. Anders waren die Verhältnisse beispielsweise im Jahr 2000. Hier konnten Rebläuse noch Ende Oktober festgestellt werden. Im Folgejahr wurden zu Beginn der Vegetationsperiode die Wurzeln augenscheinlich von mehr Rebläusen besiedelt als in den Vorjahren. Ein ebenfalls erhöhtes Vorkommen konnte im Frühjahr 2004 festgestellt werden, obgleich kein verlängertes Vorkommen im Herbst 2003 zu beobachten war. Diese Vermutungen wurden durch Messungen im Rahmen von Versuchen zum Vorkommen des obligaten Rebparasiten

Sorosphaera viticola (Kap. 3.3 und 4.3) in den Jahren 2006 und 2007 bestätigt. Hierbei wurden beginnend im Juli in zweiwöchigen Abständen mit einem Stechbohrer Bodenproben von der Versuchsfläche O/R (Kap. 2.3) entnommen. Die Wurzeln wurden vom Boden getrennt und die Anzahl der Nodositäten, der Rebläuse und der Reblauseier erfasst bzw. die Befallsintensität in Anlehnung an PORTEN & HUBER (2003) bestimmt. Anschließend wurden die Wurzeln in Wasser überführt und ins Labor transportiert. Im Labor wurden die Wurzeln gewaschen, getrocknet und mit einem modifizierten Flachbettscanner (EPSON Perfection 4990) digital erfasst. Die Wurzellänge wurde mit dem Softwarepacket WinRhizo Pro V 2005 b (Régent Instruments Inc., Canada) ermittelt. An dieser Stelle sollen drei Beobachtungen aus diesen Untersuchungen erwähnt werden (weitere Ergebnisse in: MICHAELIS in Bearb.; HUBER et al. unpubl.): a. Aktive Rebläuse, überwiegend des ersten Larvenstadiums und Reblauseier konnten noch am 20. November 2006 festgestellt werden. b. Die Zahl aktiver Rebläuse zu diesem Zeitpunkt betrug im Unterstockbereich (20 % der Gesamtfläche) annähernd 3 Mio. / ha. Auch am 18.01.2007 entnommene Wurzelproben enthielten Rebläuse welche sich im Labor wenige Stunden nach der Entnahme aktiv fortbewegten.

Beobachtung 8: Alate Rebläuse konnten in den Jahren 2000 bis 2006 im Anbaugebiet Rheingau zu einem frühen Zeitpunkt im Jahr und in hohen Dichten festgestellt werden. Beispielsweise wurden im Jahr 2006 die ersten geflügelten Tiere am 19. Juni festgestellt. Einen Monat später betrug der Anteil geflügelter Individuen an der Gesamtpopulation bereits über 25 % (weitere Ergebnisse sind Bestandteil der Diplomarbeit MICHAELIS in Bearb.).

3.2 Bodenbiologische Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten in Rebanlagen mit Reblausbefall

3.2.1 Freilanduntersuchungen

3.2.1.1 Rebwuchs

Wie aus Abb. 3-2 und Tab. 7-6 ersichtlich, wiesen mit Ausnahme verschiedener Einzelstöcke die Reben aller Düngevarianten der Versuchsfläche O/R in den Jahren 1997 bis 2004 einen starken bis sehr starken Wuchs auf. Im Jahr 1997 zeigten die Rebstöcke der späteren Düngevariante III einen schwach signifikant besseren Wuchs als die der betriebsüblichen Düngevariante (I). Im Jahr der Applikation der Düngestoffe (1998) und im Folgejahr war der Wuchs der Rebstöcke der Versuchsvarianten III und IV stärker als der der Versuchsvarianten I und II. Ein signifikant besserer Wuchs der Rebstöcke der Versuchsvarianten IV konnte auch im Jahr 2000 beobachtet werden, wobei in diesem Jahr kein statistisch signifikanter Effekt der Kalkstickstoffapplikation (Düngevariante III) mehr zu verzeichnen war. Auch in den Jahren 2001 und 2002 zeigten die Rebstöcke der Versuchsvariante IV im Mittel den stärksten Wuchs und unterschieden sich signifikant von den Versuchsvarianten I und II. Wie der statistische Vergleich der Rebwuchsbonituren der Versuchsjahre zeigt, war der schwächste Wuchs aller Versuchsjahre bei allen vier Versuchsvarianten im Jahr 2003 zu verzeichnen (Tab. 7-6, 7-7). In diesem Jahr unterschied sich die Versuchsvariante II mit einer mittleren Rebwuchsboniturnote von 7,39 signifikant von den Versuchsvarianten III und IV. Auch im Folgejahr zeigten die Rebstöcke dieser Versuchvarianten den schwächsten Wuchs, wobei in diesem Jahr auch ein statistisch signifikanter Unterschied zur Versuchsvariante I festgestellt werden konnte. Insgesamt zeigten die Rebstöcke aller Versuchsvarianten dieser Versuchsfläche in allen Jahren einen starken bis sehr starken Wuchs. Über mehrere Jahre anhaltend schwacher Wuchs einzelner Rebstöcke in den Jahren 1997 bis 2002 konnte auf mechanische Verletzungen durch Boden- bzw. Stockarbeiten zurückgeführt werden. An Rebstöcken, welche in den Jahren 2003 und 2004 als schwach bis sehr schwachwüchsig bewertet wurden, wurden Symptome einer Esca-Erkrankung festgestellt. Zwei dieser Rebstöcke starben in den folgenden Vegetationsperioden 2005 und 2006 vollständig ab. Andere zeigten einen anhaltend schlechten Wuchs oder erholten sich wieder. Eine Übersicht des Rebwuchses der gesamten Rebanlage im Jahr 2004 (Abb. 3-2) zeigt, dass die Rebstöcke der Anlage einen annähernd gleichen Wuchs aufwiesen, sowohl in dem mit der Unterlagssorte 5 C als auch in dem mit der Unterlagssorte 125 AA bepflanzten Bereich (Abb. 7-2).

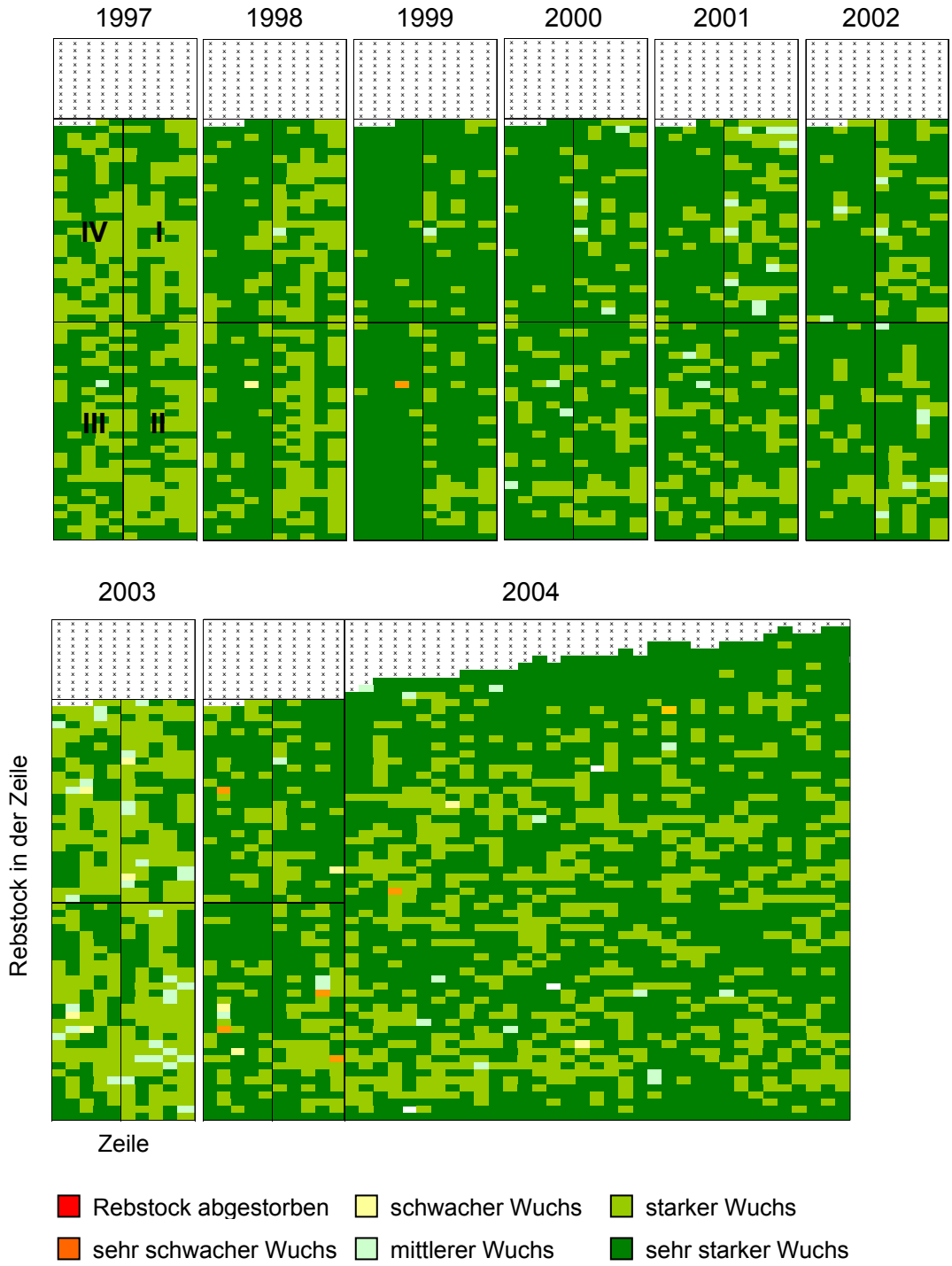


Abb. 3-2: Einzelstockbonituren des Wuchses der Rebstöcke der Versuchsfläche O/R in den Jahren 1997 bis 2004 (Monat August).
Dargestellt sind die Boniturergebnisse der Zeilen 1-10 für die Jahre 1997 bis 2003 sowie der Zeilen 1-46 für das Jahr 2004 (Erläuterungen im Text). Aufgrund der unterschiedlichen Anzahl von Rebstöcken je Zeile sind aus graphischen Gründen 'Fehlstöcke' in Zeilen mit geringerer Stockanzahl durch ein x gekennzeichnet. Daten der Jahre 1997 und 1998 nach PORTEN (in Bearbeitung).
Zahlen I-IV: Versuchsvarianten des Düngemittelversuchs (Tab. 2-3 und Abb. 2-3).
Varianten und Jahresvergleich (Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum, Stichprobenumfang und Signifikanzwerte siehe Tab. 7-6 und Tab. 7-7.

Auf lokale Boden- oder Geländeunterschiede zurückzuführende Wuchsunterschiede konnten aufgrund der durchgeführten Rebwuchsbonituren in keinem Versuchsjahr festgestellt werden.

Wie der Abb. 3-3 sowie der Tab. 7-8 zu entnehmen ist, war der mittlere Wuchs der Rebstöcke der Versuchsfläche o/R in den Versuchsjahren 1997 bis 2004 erheblich schwächer als der der Versuchsfläche O/R und es konnten in dieser Rebanlage in allen Jahren abgestorbene oder sehr schwachwüchsige Rebstöcke beobachtet werden. Im Jahr vor Anlage des Düngemittelversuchs zeigten die Rebstöcke der späteren Versuchsvarianten im Mittel einen schwachen bis mittleren Wuchs, wobei bereits zu diesem Zeitpunkt auf allen späteren Versuchsvarianten abgestorbene Rebstöcke zu beobachten waren. Der mittlere Wuchs der Rebstöcke der späteren Düngeversuchvariante I war dabei signifikant stärker als der der anderen Versuchsvarianten. Nach Applikation der Düngestoffe konnte auf den Versuchsvarianten II, III und IV eine signifikante Verbesserung des Wuchses der Rebstöcke festgestellt werden (Tab. 7-8, 7-9). Der Rebwuchs der betriebsüblichen Versuchsvariante I unterschied sich nicht signifikant zum Vorjahr. In den Folgejahren wurde der signifikant stärkste Rebwuchs stets auf der Düngeversuchvariante IV beobachtet. Der mittlere Wuchs der Rebstöcke der betriebsüblichen Versuchsvariante I hingegen wurde über die Versuchsjahre hinweg stets schwächer und unterschied sich dabei signifikant vom mittleren Rebwuchs der Vergleichsvarianten. Aufgrund der starken Zunahme der Ausfallerscheinungen in den Jahren 1997 bis 2001 wurden im Jahr 2002 intensive Nachpflanzungen auf dieser Versuchsfläche vorgenommen, wobei nur bereits vollständig abgestorbene Rebstöcke ersetzt wurden. Die statistische Auswertung der Rebwuchsbonituren wurde ohne Einbeziehung der Nachpflanzungen durchgeführt. Die Kennzeichnung '0' in der Spalte 'Min' in Tab. 7-8 soll verdeutlichen, dass zu entsprechenden Terminen abgestorbene Rebstöcke bereits entfernt wurden, aber als 'abgestorben' in die Berechnungen mit eingingen. Im Vergleich zu der lang anhaltenden Verbesserung des Wuchses der Rebstöcke auf der Versuchsvariante IV wurde der mittlere Wuchs der Versuchsvarianten II und III bereits im dritten Versuchsjahr wieder schwächer, unterschied sich aber dennoch signifikant vom Wuchs der Rebstöcke der betriebsüblichen Variante. Der im Jahr 2003 angelegte Kreuzversuch auf dieser Versuchsfläche, bei welchem auf der Versuchsvariante II Fichtensägemehl und auf der Versuchsvariante III Stallmist appliziert wurden, führte zu einer Veränderung des mittleren Rebwuchses auf diesen Versuchsvarianten. Die Rebstöcke beider Versuchsvarianten zeigten einen signifikant stärkeren Wuchs. Im Jahr 2004 konnte auf diesen beiden Varianten erstmals ein signifikant stärkerer Wuchs als auf der Variante IV beobachtet werden. Obgleich in diesem Jahr auch auf der betriebsüblich bewirtschafteten Variante I ein im Vergleich zu den

Vorjahren stärkerer mittlerer Wuchs zu verzeichnen war, waren die Rebstöcke dieser Variante im Mittel schwachwüchsiger als die der Vergleichsvarianten. Dieser Trend wurde auch in den Vegetationsperioden 2005 und 2006 beobachtet, wobei auch in diesen Jahren auf allen Varianten eine weitere Zunahme der Ausfallerscheinungen festgestellt wurde.

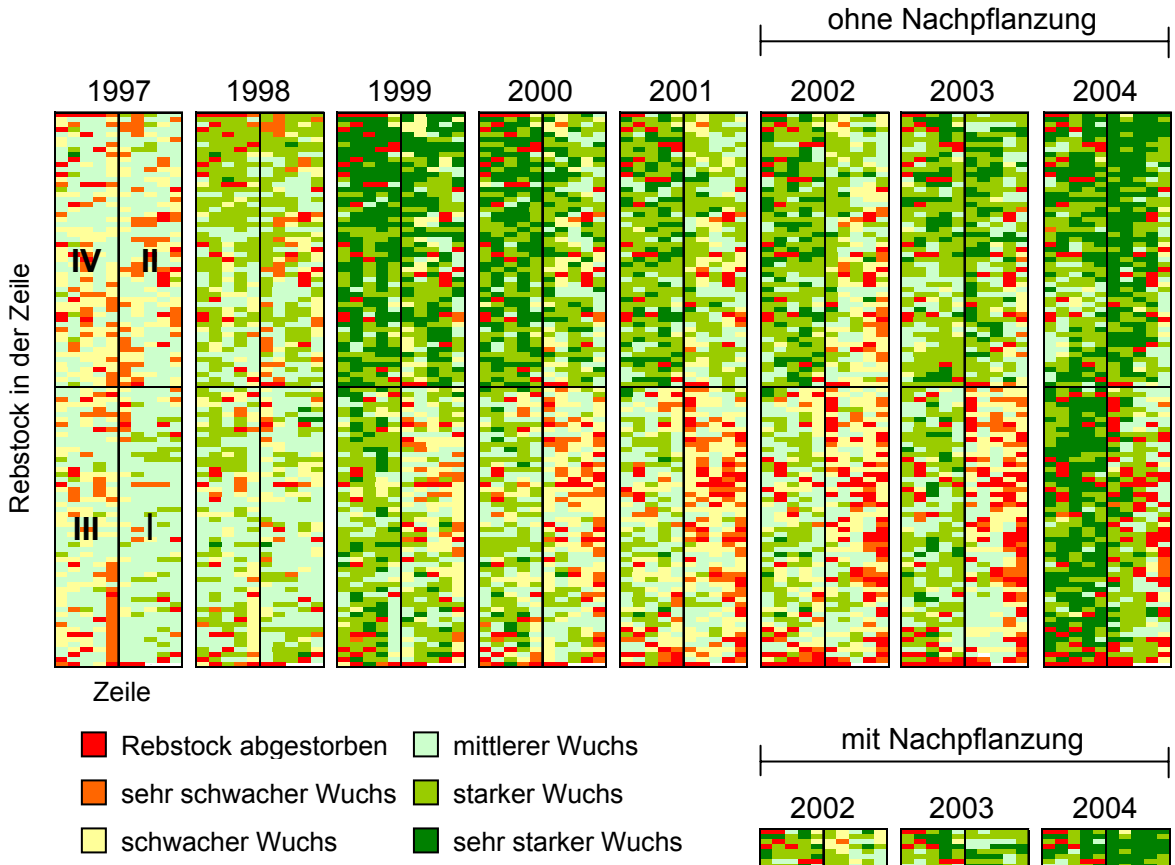


Abb. 3-3: Einzelstockbonituren des Wuchses der Rebstöcke der Versuchsfläche o/R in den Jahren 1997 bis 2004.
Dargestellt sind die Boniturergebnisse der Zeilen 1-10 für die Jahre 1997 bis 2004 ohne Nachpflanzungen sowie der Zeilen 1-10 für die Jahre 2002 bis 2004 mit Nachpflanzungen (Erläuterungen im Text).
Daten der Jahre 1997 und 1998 nach PORTEN (in Bearbeitung)
Zahlen I-IV: Versuchsvarianten des Düngemittelversuchs (vergleiche: Tab. 2-3 und Abb. 2-4).
Varianten und Jahresvergleich (Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum, Stichprobenumfang und Signifikanzwerte siehe Tab. 7-8 und Tab. 7-9.

3.2.1.2 Reblausdichten

Die Bestimmung der Reblauspopulationsdichten auf den beiden Versuchsflächen O/R und o/R zeigte in allen Jahren eine Befallshäufigkeit von 100 %. Auf der Vergleichsfläche o/r konnte in den Jahren 2000 und 2001 kein Befall der Rebwurzeln

mit Reblaus festgestellt werden. Die Darstellung der Ergebnisse der Bestimmung der Befallsstärke erfolgt in Abb. 3-4 sowie den Tab. 7-10 und 7-11. Für die Versuchsfläche o/R sind die Ergebnisse der Jahre 2000 bis 2004 dargestellt, für die Versuchsfläche O/R die der Jahre 2000 bis 2002. In den Folgejahren wurde auf der Fläche O/R ein Versuch zur biologischen Reblauskontrolle durch den entomopathogenen Pilz *Metarhizium anisopliae* durchgeführt; die Ergebnisse werden in Kap. 3.4 und 4.4 besprochen. Wie aus Abb. 3-4 ersichtlich, wurde in den Versuchsjahren auf beiden Flächen sehr hohe mittlere Befallsstärken von über 6 festgestellt. Eine Ausnahme stellt hierbei das Jahr 2003 auf der Versuchsfläche o/R dar. Aufgrund der Witterungsverhältnisse dieser Vegetationsperiode konnten zum Boniturtermin im August auf dieser Versuchsfläche kaum mehr Frischwurzeln und in der Folge kein Reblausbesatz in den untersuchten Bodentiefen festgestellt werden. Ein Vergleich der Versuchsvarianten der einzelnen Versuchsflächen zeigt neben der genannten Ausnahme in keinem Einzeljahr signifikante Unterschiede in der Befallsstärke. Der Gesamtvergleich der Befallsstärke aller Jahre weist auf eine signifikant höhere Befallsstärke auf der Variante I der Versuchsfläche o/R hin. Aus der Abb. 3-4 ist weiterhin zu entnehmen, dass auf den Versuchsvarianten beider Versuchsflächen in allen Jahren annähernd dieselben Befallsstärken vorlagen.

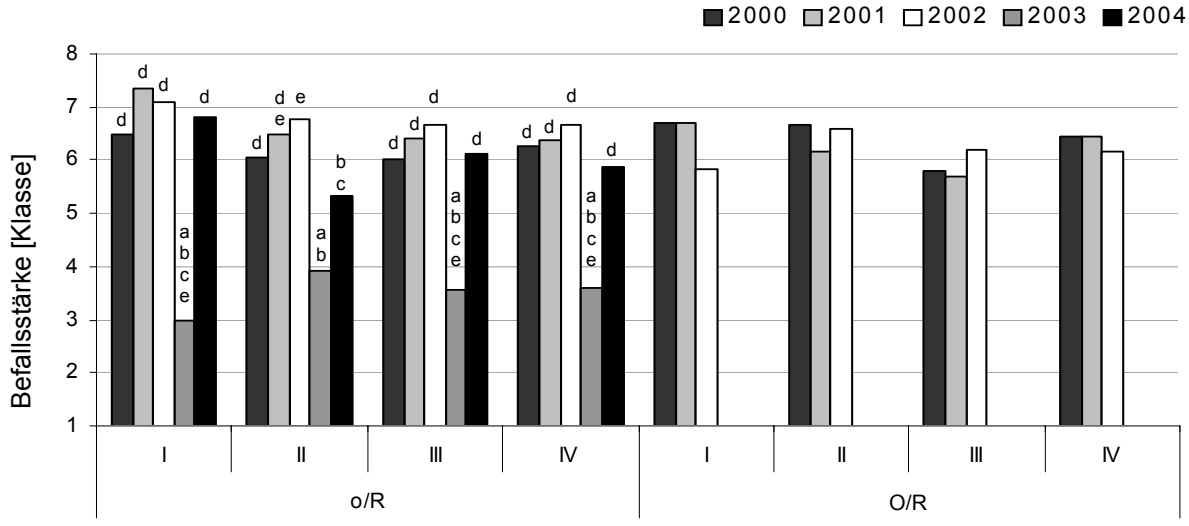


Abb. 3-4: Stärke des Reblausbefalls der Rebwurzeln auf den Versuchsflächen o/R und O/R.
Ergebnisse der Bonituren im Monat August eines jeweiligen Jahres. Für die Fläche O/R sind nur die Jahre 2000 bis 2003 dargestellt, da diese Fläche seit dem Jahr 2003 für Versuche zur biologischen Reblauskontrolle genutzt wird. Die Befallshäufigkeit lag in allen Fällen bei 100%. Darstellung der Daten für die Jahre 1997 bis 1999 erfolgt in PORTEN (in Bearbeitung).
Korrespondierende Buchstaben über den Wertesäulen stehen für statistisch signifikante Unterschiede der Einzeljahre einer Versuchsvariante.
Der Vergleich der Versuchsvarianten innerhalb eines Jahres sowie der Stichprobenumfang und die Signifikanzwerte sind in Tab. 7-10 (Versuchsfläche O/R) und Tab. 7-11 (Versuchsfläche o/R) dargestellt.

3.2.1.3 Mikroorganismendichten

Die Pilzdichten der untersuchten Bodenmikrokompartimente waren zu den verschiedenen Beprobungsterminen sehr unterschiedlich (Abb. 3-5). Zudem waren in vielen Fällen sehr hohe Standardabweichungen zu verzeichnen. Bei der Beprobung im Monat Juni waren die Werte in allen drei untersuchten Mikrokompartimenten sehr gering. Statistisch signifikante Unterschiede konnten im wurzelnahen Bereich ('wn') zwi-

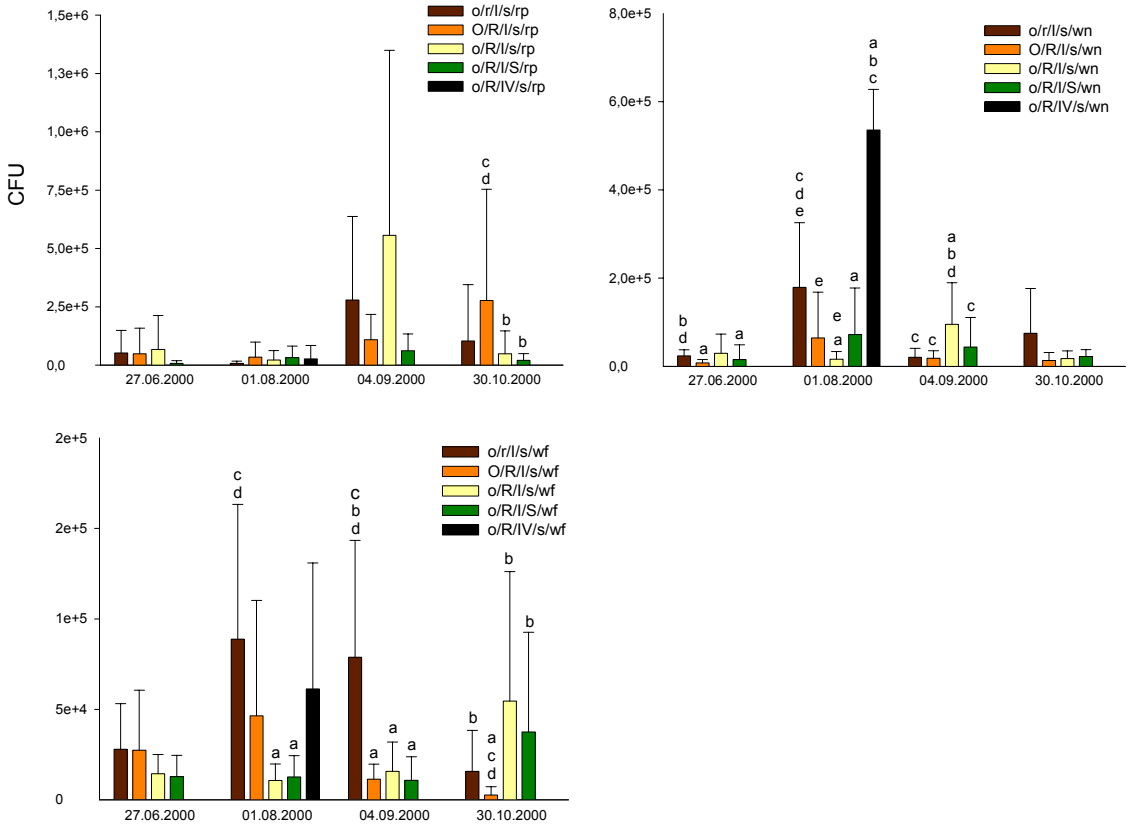


Abb. 3-5: Pilzdichten [CFU / g TM] (Mittelwert und Standardabweichung) der Bodenmikrokompartimente 'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000.
Korrespondierende Buchstaben über den Wertesäulen stehen für signifikante Unterschiede zwischen den Vergleichsvarianten eines Beprobungstermins (Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-12).
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

schen der Variante o/r/I/s und den Versuchsvarianten O/R/I/s und o/R/I/S festgestellt werden. Aufgrund der höheren Standardabweichungen unterschied sich die Variante o/R/I/s nicht statistisch signifikant. Die Rhizoplanen der Rebwurzeln (Mikrokompartiment 'rp') aller Versuchsvarianten wiesen bei der darauf folgenden Beprobung im August ähnlich geringe Pilzdichten auf, wobei sich die untersuchten Varianten nicht signifikant unterschieden. Anders im Mikrokompartiment des wurzelnahen Bodens ('wn'). Hier zeigten sich mit Ausnahme der Versuchsvarianten o/R/I/s höhere Werte als beim ersten Beprobungstermin. Vor allem auf der organisch bewirtschafteten Versuchsvari-

ante der Versuchsfläche o/R (o/R/IV/s) war eine sehr hohe mittlere Pilzdichte zu beobachten. Auch im wurzelfernen Bereich wiesen die Böden bei dieser Beprobung sowohl in der Nähe von geschädigten als auch ungeschädigten Rebstöcken der Versuchsfläche o/R geringere Pilzdichten auf als die reblausfreie (o/r) bzw. die organisch bewirtschaftete (O/R) Versuchsfläche. Ebenfalls höhere Werte wies die Variante o/R/IV auf. Ein verändertes Bild ist bei der Beprobung im September zu verzeichnen. Zu diesem Termin lagen die höchsten Pilzdichten in der Rhizoplane und im wurzelnahen Bereich der Versuchsvariante o/R/I/s vor. Im Mikrokompartiment 'wn' wurde die höchste Pilzdichte auf der reblausfreien Versuchsfläche festgestellt, welche sich damit signifikant von den Vergleichsflächen unterscheidet, ebenso wie die ungeschädigten Bereiche der Versuchsfläche o/R im wurzelnahen Bereich. Bei der Oktoberbeprobung unterschieden sich die Pilzdichten der Versuchsflächen in den Mikrokompartimenten wiederum teilweise erheblich. Während die Versuchsfläche O/R in der Rhizoplane die höchsten Dichten aufweist und sich damit signifikant von den untersuchten Bereichen der Versuchsfläche o/R unterscheidet, zeigen die Mikrokompartimente 'wn' und 'wf' dieser Versuchsfläche bei diesem Beprobungstermin die geringsten Dichten. Somit unterscheidet sich die Versuchsfläche O/R auch im wurzelfernen Bereich signifikant von der Versuchsfläche o/R. Letztgenannte Fläche weist in der Rhizoplane die geringsten und im wurzelfernen Bereich die höchsten Pilzdichten bei diesem Beprobungstermin auf.

Die Ergebnisse der Bakteriendichtebestimmung zeigen ebenfalls starke Fluktuationen im Verlauf der Vegetationsperiode, aber auch erhebliche Unterschiede zwischen den Vergleichsflächen. Am ersten Beprobungstermin wies im Mikrokompartiment 'rp' die reblausfreie Fläche (o/r) die signifikant höchsten Bakteriendichten auf. Auch im wurzelnahen Bereich wurden auf dieser Versuchsfläche im Vergleich zu den untersuchten Bereichen der Fläche o/R höhere Dichten beobachtet. Noch etwas höhere Dichten wurden in diesem Mikrokompartiment auf der Versuchsfläche O/R festgestellt, welche sich signifikant von den beiden untersuchten Arealen der Versuchsfläche o/R unterscheidet. Anders im wurzelfernen Bereich. Hier lagen die höchsten Dichten im ungeschädigten Bereich der Fläche o/R vor, während der geschädigte Bereich die geringsten Dichten aufwies. In allen drei untersuchten Mikrokompartimenten sanken die Bakteriendichten vom ersten zum zweiten Beprobungstermin hin deutlich ab. Signifikante Unterschiede konnten in der Rhizoplane und dem wurzelfernen Bereich festgestellt werden. Im ersten Fall wurden die signifikant geringsten Dichten auf der reblausfreien Versuchsfläche (o/r) festgestellt, während im Mikrokompartiment 'wf' die signifikant geringsten Dichten im Bereich ungeschädigter Reben der Versuchsfläche o/R zu beobachten waren. Auch bei der dritten Beprobung unterschieden sich die Bakterien-

dichten in den Bereichen ungeschädigter Reben der Versuchsfläche o/R in den Mikrokompartimenten 'rp' und 'wf' signifikant von denen der Vergleichsvarianten. Während in der Rhizoplane die höchsten Bakteriendichten auf dieser Variante gemessen wur-

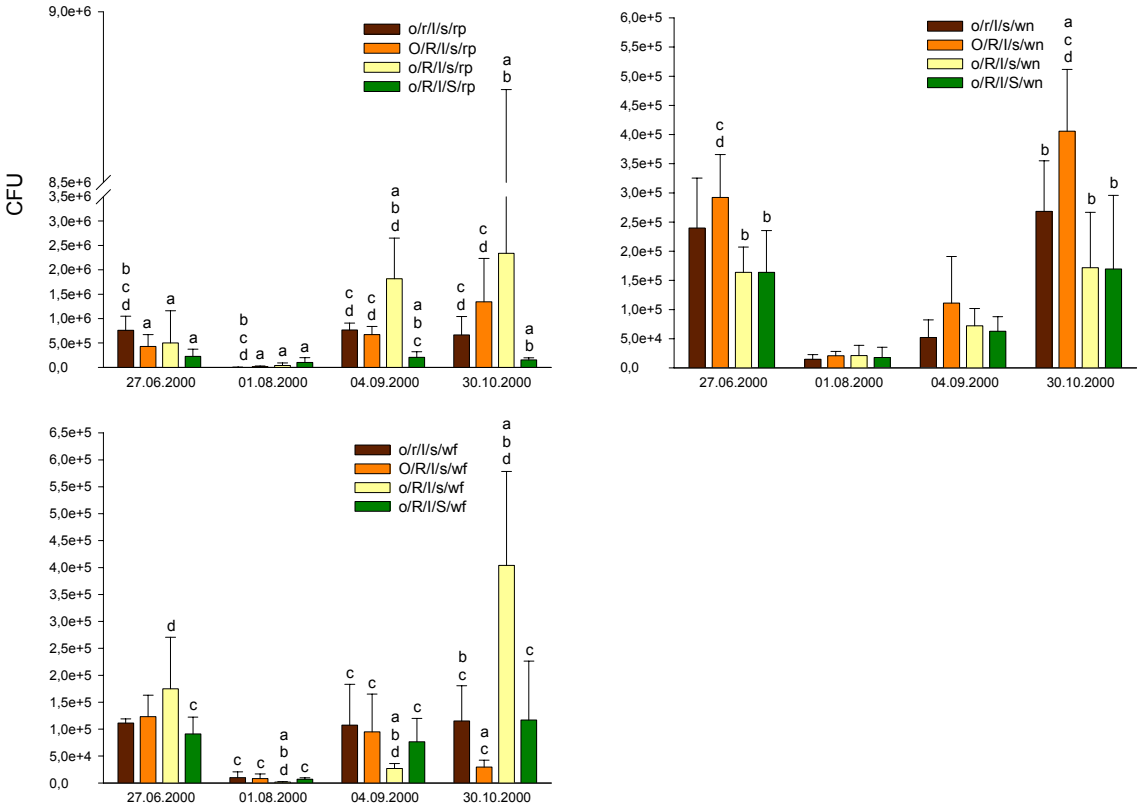


Abb. 3-6: Bakteriendichten [CFU / g TM] (Mittelwert und Standardabweichung) der Bodenmikrokompartimente 'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000.
Korrespodierende Buchstaben über den Wertesäulen stehen für signifikante Unterschiede zwischen den Vergleichsvarianten eines Beprobungstermins (Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-13).
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

den, wies sie im wurzelfernen Bereich die geringsten Dichtewerte auf. Die Bakeriendichten der Versuchsflächen o/r und O/R unterschieden sich in keinem untersuchten Mikrokompatiment bei diesem Beprobungstermin. Bei der letzten Bakteriendichtebestimmung in dieser Vegetationsperiode konnten wiederum Unterschiede zwischen den Vergleichsvarianten festgestellt werden. Hierbei unterschieden sich die Bakteriendichten in der Rhizoplane der ungeschädigten und der geschädigten Bereiche der Versuchsfläche o/R signifikant von denen der reblausfreien Versuchsfläche o/r und der organisch bewirtschafteten Fläche O/R. In der Rhizoplane ungeschädigter Rebstöcke wurden die höchsten, in der geschädigter Reben die niedrigsten Dichten festgestellt. Wurzelnah wurden auf den Versuchsflächen o/r und O/R hohe Bakteriendichten gemessen, wobei sich aber nur die Bakteriendichte der Versuchsfläche O/R signifikant

von denen der geschädigten und ungeschädigten Bereiche der Versuchsfläche o/R unterscheidet. Im Vergleich zu den anderen untersuchten Varianten waren die Bakteriendichten im wurzelfernen Bereich ungeschädigter Reben der Versuchsfläche o/R sehr hoch und unterschieden sich damit signifikant. Die geringsten Dichten wies in diesem Mikrokompartiment die Versuchsfläche O/R auf. Ein signifikanter Unterschied konnte beim Vergleich mit der Versuchsfläche o/r und mit dem Bereich ungeschädigter Rebstöcke der Versuchsfläche o/R ermittelt werden.

Wie bereits im Falle der Pilz- und Bakteriendichten, so unterschieden sich die Versuchsflächen- und varianten auch in den bestimmten Dichten der Actinomyceten. Im Falle der Actinomyceten treten aber vor allem Unterschiede zwischen einzelnen Probenahmeterminen hervor. In der Rhizoplane fällt hierbei vor allem die sehr hohe mittlere Actinomycetendichte der Bereiche mit geschädigten Rebstöcken der Versuchsfläche o/R bei der Probennahme im August auf. Obgleich sich die Actinomycetendichte auf dieser Variante um eine Zehnerpotenz von denen der anderen Varianten unterscheidet, ist dieser Unterschied aufgrund der hohen Standardabweichung nicht statistisch signifikant. Auch beim ersten und dritten Beprobungstermin finden sich Unterschiede. Bei der ersten Probenname im Juli zeigte die Versuchsfläche o/r die signifikant höchsten Actinomycetendichten während bei der dritten Beprobung die Versuchsfläche O/R und die Wurzeln im Bereich ungeschädigter Reben der Versuchsfläche o/R die signifikant höchsten Dichten an Actinomyceten aufwiesen. Auch bei der zweiten Beprobung im August wurden sowohl im wurzelnahen als auch im wurzelfernen Bereich die höchsten Actinomycetendichten an geschädigten Rebstöcken der Versuchsfläche o/R festgestellt, wobei diese Unterschiede auch in diesen Fällen aufgrund der hohen Standardabweichungen nicht statistisch abgesichert werden konnten. Der Bereich ungeschädigter Reben zeigte bei dieser Beprobung in beiden Mikrokompartimenten die geringsten Actinomycetendichten; wurzelnah war dieser Unterschied signifikant. Während die wurzelnahen Dichten auf den Versuchsflächen bzw. Varianten o/r/l/s, O/R/l/s und o/R/l/S von der zweiten zur dritten Beprobung abnahmen, wurden auf der Variante o/R/l/s zu beiden Terminen ähnliche Werte festgestellt. Bei der Oktoberbeprobung wiesen in diesem Mikrokompartiment wiederum die Bereiche geschädigter Rebstöcke die höchsten Actinomycetendichten auf, im Falle der Versuchsfläche o/r war dieser Unterschied allerdings nicht signifikant. Im wurzelfernen Bereich blieben die Actinomycetendichten auch beim dritten Beprobungstermin erhöht. Allerdings konnte eine weitere Erhöhung der Dichte nur bei der Versuchsfläche o/r beobachtet werden, welche sich damit von allen Vergleichsvarianten signifikant unterschied. Die Flächen O/R und o/R zeigten hingegen geringere Dichtewerte im Vergleich zum zweiten Beprobungstermin. Wie bei der ersten und zweiten Beprobung waren

auch bei der letzten Probenahme im Oktober die höchsten Actinomycetendichten des wurzelfernen Mikrokompartiments im Bereich geschädigter Reben der Versuchsfläche o/R zu beobachten. Im Falle der vierten Beprobung war dieser Unterschied statistisch signifikant; die anderen Versuchsvarianten unterschieden sich nicht, die mittlere Dichte sank auf allen Varianten aber weiter, verglichen mit der beiden vorangegangenen Probenahmeterminen.

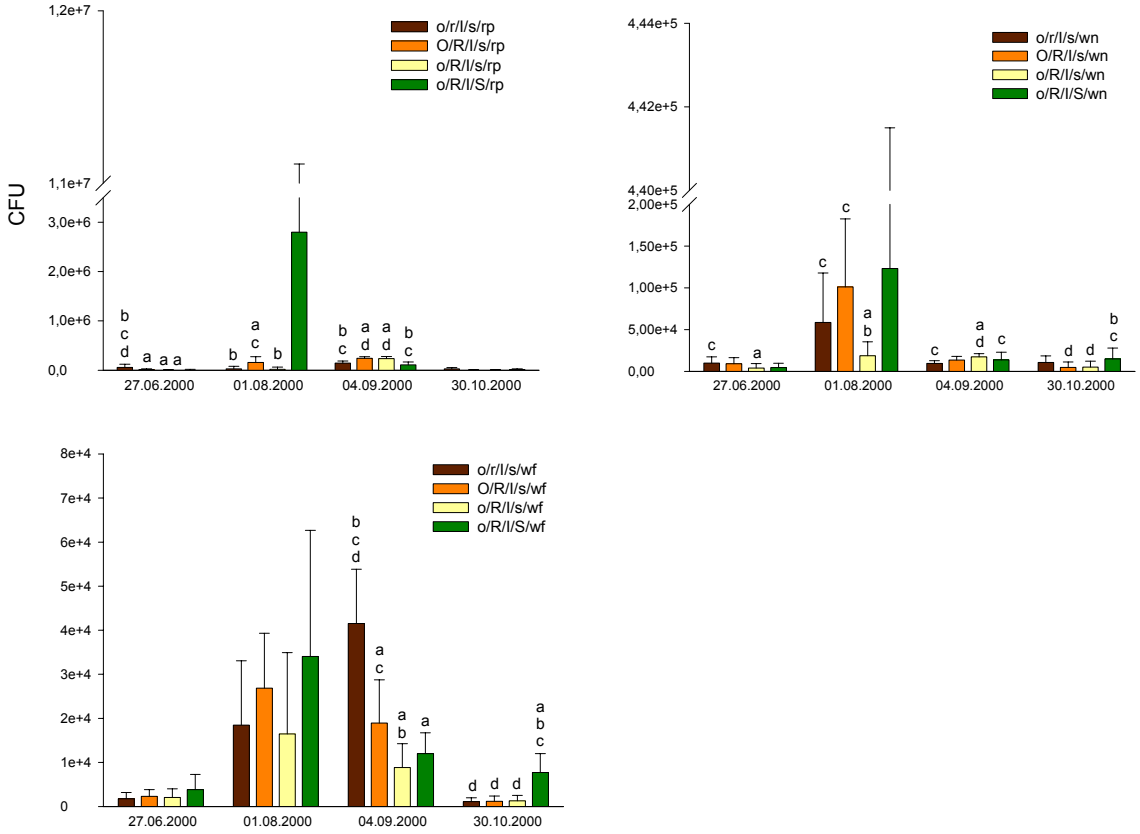


Abb. 3-7: Actinomycetendichten [CFU / g TM] (Mittelwert und Standardabweichung) der Bodenmikrokompartimente 'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000.
Korrespondierende Buchstaben über den Wertesäulen stehen für signifikante Unterschiede zwischen den Vergleichsvarianten eines Beprobungstermins (Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-14).
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

3.2.1.4 Pilzzönosen

Die Zusammensetzung der Pilzzönosen auf den untersuchten Rebflächen wurde unter Verwendung der Korrespondenzanalyse sowie durch tabellarische Darstellung des Vorkommens an den verschiedenen Beprobungsterminen analysiert. Dies geschah einerseits anhand der Pilzarten, andererseits basierend auf der Zuordnung der Einzelarten zu sog. Phytopathogenitätsklassen (Kap. 2.3.1.5).

Tab. 3-1: Im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen aus den Mikrokompartimenten 'ng', 'wg', 'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R isolierte Pilzarten, verwendete Abkürzungen sowie ihre auf Literaturdaten basierende Zuordnung zu Phytopathogenitätsklassen (vergleiche Tab. 2-5 und Kap. 7.4).

Art	Abkürzung	Klasse
Acremonium charticola	*Acr-cha*	E2
Acremonium furcatum	*Acr-fur*	E2
Acremonium kiliense	*Acr-kil*	E2
Acremonium strictum	*Acr-str*	C
Acrodontium crateriforme	*Act-cra*	E2
Alternaria alternata	*Alt-alt*	B
Aspergillus ustus	*Asp-ust*	A2
Botryotrichum piluliferum	*Bot-pil*	E2
Cladosporium cladosporoides	*Cla-cla*	C
Cylindrocarpon cf. lichenicola	*Cyl-lic*	E2
Cylindrocarpon destructans	*Cyl-des*	A1
Cylindrocarpon magnusianum	*Cyl-mag*	D
Fusarium culmorum	*Fus-cul*	D
Fusarium equiseti	*Fus-equ*	A2
Fusarium incarnatum	*Fus-inc*	C
Fusarium merismoides var. merismoides	*Fus-mer*	E1
Fusarium oxysporum	*Fus-oxy*	A1
Fusarium sacchari	*Fus-sac*	C
Fusarium sambucinum s. l.	*Fus-sam*	C
Fusarium solani	*Fus-sol*	A2
Fusarium tabacinum	*Fus-tab*	E2
Geotrichum candidum	*Geo-can*	E2
Gliocladium catenolatum	*Gli-cat*	C
Gliocladium roseum	*Gli-ros*	A2
Leptosphaeria coniothyrium	*Lep-con*	C
Mortierella alpina	*Mor-alp*	E2
Mucor hiemalis	*Muc-hie*	E1
Nectria inventa	*Nec-inv*	E2
Penicillium aurantiogriseum	*Pen-aur*	E1
Penicillium brevicompactum	*Pen-bre*	E1
Penicillium chrysogenum	*Pen-chr*	E1
Penicillium citrinum	*Pen-cit*	E1
Penicillium corylophilum	*Pen-cor*	E2
Penicillium expansum	*Pen-exp*	E1
Penicillium miczynskii	*Pen-mic*	E1
Penicillium restrictum	*Pen-res*	E1
Penicillium simpilicissimum	*Pen-sim*	A2
Penicillium spinulosum	*Pen-spi*	E1
Penicillium viridicatum	*Pen-vir*	E2
Penicillium waksmanii	*Pen-wak*	E2
Ramichloridium subulatum	*Ram-sub*	E2
Rhizopus stolonifer	*Rhi-sto*	C
Schizophyllum commune	*Sch-com*	C
Trichoderma koningii	*Tri-kon*	E1
Verticillium nigrescens	*Ver-nig*	E2

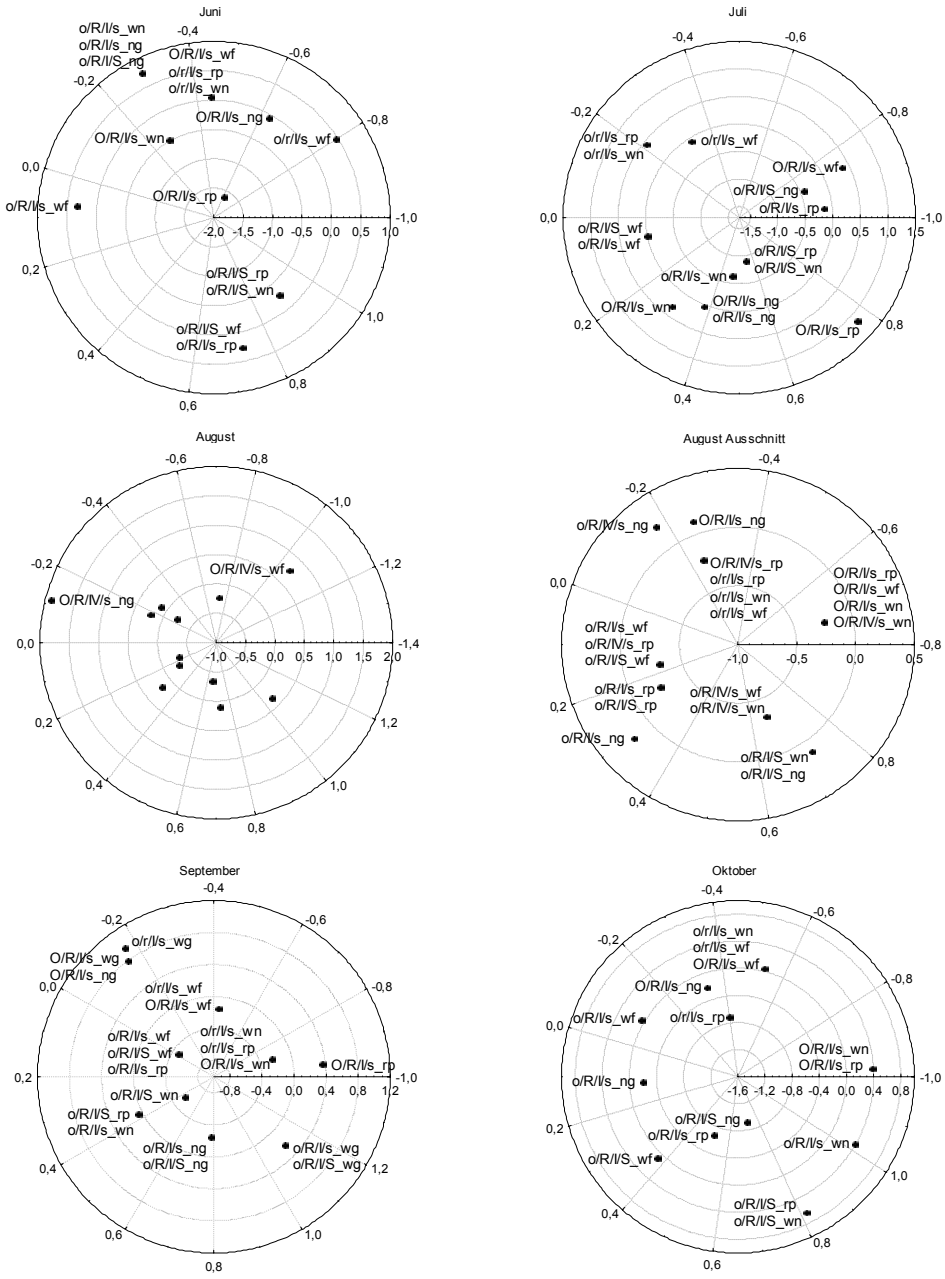


Abb. 3-8: Ergebnisse der Korrespondenzanalyse zum Vorkommen der im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen im Jahre 2000 aus den Mikrokompartimenten 'ng', 'wg', 'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R isolierten Pilzarten basierend auf ihrer Zugehörigkeit zu einer Phytopathogenitätsklasse. Dimension 1 (zirkulär) Eigenwerte: Juni (0,3802), Juli (0,2909), August (0,3249), September (0,4153), Oktober (0,4247). Dimension 2 (radiär) Eigenwerte: Juni (0,3066), Juli (0,2498), August (0,2428), September (0,1987), Oktober (0,2114) Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

In Abb. 3-8 sind die Ergebnisse der Korrespondenzanalysen der Pilzzönosen basierend auf der Zugehörigkeit zu einer Pathogenitätsklasse dargestellt. Es muss dabei berücksichtigt werden, dass bei dieser Gruppierung sowohl die als pathogen als auch die als nichtpathogen anzusehenden Pilzarten einbezogen wurden. Wie aus der Abbildung ersichtlich, konnten teilweise erhebliche Unterschiede zwischen den Ver-

suchsflächen festgestellt werden. Aber auch das Vorkommen von zu einer Klasse gehörenden Pilzarten in den einzelnen Mikrokompartimenten unterscheidet sich sowohl zwischen als auch innerhalb der Versuchsflächen. Weiterhin zeigen die Analyseergebnisse Unterschiede zwischen den Mikrokompartimenten der geschädigten und ungeschädigten Bereiche der Versuchsfläche o/R. Im Monat Juni unterscheiden sich vor allem die Klassen in der Rhizoplane und den wurzelfernen und -nahen Mikrokompartimenten im Bereich geschädigter Rebstöcke der Versuchsfläche o/R von denen der anderen Versuchsflächen, aber auch zwischen den wurzelnahen Bereichen geschädigter und ungeschädigter Areale der Versuchsfläche o/R bestehen starke Unterschiede. Dies gilt nicht für die in Nodositätengewebe festgestellten Klassenzugehörigkeiten dieser beiden Areale der Versuchsfläche o/R. Letzteres war im Folgemonat Juli nicht der Fall. Hier sind sich die Zusammensetzungen der in Nodositäten vorkommenden Pathogenitätsklassen der organisch bewirtschafteten Fläche (O/R) und des ungeschädigten Areals der Versuchsfläche o/R einander ähnlicher. Der geschädigte Bereich der Versuchsfläche o/R unterscheidet sich hingegen deutlich. Im Monat August wurden zusätzlich die in den Mikrokompartimenten der Düngevarianten IV der Flächen O/R und o/R vorkommenden einer Pathogenitätsklasse angehörenden Pilzarten analysiert. Es zeigte sich dabei, dass die Zufuhr organischer Substanz, hier in Form von Fichtensägemehl, das Vorkommen von Pilzarten verschiedener Pathogenitätsklassen stark beeinflusst, wie beispielsweise der Vergleich des Mikrokompartiments 'ng' auf den Flächen O/R und o/R der Düngevarianten I und IV zeigt. Auch die Unterschiede zwischen den Düngevarianten I und IV der Versuchsfläche o/R und den geschädigten und ungeschädigten Bereichen weisen darauf hin. Auch in diesem Monat konnten starke Unterschiede in der Zusammensetzung in den Mikrokompartimenten der Düngevariante I der Versuchsflächen beobachtet werden. Eine Ausnahme hierbei stellt das Mikrokompartiment 'rp' des ungeschädigten und geschädigten Bereichs der Versuchsfläche o/R dar. Die Klassenzugehörigkeiten beider Bereiche in diesem Mikrokompartiment ähneln sich sehr stark und unterscheiden sich damit deutlich von denen der reblausfreien Versuchsfläche o/r und denen der Düngevarianten I und IV der organisch bewirtschaften Fläche O/R. In der Tendenz ähneln sich die Zusammensetzungen entsprechender Mikrokompartimente der ungeschädigten Flächen o/r und O/R bei dieser Beprobung insgesamt stärker, verglichen mit der Versuchsfläche o/R. Diese Beobachtung wird durch die Ergebnisse der Septemberbeprobung bestärkt. Bei dieser Beprobung wurden zusätzlich Pilzisolationen aus dem nicht von der Reblaus befallenem Wurzelgewebe der Versuchsflächen O/R und o/R durchgeführt. Dies sollte ein Vergleich mit der Pilzbesiedlung von Wurzeln der ungeschädigten und reblausfreien Versuchsfläche o/r ermöglichen. Neben den bereits bei den vorangegangenen Bepro-

bungen zu beobachtenden Unterschieden zwischen den Versuchsflächen bzw. Flächenarealen, beispielsweise im Mikrokompartiment Rhizoplane, konnten bei dieser Beprobung im September weitere Unterschiede festgestellt werden. Zum einen zeigen die Ergebnisse, dass sich die in Nodositäten bzw. Wurzelgewebe der ungeschädigten, organisch bewirtschaften Versuchsfläche O/R in ihrem Vorkommen an zu bestimmten Pathogenitätsklassen gehörenden Pilzarten stark ähnelten. Zum anderen zeigten sie eine große Ähnlichkeit mit den im Wurzelgewebe der ungeschädigten und reblausfreien Versuchsfläche o/r nachgewiesenen Pathogenitätsklassen. Des weiteren ist den Ergebnissen zu entnehmen, dass sich sowohl die in Nodositäten- als auch Wurzelgewebe vorkommenden, zu bestimmten Pathogenitätsklassen gehörenden, Pilzarten dieser Versuchsflächen stark von denen der konventionell bewirtschafteten Fläche unterscheiden, sowohl in den Bereichen der Anlage mit geschädigten als auch in Bereichen mit ungeschädigten Reben. Zusätzlich besteht ein, wenn auch geringerer, Unterschied im Wurzel- und Nodositätengewebe. Die Ergebnisse der Oktoberbeprobung zeigen, wie schon die der vorangegangenen Untersuchungstermine, deutliche Unterschiede sowohl zwischen den Versuchsflächen als auch zwischen den untersuchten Arealen innerhalb der Versuchsfläche o/R. Allerdings konnten auch bei dieser Beprobung wiederum ähnlichere Verhältnisse auf den Versuchsflächen O/R und o/r festgestellt werden, so beispielsweise im wurzelfernen Bereich.

Die auf dem Vorkommen verschiedener Pathogenitätsklassen basierenden Ergebnisse der Korrespondenzanalyse werden durch die der Analyse der Pilzzönosenzusammensetzung in der Tendenz bestätigt (Abb. 3-9). Bei dieser Analyse findet einerseits zusätzlich der quantitative Aspekt der in einem Mikrokompartiment bzw. einer Versuchsfläche vorkommenden Artenzahlen Berücksichtigung. Andererseits werden auch die Anzahlen bzw. das unterschiedliche Vorkommen einzelner Pilzarten berücksichtigt, auch wenn diese zur selben Phytopathogenitätsklasse gehören. Die Ergebnisse der Analyse zeigen verstärkt eine Clusterung der einzelnen Versuchsflächen. Weiterhin wird deutlich, dass die ungeschädigten reblausfreien und reblausbefallenen Versuchsflächen o/r und O/R während der gesamten Vegetationsperiode eine größere Ähnlichkeit in ihrem Vorkommen an Bodenpilzarten aufweisen, als die reblausbefallene konventionell bewirtschaftete Versuchsfläche o/R. Am deutlichsten sind die Unterschiede in den Mikrokompartimenten mit vielen teilweise sehr unterschiedlichen Pilzarten. Bei der Mehrzahl der Beprobungen unterscheiden sich von allem die Mikrokompartimente 'rp' und 'wn' der Fläche o/R, sowohl des ungeschädigten als auch des geschädigten Bereichs dieser Versuchsfläche von denen der ungeschädigten Flächen o/r und O/R. Dies gilt auch für die im Monat August untersuchten Mikrokompartimente der Düngevariante IV der Versuchsfläche o/R.

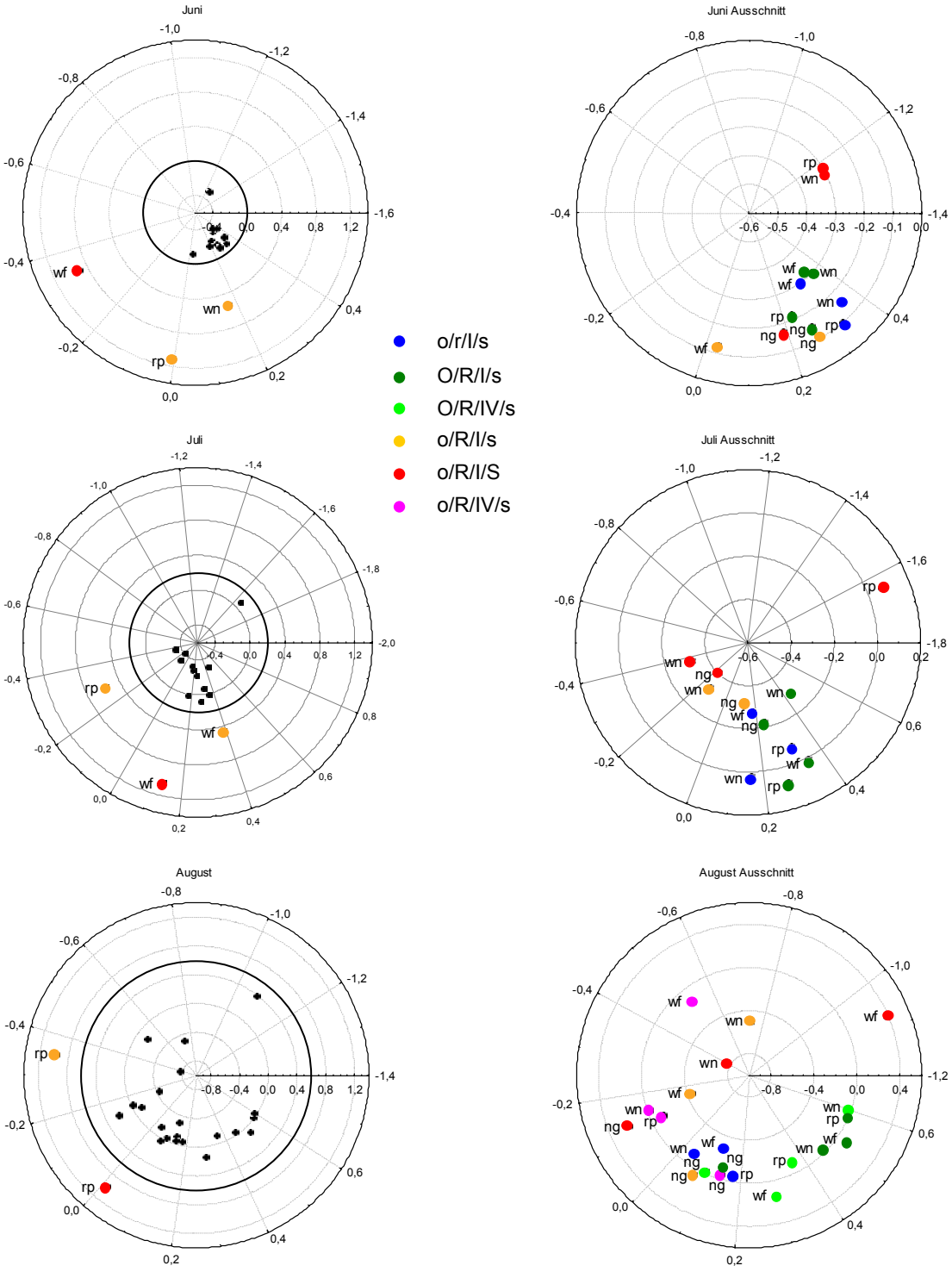


Abb. 3-9: Ergebnisse der Korrespondenzanalyse zum Vorkommen der im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen im Jahre 2000 aus den Mikrokompartimenten 'ng', 'wg', 'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R isolierten Pilzarten.
Dimension 1 (zirkulär) Eigenwerte: Juni (0,2690), Juli (0,2481), August (0,1663), September (0,1932), Oktober (0,2361). Dimension 2 (radiär) Eigenwerte: Juni (0,1992), Juli (0,1565), August (0,1455), September (0,1707), Oktober (0,1872)
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

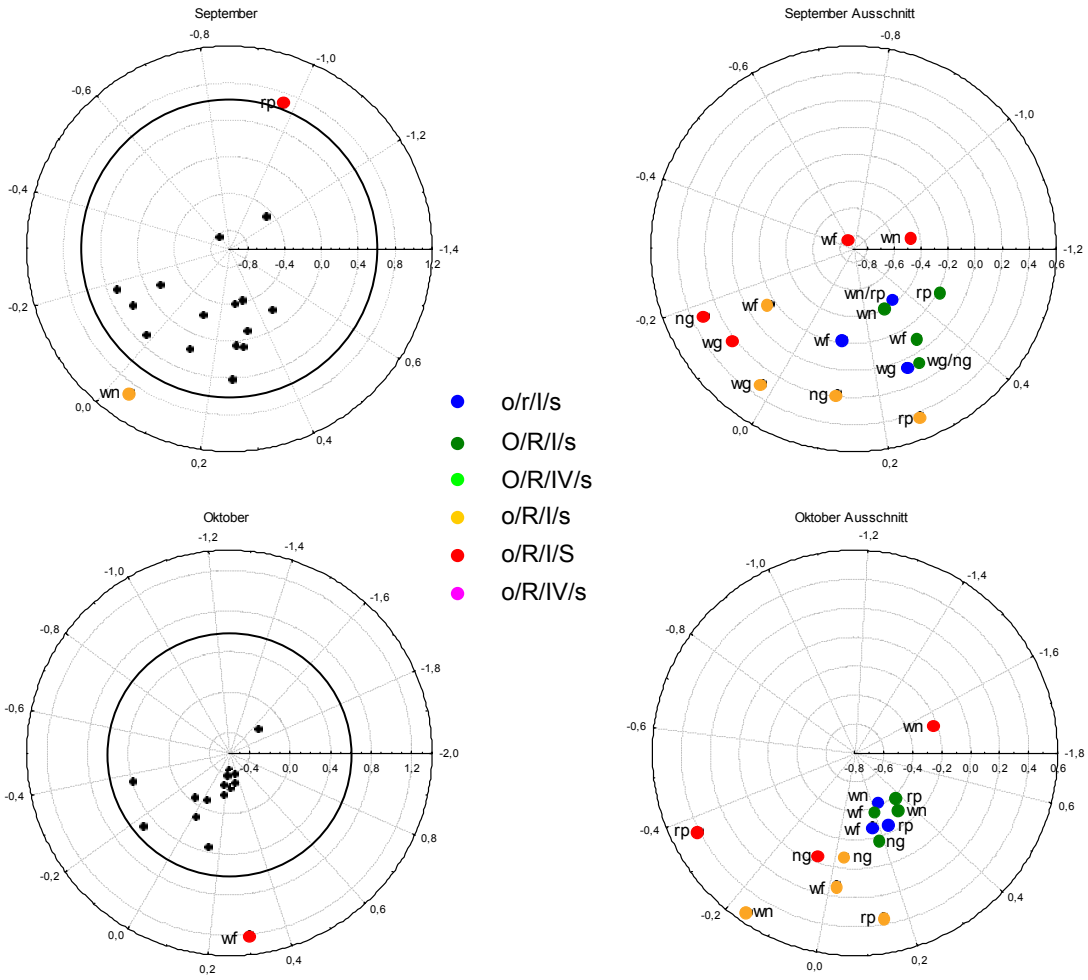


Abb. 3-9 Fortsetzung

Ein weiterer Unterschied in der Zusammensetzung der Pilzzönosen zeigte sich bei Untersuchung von reblausfreiem Wurzelgewebe im Monat September. Hier konnte eine starke Ähnlichkeit des Wurzelgewebes der ungeschädigten reblausfreien Versuchsfläche o/r und dem Wurzel- und Nodositätengewebe der ungeschädigten, aber mit Reblaus befallenen, organisch bewirtschafteten Fläche O/R festgestellt werden. Sie unterschieden sich deutlich sowohl von dem Wurzel- und Nodositätengewebe von Rebstöcken aus dem geschädigten Bereich der ausschließlich mit Mineraldüngern bewirtschafteten Versuchsfläche o/R als auch des ungeschädigten Bereichs dieser Versuchsfläche. Betrachtet man das Vorkommen von Einzelarten in der tabellarischen Aufstellung (Tab. 3-2 bis 3-4, 3-6, 3-8) so wird deutlich, dass sich die genannten Unterschiede keineswegs nur auf das Vorkommen von als Primärpathogen (Klasse A1) von *Vitis* anzusehenden Pilzarten beschränkt. Die Versuchsflächen und -varianten unterscheiden sich auch stark im Vorkommen beispielsweise der saprophytisch lebenden Pilzarten (Klassen E1 und E2). Es muss an dieser Stelle nochmals betont werden, dass die Ergebnisse der hier dargestellten Untersuchungen keinen Rückschluss auf

die Gesamtmikroorganismenzönosen auf den Flächen erlauben, sondern nur einen Vergleich der mit den angewandten Methoden und Bedingungen isolierbaren Arten. In weiteren Untersuchungen, wie beispielsweise im Rahmen der Versuche zur biologischen Reblauskontrolle (Kap. 3.4, 4.4) und weiterführenden Untersuchungen (HAMMES in Bearb.) konnte beispielsweise auch der als Pathogen von *Vitis* anzusehende Pilz *Fusarium oxysporum* auf der Versuchsfläche O/R nachgewiesen werden (Kap. 4.2), allerdings in anderen Versuchsjahren und mit veränderten Isolationsmedien. Unter den gegebenen Versuchsbedingungen konnten auf den Flächen o/r und O/R in den

Tab. 3-2: Im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen in den Jahren 2000 und 2001 aus dem Mikrokompartiment 'rp' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R isolierte Pilzarten gruppiert nach Phytopathogenitätsklassen.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3, Tab. 2-5, Tab. 3-1.

		Versuchsvarianten																			
Klasse	Art	o/r/I/s					O/R/I/s					o/R/I/s					o/R/I/S					O/R/IV/s		o/R/IV/s	
		Jahr 2000 (Monat)																				Jahr 2000 (Monat)			
		6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	8		8	
A1	*Cyl-des*											x			x	x	x	x		x	x			x	
	Fus-oxy																x	x		x	x				
A2	*Asp-ust*											x	x	x		x								x	
	Fus-equ													x			x	x	x	x					
	Gli-ros	x	x	x		x			x					x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	
	Pen-sim											x	x	x		x	x	x	x	x	x				
B	*Alt-alt*						x	x	x	x							x	x		x	x				
C	*Cla-cla*											x	x	x		x		x	x	x	x				
	Gli-cat																	x	x	x	x				
	Lep-con											x	x												
	Rhi-sto																x	x	x	x					
	Sch-com																x		x	x	x				
E1	*Pen-aur*						x	x	x		x						x		x		x	x			
	Pen-bre																					x		x	
	Pen-chr													x			x	x	x	x					
	Pen-cit	x	x	x	x	x	x	x	x		x											x			
	Pen-exp	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x	x	x					x	
	Pen-mic											x		x	x	x									
	Pen-res																							x	
	Pen-spi	x		x	x	x						x	x	x				x							
E2	*Acr-cha*																							x	
	Acr-fur							x	x								x	x		x	x	x		x	
	Bot-pil																x	x							
	Fus-tab			x			x		x		x											x		x	
	Nec-inv	x	x	x	x					x														x	
	Pen-vir						x	x	x	x	x								x						
	Pen-wak											x			x										
	Ram-sub													x										x	
	Ver-nig																x	x							

Mikrokompartimenten 'rp', 'wn' und 'wf' keine Arten der Klasse A1 nachgewiesen werden. Diese wurden nur aus den Mikrokompartimenten der konventionell bewirtschafteten Fläche o/R isoliert. Ähnliches gilt auch für Pilzarten, welche der Klasse der Pathogene an anderen Pflanzen (C) zugewiesen wurden, wie z.B. *Acremonium strictum*, *Gliocladium catenulatum* oder *Cladosporium cladosporiodes*. Andererseits zeigt sich auch ein Unterschied zwischen Reben aus Schadbereichen und ungeschädigten Reben. So konnte der als Sekundärpathogen eingestufte Pilz *Gliocladium roseum* nicht aus wurzelfernem Boden des Bereichs geschädigter Reben der Versuchsfläche o/R

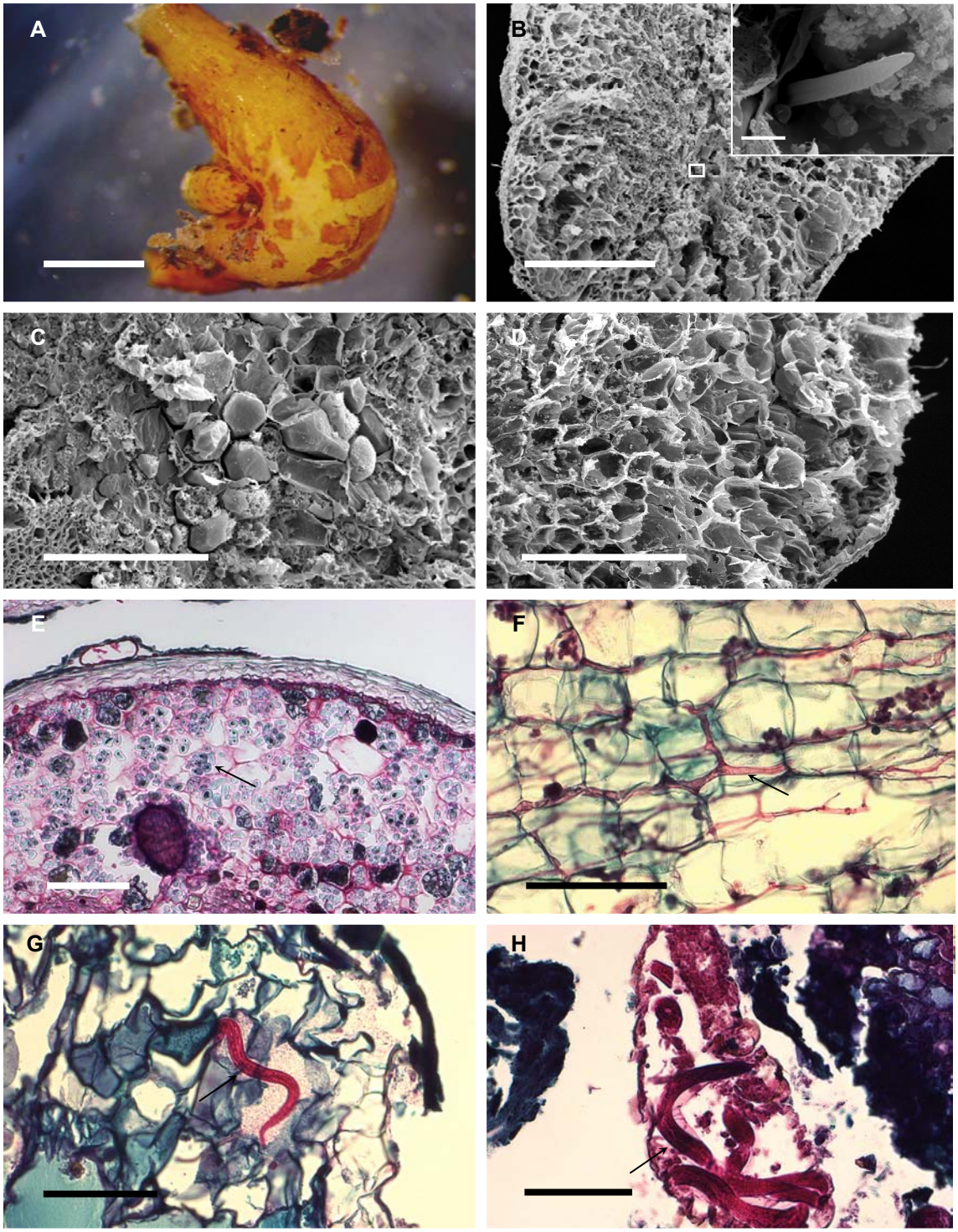
Tab. 3-3: Im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen in den Jahren 2000 und 2001 aus dem Mikrokompartiment 'wn' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R isolierte Pilzarten gruppiert nach Phytopathogenitätsklassen.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3, Tab. 2-5, Tab. 3-1.

		Versuchsvarianten																			
Klasse	Art	o/r/l/s					O/R/l/s					o/R/l/s					o/R/l/S					O/R/IV/s	o/R/IV/s
		Jahr 2000 (Monat)																				Jahr 2000 (Monat)	
		6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	8	8
A1	*Cyl-des*											x		x	x	x		x	x				x
	Fus-oxy												x	x	x	x	x			x	x		x
A2	*Fus-equ*												x			x	x	x		x	x		
	Gli-ros	x	x	x		x	x	x	x			x	x		x		x	x			x	x	x
	Pen-sim																x			x			
B	*Alt-alt*						x	x	x			x	x		x	x	x	x			x	x	
C	*Acr-str*											x		x	x	x							
	Cla-cla												x				x	x	x	x	x		
	Gli-cat											x			x		x	x			x		x
	Lep-con											x		x		x							
	Rhi-sto													x	x		x				x		
	Sch-com																x						
E1	*Pen-aur*								x	x												x	
	Pen-bre																					x	
	Pen-chr																x			x			
	Pen-cit	x		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x		x	x	x	x	
	Pen-exp	x	x	x	x	x																x	x
	Pen-mic											x			x								
	Pen-res																				x		x
	Pen-spi	x	x	x	x																		
E2	*Acr-fur*																x	x	x	x	x	x	
	Acr-kil	x	x	x								x		x		x	x		x	x	x		
	Act-cra																		x		x		
	Bot-pil																x		x	x	x		
	Fus-tab						x	x	x	x	x											x	x
	Nec-inv	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x		x	x	x			x	x			x
	Pen-cor	x		x		x																	
	Pen-vir						x	x	x		x											x	
	Pen-wak											x	x	x	x	x							
	Ram-sub																						x
	Ver-nig																x		x	x	x		

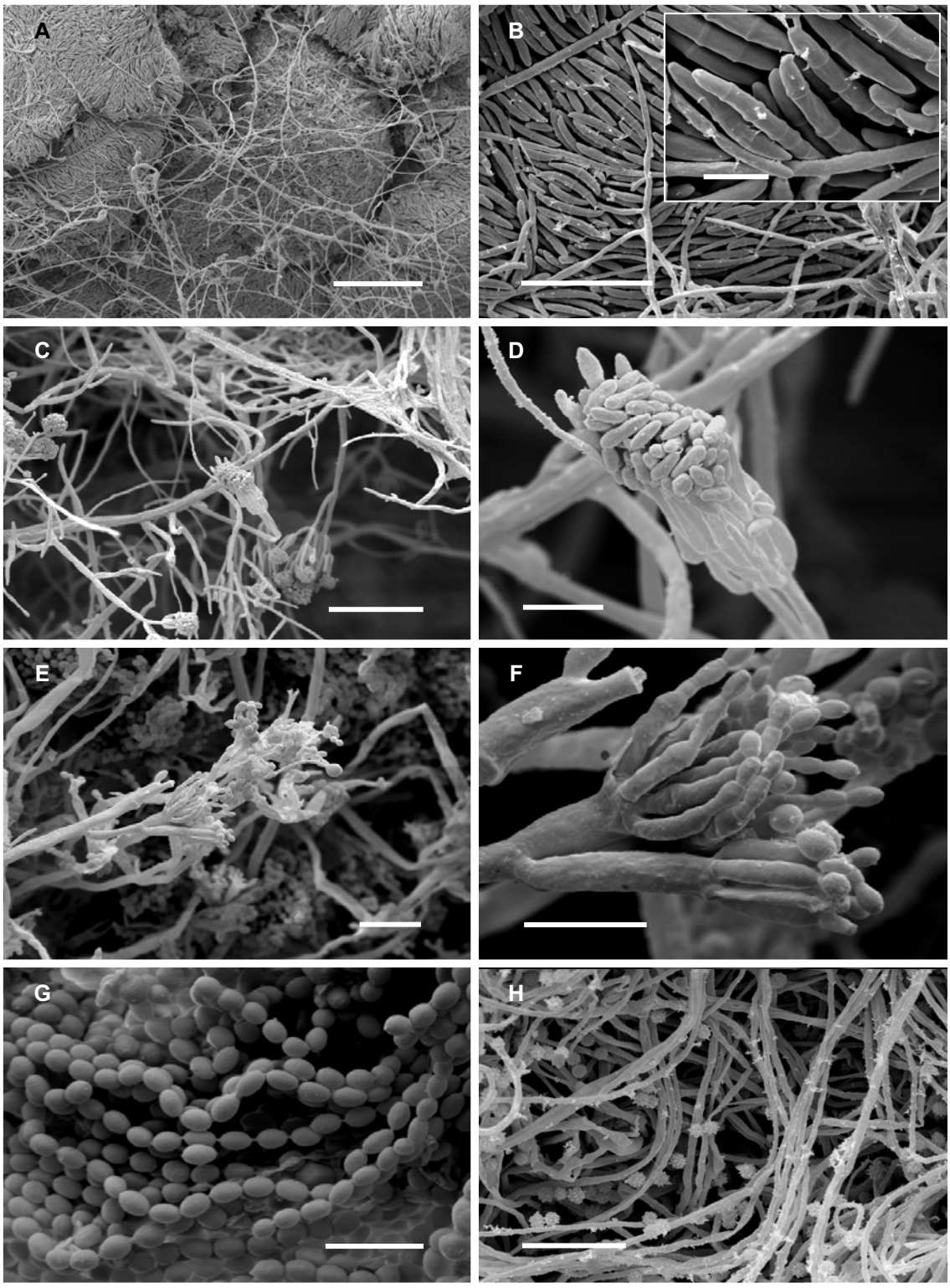
isoliert werden, während er bei ungeschädigten Reben auf allen Flächen in diesem Mikrokompartiment auftrat. Auch in den Klassen der als Saprophyten anzusehenden Pilzarten bestehen starke Unterschiede. So kommen Arten wie *Fusarium tabucinum* nur auf Versuchsflächen ohne Schädigung (o/r und O/R) vor, andere wie *Mortirella alpina* nur auf Flächen mit geschädigten Reben.

Tab. 3-4: Im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen in den Jahren 2000 und 2001 aus dem Mikrokompartiment 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R isolierte Pilzarten gruppiert nach Phytopathogenitätsklassen.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3, Tab. 2-5, Tab. 3-1.

		Versuchsvarianten																			
Klasse	Art	o/r/I/s					O/R/I/s					o/R/I/s					o/R/I/S					O/R/IV/s	o/R/IV/s
		Jahr 2000 (Monat)																				Jahr 2000 (Monat)	
		6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	8	8
A1	*Cyl-des*												x	x	x		x	x	x	x	x		x
	Fus-oxy													x	x	x	x	x	x	x	x		x
A2	*Asp-ust*																x	x	x	x	x	x	x
	Fus-equ																		x				
	Gli-ros	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x	
	Pen-sim																x		x	x	x		
B	*Alt-alt*								x													x	
C	*Acr-str*											x					x						
	Cla-cla																x				x		
	Gli-cat																						x
	Rhi-sto		x																				
E1	*Fus-mer*											x	x					x	x		x		
	Pen-aur							x	x		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x	
	Pen-bre																						x
	Pen-chr											x				x	x	x	x	x	x		x
	Pen-cit		x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x	x	x		
	Pen-exp						x		x	x	x												x
	Pen-res																		x				x
	Pen-spi														x		x		x	x	x		
E2	*Acr-cha*																						x
	Acr-fur	x	x	x	x					x	x	x	x	x	x	x							x
	Acr-kil	x		x	x	x						x	x	x	x	x			x				x
	Fus-tab	x	x	x		x	x			x													x
	Mor-alp													x		x	x			x	x		
	Nec-inv	x		x	x	x						x	x	x		x	x	x	x	x	x		x
	Pen-cor	x			x																		
	Pen-vir						x		x		x												
	Pen-wak																		x		x		



Tafel 3-5 Teil A: Interaktionen an Nodositäten.
A. Reblaus saugend an Nodosität; Aufplatzungen der Wurzelrinde. B. Parenchymgewebe einer Nodosität; im Bildmittelpunkt ist der intrazelluläre Einstich eines Saugrüssels zu erkennen (Vergrößerung). C. Makroskopisch weiß erscheinendes Nodositätengewebe mit noch intakten Zellstrukturen. D. Makroskopisch braun erscheinendes Nodositätengewebe mit vollständig zerstörten Zellstrukturen. E. Dünnschnitt durch eine Nodosität mit infolge des Reblauseinstiches deutlich sichtbaren Stärkeeinlagerungen (Pfeil). F. Inter- und intrazellulär verlaufende Pilzhyphen im Parenchymgewebe einer Nodosität. G. Phytoparasitischer Nematode im Parenchymgewebe (Pfeil). H. Entomopathogene Nematoden in einer Reblaus (Pfeil).
Foto B-D: G. Eisenbeis.
Größenbalken: A. ~ 1000 µm, B. 400 µm (Ausschnitt 5 µm), C+D. 100 µm, E.~ 200 µm, F. 100 µm, G+F. ~ 50 µm.



Tafel 3-5 Teil B: Interaktionen an Nodositäten - Pilze der untersuchten Bodenmikrokompartimente (Reinkulturen).
A+B. *Fusarium solani*, C+D. *Gliocladium roseum*, E+F. *Penicillium corylophilum*, G. *Penicillium miczynskii*, H. *Aspergillus ustus*.
Größenbalken: A. 200 µm, B. 50 µm, B (Vergrößerung). 10 µm, C. 50 µm, D. 10 µm, E. 20 µm, F. 10 µm, G. 10 µm, H. 20 µm.

Tab. 3-5: Pilzbefall (Artenanzahl und Infektionsraten) der im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen im Jahre 2000 von den Versuchsflächen O/R und o/R untersuchten Nodositäten (Mikrokompartiment 'ng').
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Monat	Versuchs-variante	n	Isolate	Artenanzahl	Infektionsrate [%]
Juni	O/R/I/s	71	7	3	9,9
	o/R/I/s	67	8	3	10,4
	o/R/I/S	61	15	3	21,3
Juli	O/R/I/s	100	10	3	10,0
	o/R/I/s	100	14	4	14,0
	o/R/I/S	100	29	4	26,0
August	O/R/I/s	100	11	4	12,0
	o/R/I/s	100	16	4	16,0
	o/R/I/S	100	35	6	30,0
	o/R/IV/s	100	20	2	20,0
September	O/R/I/s	100	9	3	7,0
	o/R/I/s	100	20	4	18,0
	o/R/I/S	100	41	6	32,0
Oktober	O/R/I/s	93	8	2	7,5
	o/R/I/s	92	18	4	15,2
	o/R/I/S	79	37	4	40,5

Wie Isolationsversuche und histologische Wurzeluntersuchungen gezeigt haben, wird das von Reblaus befallene Wurzelgewebe von verschiedenen Organismen, beispielsweise Bodenpilze, besiedelt und zerstört. Es konnten aber auch eine Vielzahl anderer Interaktionen an den Nodositäten beobachtet werden, wie das Beispiel der Infektion einer Reblaus durch einen entomopathogenen Nematoden zeigt (Tafel 3-5). Um eine quantitative Aussage zur Pilzinfektion von Nodositätengewebe treffen zu können, wurden in den Monaten Juni bis Oktober 2000 von den Versuchsflächen o/R und O/R ausschließlich wenige Tage alte Nodositäten entnommen und die sie besiedelnden Pilzarten isoliert. Die Ergebnisse dieses Versuchs sind in Tab. 3-5 dargestellt. Es zeigte sich, dass frische Nodositäten von Rebstöcken ohne Rückgang- oder Absterbeerscheinungen während der gesamten Vegetationsperiode weniger von Pilzen besiedelt werden als die Nodositäten von geschädigten Reben. Während die Infektionsraten bei ungeschädigten Reben im Laufe der Vegetationsperiode relativ konstant blieben, waren Infektionen an geschädigten Reben im Herbst deutlich häufiger. Auch waren auf der organisch bewirtschafteten Versuchsfläche O/R die Infektionshäufigkeiten stets geringer als auf der konventionell bewirtschafteten Fläche o/R. Es konnte ebenfalls festgestellt werden, dass die Nodositäten häufig von mehreren Pilzarten besiedelt werden, wie der Vergleich der Anzahl von Isolaten und der Infektionsraten

zeigt. Bei der additiven Untersuchung von Nodositäten der Düngevariante IV der konventionell bewirtschafteten Versuchsfläche o/R im August 2000 wurden ähnlich hohe Infektionsraten festgestellt wie auf der betriebsüblichen Düngevariante (I) der gleichen Fläche. Aus Tab. 3-6 wird ersichtlich, dass frische Nodositäten auf allen Versuchsflächen vor allem von dem als Sekundärpathogen an *Vitis* eingestuften Pilz *Gliocladium roseum* und dem als Saprophyt anzusehenden Pilz *Nectria inventa* besiedelt wurden. An geschädigten Rebstöcken der konventionell bewirtschafteten Versuchsfläche o/R begann die Besiedlung des Nodositätengewebes mit dem als Primärpathogen anzusehenden Pilz *Fusarium oxysporum* im August und hielt bis zur Beprobung im Oktober an. Nodositäten ungeschädigter Rebstöcke derselben Versuchsfläche wurden durch diesen Pilz im September und Oktober besiedelt. Auf der Versuchsfläche O/R wurde dieser Pilz nie aus dem Nodositätengewebe isoliert. Auch der sekundärpathogene Pilz *Fusarium equiseti* wurde stets aus Nodositäten der Fläche o/R isoliert. Die durch die Literatur als Pathogen an *Vitis* beschriebene Pilzart *Alternaria alternata* hingegen wurde bis auf eine Ausnahme stets nur aus Nodositäten der Versuchsfläche O/R isoliert. Die zu den an Vitis nachgewiesenen, aber bislang nur an anderen Pflanzenarten als pathogen beschriebenen Arten der Klasse C, *Cladosporium cladosporiodes*, *Gliocladium catenulatum* und *Rhizopus stolonifer* konnten nur aus Nodositätengewebe der Versuchsfläche o/R, nie aus Nodositäten der Fläche O/R isoliert werden.

Tab. 3-6: Prozentuales Vorkommen der im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen im Jahr 2000 isolierten Pilzarten in Nodositäten (Mikrokompartiment 'ng') der Versuchsflächen O/R und o/R gruppiert nach Phytopathogenitätsklassen (n siehe Tab. 3-5).
Vv = Versuchsvariante
Abkürzungen siehe Tab. 2-3, Tab. 2-5, Tab. 3-1.

Monat	Vv	Pilzarten und Pathogenitätsklasse								
		A1		A2		B	C			E2
		Cyl-des	*Fus-oxy*	*Fus-equ*	*Gli-ros*	*Alt-alt*	*Cla-cla*	*Gli-cat*	*Rhi-sto*	*Nec-inv*
Juni	O/R/I/s	-	-	-	14,3	42,9	-	-	-	42,9
	o/R/I/s	-	-	-	28,6	-	-	57,1	-	28,6
	o/R/I/S	-	-	-	30,8	-	-	-	15,4	69,2
Juli	O/R/I/s	-	-	-	50,0	30,0	-	-	-	20,0
	o/R/I/s	-	-	14,3	35,7	21,4	-	-	-	28,6
	o/R/I/S	-	-	42,3	30,8	-	-	19,2	19,2	-
August	O/R/I/s	25,0	-	-	16,7	16,7	-	-	-	33,3
	o/R/I/s	-	-	-	37,5	-	-	31,3	12,5	18,8
	o/R/I/S	-	33,3	36,7	20,0	-	13,3	-	3,3	10,0
	o/R/IV/s	-	-	-	45,0	-	-	-	-	50,0
September	O/R/I/s	-	-	-	42,9	14,3	-	-	-	71,4
	o/R/I/s	-	27,8	-	38,9	-	-	11,1	-	33,3
	o/R/I/S	-	31,3	25,0	21,9	-	9,4	-	12,5	28,1
Oktober	O/R/I/s	-	-	-	71,4	-	-	-	-	42,9
	o/R/I/s	-	35,7	14,3	50,0	-	-	-	-	28,6
	o/R/I/S	-	25,0	31,3	25,0	-	34,4	-	-	-

Tab. 3-7: Pilzbefall (Artenanzahl und Infektionsraten) der im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen im September 2000 von den Versuchsflächen o/r, O/R und o/R untersuchten Wurzeln (Mikrokompartiment 'wg').
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Versuchsvariante	n	Isolate	Artenanzahl	Infektionsrate [%]
o/r/I/s	100	5	3	5,0
O/R/I/s	100	6	3	6,0
o/R/I/s	100	10	4	10,0
o/R/I/S	100	11	4	11,0

Tab. 3-8: Prozentuales Vorkommen der im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen im Jahr 2000 isolierten Pilzarten in Wurzeln (Mikrokompartiment 'wg') der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R gruppiert nach Phytopathogenitätsklassen (n siehe Tab. 3-7).
Vv = Versuchsvariante
Abkürzungen siehe Tab. 2-3, Tab. 2-5, Tab. 3-1.

Vv	Pilzarten und Pathogenitätsklasse							
	A1	A2		B	C		E1	E2
	Fus-oxy	*Fus-equ*	*Gli-ros*	*Alt-alt*	*Cla-cla*	*Gli-cat*	*Pen-cit*	*Nec-inv*
o/r/I/s	-	-	40,0	20,0	-	-	40,0	-
O/R/I/s	-	-	33,3	16,7	-	-	-	50,0
o/R/I/s	40,0	-	10,0	-	20,0	30,0	-	-
o/R/I/S	9,1	27,3	36,4	-	27,3	-	-	-

Ähnliche Verhältnisse zeigten sich bei der Pilzisolation aus reblausfreiem Wurzelgewebe (Tab. 3-7, 3-8). Die Infektionsraten waren auf der konventionell bewirtschafteten Versuchsfläche (o/R) höher als auf den Vergleichsflächen und es wurden andere Pilzarten isoliert. Wie im Falle des Nodositätengewebes wurde *Gliocladium roseum* aus dem Wurzelgewebe von Rebstöcken aller Versuchsflächen isoliert. Die beiden ebenfalls als parasitisch anzusehenden Arten *Fusarium oxysporum* und *Fusarium equiseti* hingegen wurden nur aus Wurzelgewebe von Reben der konventionell bewirtschafteten Versuchsfläche isoliert. *Nectria inventa* wurde bei der Septemberprobennahme nicht wie im Falle des Nodositätengewebes bei allen Rebstöcken, sondern nur in Wurzelgewebe der Versuchsfläche O/R vorgefunden. Ein Vergleich mit Tab. 3-6 zeigt, dass dieser Pilz im September auch im Nodositätengewebe geschädigter Rebstöcke der konventionell bewirtschafteten Versuchsfläche nachzuweisen war, in den Monaten Juli und Oktober hingegen nicht. Generell schwankt das prozentuale Vorkommen dieser Pilzart auf den Versuchsflächen und der unterschiedlichen Schadbereiche der Versuchsfläche o/R im Verlauf der Vegetationsperiode sehr stark. Zusätzlich zu den auch aus Nodositätengewebe isolierten Pilzarten konnte bei den Isolationsversuchen mit Wurzelgewebe die Art *Penicillium citrinum* bei annähernd der Hälfte

der Proben der reblausfreien Versuchsfläche o/r isoliert werden. Aufgrund der geschilderten Befunde wurden im August 2001 von Rebstöcken geschädigter Bereiche der Versuchsfläche o/R zusätzlich Nodositäten verschiedener Altersstufen entnommen und auf Pilzbefall untersucht. Es zeigte sich, dass Nodositäten mit zunehmendem Alter vermehrt von Pilzen besiedelt wurden. Auch konnte eine steigende Anzahl verschiedener Pilzarten mit zunehmendem Alter der Nodositäten festgestellt werden (Tab. 3-9). Wie aus Tab. 3-10 ersichtlich, konnten im Jahr 2001 Pilzarten aus den Nodositäten der Rebstöcke der Versuchsfläche o/R isoliert werden, welche im Jahr 2000 nicht nachgewiesen wurden. Dies gilt nicht nur für ältere Nodositäten, welche im Jahr 2000 nicht untersucht wurden, sondern auch für die in jüngeren Nodositäten vorkommenden Pilzarten. So wurden aus jungen Nodositäten in Jahr 2001 zusätzlich die Pilzarten *Fusarium sambucinum* und *Cylindrocarpon magnusianum* isoliert. Die Untersuchung älterer Nodositäten zeigte, dass diese Nodositäten von Pilzarten besiedelt wurden, welche in jungen Nodositäten nicht nachgewiesen wurden. Hierbei handelte es sich sowohl um Arten, welche der Literatur zur Folge als Sekundärpathogene von *Vitis* anzusehen sind, wie beispielsweise *Aspergillus ustus* oder *Fusarium solani*. Aber auch neue Arten anderer Pathogenitätsklassen wurden isoliert, vor allem Arten der Klasse C, welche als Pathogene von anderen Kulturpflanzen bekannt sind. Demgegenüber nahm das prozentuale Vorkommen der sehr häufig aus jungen Nodositäten isolierbaren Arten *Fusarium oxysporum* und *Gliocladium roseum* mit zunehmendem Alter der Nodositäten stark ab. So wurden beispielsweise aus alten Nodositäten die Arten *Cylindrocarpon magnusianum*, *Mucor hiemalis*, *Trichoderma koningii* und *Cylindrocarpon lichenicola* häufiger isoliert als diese beiden erstgenannten, in jungen Nodositäten häufig vorkommenden, Arten.

Tab. 3-9: Pilzbefall (Artenanzahl und Infektionsraten) der im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen im August 2001 von der Versuchsfläche o/R, Düngevariante I untersuchten Nodositäten (Mikrokompartiment 'ng') basierend auf dem Alter der Nodosität.
1: junge Nodosität (weiß/hellgelb); 2: ältere Nodosität (gelb/hellbraun); 3: alte Nodosität (braun). Unterscheidung des Alters der Nodositäten in Anlehnung an PORTEN & HUBER 2003.

Alter der Nodosität	n	Isolate	Artenanzahl	Infektionsrate [%]
1	89	10	5	9,0
2	118	50	12	35,6
3	79	80	15	84,8

Tab. 3-10: Prozentuales Vorkommen der im Rahmen der bodenbiologischen Freilanduntersuchungen im August 2001 isolierten Pilzarten in Nodositäten (Mikrokompartiment 'ng') verschiedener Altersstufen der Versuchsfläche o/R, Düngevariante I.
1: junge Nodosität (weiß/hellgelb); 2: ältere Nodosität (gelb/hellbraun); 3: alte Nodosität (braun). Unterscheidung des Alters der Nodositäten in Anlehnung an PORTEN & HUBER 2003 (n siehe Tab. 3-9).
Abkürzungen siehe Tab. 2-3, Tab. 2-5, Tab. 3-1.

Klasse	Pilzart	Alter der Nodosität		
		1	2	3
A1	*Cyl-des*	-	9,5	-
	Fus-oxy	37,5	14,3	4,5
A2	*Asp-ust*	-	2,4	10,4
	Fus-equ	-	9,5	-
	Fus-sol	-	7,1	-
	Gli-ros	37,5	21,4	3,0
B	*Alt-alt*	25,0	-	9,0
C	*Cla-cla*	-	-	4,5
	Fus-sac	-	19,0	1,5
	Fus-sam	12,5	16,7	-
	Gli-cat	-	7,1	-
	Rhi-sto	-	-	1,5
	Sch-com	-	-	4,5
D	*Cyl-mag*	12,5	4,8	25,4
E1	*Muc-hie*	-	2,4	10,4
	Pen-exp	-	-	7,5
	Tri-kon	-	4,8	11,9
E2	*Acr-fur*	-	-	7,5
	Cyl-lic	-	-	10,4
	Nec-inv	-	-	7,5

3.2.1.5 Abiotische Bodenparameter

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Bestimmung der abiotischen Bodenparameter Wassergehalt, Organische Bodensubstanz und Boden-pH-Wert aufgeführt. Dargestellt sind die Ergebnisse der Diskriminanzanalyse sowie die Mittelwerte und Standardabweichungen. Da aufgrund der Erfordernisse zur Durchführung einer Diskriminanzanalyse nur identische Datenmatrices verwendet werden konnten, wurden in den Abbildungen der Mittelwerte und Standardabweichungen zusätzlich auch die Ergebnisse der Untersuchungsvarianten dargestellt, welche nicht für die Diskriminanzanalyse verwendet werden konnten. Die Angaben der Ergebnisse zusätzlicher Untersuchungen wie beispielsweise der Beprobungen im Monat Mai auf den Flächen O/R und o/R erfolgt im Text; Stichprobenumfang und Signifikanzwerte dieser Beprobungen sind

den entsprechenden Tabellen im Anhang zu entnehmen. Die fehlende Beprobung im Monat Mai auf der Fläche o/r ist darauf zurückzuführen, dass bei Untersuchungen zur Auswahl einer geeigneten Versuchsfläche im Weinanbaugebiet Rheingau im Vorjahr keine reblausfreie Fläche gefunden werden konnte. Um einen aktuellen Reblausbefall im Jahr 2000 ausschließen zu können, wurden im Mai und Juni 2000 verschiedene Flächen auf Reblausbefall untersucht. Dabei konnte erst Mitte Juni dieses Jahres eine Fläche ohne Reblausbefall im Versuchsjahr, bzw. im Vorjahr (PORTEN & HUBER 2003a) festgestellt werden. Somit konnte diese Versuchsfläche erst im Juni 2000 in den Probennahmeplan aufgenommen werden.

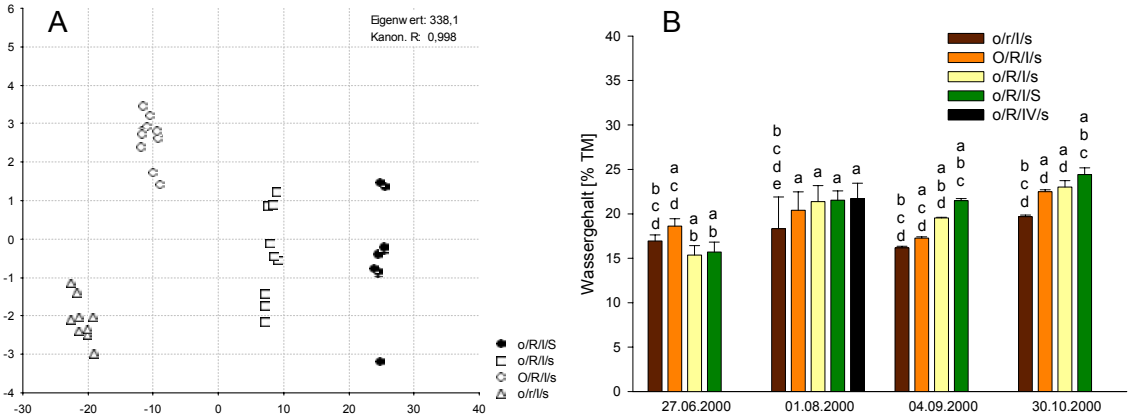


Abb. 3-10: Wassergehalte [% TM] der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten Juni, August, September und Oktober sowie der Düngevariante IV der Versuchsfläche o/R im Monat August.
A: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse (x = root 1, y = root 2)
B: Mittelwert und Standardabweichung. Korrespondierende Buchstaben über den Wertesäulen stehen für signifikante Unterschiede zwischen den Vergleichsvarianten eines Beprobungstermins. Dargestellt sind nur Werte, welche auch für die Diskriminanzanalyse (A) verwendet werden konnten (ausgenommen o/R/IV/s; vergleiche Kap. 2.1.6). Weitere Ergebnisse im Text (Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-15).
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Wie aus Abb. 3-10 A ersichtlich, ist die Trennung der mittleren Wassergehalte über alle Beprobungen hinweg sehr hoch (Kanon. R = 0,998). Hierbei ist die Trennung der Versuchsflächen o/r und O/R schärfer (Root 2) als die der Versuchsfläche o/R, bzw. der ungeschädigten und geschädigten Bereiche dieser Fläche. Der Vergleich der Mittelwerte (Abb. 3-10 B, Tab. 7-15) zeigt, dass die Versuchsfläche o/r bei allen Beprobungen signifikant geringere Wassergehalte aufwies als die Versuchsfläche O/R. Im Juni wurden im Vergleich zu allen anderen untersuchten Flächen bzw. Varianten die signifikant höchsten Wassergehalte auf der Versuchsfläche O/R festgestellt. Die signifikant geringsten Wassergehalte zeigten die Böden der Bereiche mit geschädigten und ungeschädigten Rebstöcken der Versuchsfläche o/R. Dies war auch im Mai der

Fall. Der Boden der Versuchsfläche O/R wies in diesem Monat den signifikant höchsten Wassergehalt (19,93 +/- 0,45 %) auf, den signifikant geringsten der Bereich der geschädigten Rebstöcke der Versuchsfläche o/R (15,85 +/- 0,55 %). In den Monaten August bis Oktober unterschied sich der Boden der Versuchsfläche o/r durch den geringsten Wassergehalt stets signifikant von allen anderen untersuchten Böden. In allen diesen Monaten zeigte der Boden im Bereich geschädigter Reben der Versuchsfläche o/R die höchsten Wassergehalte, bei den Beprobungen im September und Oktober war dieser Unterschied signifikant. Eine zusätzliche Messung des Wassergehalts des Bodens der Düngevariante IV der Versuchsfläche o/R im Monat August ergab, dass sich der Wassergehalt dieser Düngevariante nicht signifikant von denen der Düngevariante I derselben Fläche oder der Versuchsfläche O/R unterschied. Auch bestand bei allen Beprobungen ein Unterschied im Wassergehalt der Böden in den Bereichen mit geschädigten und ungeschädigten Rebstöcken der Versuchsfläche o/R. Hierbei konnten in den Monaten Juni bis Oktober stets höhere Wassergehalte in den Bereichen mit geschädigten Rebstöcken nachgewiesen werden. Im September und Oktober waren diese Unterschiede signifikant.

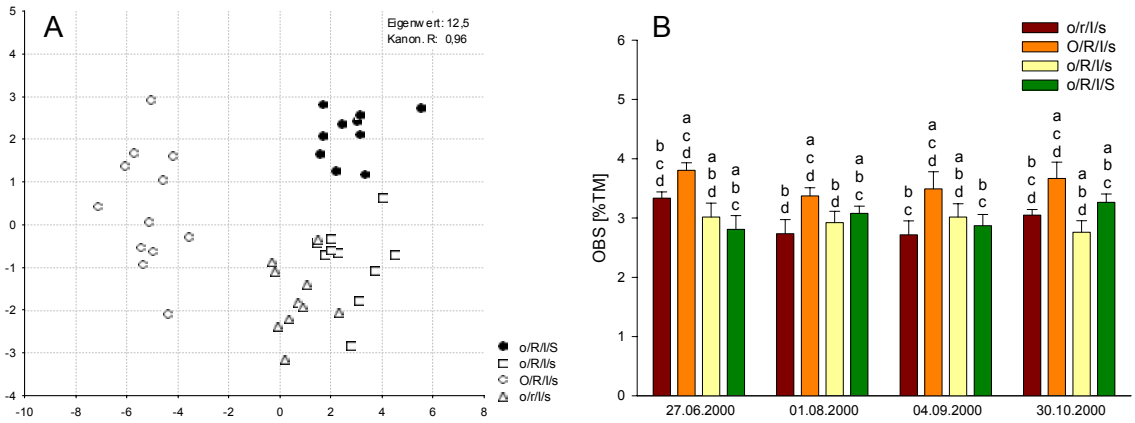


Abb. 3-11: Organische Bodensubstanz [% TM] der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten Juni, August, September und Oktober.
A: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse (x = root 1, y = root 2)
B: Mittelwert und Standardabweichung. Korrespondierende Buchstaben über den Wertesäulen stehen für signifikante Unterschiede zwischen den Vergleichsvarianten eines Beprobungstermins. Dargestellt sind nur Werte, welche auch für die Diskriminanzanalyse (A) verwendet werden konnten (vergleiche Kap. 2.1.6). Weitere Ergebnisse im Text (Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-16).
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Unterschiede zwischen den Versuchsflächen waren auch im Gehalt an organischer Bodensubstanz (Abb. 3-11, Tab. 7-16) festzustellen. Wie aus den Ergebnissen der Diskriminazanalyse (Kanon. R = 0,96) hervorgeht, unterschied sich die Versuchsfläche O/R insgesamt über alle Beprobungen hinweg am stärksten (Root 1). Unab-

hängig vom Standort waren aber auch Unterschiede zwischen dem geschädigten und dem ungeschädigten Bereich der Versuchsfläche o/R festzustellen (Root 2). Diese Differenzen spiegeln sich auch in den mittleren Gehalten an organischer Substanz wieder. Bei allen Beprobungen lag der signifikant höchste Gehalt an organischer Substanz im Boden der Versuchsfläche O/R vor. Bei der Beprobung im Mai war dies ebenfalls der Fall (O/R/I/s: 3,39 +/- 0,13 %; o/R/I/s: 2,84 +/- 0,16 %; o/R/I/S: 2,95 +/- 0,19 %). Im Juni zeigte auch die Versuchsfläche o/r einen signifikant höheren Gehalt an organischer Bodensubstanz als die Versuchsfläche o/R, bei den Beprobungen im August und September lagen die Werte der Fläche o/R höher, allerdings nicht in jedem Fall signifikant. Des Weiteren konnten mit Ausnahme des Monats Mai signifikante Unterschiede zwischen den Bereichen mit und ohne Schäden an den Rebstöcken auf der Versuchsfläche o/R beobachtet werden. Die bis auf den Mai stets signifikanten Unterschiede zwischen den Bereichen dieser Fläche alternierten allerdings im Laufe der Vegetationsperiode. So konnten im Mai, August und Oktober höhere Werte auf der Variante o/R/I/S, im Juni und September auf der Variante o/R/I/s gemessen werden.

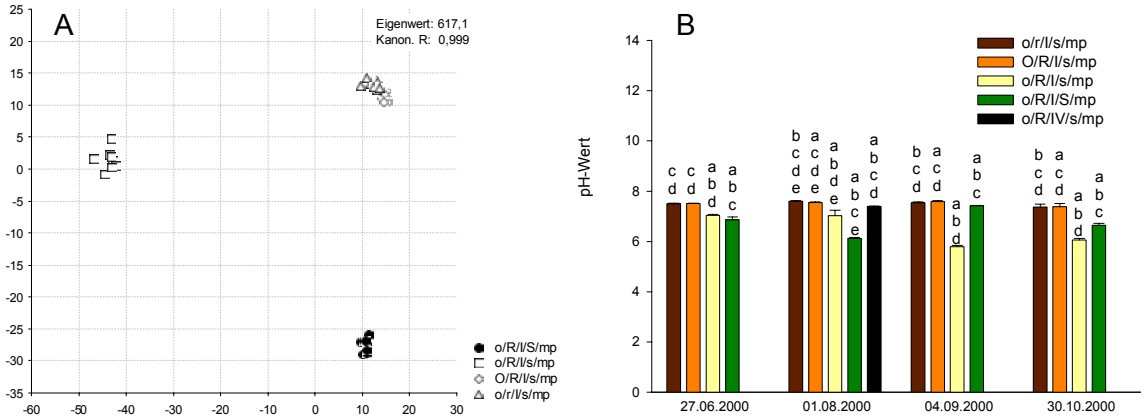


Abb. 3-12: pH-Werte der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben (Mischproben 'mp' der Bodenmikrokompartimente) der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten Juni, August, September und Oktober sowie der Düngevariante IV der Versuchsfläche o/R im Monat August.
A: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse (x = root 1, y = root 2)
B: Mittelwert und Standardabweichung. Korrespondierende Buchstaben über den Wertesäulen stehen für signifikante Unterschiede zwischen den Vergleichsvarianten eines Beprobungstermins. Dargestellt sind nur Werte, welche auch für die Diskriminanzanalyse (A) verwendet werden konnten (ausgenommen o/R/IV/s; vergleiche Kap. 2.1.6). Weitere Ergebnisse im Text (Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-17). Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Die Ergebnisse der Diskriminanzanalyse der pH-Werte (Abb. 3-12 A) aus Bodenmischproben der Versuchsflächen- und varianten weisen auf starke Unterschiede zwischen den untersuchten Bodenproben hin, wobei zwischen den einzelnen Beprobungen innerhalb der Versuchsflächen nur eine sehr geringe Streuung vorlag. Der pH-

Wert diskriminiert auf einem sehr hohen Niveau zwischen den Versuchsflächen o/r und O/R einerseits und der Versuchsfläche o/R andererseits (Kanon. R: 0,999). Aber auch die Böden der Bereiche mit geschädigten und ungeschädigten Rebstöcken der Versuchsfläche o/R zeigen starke Unterschiede. Bei allen Beprobungen nahezu identische, wenn auch aufgrund der sehr niedrigen Standardabweichungen nur in manchen Monaten signifikant unterschiedliche, pH-Werte wurden auf den Versuchsflächen o/r und O/R nachgewiesen (Abb. 3-12, Tab. 7-17; Monat Mai: Versuchsfläche O/R/I/s = 7,02 +/- 0,06; Versuchsfläche o/R/I/S = 4,97 +/- 0,13; Versuchsfläche O/R/I/s = 6,17 +/- 0,06). Bei allen Beprobungen lag der pH-Wert der Flächen o/r und O/R signifikant höher als auf der Versuchsfläche o/R. Wie auch bei den abiotischen Bodenparametern Wassergehalt und organische Bodensubstanz, so wurden auch bezüglich des pH-Wertes Unterschiede zwischen den Bereichen mit geschädigten und ungeschädigten Rebstöcken der Versuchsfläche o/R beobachtet. Bei den Beprobungen in den Monaten Mai, Juni und August lagen die pH-Werte der Böden des Bereichs mit ungeschädigten Rebstöcken signifikant höher, in den Monaten September und August die der geschädigten Bereiche. Bei einer Zusatzmessung des Bodens der Düngevariante IV der Versuchsfläche o/R im August wurde ein im Vergleich zu den ungeschädigten und geschädigten Bereichen derselben Versuchsfläche signifikant höherer pH-Wert in dem Boden der mit organischer Substanz versorgten Düngevariante gemessen. Die ersten Messungen der Mischproben im Mai und Juni wiesen in einigen Fällen für Boden-pH-Messungen von gesiebten Bodenmischproben ungewöhnlich hohe Standardabweichungen auf. Wie stichprobenartige Messungen zeigten, unterschieden sich Bodenproben der wurzelfernen und wurzelnahen Mikrokompartimente der Versuchsfläche o/R teilweise erheblich. Aus diesem Grunde wurden in den Folgemonaten die pH-Werte nicht nur aus Mischproben, sondern auch aus den getrennten wurzelfernen und wurzelnahen Bodenbereichen gemessen. Die Ergebnisse sind in Abb. 3-13 und Tab. 7-18 dargestellt. Es zeigte sich, dass Unterschiede zwischen wurzelfernem und wurzelnahem Mikrokompartiment auf allen Versuchsflächen vorkommen, in der Tendenz aber auf der konventionell bewirtschafteten Fläche o/R höher sind. Während auf der letztgenannten Fläche bei allen vier Untersuchungsmonaten signifikante Unterschiede zwischen den beiden Mikrokompartimenten zu beobachten waren, war dies bei der Versuchsfläche O/R nur im September und Oktober der Fall. Die bereits bei den Mischproben beschriebene Erhöhung des pH-Wertes im Monat August auf der organischen Düngevariante IV der Versuchsfläche o/R konnte auch in beiden Einzelmikrokompartimenten beobachtet werden.

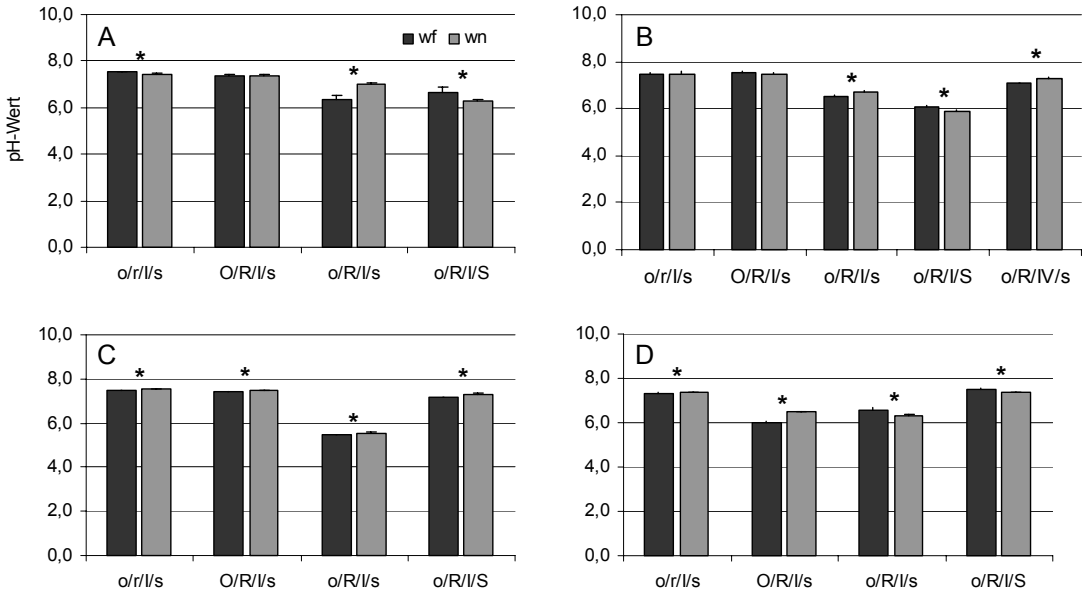


Abb. 3-13: pH-Werte der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten Juni, August, September und Oktober sowie der Düngevariante IV der Versuchsfläche o/R im Monat August, Bodenmikrokompartimente 'wn' und 'wf'.
A: 27.06.2000; B: 01.08.2000; C: 04.09.2000; D: 30.10.2000. Mittelwert und Standardabweichung. Markierungen über den Wertesäulen stehen für signifikante Unterschiede zwischen den Mikrokompartimenten einer Versuchsvariante (Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-18).
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

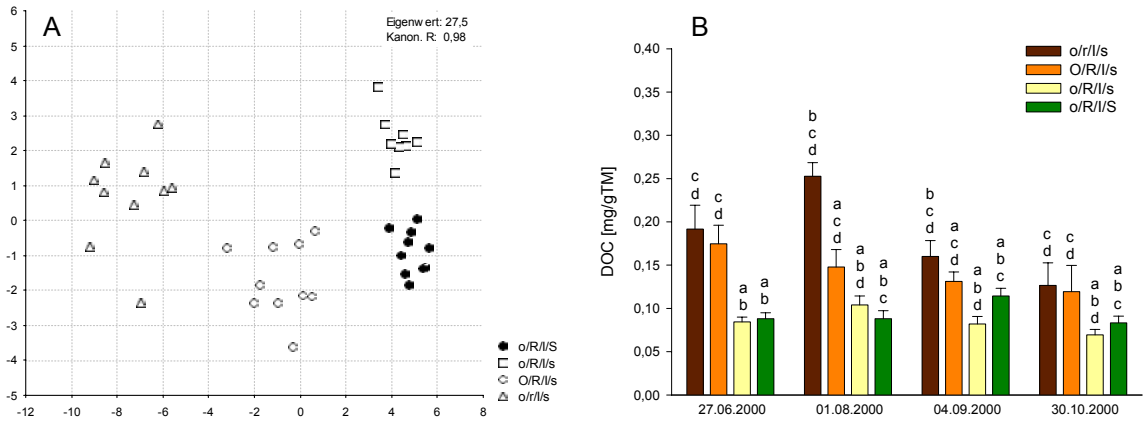


Abb. 3-14: Desolved Organic Carbon (DOC) [mg / g TM] der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten Juni, August, September und Oktober.
A: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse (x = root 1, y = root 2)
B: Mittelwert und Standardabweichung. Korrespondierende Buchstaben über den Wertesäulen stehen für signifikante Unterschiede zwischen den Vergleichsvarianten eines Beprobungstermins. Dargestellt sind nur Werte, welche auch für die Diskriminanzanalyse (A) verwendet werden konnten (vergleiche Kap. 2.1.6). Weitere Ergebnisse im Text (Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-19).
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Auch hinsichtlich des Gehalts an löslichem organischem Kohlenstoff (DOC) diskriminiert die Analyse zwischen den Versuchsflächen- bzw. Versuchsflächenbereichen über alle Beprobungen hinweg (Kanon. R: 0,98, Abb. 3-14 A). Der Vergleich der Mittelwerte in Abb. 3-14 B zeigt, dass der höchste Gehalt an löslichem organischen Kohlenstoff bei allen Beprobungen auf der Versuchsfläche o/r vorlag, welche sich somit stets signifikant von der Versuchsfläche o/R unterschied. Auch die Versuchsfläche O/R wies bei allen Beprobungen einen signifikant höheren DOC-Wert auf als die konventionell bewirtschaftete Versuchsfläche o/R. Dies gilt ebenso für die Gehalte an löslichem organischen Kohlenstoff im Monat Mai (O/R/I/s: 0,137 +/- 0,011; o/R/I/s: 0,076 +/- 0,004; o/R/I/S: 0,064 +/- 0,017). Auch zwischen den Bereichen mit und ohne Schädigungen der Rebstöcke der Versuchsfläche o/R zeigten sich Unterschiede. Im Mai und August wurden dabei die signifikant geringeren Werte im Boden der Bereiche geschädigter Rebstöcke gemessen. Im September und Oktober waren die Gehalte an löslichem organischem Kohlenstoff in den ungeschädigten Bereichen signifikant geringer.

3.2.1.6 Biotische Bodenparameter

Wie bereits im Falle der abiotischen Bodenparameter, so konnten im Mai 2000 der Gehalt an mikrobiellem Kohlenstoff und die Basisrespiration nur von den Versuchsflächen O/R und o/R bestimmt werden. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt entsprechend (Kap. 3.2.1.5).

Die Diskriminanzanalyse der Messwerte des mikrobiellen Kohlenstoffs (Abb. 3-15) erlaubt keine Trennung zwischen der reblausfreien ungeschädigten Versuchsfläche o/r und der ungeschädigten organisch bewirtschafteten Versuchsfläche O/R. Innerhalb dieser beiden Einzelversuchsflächen ist die Streuung der Analysewerte sehr stark. Dahingegen diskriminiert die Analyse zwischen diesen Flächen und der Versuchsfläche o/R über alle Beprobungen hinweg stärker. Aber auch zwischen den Böden der Bereiche ungeschädigter und geschädigter Rebstöcke bestehen Unterschiede bezüglich des Gehalts an mikrobiellem Kohlenstoff. Bereits bei der Beprobung im Monat Mai wurden signifikante Unterschiede zwischen der Versuchsfläche O/R und den Arealen der Versuchsfläche o/R festgestellt. Im Boden der Versuchsfläche O/R konnte dabei ein signifikant höherer Gehalt an mikrobiellem Kohlenstoff nachgewiesen werden (0,228 +/- 0,021 mg gTM^{-1}) als auf der Versuchsfläche o/R (o/R/I/s: 0,109 +/- 0,020 mg gTM^{-1}; o/R/I/S: 0,116 +/- 0,024 mg gTM^{-1}). In den in Abb. 3-15 B dargestellten Monaten Juni bis Oktober lag der mittlere Gehalt an mikrobiellem Kohlenstoff auf den Versuchsflächen o/r und O/R stets höher, teilweise um das 6-fache, als auf der Versuchsfläche o/R bzw. den Bereichen mit geschädigten oder ungeschädigten Reb-

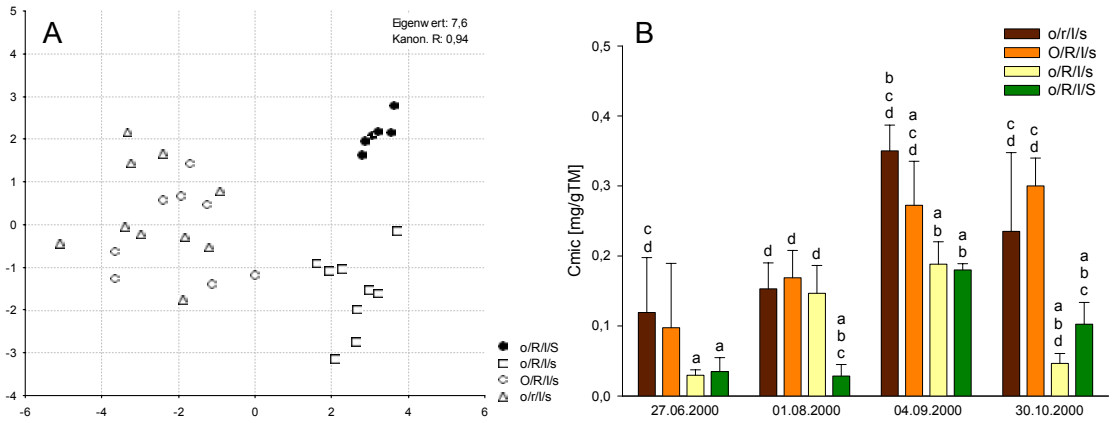


Abb. 3-15: Mikrobieller Kohlenstoff (C_{mic}) [mg/g TM] der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten Juni, August, September und Oktober.
A: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse (x = root 1, y = root 2)
B: Mittelwert und Standardabweichung. Korrespondierende Buchstaben über den Wertesäulen stehen für signifikante Unterschiede zwischen den Vergleichsvarianten eines Beprobungstermins. Dargestellt sind nur Werte, welche auch für die Diskriminanzanalyse (A) verwendet werden konnten; Daten ohne Extremwerte (vergleiche Kap. 2.1.6). Weitere Ergebnisse im Text (Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-20).
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

stöcken. Bei der Messung im Juni wurde der höchste Gehalt an mikrobiellem Kohlenstoff in den Bodenproben der Versuchsfläche o/r gemessen, welche sich signifikant von den untersuchten Arealen der Versuchsfläche o/R unterschied. Einen etwas geringeren Gehalt als die Versuchsfläche o/r wies der Boden der Versuchsfläche O/R auf. Im August wurde auch im Boden des ungeschädigten Bereichs der Versuchsfläche ein höherer Gehalt nachgewiesen. Signifikante Unterschiede bestanden im Vergleich der Versuchsflächen bzw. Varianten zum Bereich geschädigter Rebstöcke der Versuchsfläche o/R. Im September lagen die Gehalte an mikrobiellem Kohlenstoff in den Böden der beiden untersuchten Areale der Versuchsfläche o/R signifikant unter denen der Versuchsflächen o/r und O/R. Die beiden letztgenannten Versuchsflächen unterschieden sich aber ebenfalls signifikant, wobei die Versuchsfläche o/r den höheren Gehalt aufwies. Signifikante Unterschiede zwischen dem Bereich mit geschädigten Rebstöcken und dem Bereich ohne geschädigte Rebstöcke der Versuchsfläche o/R bestand in diesem Monat nicht. Anders im Monat Oktober. Hier ergab die Messung einen signifikant geringeren Gehalt an mikrobiellem Kohlenstoff im Boden des ungeschädigten Bereichs der Versuchsfläche o/R. Die Böden beider untersuchten Areale dieser Versuchsfläche unterschieden sich wiederum signifikant von den Böden der Versuchsflächen o/r und O/R, welche einen signifikant höheren Gehalt an mikrobiellem Kohlenstoff aufwiesen. Signifikante Unterschiede zwischen den letztgenannten Versuchsflächen bestanden nicht.

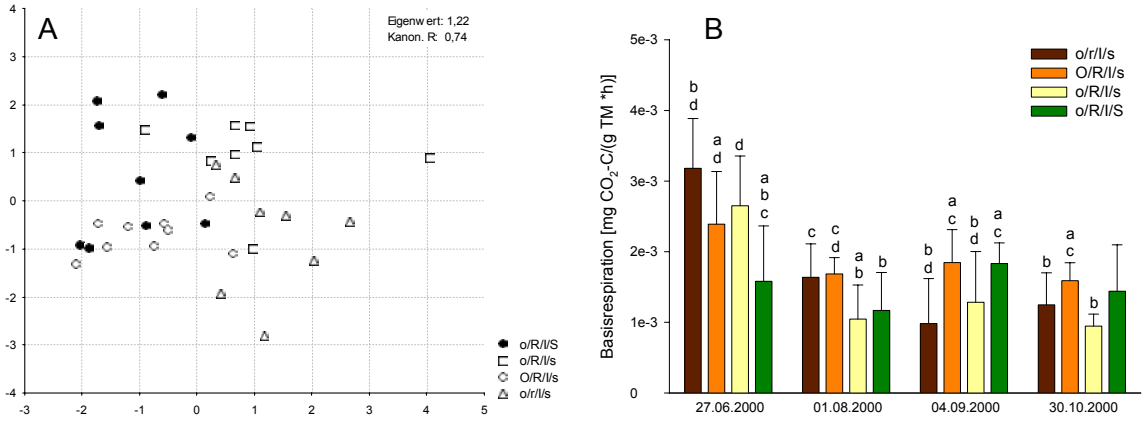


Abb. 3-16: Basisrespiration [mg CO_2-C/g TM * h] der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten Juni, August, September und Oktober.
A: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse (x = root 1, y = root 2)
B: Mittelwert und Standardabweichung. Korrespondierende Buchstaben über den Wertesäulen stehen für signifikante Unterschiede zwischen den Vergleichsvarianten eines Beprobungstermins. Dargestellt sind nur Werte, welche auch für die Diskriminanzanalyse (A) verwendet werden konnten; Daten ohne Extremwerte (vergleiche Kap. 2.1.6). Weitere Ergebnisse im Text (Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-21).
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

In Abb. 3-16 und Tab. 7-21 sind die Ergebnisse der Basisrespirationsmessungen wiedergegeben. Wie aus Teil A der Abbildungen ersichtlich, diskriminieren die Versuchsflächen bzw. Versuchsflächenbereiche hinsichtlich dieses Parameters über alle Beprobungen hinweg nur gering (Kanon. R: 0,74). Auch die Streuung innerhalb einer Versuchsfläche bzw. der Versuchsflächenbereiche ist sehr hoch. Dies spiegelt sich auch in den in Abb. 3-16 B dargestellten mittleren Basisrespirationswerten der Einzelmonate wieder. Bereits die Messung der Basisrespiration im Monat Mai ergab große Unterschiede zwischen den Versuchsflächen, wobei sich nur die Basisrespirationswerte der Versuchsfläche O/R ($1{,}56x10^{-3}$ +/- $1{,}87x10^{-4}$ mg CO_2-C gTM^{-1} h^{-1}) von den geringeren Werten der untersuchten Bereiche der Versuchsfläche o/R signifikant unterschied (o/R/I/S: $1{,}02x10^{-3}$ +/- $3{,}05x10^{-4}$ mg CO_2-C gTM^{-1} h^{-1}; o/R/I/s: $8{,}86x10^{-4}$ +/- $2{,}46x10^{-4}$ mg CO_2-C gTM^{-1} h^{-1}). Alle Versuchsflächen bzw. Versuchsflächenbereiche wiesen bei der Probannahme im Juni höhere Basisrespirationswerte auf. Die höchste Basisrespiration wurde in diesem Monat im Boden der Versuchsfläche o/r gemessen, welcher sich signifikant von dem der Versuchsfläche O/R und der Versuchsflächenvariante o/R/I/S unterschied. Der Monat Juni war der einzige innerhalb der Vegetationsperiode, in welchem auf einem Versuchsflächenbereich der Versuchsfläche o/R eine höhere Basisrespiration gemessen wurde als auf der Vergleichsfläche O/R, doch war der Unterschied nicht signifikant. Die geringste Basisrespiration aller Versuchsflächen

bzw. Versuchsflächenbereiche wurde für die Bodenprobe des Bereichs mit geschädigten Rebstöcken der Versuchsfläche o/R ermittelt, welche sich signifikant von allen anderen Vergleichsflächen unterschied. Im Vergleich zum vorangegangenen Probenentnahmetermin wiesen alle Versuchsflächen im August geringere Basisrespirationswerte auf. Die beiden Versuchsflächen o/r und O/R unterschieden sich dabei kaum, wiesen aber beide eine höhere Basisrespiration auf als die untersuchten Bereiche der Versuchsfläche o/R. Der Boden des Bereichs ungeschädigter Rebstöcke zeigte insgesamt die niedrigste Basisrespiration und unterschied sich signifikant von denen der Versuchsflächen o/r und O/R. Im Folgemonat blieb die Basisrespiration der Versuchsfläche O/R annähernd konstant, die der Versuchsfläche o/r sank ab, die des Bereichs geschädigter Rebstöcke der Versuchsfläche o/R stieg an. Somit unterschieden sich die Böden der Versuchsfläche O/R und des Bereichs geschädigter Reben der Versuchsfläche o/R im September von denen der Versuchsfläche o/r und dem Bereich ungeschädigter Reben der Versuchsfläche o/R signifikant hinsichtlich der Basisrespiration. Auch bei der letzten Jahresbeprobung im Monat Oktober wurde die höchste Basisrespiration im Boden der Versuchsfläche O/R gemessen, die niedrigste im Bereich ungeschädigter Rebstöcke der Versuchsfläche o/R. Erstgenannte Versuchsfläche unterschied sich signifikant von der Versuchsfläche o/r und dem Bereich ungeschädigter Rebstöcke der Versuchsfläche o/R.

Unterschiede in den Respirationsraten der verschiedenen Böden konnten auch nach Zugabe einer Kohlenstoffquelle gemessen werden, wobei auf allen Varianten und bei allen Beprobungen eine Zunahme in der Respirationsaktivität nach Zugabe einer Kohlenstoffquelle beobachtet werden konnte (Abb. 3-17, Tab. 7-22). Die Versuchsflächen bzw. Versuchsflächenbereiche diskriminierten bei einem vergleichsweise hohen Kanonischen R (0,85) unter Einbeziehung aller Probenentnahmetermine nur gering. Die Werte der Versuchsflächen o/r und O/R nahmen während der Versuchsdauer dabei ab, während die der untersuchten Versuchsflächenbereiche der Versuchsfläche o/R in der Tendenz eine Zunahme mit fortschreitender Vegetationsperiode zeigten. Die höchste Respirationsrate im Monat August zeigte sich im Boden der Versuchsfläche O/R, welcher sich damit signifikant von den Böden der untersuchten Bereiche der Versuchsfläche o/R unterschied. Auch der Boden der Versuchsfläche o/r wies im Vergleich mit den Böden der Versuchsfläche o/R höhere Respirationswerte auf, unterschied sich signifikant aber nur vom Boden im Bereich ungeschädigter Rebstöcke. Signifikante Unterschiede konnten im Monat September nur zwischen der Versuchsfläche O/R, welche insgesamt den höchsten Respirationswert aufwies, und dem Bereich mit geschädigten Rebstöcken der Versuchsfläche o/R festgestellt werden. Die stärkste Respiration im Oktober fand im Boden des Bereichs geschädigter Rebstöcke

der Versuchsfläche o/R statt, welche sich, ebenso wie die Böden der Vergleichsflächen, signifikant aber nur von der des Bodens der Versuchsfläche o/r unterschied. Der Boden der letztgenannten Versuchsfläche wies insgesamt den niedrigsten Wert auf.

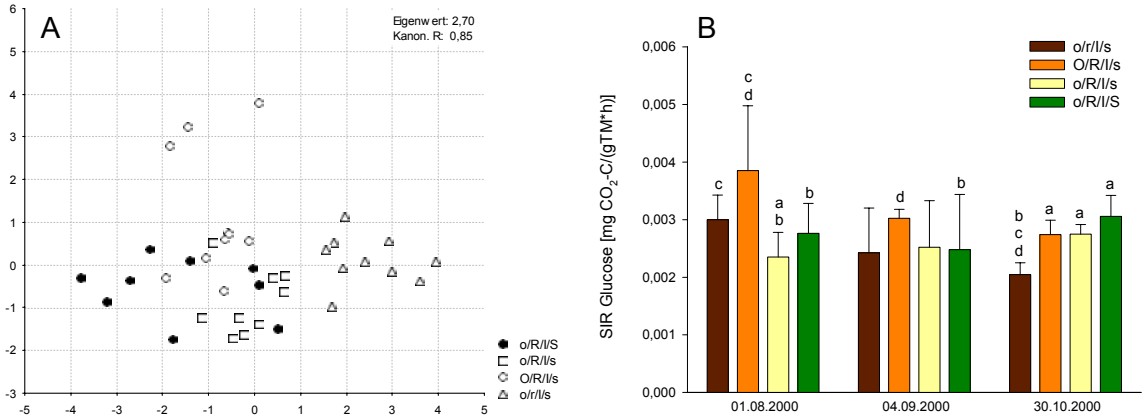
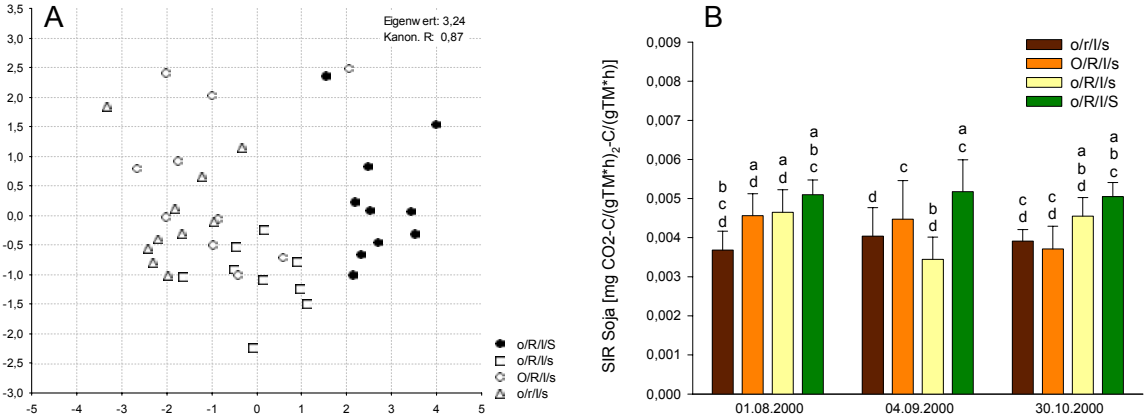


Abb. 3-17: Substratinduzierte Respiration mit Glucose als Kohlenstoffquelle (SIR_C) [mg CO_2-C/g TM * h] der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten August, September und Oktober.
A: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse (x = root 1, y = root 2)
B: Mittelwert und Standardabweichung. Korrespondierende Buchstaben über den Wertesäulen stehen für signifikante Unterschiede zwischen den Vergleichsvarianten eines Beprobungstermins. Daten ohne Extremwerte (vergleiche Kap. 2.1.6; Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-22).
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.



Tab 3-18: Substratinduzierte Respiration mit Sojamehl als Stickstoffquelle (SIR_N) [mg CO_2-C/g TM * h] der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten August, September und Oktober.
A: Ergebnisse der Diskriminanzanalyse (x = root 1, y = root 2)
B: Mittelwert und Standardabweichung. Korrespondierende Buchstaben über den Wertesäulen stehen für signifikante Unterschiede zwischen den Vergleichsvarianten eines Beprobungstermins. Daten ohne Extremwerte (vergleiche Kap. 2.1.6; Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-23).
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Noch höhere Respirationswerte als bei der Zugabe einer Kohlenstoffquelle beobachtet werden konnten zeigten die Messungen nach Zugabe von Sojamehl als Stickstoffquelle (Abb. 3-18, Tab. 7-23). Insbesondere im Bereich der geschädigten Rebstöcke der Versuchsfläche o/R konnte eine starke Zunahme der Respirationsaktivität beobachtet werden, welche bei allen Beprobungen auf dieser Variante ein konstant hohes Niveau annahm, was sich auch in den Ergebnissen der Diskriminanzanalyse widerspiegelt. Im Vergleich zu den anderen Versuchsflächen bzw. Versuchsflächenbereichen wurden hier bei allen Beprobungen die höchsten Respirationswerte beobachtet. In der Tendenz war dies auch im Bereich ungeschädigter Rebstöcke dieser Versuchsfläche zu beobachten. Im Monat August zeigte die Versuchsfläche o/r den signifikant geringsten Respirationswert. Die Versuchsfläche O/R und der Versuchsflächenbereich mit ungeschädigten Rebstöcken der Versuchsfläche o/R wiesen ähnliche Werte auf und unterschieden sich somit wiederum beide von der Versuchsvariante o/R/I/S, in deren Boden die signifikant höchste Respiration gemessen wurde. Letzteres gilt auch für die Respirationsmessung im September, wobei der Unterschied zur Versuchsfläche O/R nicht statistisch signifikant war. Die geringste Respirationsaktivität in diesem Monat wurde für den Boden des ungeschädigten Bereichs der Versuchsfläche o/R ermittelt, welcher signifikant von dem Boden der Versuchsfläche O/R und dem Boden des Bereiches geschädigter Rebstöcke der Versuchsfläche o/R unterschieden werden konnte. Die Messergebnisse im Monat Oktober zeigten ähnlich geringe Werte auf den Versuchsflächen o/r und O/R, während beide untersuchten Bereiche der Versuchsfläche o/R signifikant höhere Atmungsaktivitäten aufwiesen. Aber auch innerhalb der Bereiche mit ungeschädigten und geschädigten Rebstöcken der Versuchsfläche o/R bestanden signifikante Unterschiede; der Boden des geschädigten Bereichs wies die stärkere Atmungsaktivität auf.

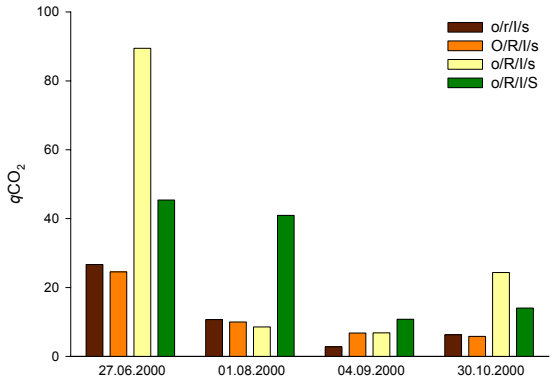


Abb. 3-19: Metabolischer Quotient (qCO_2) der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten Juni, August, September und Oktober.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Die unterschiedliche Aktivität der Mikroorganismen auf den Versuchsflächen spiegelt sich auch im metabolischen Quotienten wieder (Abb. 3-19). Vor allem in den Monaten Juni und Oktober werden die Unterschiede zwischen den Versuchsflächen

o/r und O/R einerseits und der Versuchsfläche o/R andererseits deutlich. In beiden Monaten wiesen die untersuchten Versuchsflächenbereiche der Versuchsfläche o/R die deutlich höheren metabolischen Koeffizienten auf. Dieser Unterschied war im Bereich geschädigter Rebstöcke dieser Versuchsfläche auch im Monat August zu beobachten. Insgesamt konnten auf den Versuchsflächen o/r und O/R ein sinkender metabolischer Quotient mit fortschreitender Vegetationsperiode beobachtet werden, während auf den untersuchten Varianten der Versuchsfläche o/R zunächst eine Erniedrigung des metabolischen Quotienten, im Oktober aber eine erneute Zunahme festgestellt wurde.

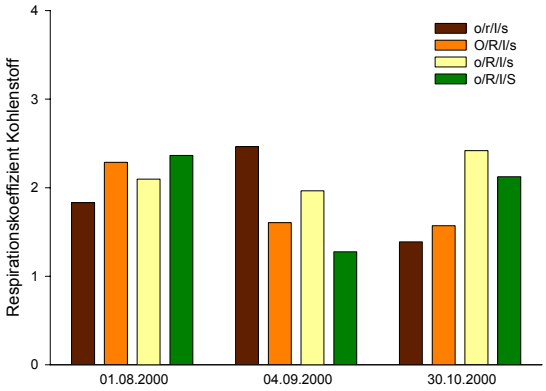


Abb. 3-20: Respirationskoeffizient Kohlenstoff der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten August, September und Oktober.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

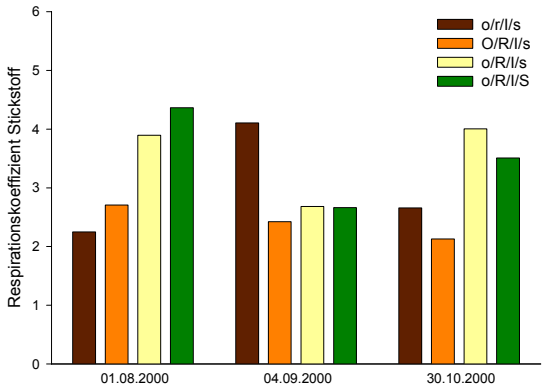


Abb. 3-21: Respirationskoeffizient Stickstoff der im Jahr 2000 untersuchten Bodenproben der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, in den Monaten August, September und Oktober.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Wie bereits beim metabolischen Quotienten festgestellt, so unterschieden sich auch die Respirationskoeffizienten bei Zufuhr einer Kohlenstoff- bzw. Stickstoffquelle in die Böden der Versuchsflächen (Abb. 3-20, 3-21). Im Falle des Respirationskoeffizienten Kohlenstoff traten deutliche Unterschiede in den Monaten September und Oktober hervor. Im Monat September ist hier vor allem der vergleichsweise hohe Wert auf der Versuchsfläche o/r, im Monat Oktober die der untersuchten Bereiche der Versuchsfläche o/R zu nennen. Hinsichtlich des Respirationskoeffizienten Stickstoff waren die Unterschiede vor allem in den Monaten August und Oktober sehr viel deutlicher. Während die Versuchsflächen o/r und O/R in diesen Monaten annähernd gleich gerin-

ge Respirationskoeffizienten aufwiesen, waren die Werte in den Böden der untersuchten Versuchsflächenbereiche der Versuchsfläche o/R deutlich erhöht.

3.2.1.7 Nematodenzönosen

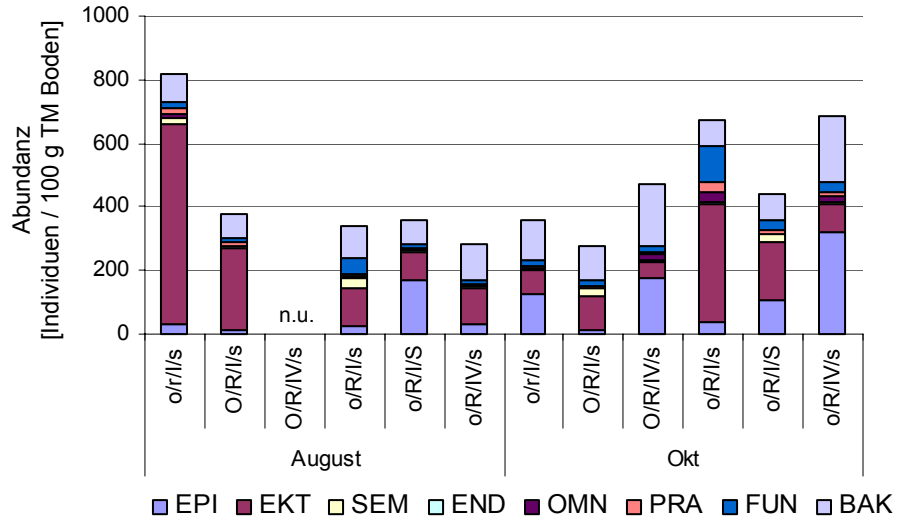


Abb. 3-22: Abundanz [Individuen / 100 g TM Boden] der trophischen Gruppen der Nematoda der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, sowie der Düngevariante IV der Versuchsfläche o/R der Monate August und Oktober und der Versuchsfläche O/R im Monat Oktober im Jahr 2000.
BAK: Bakterivore; EKT: Ektoparasiten; END: Endoparsiten; EPI: Epidermis- und Wurzelhaarfresser; FUN: Fungivore; OMN: Omnivore; PRA: Praedatoren; SEM: Semiendoparasiten. Vorkommen der identifizierten Familien siehe Tab. 7-24.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3. n.u. = nicht untersucht.

Um weitere Hinweise auf Unterschiede der Böden der Versuchsflächen bzw. der Auswirkungen der Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen zu erhalten, wurde die Zusammensetzung der Nematodenzönosen basierend auf trophischen Gruppen bzw. der Abundanz der Nematodenfamilien untersucht (Abb. 3-22, Tab. 7-24). Es zeigten sich dabei sowohl Unterschiede in der Gesamtabundanz als auch in der Zusammensetzung der Nematodenzönosen. Nachfolgend sollen einige der vorgefundenen Unterschiede näher beschrieben werden. Im Monat August war vor allem die hohe Gesamtabundanz sowie der hohe Anteil an Ektoparasiten auf der Versuchsfläche o/r auffallend. Beides lies sich auf das stark erhöhte Vorkommen der Familie der Paratylenchidae mit annähernd 64 % an der Gesamtabundanz im Boden dieser Versuchsfläche zurückführen. Auch die Versuchsfläche O/R zeigte im Vergleich zur Versuchsfläche o/R einen höheren Anteil an Ektoparasiten. Im Gegensatz zur Versuchsfläche o/r stellten hier aber die Arten der Dolichodoridae einen höheren Anteil an der Geamtabundanz (56,5 %). Der deutlich höchste Anteil an Wurzelhaar- und Epidermisfressern war in diesem Monat auf der Versuchsfläche o/R im Bereich mit geschädigten Rebstöcken

zu beobachten. Die einzige Familie dieser trophischen Gruppe war die der Tylenchidae, welche mit 47,8 % auch einen sehr hohen Anteil an der Gesamtabundanz ausmachte. Auf den Vergleichsflächen o/r und O/R war der Anteil dieser Familie an der Gesamtabundanz mit 3,5 (o/r) und 4,1 (O/R) viel geringer. Hinsichtlich des Vorkommens von bakterivoren und fungivoren Nematodenfamilien waren die Unterschiede zwischen den Versuchsflächen in diesem Monat wesentlich geringer. Mit einem Anteil von 10 % an der Gesamtabundanz war die Abundanz der Semiendoparasiten aus der Familie der Haplolaimidae im Boden des Bereiches ungeschädigter Rebstöcke der Versuchsfläche o/R im August vergleichsweise hoch (o/r: 2,1 %; O/R: 2,6 %; o/R/I/S: 0,9 %; o/R/IV/s: 1,6 %). Ein vollständig anderes Bild zeigte die Beprobung im Oktober. Bei dieser Probenentnahme wurden die höchsten Gesamtabundanzen auf den Versuchsvarianten o/R/I/s und o/R/IV/s gemessen. Die Anteile der trophischen Gruppen unterschieden sich bei diesen beiden Varianten aber stark. Während die Variante o/R/I/s auch im Vergleich zu anderen Versuchsvarianten bzw. Versuchsflächen einen deutlich höheren Anteil an Ektoparasiten vor allem aus der Familie der Paratylenchidae (37,8 %) aufwies, konnte auf der Versuchsvariante o/R/IV/s ein hoher Anteil an Epidermis- und Wurzelhaarfressern beobachtet werden. Auf dieser Variante betrug der Anteil der einzigen Familie dieser Trophiegruppe (Tylenchidae) 46,6 %. Einen ebenfalls vergleichsweise hohen Anteil dieser Familie an der Gesamtabundanz wiesen die Versuchsfläche o/r (36,1 %) und die Düngevariante IV der Versuchsfläche O/R (37,5 %) auf. Insgesamt ähnelten sich die Düngevarianten IV der Versuchsflächen O/R und o/R in ihrem Vorkommen an trophischen Gruppen am stärksten. Auf diesen beiden Düngevarianten konnten auch die höchsten Anteile an bakterivoren Nematodenfamilien festgestellt werden. Die höchste Abundanz an fungivoren Nematoden zeigte sich im Boden des Bereichs mit ungeschädigten Rebstöcken der Versuchsfläche o/R. Vor allem die Familie der Anguinidae trug mit einem Anteil von 6,5 % an der Gesamtabundanz zu der vergleichsweise hohen Abundanz dieser trophischen Gruppe auf dieser Versuchsvariante bei. In den Böden der Vergleichsflächen machte diese Familie maximal 1,3 % der Gesamtabundanz aus. Dies wird auch durch die Werte des f/b-Quotienten (Fungivoren/Bakterivoren-Quotient, Abb. 7-3) verdeutlicht. Wie aus dieser Abbildung hervorgeht, lag auf der Versuchsfläche o/R sowohl im Monat August als auch im Monat September ein hohes, von den Werten der Vergleichsflächen abweichendes f/b-Verhältnis vor. Alle anderen Quotienten ähneln sich stark, sowohl innerhalb als auch im Vergleich der Probennahmetermine.

3.2.1.8 Leistungs- und Ertragsdaten der Rebstöcke

Um den Einfluss der Düngung bzw. der Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen allgemein auf den Rebwuchs feststellen zu können, wurden von den Rebstöcken der Versuchsflächen O/R und o/R im Jahr 2000 verschiedene Leistungs- und Ertragsparameter erhoben. Diese Untersuchungen wurden aufgrund der festgestellten teilweise erheblichen Differenzen zwischen den Düngevarianten auf der Versuchsfläche o/R in den Folgejahren fortgeführt. Auf der Versuchsfläche O/R wurde im Jahr 2003 zusätzlich die Düngevariante I untersucht, um einen Hinweis auf die Auswirkungen der extremen Klimabedingungen dieser Vegetationsperiode im Vergleich zur Versuchsfläche o/R zu erhalten.

Tab. 3-11: Leistungs- und Ertragsdaten (Mittelwert und Standardabweichung) der Rebstöcke der Versuchsfläche O/R, Düngevarianten I bis IV im Jahr 2000, sowie der Düngevariante I im Jahr 2003.
Korrespondierende Buchstaben hinter den Werteangaben stehen für signifikante Unterschiede zwischen den Düngevarianten eines Beprobungstermins (Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-25).
Vv = Versuchsvariante; Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Jahr	Vv	Stockertrag [kg]	100-Beeren-gewicht [g]	Brix	°Oechsle	pH
2000	O/R/I	6,3 +/- 1,7	158,1 +/- 11,0	17,1 +/- 1,1 c	71,7 +/- 4,4 c	2,9 +/- 0,1 c
	O/R/II	6,2 +/- 1,2	158,1 +/- 9,7	16,7 +/- 0,6 d	70,6 +/- 2,4 d	2,9 +/- 0,1 c
	O/R/III	7,1 +/- 1,7	159,3 +/- 12,0	16,4 +/- 0,6 a, d	68,7 +/- 3,7 a, d	3,0 +/- 0,0 a, b, d
	O/R/IV	6,1 +/- 1,1	157,8 +/- 8,9	17,3 +/- 0,6 b, c	73,1 +/- 2,4 b, c	2,9 +/- 0,1 c
2003	O/R/I	4,1 +/- 1,3	137,8 +/- 19	19,3 +/- 1,5	81,7 +/- 6,5	3,0 +/- 0,1

Wie die Ergebnisse der Versuchsfläche O/R im Jahr 2000 zeigen (Tab. 3-11, 7-25), wiesen die Rebstöcke der einzelnen Versuchsvarianten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Stockertrags oder des 100-Beerengewichts auf. Signifikante Unterschiede konnten zwischen den Versuchsvarianten nur hinsichtlich der Parameter Brix bzw. °Oechsle und dem pH-Wert des Mostes festgestellt werden. Die Parameter Brix und °Oechsle unterschieden sich zwischen der Düngevariante IV mit den höchsten Werten signifikant von den Varianten II und III. Außerdem unterschied sich die Versuchsvariante I signifikant von der Variante III. Beim pH-Wert unterschied sich die Versuchsvariante III signifikant von allen anderen Düngevarianten dieser Versuchsfläche. Die besonderen Klimaverhältnisse der Vegetationsperiode 2003 führten einerseits zu einem deutlich höheren Zuckergehalt (°Oechsle bzw. Brix), andererseits aber zu einer deutlichen Reduktion des mittleren Stockertrags und des 100-Beerengewichts. Auch auf der Versuchsfläche o/R konnten beim Stockertrag im Jahr 2000 keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten festgestellt werden. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass sich die Rebstöcke innerhalb der Versuchsvarianten

Tab. 3-12: Leistungs- und Ertragsdaten (Mittelwert und Standardabweichung) der Rebstöcke der Versuchsfläche o/R, Düngevarianten I bis IV in den Jahren 2000 bis 2004.
Korrespondierende Buchstaben hinter den Werteangaben stehen für signifikante Unterschiede zwischen den Düngevarianten eines Beprobungstermins (Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-25).
Vv = Versuchsvariante; Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Jahr	Vv	Stockertrag [kg]	100-Beeren-gewicht [g]	Brix	°Oechsle	pH
2000	o/R/I	7,2 +/- 3,3	166,7 +/- 16,5 c, d	15,7 +/- 1,7	66,1 +/- 7,3	2,9 +/- 0,1 c
	o/R/II	8,3 +/- 3,1	177,9 +/- 20,3	15,7 +/- 1,2	65,9 +/- 5,2	2,9 +/- 0,1 c
	o/R/III	7,2 +/- 3,0	178,5 +/- 18,0 a, d	15,3 +/- 1,0	64,2 +/- 4,2	3,0 +/- 0,0 a, b, d
	o/R/IV	8,2 +/- 2,5	188,7 +/- 17,7 a, c	15,5 +/- 1,5	65,1 +/- 6,3	2,9 +/- 0,1 c
2001	o/R/I	4,0 +/- 2,2 c, d	184,9 +/- 17,6 c, d	16,8 +/- 1,0 b, c, d	70,8 +/- 4,4 b, c, d	2,9 +/- 0,0
	o/R/II	4,8 +/- 2,9 c	192,2 +/- 26,3	15,7 +/- 1,9 a	66,2 +/- 7,9 a	2,9 +/- 0,1
	o/R/III	6,1 +/- 1,9 a	199,3 +/- 21,0 a	15,9 +/- 1,1 a, d	67,0 +/- 4,7 a, d	2,9 +/- 0,0
	o/R/IV	6,5 +/- 2,7 a,b	200,8 +/- 17,3 a	15,4 +/- 1,0 a, c	64,8 +/- 4,3 a, c	2,9 +/- 0,0
2003	o/R/I	2,5 +/- 1,8	142,3 +/- 28,9 c	22,1 +/- 2,2	94,2 +/- 9,8	3,1 +/- 0,1 b
	o/R/II	3,0 +/- 1,5	158,0 +/- 28,4	23,0 +/- 1,6 c	98,2 +/- 7,3 c	3,2 +/- 0,1 a, d
	o/R/III	3,7 +/- 2,3	162,9 +/- 22,6 a	22,0 +/- 1,7 b	93,5 +/- 7,5 b	3,1 +/- 0,1
	o/R/IV	3,1 +/- 1,8	157,0 +/- 30,6	22,6 +/- 2,1	96,4 +/- 9,1	3,1 +/- 0,1 b
2004	o/R/I	4,7 +/- 1,9	123,5 +/- 12,3	17,1 +/- 1,4 b	71,2 +/- 5,8	2,8 +/- 0,0 c
	o/R/II	5,4 +/- 2,1	120,8 +/- 7,2	15,7 +/- 1,5 a	65,9 +/- 6,2	2,8 +/- 0,0 c
	o/R/III	5,5 +/- 3,4	119,0 +/- 19,6	16,0 +/- 2,1	67,2 +/- 8,8	2,9 +/- 0,0 a, b, d
	o/R/IV	6,1 +/- 2,3	122,5 +/- 11,4	16,2 +/- 1,7	68,3 +/- 7,1	2,8 +/- 0,1 c

hinsichtlich des Stockertrags (max. Standardabweichung 3,3 kg) sehr viel stärker unterschieden als die der Versuchsvarianten der Versuchsfläche O/R (max. Standardabweichung 1,7 kg). Im Jahr 2000 konnten auf dieser Fläche im Gegensatz zur Versuchsfläche O/R hohe Unterschiede im mittleren 100-Beerengewicht zwischen den Versuchsvarianten festgestellt werden. Dabei wurden die höchsten Werte auf der Versuchsvariante IV gemessen, welche sich signifikant von den Versuchsvarianten I und III unterschied. Das geringste 100-Beerengewicht wies die Versuchsvariante I auf, was sie auch signifikant von der Versuchsvariante III unterschied. Signifikante Unterschiede in den Zuckergehalten konnten auf dieser Fläche im Jahr 2000 nicht festgestellt werden. Lediglich der pH-Wert des Mostes der Versuchsvarianten III unterschied sich wie bei der Versuchsfläche O/R signifikant von dem der Vergleichsvarianten. In den Folgejahren nahm der Stockertrag auf allen Varianten dieser Versuchsfläche ab, wobei die Rebstöcke besonders im Jahr 2003 sehr geringe Stockerträge aufwiesen. Die Anlage des Düngemittelkreuzversuchs im Jahr 2003 führte nicht zu einer signifikanten Veränderung der Stockerträge zwischen den Versuchsvarianten. Während im Jahr 2001 auch Unterschiede im Zuckergehalt zwischen den Versuchsvarianten festgestellt werden konnten, wobei besonders die vergleichsweise hohen Werte auf der Versuchsvariante I hervorzuheben sind, konnten in den Folgejahren hinsichtlich der Zu-

ckergehalte nur vereinzelt signifikante Unterschiede beobachtet werden. Dahingegen zeigten sich in der Vegetationsperiode 2001 keine signifikanten Unterschiede im pH-Wert des Mosts. Im Jahr 2003 konnte der höchste pH-Wert auf der im Frühjahr desselben Jahres mit Fichtensägemehl behandelten Versuchsvariante II gemessen werden. Ein signifikanter Unterschied bestand zu den Versuchsvarianten I und IV. Im Folgejahr wies wie im Jahr 2000 die Versuchsvariante III, welche im Vorjahr mit Stallmist gedüngt wurde, den signifikant höchsten pH-Wert auf.

3.2.2 Gewächshausversuch zur Pathogensuppressivität und -konduktivität der Böden der Versuchsflächen

Um weitere Hinweise auf den Einfluss der Böden der Versuchsflächen, bzw. den Einfluss der Mikroorganismen in den Böden der Versuchsflächen auf das Wachstum der Reben zu erhalten, wurde im Jahr 2000 ein Gewächshausversuch durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Versuchs sind in Abb. 3-23, Tab. 7-26 und Tafel 7-3 dargestellt. Die Ergebnisse der in Einheitserde gepflanzten Rebstöcke ohne Inokulat zeig-

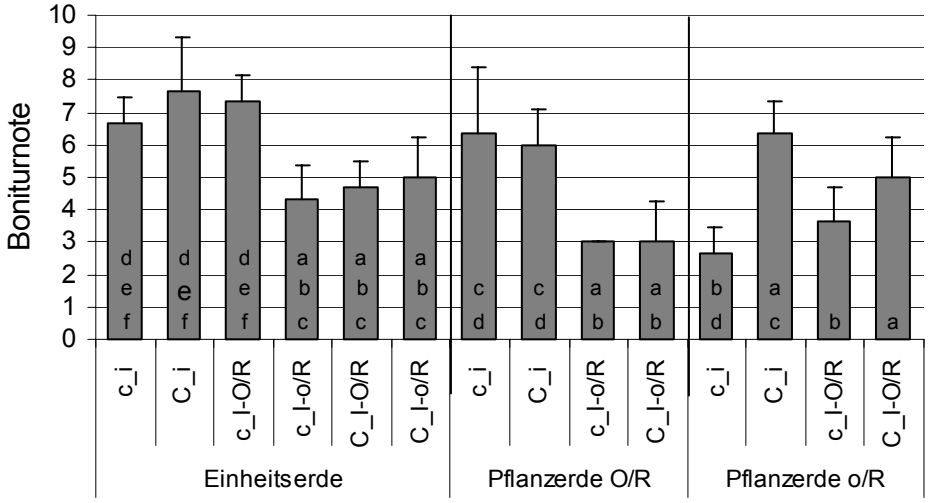


Abb. 3-23: Ergebnisse der Rebwuchsbonituren (Mittelwert und Standardabweichung) des Gewächshausversuches zur Pathogenkonduktivität und -suppressivität der Böden der Versuchsflächen O/R und o/R.
C: Boden erhitzt; c: Boden nicht erhitzt; I: inokuliert mit Bodensuspension; i: nicht inokuliert mit Bodensuspension; -O/R: Suspension des Bodens der intensiv, primär auf der Zufuhr organischer Substanz basierend bewirtschafteten Versuchsfläche; -o/R: Suspension des Bodens der extensiv, primär auf der Zufuhr von Mineraldüngern basierend bewirtschafteten Versuchsfläche; Pflanzerde O/R: Boden der intensiv, primär auf der Zufuhr organischer Substanz basierend bewirtschafteten Versuchsfläche; o/R: Boden der extensiv, primär auf der Zufuhr von Mineraldüngern basierend bewirtschafteten Versuchsfläche.
Korespondierende Buchstaben an den Wertesäulen stehen für signifikante Unterschiede zwischen den Vergleichsvarianten einer Pflanzerdenvariante (Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-26).

ten dabei einen signifikant besseren Wuchs, gleichgültig ob die Pflanzerde vor der Pflanzung erhitzt wurde oder nicht. Eine Ausnahme bildet die Versuchsvariante, bei welcher ohne vorheriges Erhitzen der Pflanzerde eine Suspension des Bodens der Versuchsfläche O/R zugegeben wurde. Die Reben dieser Versuchsvariante zeigten ebenso wie die Reben ohne Zugabe einer Bodensuspension einen signifikant besseren Wuchs als die Reben, deren Pflanzerde mit Bodensuspensionen inokuliert wurde. Wurde als Pflanzerde Boden der Versuchsfläche O/R verwendet, zeigte sich kein Unterschied im Wuchs der Reben in nicht erhitzter oder erhitzter Pflanzerde. Der mittlere Wuchs war etwas geringer im Vergleich zu dem der Rebstöcke in Einheitserde. Die Inokulation der Pflanzerde mit Bodensuspension der Versuchsfläche o/R führte sowohl bei zuvor erhitzter als auch nicht erhitzter Pflanzerde zu einem signifikant schlechteren Wuchs der Rebstöcke. Im Falle der von der Versuchsfläche o/R entnommenen Pflanzerde konnte ein signifikant besserer Wuchs der Reben nach Erhitzung des Bodens im Vergleich zur nicht erhitzten Kontrolle beobachtet werden. Der mittlere Wuchs der Reben in nicht erhitzter Pflanzerde der Versuchsfläche o/R ähnelte dabei dem der Reben, welche in von der Versuchsfläche O/R stammenden Boden gepflanzt und zusätzlich mit einer Bodensuspension der Versuchsfläche o/R inokuliert wurden. Die Inokulation der o/R-Pflanzerde mit Bodensuspension der Versuchsfläche O/R führte sowohl bei der Versuchsvarianten, bei der die Pflanzerde vor Zugabe der Suspension erhitzt wurde als auch bei der nicht erhitzten Variante zu einer Verbesserung des Rebwuchses im Vergleich zur nicht erhitzten Variante ohne Bodensuspension. Allerdings war der Unterschied im Falle der Variante c_I-O/R nicht signifikant. Ebenfalls nicht signifikant war der Unterschied des Rebwuchses der Varianten C_I-O/R und C_i, dennoch war der Wuchs der Rebstöcke der letztgenannten Variante besser als der der Variante C_I-O/R.

3.3 Morphologie und Ökologie von *Sorosphaea viticola* Kirchmair, Neuhauser, Huber

3.3.1 Morphologie

Das zur Beschreibung des Holotypus (Beleg: IB 2003 0001) verwendete Untersuchungsmaterial stammte aus Wurzeln von Unterlagsreben der Sorte SO 4 (*V. berlandieri* x *V. riparia*) einer kommerziell genutzten Rebfläche im Weinanbaugebiet Rheingau, Gemarkung Kiedrich, Deutschland (leg. et det. Huber, Hammes, Kirchmair, 6. Mai 2003, IB 2003/0001). Die Entnahme des Materials erfolgte im Juni 2000, die Entdeckung der Art im Jahr 2002. Auf Basis des untersuchten Materials erfolgte die Erstbeschreibung der Art als: *Sorosphaera viticola* Kirchmair, Neuhauser, Huber (KIRCHMAIR et al. 2005a). Das Epitheton der Art verweist auf die Wirtsgattung (lat.*: viticolus*, den Weinstock bewohnend). Als Bildmaterial wurden im Folgenden auch Exemplare anderer Herkunft verwendet (Tab. 3-13).

Tab. 3-13: Vorkommen von *S. viticola* in Wurzeln von Wild- und Ertragsreben

Land	Ort	Wirt	Pflanzjahr / Alter des Rebstocks	Nachweis *S. viticola* (Jahr des Erstfundes, Sammler und Bestimmer, Belegnummer)
Deutschland	Geisenheim	*V. berlandieri* x *V. riparia*	1989	2000; leg. et det. Huber, Scholz; IB 2004/0300
	Geisenheim	*V. berlandieri* x *V. riparia*	1989	kein Belegexemplar
	Kiedrich	*V. berlandieri* x *V. riparia*	1994	2003; leg. et det. Huber, Hammes, Kirchmair; IB 2003/0001
	Dackenheim	*V. berlandieri* x *V. riparia*	1988	2005; leg. et det. Huber, Hemmerling; MJG-040830
	Wehlen	*V. vinifera*	~1970	2005; leg. et det. Huber, Hemmerling; MJG-040831
Kanada (Ontario)	Balls Falls, Conservation Park Vineland	*V. riparia*	unbekannt	2005; leg. et det. Huber, Hemmerling, Pagay; MJG-040829
	Lakeshore, Niagara-on-the-lake, Lake Ontario	*V. riparia*	unbekannt	2005; leg. et det. Huber, Hemmerling, Pagay; MJG-040828
	Quarry road, Beamsville	*V. riparia*	~ 10 Jahre	2005; leg. et det. Huber, Hemmerling, Pagay; MJG-040827
	Woodend Conservation Area, Niagara Falls	*V. riparia*	~ 10 Jahre	2005; leg. et det. Huber, Hemmerling, Pagay; MJG-040826

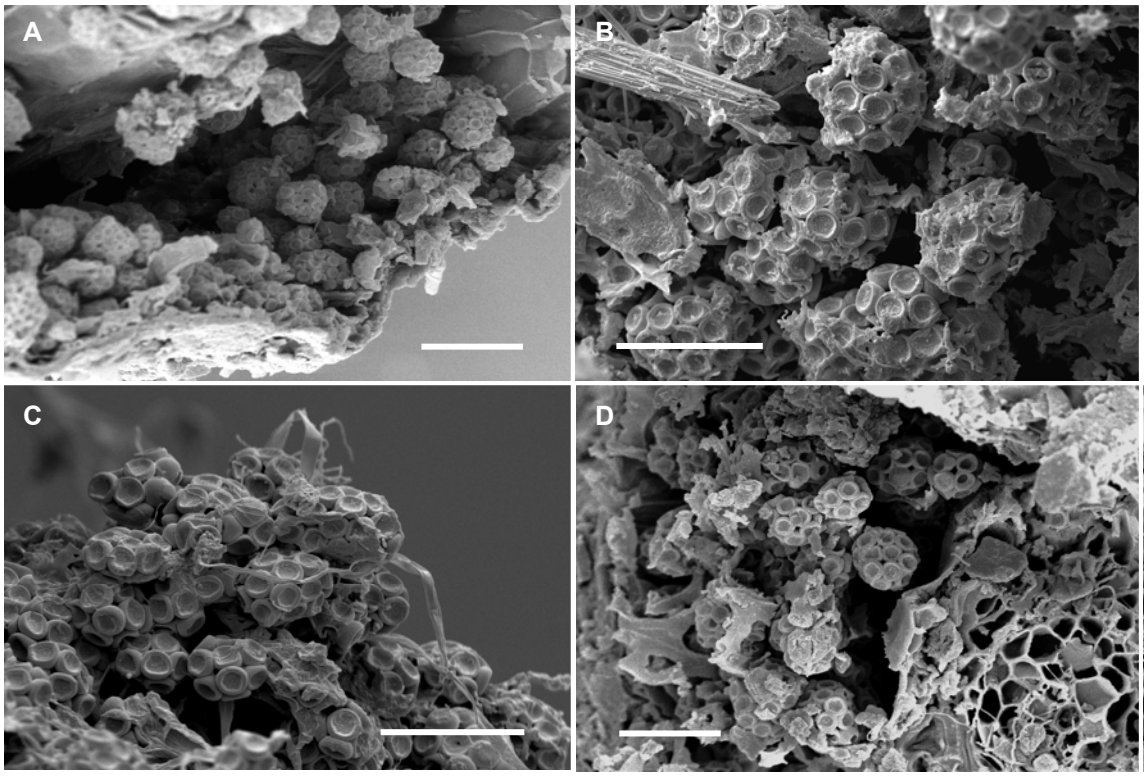
Dauersporen

Im rasterelektronenmikroskopischen Bild waren Dauersporen im Rinden- und Parenchymgewebe infizierter Wurzeln festzustellen (Tafel 3-6 A+B). Der Befall der Wurzeln blieb in allen untersuchten Fällen auf diese Gewebe beschränkt. Auch die in lichtmikroskopischen Schnitten zu beobachtenden, durch *S. viticola* hervorgerufenen Nekrosen (Tafel 3-6 C) drangen nicht bis zum Zentralzylinder vor. Die Dauersporen zeigten eine charakteristische Autofluoreszenz, die allerdings nicht in allen Fällen fest-

zustellen war. So konnten alle Übergänge von starker bis hin zu ausbleibender Autofluoreszenz beobachtet werden (Tafel 3-6 D-G).

Eine Autofluoreszenz zeigten auch die Dauersporen von *S. veronicae* J. Schroeter. Auch in diesem Fall konnte eine verschieden starke Fluoreszenz beobachtet werden (Tafel 3-6 H). Im Fall von *S. veronicae* konnte unterschiedlich starke bzw. keine Fluoreszenz bei Dauersporen aus derselben Sprossgalle festgestellt werden, während sich die Intensität der Autofluoreszenz bei *S. viticola* innerhalb eines Infektionsbereiches nicht unterschied. Unterschiedliches Fluoreszenzverhalten wiesen bei *S. viticola* nur die Dauersporen verschiedener Nekrosebereiche bzw. Wurzelproben auf. Bei der Mehrzahl der Fälle konnte eine starke bis mäßig starke Fluoreszenz festgestellt werden.

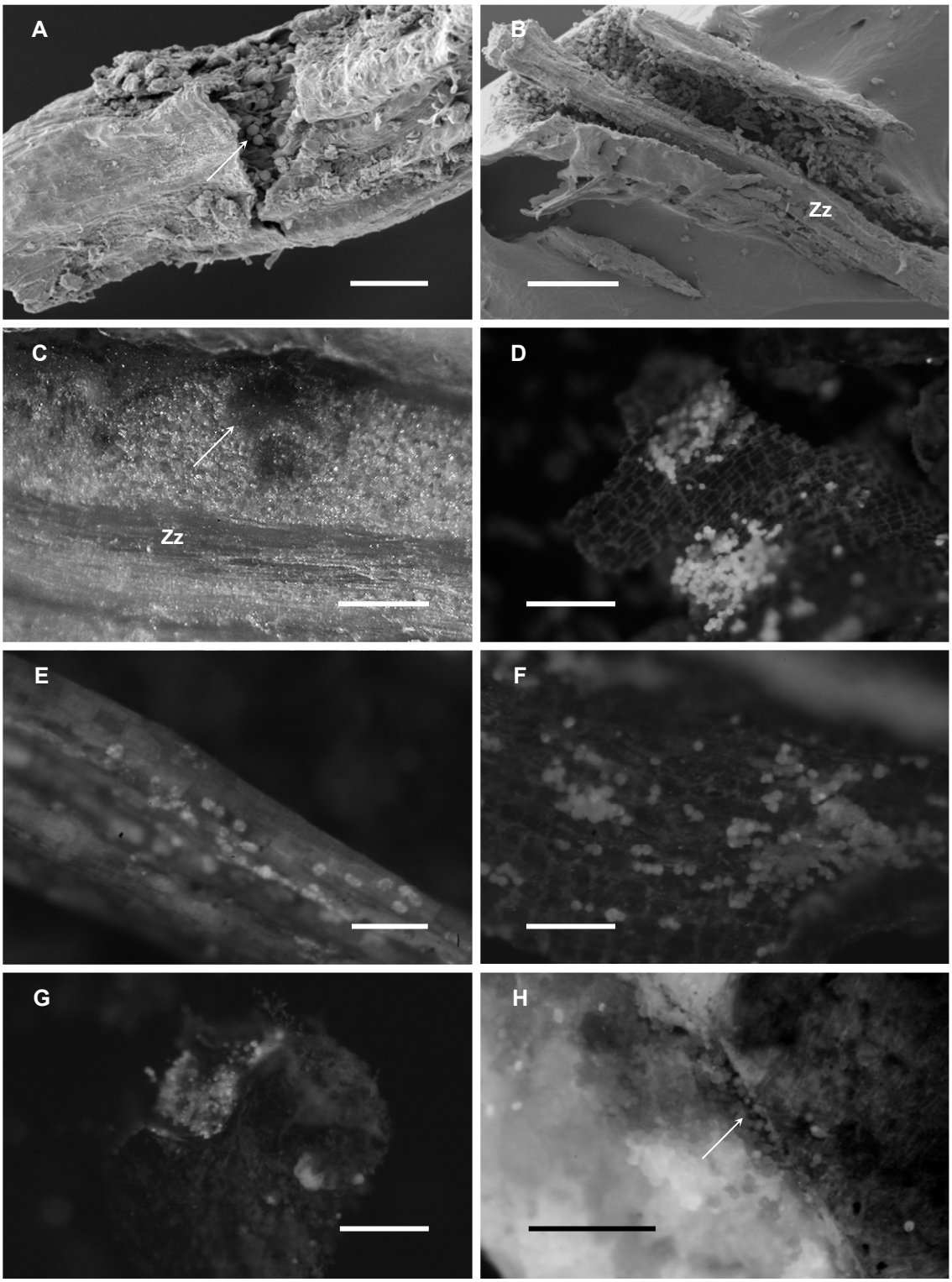
Bei den reifen Dauersporen des Holotypus handelte es sich um dickwandige, napfförmige, in der Aufsicht runde bis leicht kantige Sporen mit einem Durchmesser von 4,4 +/- 0,3 µm und einer Höhe von 2,7 +/- 0,2 µm (n = 31). Identische Formen konnten auch bei den Dauersporen anderer *S. viticola*-Populationen festgestellt werden (Tafel 3-7 A-G). Ein Vergleich der Durchmesser der Dauersporen zwischen Populationen aus Deutschland und Kanada zeigte signifikante Unterschiede (Abb. 3-24). Hierbei unterschieden sich einige der aus Deutschland stammenden Populationen von kanadischen Exemplaren. Signifikante Unterschiede traten aber auch innerhalb den aus Deutschland bzw. aus Kanada stammenden Exemplaren auf. Das aus dem deutschen Weinanbaugebiet Rheingau stammende und zur Beschreibung des Holotypus verwendete Untersuchungsmaterial unterscheidet sich signifikant von den Exemplaren aus den deutschen Weinanbaugebieten Pfalz und Mosel-Saar-Ruwer und der kanadischen Region Querry road bezüglich des Durchmessers der Dauersporen. Die aus den deutschen Anbaugebieten Pfalz und Mosel-Saar-Ruwer stammenden Exemplare unterscheiden sich statistisch signifikant sowohl von den Exemplaren aus Kanada als auch untereinander. Der größte mittlere Dauersporendurchmesser wurde für die aus dem Anbaugebiet Mosel-Saar-Ruwer, der kleinste für die aus dem Anbaugebiet Rheingau stammende *S. viticola*-Population ermittelt. Dabei schwankten die Minima und Maxima der Durchmesser der Dauersporen der verschiedenen Populationen deutlich. Im Falle des Holotyps betrug der Durchmesser der kleinsten Dauerspore 3,94 µm, der der größten 4,85 µm. Nur in den Populationen aus den Anbaugebieten Pfalz und Mosel-Saar-Ruwer wurden mit maximal 4,86 µm und 4,96 µm Durchmesser größere Dauersporen beobachtet. Die bei diesen beiden Populationen festgestellten Minima der Dauersporendurchmesser lagen bei 4,44 µm und 4,63 µm. Die Durchmesser der kleinsten in diesen Populationen gemessenen Dauersporen waren somit um 0,41 µm bzw. 0,22 µm geringer als der Durchmesser der größten Dauerspore des Holotyps.



E

		Herkunft (Belegnr. Herbar)					
		IB 2003 0001	MJG 040826	MJG 040827	MJG 040828	MJG 040830	MJG 040831
	n	31	31	31	31	31	31
	MW	4,38	4,45	4,55	4,49	4,69	4,81
	Stabw	0,26	0,16	0,09	0,07	0,12	0,10
	Min	3,94	4,19	4,38	4,32	4,44	4,63
	Max	4,85	4,77	4,77	4,62	4,86	4,96
		Ergebnisse Mann-Whitney U-Test					
Herkunft (Belegnr. Herbar)	IB 2003 0001	x	0,079569	0,005503	0,157682	0,000006	0,000000
	MJG-040826		x	0,010891	0,191934	0,000000	0,000000
	MJG-040827			x	0,017386	0,000027	0,000000
	MJG-040828				x	0,000001	0,000000
	MJG-040830					x	0,000045

Abb. 3-24: Sporosori von *S. viticola* in den Feinwurzeln von Reben aus Deutschland und Kanada.
A. Belegnummer: IB 2003 0001, Herkunft: Deutschland (Hessen), Wirt: *V. berlandieri* x *V. riparia* (5C). B. Belegnummer: MJG 040830, Herkunft Deutschland (Rheinland-Pfalz), Wirt: *V. berlandieri* x *V. riparia* (5BB) C. Belegnummer: MJG 040826, Herkunft: Kanada (Woodland Conservation Area), Wirt: *V. riparia*. D. Belegnummer: MJG 040828, Herkunft: Kanada (Lakeshore, Niagara-on-the-lake), Wirt: *V. riparia*. E. Ergebnisse (Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum) der Größenbestimmung (Durchmesser) der Sporosori von *S. viticola* verschiedener Herkünfte sowie die Ergebnisse des statistischen Vergleichs (Mann-Whitney U-Test).
Größenbalken: A = 25 µm, B-D = 20 µm.
Belegnummern Herbar und Angaben zur Herkunft siehe Tab. 3-13.



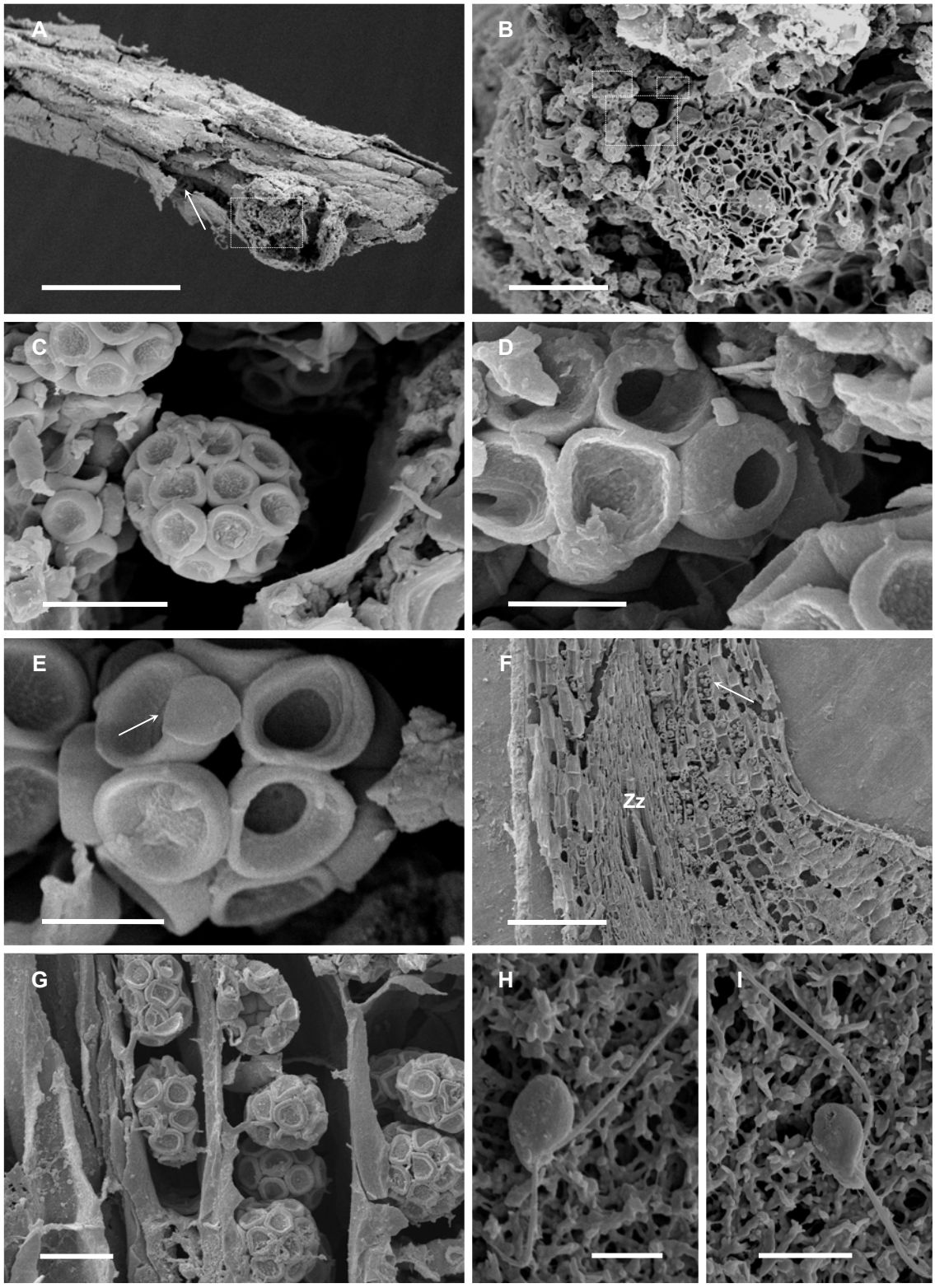
Tafel 3-6: Befall von Pflanzengewebe durch *Sorosphaera* sp.
A. Frischwurzel einer Unterlagsrebe (*V. berlandieri* x *V. riparia*) mit Riss in der Epidermis, darunter Ansammlung von Sporosori (*S. viticola*, Pfeil) im Parenchymgewebe (Herkunft: Deutschland). B. Frischwurzel einer Wildrebe (*V. riparia*) mit Ansammlung von Sporosori (*S. viticola*) im Bereich des Parenchymgewebes (Herkunft: Kanada). C. Nekrotische Stellen (Pfeil) im Bereich einer Infektion mit *S. viticola* einer Frischwurzel von *V. berlandieri* x *V. riparia* (Herkunft Deutschland). D-F. Sporosori von *S. viticola* in Frischwurzeln von *V. berlandieri* x *V. riparia* mit starker (D), geringer (E) und ohne (F) Fluoreszenz (Herkunft Deutschland). G. Sporosori von *S. viticola* in Frischwurzel einer Wildrebe (*V. riparia*) mit starker Fluoreszenz (Herkunft:

Kanada). H. Sporosori von *S. veronicae* in Gallengewebe von *Veronica* sp. mit und ohne (Pfeil) Fluoreszenz (Herkunft Österreich).
Größenbalken: A. 100 µm, B. 200 µm, C. 500 µm, D. 200 µm, E. 100 µm, G. 200 µm, H. 400 µm.
Zz = Zentralzylinder.

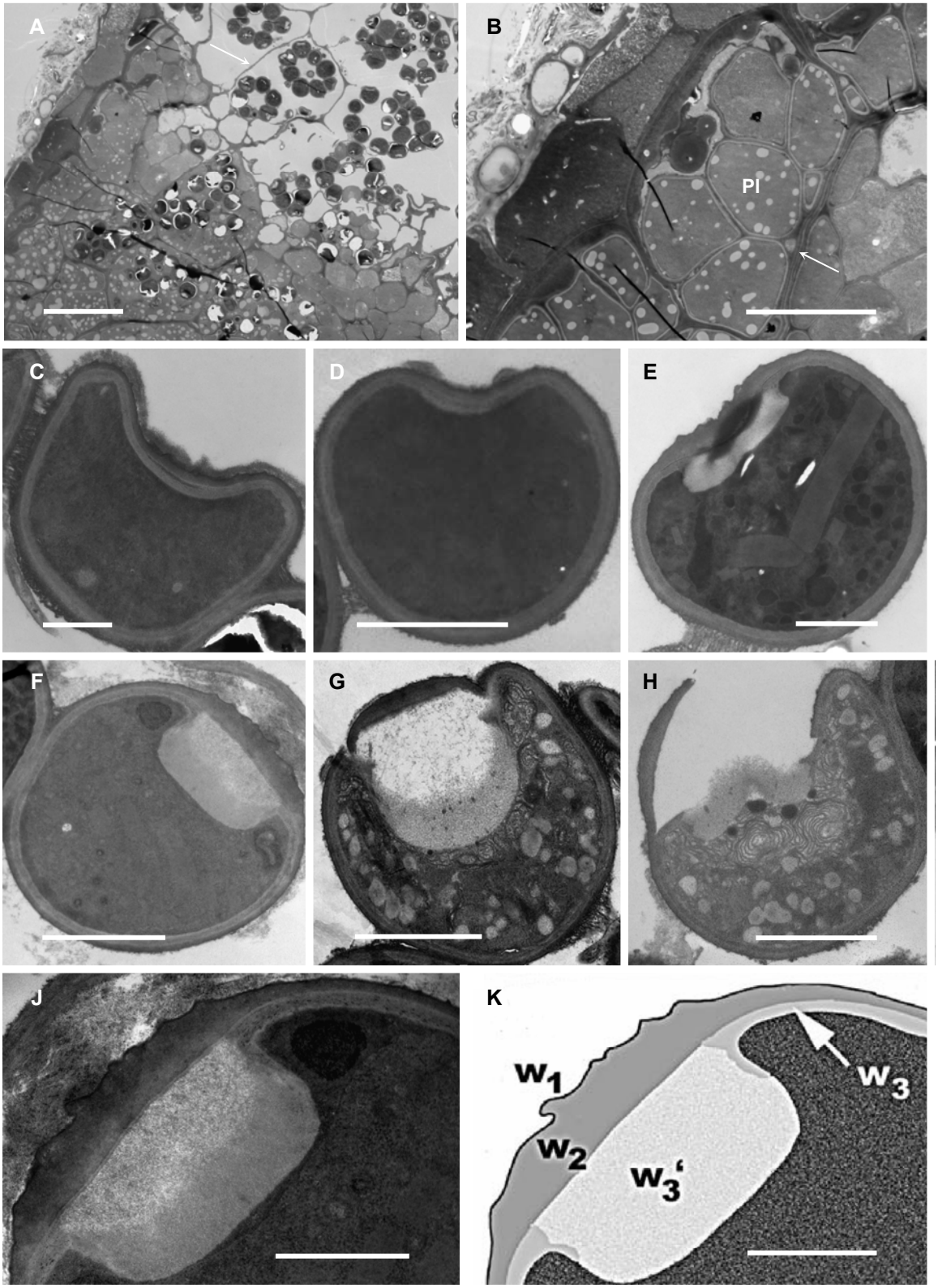
Durch transmissionselektronenmikroskopische Untersuchungen von Wurzel- und Dauersporenmaterial konnten verschiedene Erkenntnisse zum Aufbau der Sporen gewonnen werden (Tafel 3-8). Die Zellwand ist dreischichtig und weist eine Dicke von 200 - 250 nm auf. Die dünne, elektronendichte äußere Schicht (Tafel 3-8 K; w_1) geht in eine extrazelluläre Matrix über, welche die einzelnen Dauersporen eines Sporosorus miteinander verbindet und als Überbleibsel der sporogenen Plasmodien angesehen werden kann. Die mittlere Schicht (w_2) ist im Bereich der Keimpore verdickt. Die innerste elektronendurchlässige Schicht (w_3) wird stellenweise von elektronendichten Ausläufern durchzogen. Im Bereich der Keimpore verdickt sich diese innerste Wandschicht (w_3') während der Reifung der Dauersporen (Tafel 3-8 C-J; Terminologie nach YUKAWA & TANAKA 1979). Mit zunehmendem Reifezustand werden im Inneren der Dauersporen verschiedene Strukturen ausgebildet. Hierzu zählen beispielsweise spiralförmige Membranansammlungen im Bereich um die Keimpore (Tafel 3-8 L+M) sowie im Bereich unter der Keimpore angeordnete Membranstapel, von welchen Vesikel abgeschnürt werden (Tafel 3-8 N+O). In einigen Fällen konnten 2-3 µm große Zellkerne mit deutlich sichtbaren Kernporen beobachtet werden (Tafel 3-8 Q). Mehrere Dauersporen sind zu kugelförmigen bis elliptischen Hohlkugeln, den so genannten Sporosori, zusammengelagert. Die Zahl so verbundener Dauersporen liegt meist zwischen 15 und 30, in manchen Fällen aber auch bei über 50. Die Größen dieser Sporosori betrugen beim Holotyp 13,5 +/- 1,9 µm x 12,2 +/- 1,9 µm (n = 31).

Primäre Zoosporen

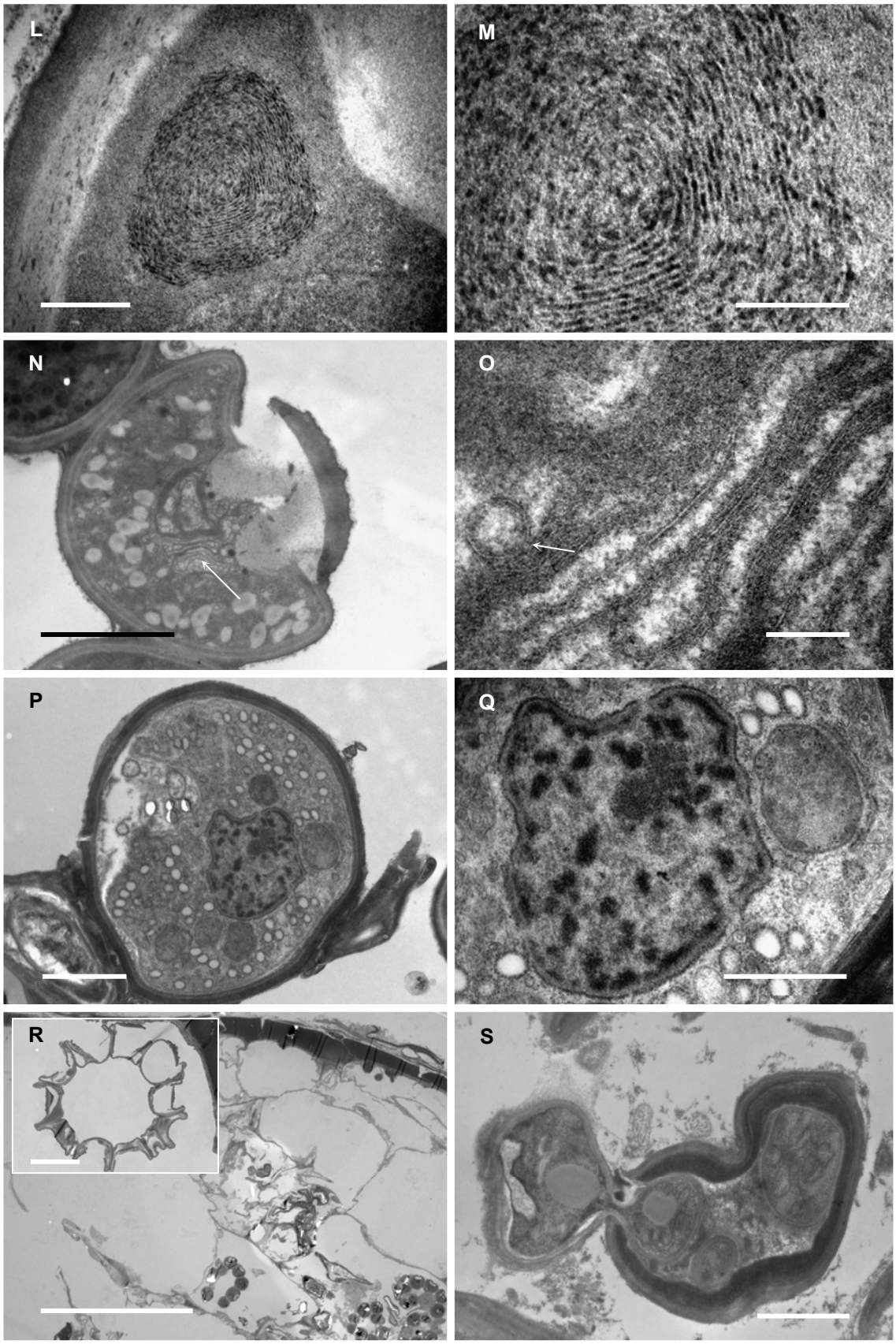
In Zuchtversuchen konnten aus den Dauersporen die primären Zoosporen von *S. viticola* gewonnen werden (Tafel 3-7 H+I). Die primären Zoosporen des Holotyps wiesen eine Größe von 4,0 - 5,2 x 2,7 - 3,3 µm (n = 5) auf. Sie sind biflagellat mit einer langen (10,5 - 11,9 µm), nach hinten ausgestreckten und einer kurzen (6,0 - 8,6 µm) nach vorn ziehenden Flagelle. Lichtmikroskopische Untersuchungen haben gezeigt, dass die Zoosporen sehr beweglich sind und ihre Form von rundlich bis stark länglich veränderbar ist. In wässriger Lösung konnte bei Raumtemperatur eine Lebensdauer von bis zu 36 h ermittelt werden.



Tafel 3-7: Befall von *Vitis* sp. durch *S. viticola*.
A. Befall einer *V. riparia*-Frischwurzel; sowohl die Seiten- als auch die Hauptwurzel (Pfeil) zeigen einen Befall (Herkunft Kanada). B. Ausschnitt aus A. C-E. Ausschnitt aus B; Geschlossene (C) und geöffnete (D+E) Dauersporen; abgelöster und gedrehter Deckel einer Dauerspore (Pfeil, E). F. Schnitt durch die Frischwurzel einer Unterlagsrebe (*V. berlandieri* x *V. riparia*; Herkunft Deutschland) mit Befall des Parenchymgewebes. G. Ausschnitt aus F. H+I. Primäre Zoosporen von *S. viticola*.
Größenbalken: A. 500 µm, B. 50 µm, C. 10 µm, D+E. 4 µm, F. 200 µm, G. 10 µm, H+I. 5 µm. Zz = Zentralzylinder.



Tafel 3-8 Teil A: Ultrastruktur von *S. viticola* (TEM)
Bildbeschreibungen siehe Teil B.
Größenbalken: A. 20 µm, B. 10 µm, C. 1 µm, D. 2 µm, E. 1 µm, F-H. 1 µm.
Pl = Plasmosium, w_1-w_3 = Wandschichten
K. Aus: KIRCHMAIR et al. (2005).



Tafel 3-8 Teil B: Ultrastruktur von *S. viticola* (TEM)
Teil A: A. Schnitt durch das Rinden- und Parenchymgewebe einer Frischwurzel von *V. berlandieri* x *V. riparia* mit Sporosori verschiedener Reifezustände und Plasmodien (siehe Bild B), die Pflanzenzellwände sind noch erhalten (Pfeil). B. Ausschnitt aus A; von den Wirtszellen sind nur noch die Zellwände erhalten (Pfeil), die Zellen

sind mit Plasmodien (Pl) von *S. viticola* erfüllt. C-H. Dauersporen verschiedener Reifestadien. Bei unreifen Dauersporen (C, D) sind im Inneren kaum Strukturen zu erkennen; mit fortschreitender Reifung sind immer mehr Strukturen wie Vesikel, Membranstapel etc. zu erkennen (G, H). J. Vergrößerung von F. K. Schema der Wandschichten mit einer vergleichsweise dünnen Außenschicht (w_1), einer dickeren Mittelschicht (w_2), welche im Bereich der Keimpore eine Verdickung aufweist sowie einer elektronendichten Innenschicht (w_3), welche im Bereich der Keimpore sehr stark verdickt ist (w_3').
Teil B: L. Spiralartig angeordnete Doppelmembranen im Bereich um die Keimpore bei in der Reifung fortgeschrittenen Dauersporen. M. Vergrößerung von L. N. Reife Dauerspore mit sich ablösendem Deckel; im Inneren sind eine Vielzahl von Strukturen wie Membranstapel (Pfeil) zu erkennen. O. Vergrößerung von N; aus den Doppelmembranschichten werden Vesikel abgeschnürt (Pfeil). P. in der Reifung fortgeschrittene Dauerspore mit Zellkern. Q. Vergrößerung von P; In der Kernmembran sind deutlich die Kernporen zu erkennen. R. Bereich einer Frischwurzel von *V. berlandieri* x *V. riaparia* in dem nur noch wenige intakte Dauersporen enthalten sind; aus den meisten Dauersporen sind die Zoosporen bereits freigesetzt, nur die Wandschichten der Dauersporen sind zu erkennen (Vergrößerung). S. Vermutlich eine in der Freisetzung befindliche sekundäre Zoospore.
Größenbalken Teil B: L. 200 nm, M. 100 nm, N. 2 µm, O. 100 nm, P. 2 µm, Q. 1 µm, R. 50 µm, R (Vergrößerung). 5 µm, S. 2 µm.

Sporogene Plasmodien

Es wird angenommen, dass es sich bei den in Tafel 3-8 A+B dargestellten Abbildungen um sporogene Plasmodien handelt. Diese sporogenen Plasmodien sind vielkernig und füllen die Wirtszellen infizierter Bereiche vollständig aus. Sie teilen sich in einkernige Zellen, aus welchen sich die Dauersporen entwickeln.

3.3.2 Geographische Verbreitung und Wirtsspektrum innerhalb der Gattung *Vitis*

Geographische Verbreitung

In Deutschland wurden in den Jahren 2004 bis 2006 Rebwurzeln kommerziell genutzter Rebanlagen in den Weinanbaugebieten Rheingau, Pfalz und Mosel-Saar-Ruwer auf Befall mit *S. viticola* untersucht. Im Anbaugebiet Rheingau konnte in zwei von drei untersuchten Rebanlagen ein Befall der Rebwurzeln mit *S. viticola* nachgewiesen werden. Im Anbaugebiet Pfalz wurde eine zufällig ausgewählte Fläche untersucht und es konnte ebenfalls eine *S. viticola*-Infektion der Wurzeln festgestellt werden. Von drei im Anbaugebiet Mosel-Saar-Ruwer untersuchten, zufällig ausgewählten, Rebflächen wiesen die Rebwurzeln auf zwei Flächen einen Befall mit *S. viticola* auf.

In zehn Wurzelproben aus dem österreichischen Anbaugebiet Weinviertel konnten im Jahr 2006 keine Infektionen der Wurzeln nachgewiesen werden.

Aus Nordamerika (Ontario, Kanada) wurden im Jahr 2005 Wurzelproben verschiedener Wildreben (*V. riparia*) aus vier Regionen untersucht. In allen vier Gebieten

konnten Rebwurzeln mit *S. viticola*-Infektionen festgestellt werden. Dies ist der erste Nachweis von *S. viticola* in Nordamerika.

Wirtsspektrum

Im Rahmen der bislang durchgeführten Untersuchungen konnten Infektionen an Wurzeln von *V. riparia* (Kanada, Wildreben), Kreuzungen von *V. berlandieri* x *V. riparia* (Unterlagssorten SO4, 5BB und 5C; Deutschland, Ertragsflächen) und *V. vinifera* (Deutschland, Ertragsfläche) nachgewiesen werden.

Bodenarten

Die Böden der Rebflächen mit *S. viticola*-Vorkommen in den Anbaugebieten Rheingau und Pfalz wiesen einen hohen Anteil von Lehm und hohe Wasserhaltekapazitäten auf; dies gilt auch für die negativ getestete Fläche im Anbaugebiet Rheingau (ausführliche Beschreibung der Bodenarten der Ertragsrebflächen im Anbaugebiet Rheingau siehe Kap. 2.3.1.2 und 2.6). Bei den Flächen des Anbaugebietes Mosel-Saar-Ruwer ohne Wurzelinfektionen mit *S. viticola* handelt es sich um Schieferböden in Steillagen mit sehr geringen Wasserhaltekapazitäten. Die positiv getestete Fläche dieses Anbaugebiets weist einen für diese Region seltenen sandigen Lehmboden auf, welcher aufgrund der Lage am Ufer der Mosel und dem damit verbundenen hohen Grundwasserspiegel für längere Zeit im Jahr sehr feucht ist.

Die Böden der untersuchten kanadischen Standorte zeichnen sich durch hohe Bodenwasserhaltekapazitäten aus und weisen in einigen Fällen Staunässe auf. Die Böden des Standorts Querry Road, Beamsville bestehen aus so genannten Halton-Mergel (SHAW 2005). Sie haben eine geringe Wasserdurchlässigkeit und hohe Wasserhaltekapazitäten (KINGSTON & PRESANT 1989). Die Böden sind aufgrund schwebender Grundwasserspiegel über lange Perioden im Jahr sehr feucht und neigen zur Verdichtung. Der Standort Woodend Conservation Area, Niagara Falls liegt in der physiographischen Region Lake Iroquois Bench. Bei den Böden dieser Region handelt es sich um Lehmböden mit Tonschiefer im Untergrund (SHAW 2005) mit sehr geringer Wasserdurchlässigkeit und hohen Wasserhaltekapazitäten. Aufgrund des schnellen Ablaufs des Oberflächenwassers kann es zu Trockenstress bei Pflanzen kommen. Dieser Standort liegt innerhalb eines Naturschutzgebietes; Agrarwirtschaft wird dort nicht betrieben. Die Böden des Standortes Balls Falls Conservation Park, Vineland sind aufgrund des hohen Grundwasserspiegels den größten Teil des Jahres sehr feucht (KINGSTON & PRESANT 1989). Der Oberbodenhorizont ist mächtig und weist einen hohen Gehalt an organischer Bodensubstanz auf. Aufgrund der häufigen Überflutungen sind die Böden für die Agrarwirtschaft von geringem Nutzen. Im Bereich des

Standorts Lakeshore, Niagara-on-the-Lake, Ontario wird großflächig Landwirtschaft, vor allem Obstanbau der Kulturen Pfirsich, Birne, Apfel und Weinbau betrieben. Die Böden bestehen im Untergrund aus Tonschiefer mit darüber liegendem feinem bis sehr feinem sandigen Lehm. Die Wasserdurchlässigkeit reicht von hoch bei sandig-lehmigen Böden bis gering bei schluffigen lehmigen Mergelböden.

3.3.3 Häufigkeit und Verteilung in Pfropfrebenanlagen

In allen der 400 entnommenen Bodenproben konnten Rebwurzeln festgestellt werden. Das Wurzeltrockenvolumen der einzelnen Rebstöcke lag dabei zwischen 2 ml und 15 ml.

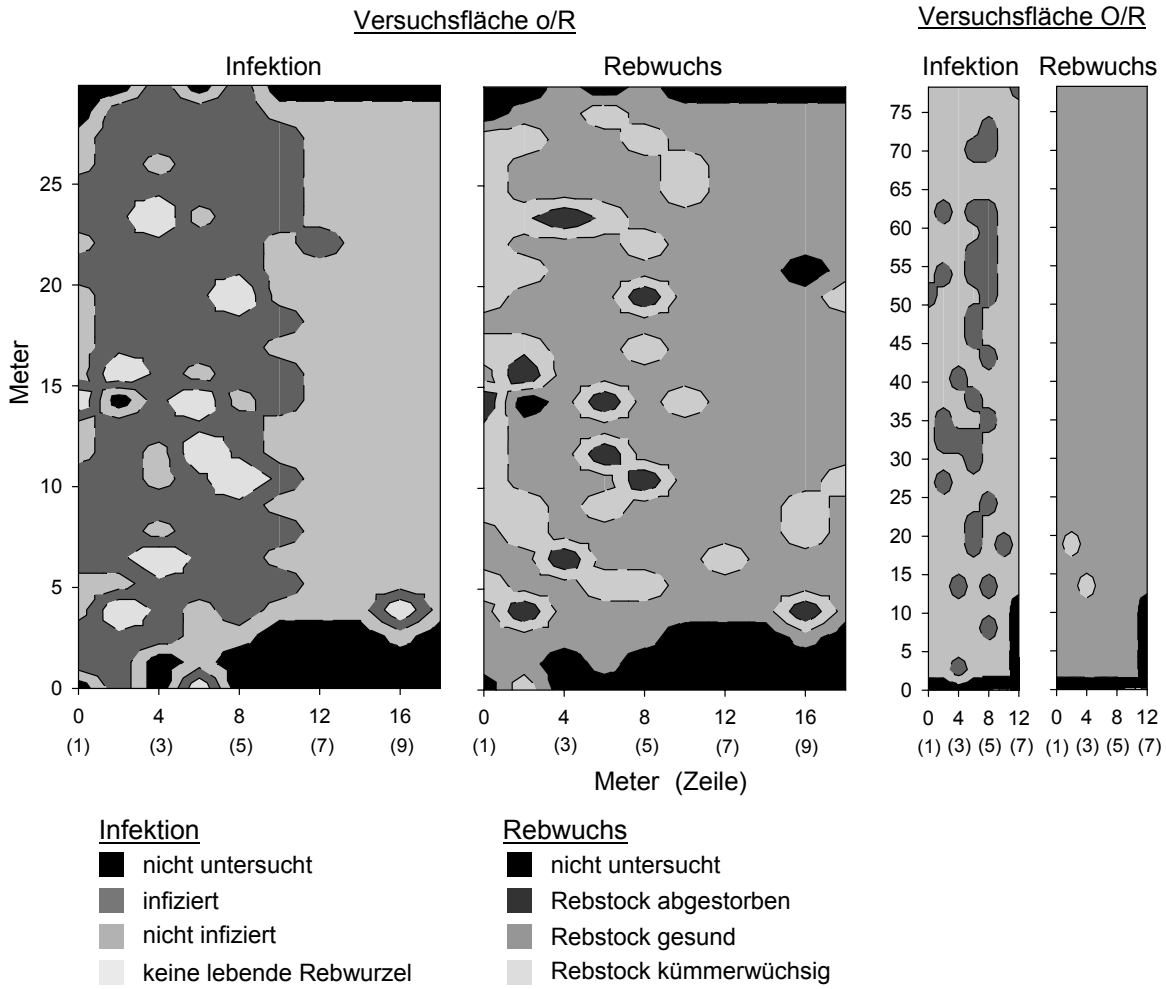


Abb. 3-25: Vorkommen von *S. viticola* in Rebwurzeln und Wuchs der untersuchten Rebstöcke auf den Versuchsflächen o/R und O/R (linear interpoliert) im September 2004.
Zeilennummer in Klammern; n (Versuchsfläche) = 200
Abkürzungen siehe Tab. 2-3

Auf der konventionell bewirtschafteten Versuchsfläche o/R waren die Wurzeln von insgesamt 44 % der 200 untersuchten Rebstöcke mit *S. viticola* infiziert. Die Be-

fallshäufigkeiten je Rebzeile variierten dabei zwischen 0 und 95 %. Die meisten infizierten Rebstöcke konnten in den Rebzeilen 2 bis 5 festgestellt werden (Abb. 3-25, Tab. 3-14). Hier lagen die Befallshäufigkeiten zwischen 75 und 95 %. In beiden an diese Rebzeilen angrenzenden Pflanzreihen waren nur 45 - 50 % der Rebstöcke befallen. In der Rebzeile 7 wurde eine Infektion mit *S. viticola* nur bei 5 Rebstöcken nachgewiesen. In den folgenden Rebzeilen 8 bis 10 war kein Rebstock infiziert.

Tab 3-14: Mit *S. viticola* befallene Rebstöcke [%] je Rebzeile auf den Versuchsflächen o/R und O/R im September 2004.
n(Versuchsfläche) = 200.
Versuchsflächenbezeichnung siehe Tab. 2-3; n.u. = nicht untersucht.

Versuchs-fläche	Zeile	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
o/R	n	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	positiv [%]	45	95	80	75	90	50	5	0	0	0
O/R	n	29	29	29	29	29	30	25	n.u.	n.u.	n.u.
	positiv [%]	3	17	17	38	41	7	4	n.u.	n.u.	n.u.

Auf der organisch bewirtschafteten Versuchsfläche O/R waren insgesamt nur 18,5 % der 200 untersuchten Rebstöcke infiziert. In allen untersuchten Rebzeilen konnten infizierte Rebstöcke nachgewiesen werden, wobei die Befallshäufigkeit je Zeile zwischen 3 % und 41 % lag. Die größten Befallshäufigkeiten wurden mit 38 % und 41 % in den Rebzeilen 4 und 5 festgestellt. In den angrenzenden Zeilen sanken die Befallshäufig auf 17 % bis 3 % ab.

Um die Probenahme- und Untersuchungsmethode zu überprüfen, wurden von den negativ bewerteten Proben 18 Proben zufällig ausgewählt und das Gesamtwurzelvolumen erneut auf *S. viticola*-Befall untersucht. Sechs dieser Proben stammten aus dem Bereich der Versuchsfläche o/R, in dem zuvor keine Infektion der Wurzeln festgestellt werden konnte. Auch bei der Untersuchung des gesamten aus den Bodenproben entnommenen Wurzelvolumens (5 - 12 ml) konnte keine weitere Infektion festgestellt werden. Von den 12 negativ getesteten Proben aus den Bereichen der Flächen mit *S. viticola*-Infektionen wiesen bei Durchsicht des Gesamtwurzelvolumens sechs weitere Proben einen Befall auf.

Bei den bislang durchgeführten Untersuchungen konnte weiterhin festgestellt werden, dass mit *S. viticola* infizierte Rebwurzeln mindestens bis in eine Bodentiefe von 25 cm vorkommen.

Der Wuchs der Rebstöcke auf den beiden untersuchten Versuchsflächen war sehr unterschiedlich. Während auf der Versuchsfläche o/R neben abgestorbenen und kümmerwüchsigen Rebstöcken auch normalwüchsige beobachtet werden konnten, wiesen die Rebstöcke auf der Versuchsfläche O/R durchweg einen guten bis sehr gu-

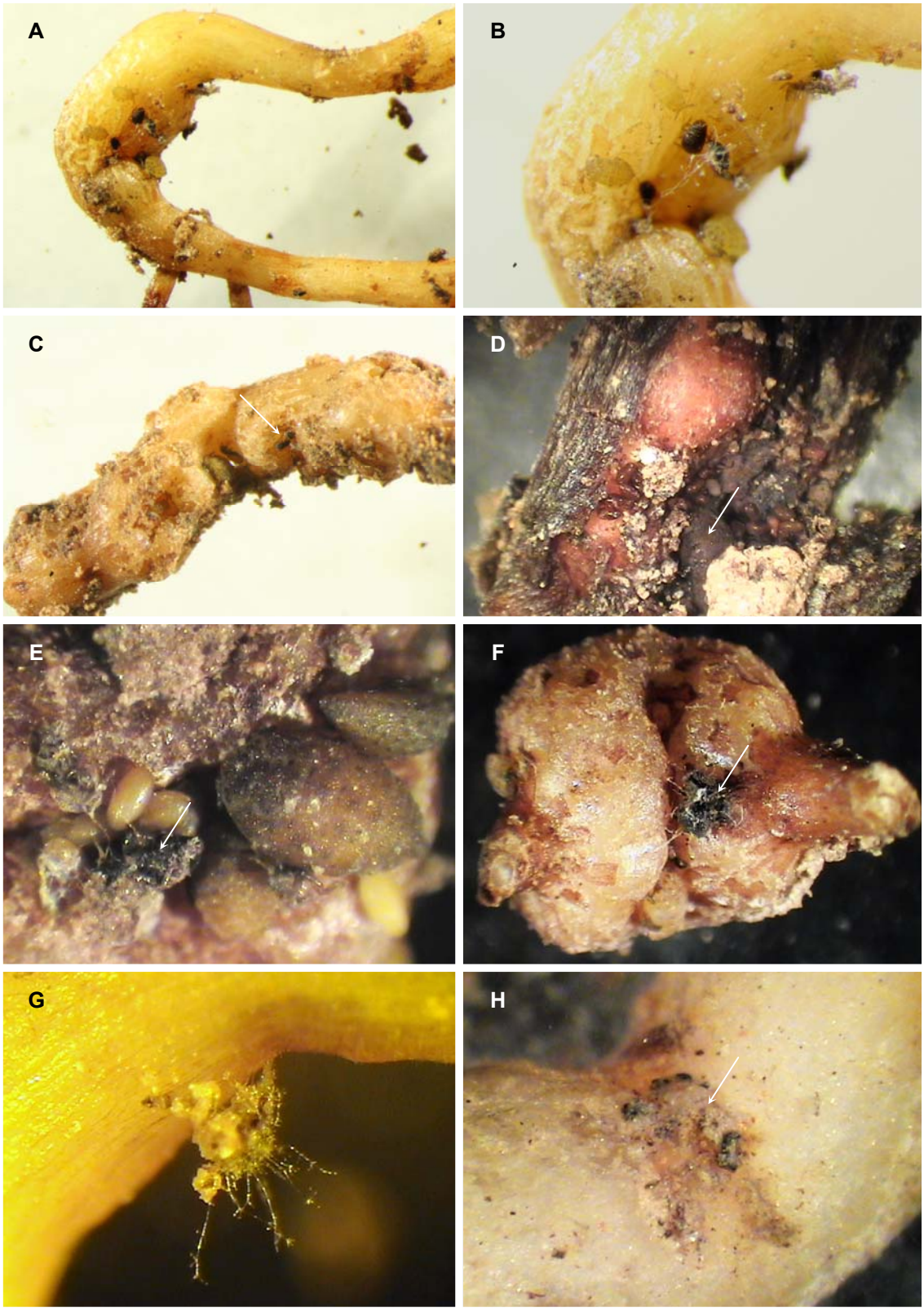
ten Wuchs auf (Abb. 3-25 und Kap. 3.2.1). Die Rebzeilen ohne Befall der Rebstöcke mit *S. viticola* auf der Versuchsfläche o/R zeigten einen statistisch signifikant ($p < 0,01$) besseren Wuchs. Auf der Versuchsfläche O/R konnte keine statistisch signifikante Korrelation zwischen Rebwuchs und Befall der Rebwurzeln mit *S. viticola* nachgewiesen werden ($p > 0,05$).

3.4 Biologische Kontrolle von *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch durch den entomopathogenen Pilz *Metarhizium anisopliae* (Metschnikow) Sorokin

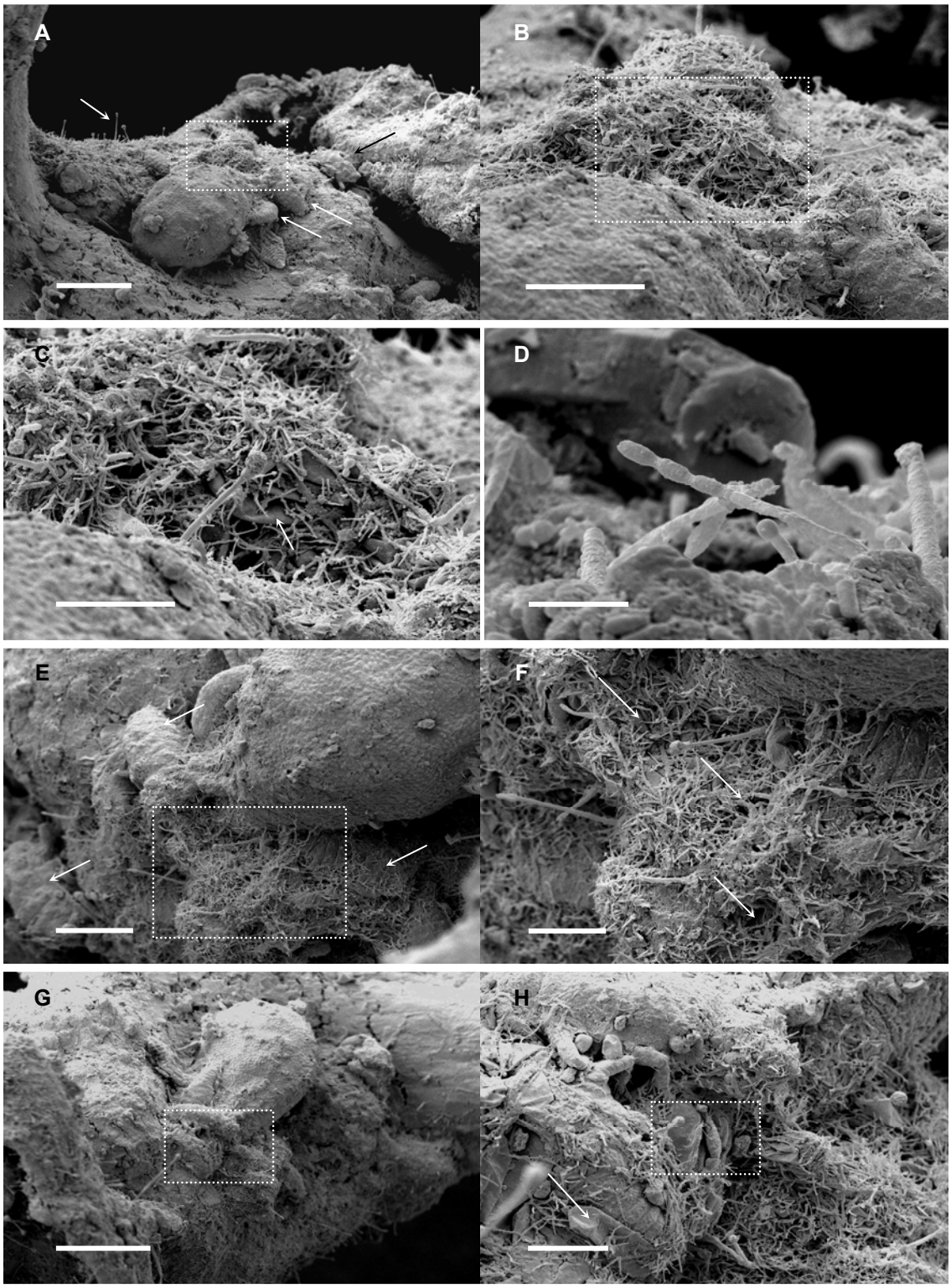
Von einer Darstellung der Ergebnisse der durchgeführten Bioassyas und Gewächshausversuche zur biologischen Reblauskontrolle wird an dieser Stelle abgesehen. Die Ergebnisse sind KIRCHMAIR et al. (2004d) zu entnehmen. Zu Diskussionszwecken ist in Tab. 7-27 eine Übersicht der wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen gegeben. Im Folgenden werden ausschließlich die Ergebnisse von Freilanduntersuchungen wiedergegeben. Es sei an dieser Stelle bereits darauf hingewiesen, dass es sich dabei um eine Auswahl aus dem zur Verfügung stehenden Gesamtdatenmaterial handelt, wobei vor allem die Ergebnisse der auf der Versuchsfläche R/5C durchgeführten Untersuchungen dargestellt werden (siehe hierzu Kap. 4.4).

3.4.1 Wirksamkeitstests Freiland

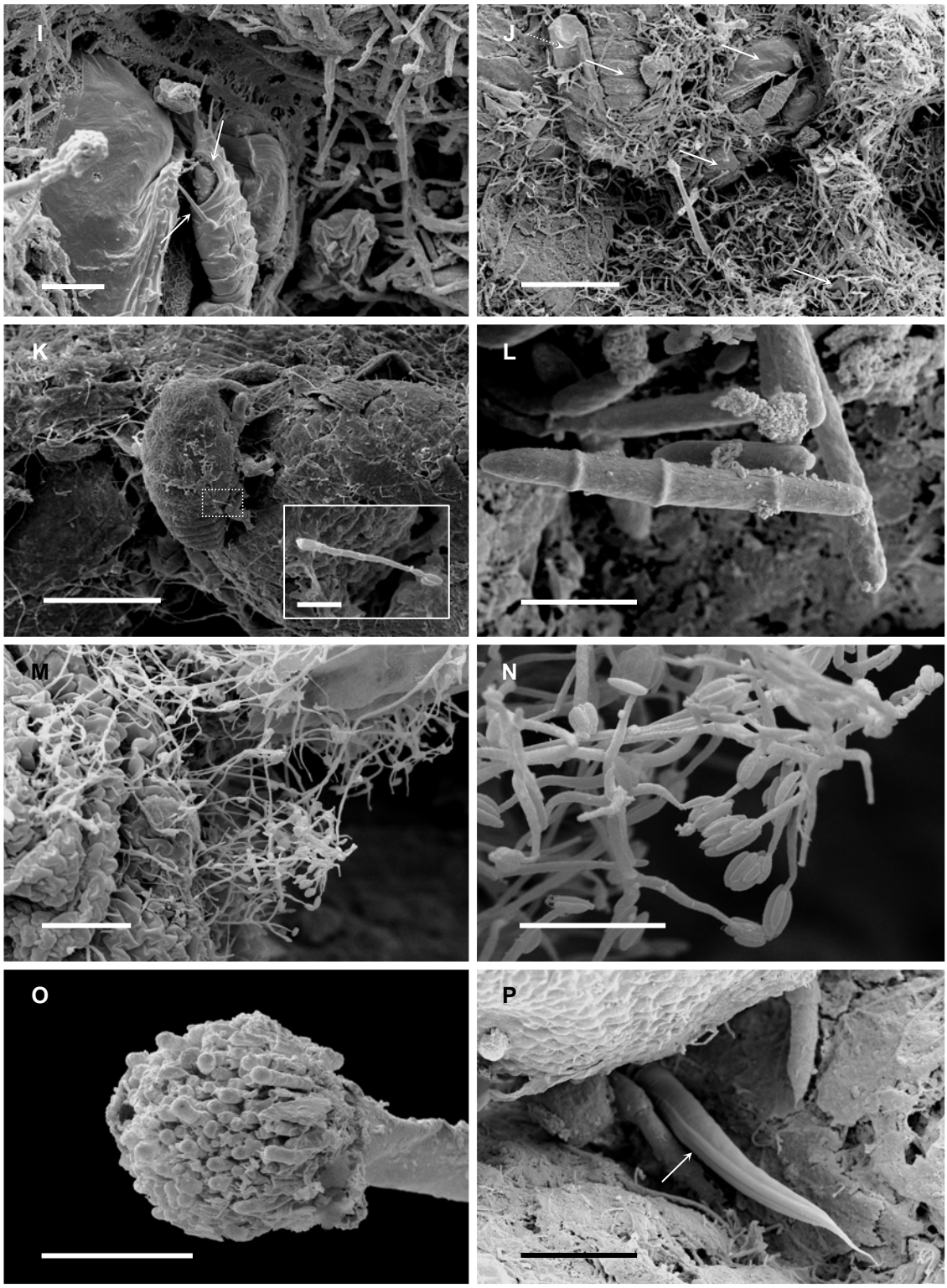
In allen Versuchsjahren konnten in den Freilandproben abgestorbene, die Wurzel besiedelnde virginopare Aptere aller Stadien sowie Sexupara alata festgestellt werden. Diese konnten aber nicht bei visuellen Befallsbonituren im Freiland nach PORTEN & HUBER (2003a) beobachtet werden, sondern nur durch stereo- und lichtmikroskopische Untersuchungen. In den Fällen, in welchen die Mineralisierung sehr weit fortgeschritten war (z.B. Tafel 3-9 E, F), bzw. die abgestorbenen Rebläuse von Pilzhyphen oder Bakterien überwachsen waren (Tafel 3-9 F, G) mussten Quetschpräparate angefertigt werden. Der lichtmikroskopische Nachweis erfolgte durch morphologische Strukturen wie Rhinarien an den Antennen oder der Tarsen. Ob die Rebläuse mit *Metarhizium anisopliae* infiziert waren oder aus anderen Gründen abgestorbene Rebläuse von anderen Pilzen besiedelt wurden, konnte dabei nicht festgestellt werden. Hierfür mussten rasterelektronenmikroskopische Präparate angefertigt werden. In diesen Präparaten konnten vielfach abgestorbene Rebläuse gefunden werden. Tafel 3-10 zeigt ein solches Präparat einer Nodosität mit einem abgestorbenen Adulttier (im Vordergrund) und mehreren abgestorbenen die Wurzel besiedelnden Rebläusen verschiedener Larvenstadien (Pfeile). In den meisten Fällen waren aber auch hier die abgestorbenen Rebläuse mit Pilzhyphen überwachsen, unter welchen Reblausspezifische Strukturen wie das Integument zu erkennen waren (Tafel 3-10 B, C). Bestimmungsrelevante Konidienketten von *M. anisopliae* konnten mehrfach festgestellt werden (Tafel 3-10 D). An der in Tafel 3-10 Teil A dargestellten Nodosität konnten insgesamt 13 abgestorbene Rebläuse identifiziert werden; nur wenige waren dabei im Ganzen zu erkennen. Von den meisten Rebläusen waren nur Fragmente wie Integumentstrukturen (Tafel 3-10 B, C) oder Antennen und Extremitäten (Tafel 3-10 G, H) zu erkennen.



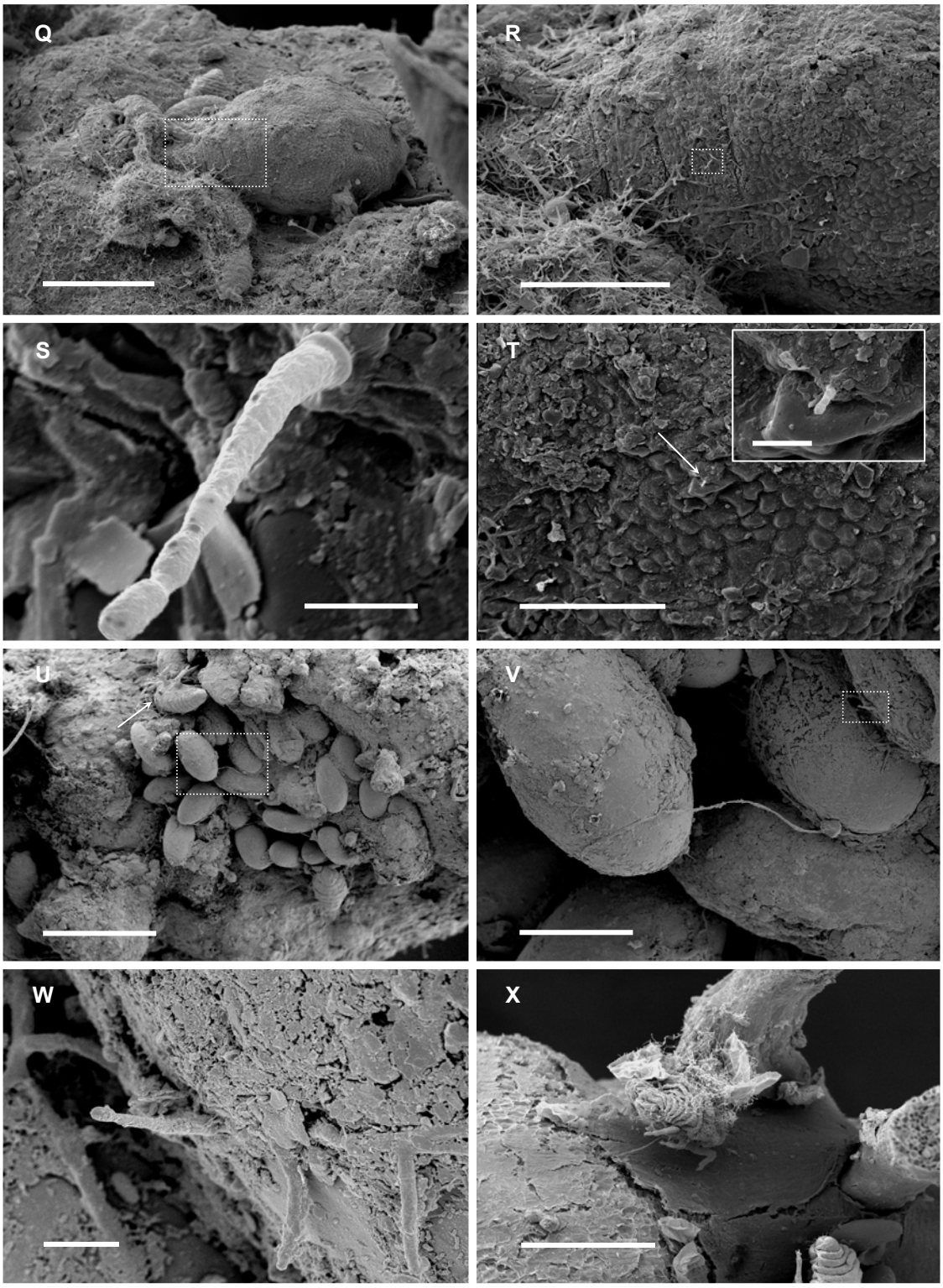
Tafel 3-9: Stereomikroskopische Aufnahmen von Nodositäten der Versuchsvariante MA der Versuchsflächen R/5C, M/Riesling und M/26G mit lebenden und abgestorbenen Rebläusen sowie Reblauseiern.
A+C. Lebende (gelb) und abgestorbene (schwarz) Rebläuse auf einer jungen Nodosität. B. Vergrößerung von A. D+E. Abgestorbene (Pfeil) Rebläuse und Reblauseier an alteren Nodositäten. F+G. Abgestorbene Rebläuse mit Pilzhyphen überwachsen. H. Abgestorbene und bereits nahezu mineralisierte Reblaus, nur als Präparat lichtmikroskopisch zu identifizieren.



Tafel 3-10 Teil A: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Nodositäten der Versuchsfläche R/5C mit abgestorbenen Rebläusen und Reblauseiern.
Bildbeschreibungen siehe Teil C.
Größenbalken: A. 500 µm, B. 200 µm, C. 100 µm, D. 10 µm, E. 200 µm, F. 100 µm, G. 500 µm, H. 100 µm.



Tafel 3-10 Teil B: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Nodositäten der Versuchsvariante MA der Versuchsfläche R/5C mit abgestorbenen Rebläusen und Reblauseiern.
Bildbeschreibungen siehe Teil C.
Größenbalken: I. 20 µm, J. 100 µm, K. 200 µm, K (Vergrößerung) 10 µm, L. 10 µm, M. 50 µm, N. 20 µm, O. 20 µm, P. 100 µm.



Tafel 3-10 Teil C: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Nodositäten der Versuchsvariante MA der Versuchsfläche R/5C mit abgestorbenen Rebläusen und Reblauseiern.
Größenbalken: Q. 500 µm, R. 200 µm, S. 5 µm, T. 100 µm, T (Vergrößerung) 10 µm, U. 500 µm, V. 100 µm, W. 10 µm, X. 500 µm.
Teil A: A. Nodosität mit eierlegender Reblaus und Rebläusen verschiedener Larvenstadien (Pfeile schwarz); sowie einer Vielzahl von mit Pilzhyphen überwachsener Rebläuse; stellenweise sind die Fruchtkörper verschiedener Pilzarten (Pfeil weiß) zu erkennen. B. Ausschnitt aus A; Ansammlung von Pilzhyphen über Rebläusen (in dieser Vergrößerung nicht erkennbar). C. Ausschnitt aus B; erst bei dieser

Vergrößerung ist unter den Pilzhyphen und Fruchtkörpern Reblausgewebe (Pfeil) zu erkennen. D. Ausschnitt aus B; Konidienkette von *M. anisopliae*; Ursprung der Hyphe in dieser Einstellung nicht bestimmbar. E. Wie A; geänderter Blickwinkel; Rebläuse verschiedener Larvenstadien (Pfeile) neben eierlegender Reblaus. F. Ausschnitt aus E; unter den Pilzhyphen ist Reblausgewebe (Pfeile) zu erkennen. G. Wie A; geänderter Blickwinkel. H. Ausschnitt aus G; Rebläuse (vier Individuen identifizierbar) von Pilzhyphen bedeckt; eine Reblauslarve aus Eihülle (Pfeil) schlüpfend.
Teil B: I. Vergrößerung von H; Flagellum einer Reblausantenne mit primärem Rhinarium (Pfeil) und Trichoidsensille (Pfeil). J. Vergrößerung von H (geänderter Blickwinkel); unter den Pilzhyphen ist an verschiedenen Stellen Reblausgewebe zu erkennen (Pfeile). K. Reblaus, schwach mit Pilzhyphen überwachsen; in der Vergrößerung ist ein potentieller Konidienträger (siehe Text) zu erkennen, dessen Ursprung aber nicht zu erkennen ist. L- O. Verschiedene auf den Präparaten vorkommende Fruchtkörper von Pilzhyphen; L. *Cylindocarpon* sp., M+N. *Acremonium* sp. O. *Cunninghamella* sp. P. Schwanz eines unter der eierlegenden Reblaus liegenden Nematoden (Pfeil).
Teil C: Q-S. Reblaus infiziert mit *M. anisopliae*; R. Ausschnitt aus Q. S. Ausschnitt aus R; aus der Reblaus herauswachsender Konidienträger mit Konidienkette. T. Ausschnitt aus Q; aus der Reblaus herauswachsende Hyphen (Art nicht bestimmbar (siehe Text). U-W. Gelege von Reblauseiern, teilweise sehr stark mit Hyphen und Bakterien überwachsen; V. Ausschnitt aus U; W. Ausschnitt aus V. An einem Reblausei wachsende Hyphen (Art nicht bestimmbar). X. Abgestorbene, mit Pilzhyphen überwachsende Sexupara alata.

Wie aus Tafel 3-10 J zu entnehmen, handelte es sich bei einigen der abgestorbenen Rebläuse um Individuen des ersten Larvenstadiums (Pfeil), welche noch teilweise von der Eihülle umgeben waren. Die abgestorbenen Rebläuse wurden von verschiedenen Pilzspezies beispielsweise der Gattungen *Cylindrocarpon*, *Acremonium* und *Cunninghamella* besiedelt (Tafel 3-10 K - O). Aber auch andere Bodenorganismen wie Collembola oder Nematoda (Tafel 3-10 P) konnten vielfach beobachtet werden. Im Rahmen dieser Arbeit konnte aber auch zweifelsfrei gezeigt werden, dass Rebläuse unter Feldbedingungen von *M. anisopliae* infiziert und abgetötet werden. Die Abbildungen der Tafel 3-10 Q-T zeigen die aus einer infizierten adulten Wurzelreblaus herauswachsenden Konidienträger von *M. anisopliae* mit der zur Artbestimmung relevanten Konidienkette. Im Fall der in Abbildung T der Tafel 3-10 dargestellten Hyphenspitze kann nicht mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass es sich um *M. anisopliae* handelt, da bestimmungsrelevante Merkmale fehlen. Ähnliche Strukturen konnten auch an Reblauseiern desselben Präparats festgestellt werden (Tafel 3-10 U - W). Auch in rasterelektronenmikroskopischen Präparaten konnten abgestorbene Sexupara alata gefunden werden (Tafel 3-10 X).

Die Untersuchungen des Reblausbefalls der Rebwurzeln vor Applikation des *Metarhizium*-Präparates im Jahr 2003 zeigten keine Unterschiede in der Befallshäufigkeit und -stärke zwischen den Versuchsvarianten (Abb. 3-26 A). Die Befallshäufigkeit lag in allen Varianten und an allen Probeentnahmepunkten bei 100 %. Durchschnittlich wiesen die Rebwurzeln eine Befallsstärke der Klasse 3 auf. 40 Tage nach der Applika-

tion am 09.07.2003 (Abb. 3-26 B) wiesen immer noch alle untersuchten Rebstöcke einen Befall mit Reblaus auf (Befallshäufigkeit 100 %). Unterschiede in den Befallsstärken waren zwischen den Beprobungspunkten innerhalb der Versuchsvarianten und zwischen den Versuchsvarianten festzustellen. Ein statistisch signifikanter Unterschied ergab der Vergleich der Versuchsvarianten GE und MA in der Fahrgasse (Beprobungspunkt C). In beiden Fällen lag der Mittelwert bei einer Befallsstärke von 3. Eine am 26.08.2003 durchgeführte Probenname konnte aufgrund der vorangegangenen Trockenperiode und dem damit einhergehenden Zustand der entnommenen Rebwurzeln nicht ausgewertet werden.

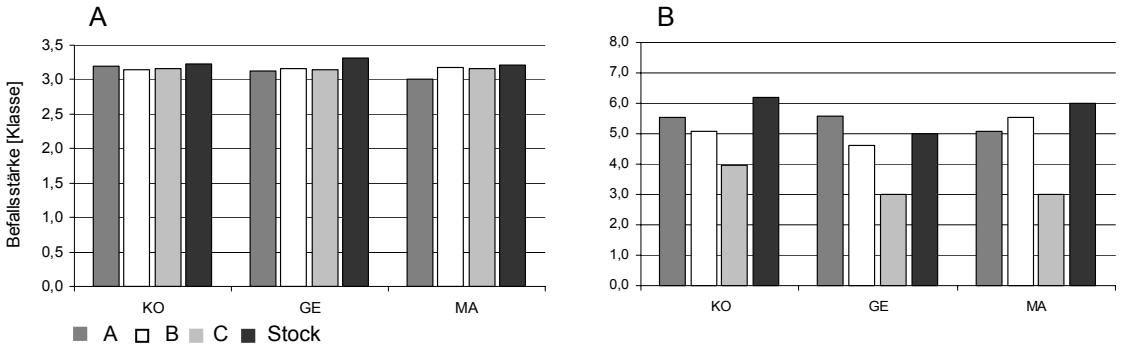


Abb. 3-26: Stärke des Befalls der Rebwurzeln mit Reblaus der Versuchsvarianten der Fläche R/5C im Jahr 2003.
A: Stärke des Reblausbefalls am 30. Mai 2003 vor Applikation von *M. anisopliae* auf den späteren Versuchsvarianten. Die Befallshäufigkeit betrug auf allen Versuchsvarianten 100 %. B: Reblaus-Befall am 09.Juli 2003. Die Befallshäufigkeit betrug auf allen Versuchsvarianten 100 % (Stichprobenumfang und Signifikanzwerte siehe Tab. 7-28).
Abkürzungen siehe Tab. 2-6. A, B, C = Probenentnahmepunkte siehe Abb. 2-1.

Unterschiede im Befall der Wurzeln mit Reblaus konnten im Jahr 2004 festgestellt werden (Abb. 3-27). So waren im August 2004 in den im Mai 2003 (MA 2003) und im Mai 2004 angelegten Versuchsvarianten (MA 2004 und BI 2004) an ca. 30 % der untersuchten Nodositäten lebende Rebläuse nachzuweisen, während die Nodositäten der Kontrollvariante zu 50 % mit Rebläusen besetzt waren. Auf der Kontrollvariante waren an 8 % der untersuchten Nodositäten abgestorbene Rebläuse zu erkennen. Auf den mit *Metarhizium* behandelten Versuchsvarianten lag der Anteil an Nodositäten mit abgestorbenen Rebläusen zwischen 26 und 29 %. Der Anteil an Nodositäten, an welchen sowohl lebende als auch abgestorbene Rebläuse festgestellt wurden war auf den *Metarhizium*-Varianten im Vergleich zu Kontrolle höher. Bei der Versuchsvariante MA 2003 betrug der Unterschied nur einen Prozentpunkt. Auf den Versuchsvarianten BI 2004 und MA 2004 wurden an 11 bzw. 12 % der Nodositäten lebende und abgestorbene Rebläuse beobachtet, während der Anteil auf der Kontrollvariante nur 6 % betrug. Zusätzlich waren auf den mit *Metarhizium* behandelten Versuchsvarianten

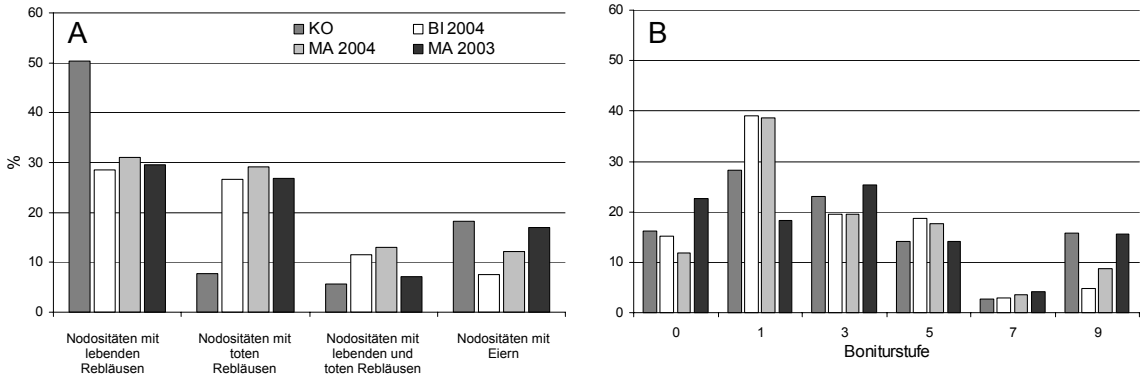


Abb. 3-27: Befall der Rebwurzeln mit Reblaus der Versuchsvarianten der Fläche R/5C im August 2004 (Laborzählung).
A: Anteil [%] der mit lebenden und toten Rebläusen (alle Entwicklungstadien) und Reblauseiern besetzten Nodositäten an der Gesamtzahl untersuchter Nodositäten; stark verbraunte (alte) und verschimmelte Nodositäten wurden nicht berücksichtigt.
B: Anteil [%] der Nodositäten je Boniturstufe (siehe Tab. 2-1; in Anlehnung an PORTEN & HUBER 2003) an der Gesamtzahl untersuchter Nodositäten.
n(KO) = 191, n(BI 2004) = 261, n(MA2004) = 277, n(MA2003) = 71.
Abkürzungen siehe Tab. 2-6.

im Vergleich zur Kontrolle weniger Nodositäten mit Reblauseiern festzustellen. Der Anteil an Nodositäten mit Reblauseiern lag auf der Kontrolle bei 18 %, auf den *Metarhizium*-Varianten lag der Anteil um einen bis zehn Prozentpunkte niedriger. Diese Unterschiede spiegeln sich auch in den Anteilen der Nodositäten je Befallsklasse wieder (Abb. 3-27 B). Aus dieser Darstellung sind noch weitere Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten und der Kontrolle zu erkennen. So ist beispielsweise auf der Versuchsvariante MA 2003 die Zahl frischer Nodositäten ohne aktuellen Reblausbefall (Boniturklasse 0) um 5 Prozentpunkte höher als auf der Kontrolle, die Zahl alter Nodositäten, welche auf einen Vorjahresbefall hindeuten (Befallsklasse 1) um 10 Prozentpunkte geringer. Der Unterschied der Versuchsvarianten MA 2003 und BI 2004 sowie MA 2004 liegt bei 18 zu 39 bzw. 38 %. Im Falle der Boniturklasse 1 sind die im Jahr 2004 angelegten Versuchsvarianten allerdings als zusätzliche 'Kontrollen' anzusehen, da zur Zeit der Entstehung dieser Nodositäten noch kein *Metarhizium*-Präparat appliziert war. Ein weiterer Unterschied liegt in der Anzahl der Nodositäten der Befallsklasse 9, also der Nodositäten mit mehrfachem Eibesatz. Hier ist die Anzahl auf den Versuchsvarianten BI 2004 und MA 2004 um rund 12 bzw. 8 Prozentpunkte gegenüber der Kontrolle reduziert. Ähnliche Verhältnisse zeigten auch die Ergebnisse der Untersuchungen auf anderen Versuchsflächen wie beispielsweise den Versuchsflächen M/Riesling und M/26G (Abb. 7-4 und 7-5).

Im Jahr 2005 konnten auf der Versuchsfläche R/5C erstmals Unterschiede in der Befallshäufigkeit der Rebstöcke mit Reblaus festgestellt werden (Abb. 3-28 A). So waren auf der im Jahr 2003 angelegten Versuchsvariante MA 2003 nur 80 % der un-

tersuchten Rebstöcke mit Reblaus befallen. Die Versuchsvarianten BI 2004 und MA 2004 sowie der Kontrolle wiesen Befallshäufigkeiten von 100 % auf. Auch der Reblausbefall der untersuchten Nodositäten auf der Versuchsvarianten MA 2003 war zum Untersuchungszeitpunkt geringer. So wiesen 22 % der Nodositäten einen Reblausbefall auf. Auf den Vergleichsvarianten lagen die Befallshäufigkeiten bei ca. 60 %. Weiterhin unterschieden sich die Befallsstärken infizierter Rebstöcke bzw. Nodositäten (Abb. 3-28 B). In beiden Fällen wies die Versuchsvariante MA 2003 die geringsten Werte auf. Die Befallsstärken der Rebstöcke lagen auf den Versuchsvarianten BI 2004 und MA 2004 höher als auf der Kontrolle, die der Nodositäten waren leicht reduziert bzw. gleich.

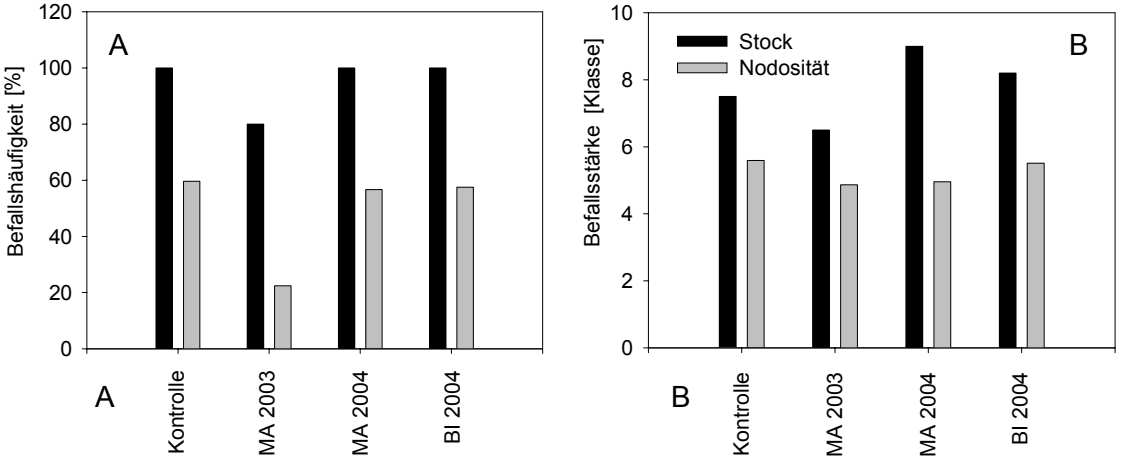


Abb. 3-28: Befallshäufigkeit (A) und Befallsstärke (B) der Wurzeln der Rebstöcke mit Reblaus auf Basis 'Rebstock' und 'Nodosität' der Versuchsvarianten der Fläche R/5C im Jahr 2005.
n(Rebstock; KO) = 9; n(Rebstock; MA 2003) = 10; n(Rebstock; MA 2004) = 10; n(Rebstock; BI 2004) = 5; n(Nodosität; KO)= 556; n(Nodosität; MA 2003) = 339; n(Nodosität; MA 2004) = 783; n(Nodosität; BI 2004) = 292.
Abkürzungen siehe Tab. 2-6.

Bei der Untersuchung der Anzahl der Nodositäten je Boniturklasse bezogen auf die Wurzeltrockenmasse je Rebstock im Jahr 2005 (Abb. 3-29) konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten festgestellt werden. Tendenziell wies die Versuchsvariante MA 2003 im Vergleich zur Kontrolle und den anderen *Metarhizium*-Varianten vor allem im Unterstockbereich (Probennahmepunkt 'u'; Abb. 3-29 B) geringere Anzahlen auf. Dies gilt vor allem für die Anzahl an Nodositäten mit Eibesatz, also der Klassen 7 und 9. Auch die Versuchsvarianten MA 2004 und BI 2004 wiesen im Unterstockbereich in diesen Befallsklassen weniger Nodositäten auf als die Kontrolle.

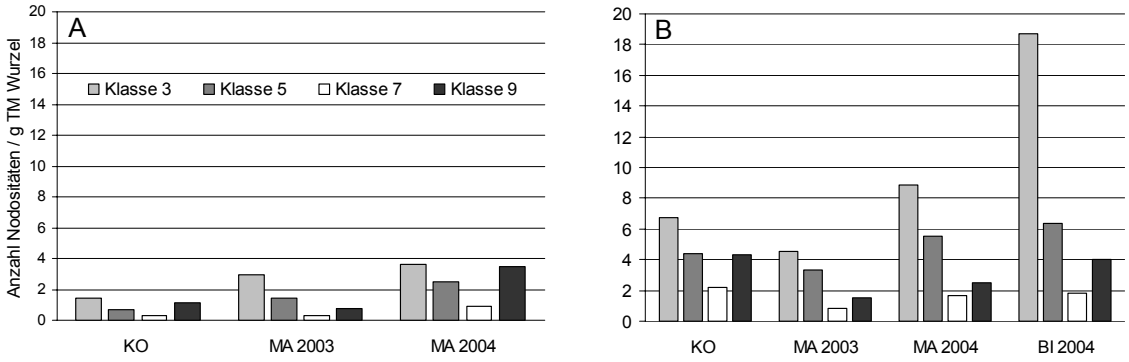


Abb. 3-29: Anzahl der Nodositäten je g Wurzeltrockenmasse in den Boniturklassen 3 bis 9 der untersuchten Rebstöcke der Versuchsvarianten auf der Fläche R/5C im Jahr 2005 basierend auf der beprobten Gesamtwurzelmasse je Rebstock.
A: Probennahmepunkt 'f' (Fahrgasse); B: Probennahmepunkt 'u' (Unterstock).
Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-29.
Abkürzungen siehe Tab. 2-6.

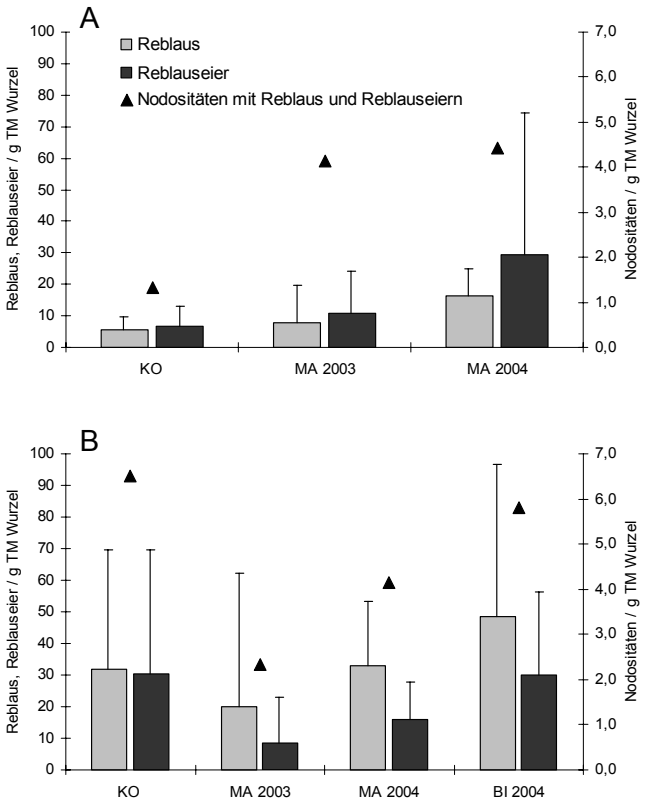


Abb. 3-30: Anzahl der Rebläuse und Reblauseier sowie der Nodositäten mit Reblaus- und/oder Reblauseibesatz je g Wurzeltrockenmasse der untersuchten Rebstöcke der Versuchsvarianten auf der Fläche R/5C im Jahr 2005 basierend auf der beprobten Gesamtwurzelmasse je Rebstock.
A: Probennahmepunkt 'f' (Fahrgasse); B: Probennahmepunkt 'u' (Unterstock).
Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-30.
Abkürzungen siehe Tab. 2-6.

In Abbildung 3-30 ist die Anzahl der Rebläuse, der Reblauseier und der Nodositäten je g Wurzeltrockenmasse dargestellt. Im Bereich der Fahrgasse (Probennahmepunkt 'f'; Abb. 3-30 A) ist die Anzahl an Rebläusen auf der Kontrolle signifikant geringer als auf der Versuchsvariante MA 2004. Weitere signifikante Unterschiede konnten nicht festgestellt werden. Allerdings ist im Fahrgassenbereich sowohl die Anzahl der Rebläuse und der Reblauseier als auch der Nodositäten mit Reblaus- und Reb-

lauseibesatz auf beiden *Metarhizium*-Versuchsvarianten höher als in der Kontrollvariante (BI 2004 nicht gestestet). Im Unterstockbereich hingegen zeigten alle *Metarhizium*-Varianten eine insgesamt geringere Anzahl an Nodositäten mit einem Besatz von Reblaus- und Reblauseiern je g Wurzeltrockenmasse. Auf den Versuchsvarianten MA 2003 und MA 2004 ist auch die Zahl der Reblauseier reduziert und im Falle der Versuchsvariante MA 2003 auch die Zahl der Rebläuse. Vor allem im Unterstockbereich waren große Unterschiede zwischen den Einzelproben zu beobachten, was an den teilweise sehr hohen Standardabweichungen zu erkennen ist.

3.4.2 Begleituntersuchungen Freiland

Zusätzlich zu den Untersuchungen zur Wirksamkeit von *M. anisopliae* als BCA zur Reblauskontrolle wurden Untersuchungen zum Einfluss des Pilzes auf Non-Target-Organismen durchgeführt. Wie aus Abb. 3-31 bzw. Tab. 7-31 ersichtlich, konnte ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Versuchsvarianten bei der Beprobung vom 02.09.2003 festgestellt werden. So unterscheiden sich bei Zusammenfassung der beiden untersuchten Tiefenstufen (0-20 cm Bodentiefe) die Abundanzen der Collembola zwischen den Variante MA und KO signifikant, wobei die Kontrolle fast doppelt so viele Individuen je Quadratmeter aufweist. Bei getrennter Betrachtung der Tiefenstufen war in keinem Fall ein signifikanter Unterschied zwischen der Kontrolle und der Variante MA zu beobachten (Oktober, Tiefenstufe 10 - 20 cm). Des Weiteren unterschied sich die Abundanz der als 'Rest' zusammengefassten Gruppe bei der Beprobung am 02.09.2003 der Versuchsvariante GE und der Kontrolle in der Tiefenstufe 10 - 20 cm. Die Kontrolle wies dabei mit 955 Individuen je Quadratmeter eine um 40 % höhere Abundanz auf. Die Korrespondenzanalyse dieser zusammengefassten Gruppe 'Rest' (Abb. 7-6) lieferte keine Hinweise auf versuchsvariantenspezifische Unterschiede (Maximum Eigenwert 14,52). Bei der Beprobung vom 06.10.2003 konnten signifikante Unterschiede über beide Tiefenstufen in der Abundanz der Acari zwischen den Versuchsvarianten GE und KO einerseits und der Variante MA andererseits festgestellt werden. Mit einer Abundanz von 42972 Individuen je Quadratmeter waren auf der mit *Metarhizium* behandelten Variante ungefähr doppelt so viele Acari vorhanden wie auf den Varianten KO (22982 Individuen / m^2) und GE (21390 Individuen / m^2). In der Tiefenstufe 0 - 10 cm unterschieden sich die Versuchsvarianten GE und MA signifikant mit über 60 % weniger Individuen je Quadratmeter auf der Variante GE (7576 Individuen / m^2). Auch die Anzahl der Collembola je Quadratmeter war auf der Versuchsvariante MA im Vergleich zur Kontrolle erhöht. Über beide Tiefenstufen konnten mit 20817 Individuen / m^2 auf der Variante MA signifikant mehr Collembola nachgewiesen werden als auf der Kontrolle (9167 Individuen / m^2). Ein signifikanter Unter-

schied, welcher auch in der Bodentiefe 10 - 20 cm festgestellt werden konnte (KO 3820 Individuen / m^2, MA 8594 Individuen / m^2). Die untersuchten Acari und Collembola zeigten bei keiner der drei Beprobungen signifikante Unterschiede in ihrer Abundanz zwischen den Tiefenstufen innerhalb der einzelnen Versuchsvarianten. Die unter der Bezeichnung 'Rest' zusammengefassten Tiere zeigten auf der Versuchsvariante MA und auf der Kontrolle bei der ersten Beprobung zwischen den Tiefenstufen 0 - 10 cm und 10 - 20 cm signifikante Unterschiede in der Abundanz. Im Falle der Versuchsvari-

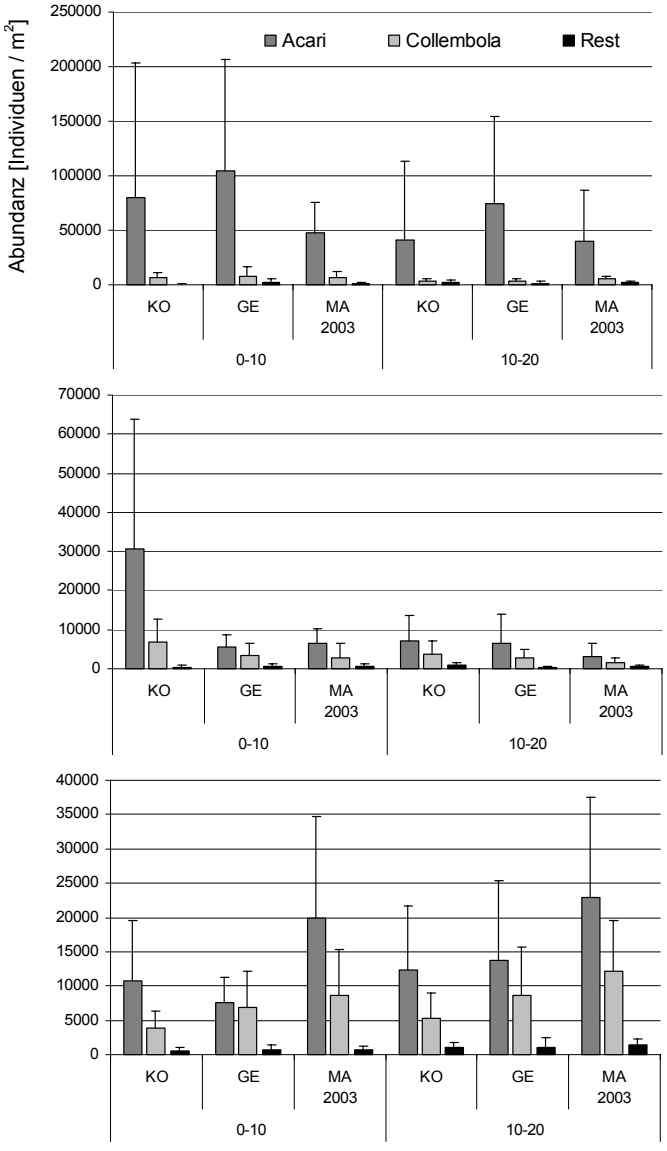


Abb. 3-31: Abundanz [Individuen / m^2] des Edaphons im Jahr 2003 in den Bodentiefen 0-10 cm und 10-20 cm der Versuchsfläche R/5C.
Probennahmetermine A: 08.07.; B: 02. 09.; C: 06.10.
'Rest' umfasst die Gruppen: Enchytraeidae, Lumbricidae, Pseudoscorpiones, Araneae, Isopoda, Pauropoda, Symphyla, Diplopoda, Chilopoda, Diplura, Psocoptera, Homoptera, Coleoptera (larval und adult), Formicidae, Diptera (larval und adult).
Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-31.
Abkürzungen siehe Tab. 2-6.
Daten aus: HUBER et al. 2004.

ante MA konnten bei der ersten Beprobung dabei nahezu doppelt so viele Individuen je Quadratmeter in der unteren Bodenschicht gefunden werden (2228 Individuen / m^2) als in der oberen. Diese Unterschiede in der Abundanz wurden bei den ersten beiden Beprobungen auch bei der Kontrolle beobachtet. Hier lagen die Verhältnisse zwischen oberer und unterer Bodenschicht bei 1 : 5 bzw. 1 : 3. Bei der Analyse der Collembolazönosen (Abb. 7-7) zeigte sich, dass sich die Abundanzen von *Mesaphorura kraus-*

baueri, *Folsomides parvulus* sowie der als Gruppe 'Rest' zusammengefassten Collembolaspezies zwischen den Versuchsvarianten in fast allen Fällen nicht signifikant unterschieden. Nur in drei Fällen zeigten sich signifikante Unterschiede. Bei der zweiten Beprobung wurden in der Bodentiefe 0-10 cm auf der Kontrolle eine rund achtmal höhere Abundanz von *Folsomides parvulus* (3820 Individuen / m^2) beobachtet als auf der Versuchsvariante mit Gerstenapplikation. Dabei unterschieden sich die Dichten von *Folsomides parvulus* zwischen den Bodenschichten auf den Varianten MA und KO signifikant. In beiden Fällen wurden mehr Individuen in der oberen Bodenschicht gefunden. Am dritten Probennahmetermin am 06.10.2003 lag die Abundanz von *Mesaphorura krausbaueri* in der Bodentiefe 10-20 cm der Versuchsfläche MA mit 8021 Individuen je Quadratmeter signifikant über der der Kontrolle (2865 Individuen / m^2). Ein ähnliches Verhältnis konnte auch in der oberen Bodenschicht beobachtet, aber nicht statistisch abgesichert werden. Auch die Abundanz der in der Gruppe 'Rest' zusammengefassten Collembolaspezies unterschied sich bei der dritten Beprobung signifikant zwischen Kontrolle und *Metarhizium*-Variante. Auch hier lag die Abundanz auf der mit *Metarhizium* behandelten Variante (Bodentiefe 10-20 cm) mit 2992 Individuen je Quadratmeter höher als auf der Kontrolle (1273 Individuen / m^2).

Tab. 3-15: Leistungs- und Ertragsdaten (Mittelwerte und Standardabweichung) der Rebstöcke der Versuchsfläche R/5C, Versuchsvarianten KO, GE und MA im Jahr 2003.
Korrespondierende Buchstaben hinter den Werteangaben stehen für signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten (Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-33).
Abkürzungen siehe Tab. 2-6.

Versuchsvariante	Stockertrag [kg]	100-Beerengewicht [g]	Brix	°Oechsle	pH
KO	4,1 +/- 1,3	149,1 +/- 12,0	20,2 +/- 1,0	85,4 +/- 4,3	3,1 +/- 0,0 c
GE	4,7 +/- 0,9	148,1 +/- 13,0	20,3 +/- 0.9	85,8 +/- 3,9	3,1 +/- 0,0 c
MA	4,4 +/- 1,1	150,6 +/- 21,9	19,7 +/- 1,2	83,2 +/- 5,1	3,0 +/- 0,0 a, b

Im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchungen wurden im Jahr 2003 auch verschiedene Leistungs- und Ertragsparameter der Rebstöcke der verschiedenen Versuchsvarianten erhoben (Tab. 3-15). Es konnte dabei festgestellt werden, dass sich der Stockertrag, das 100-Beerengewicht und das Mostgewicht (Brix, °Oechsle) zwischen den Versuchsvarianten nicht signifikant unterschieden. Nur der pH-Wert des Mostes der Rebstöcke auf der Versuchsvariante MA unterschied sich signifikant von dem der Varianten KO und GE. Die Abweichung lag dabei bei 0,1 Einheiten.

3.5 Vorkommen und Verbreitung von *Roesleria subterranea* (Weinm.) Redhead

Zwischen August und November 2005 wurden 18 kommerziell genutzte Rebanlagen in den Anbaugebieten Mosel-Saar-Ruwer, Pfalz und Rheingau auf einen Befall der Rebwurzeln mit *R. subterranea* untersucht (Tab. 2-7). Auf 13 der untersuchten Flächen konnten Fruchtkörper an Frisch- und/oder Altwurzeln und/oder Wurzelstangen festgestellt werden (Tab 3-16). Dabei konnten an den oberirdischen Organen befallener Rebstöcke unterschiedliche Schadsymptome beobachtet werden. So konnte an

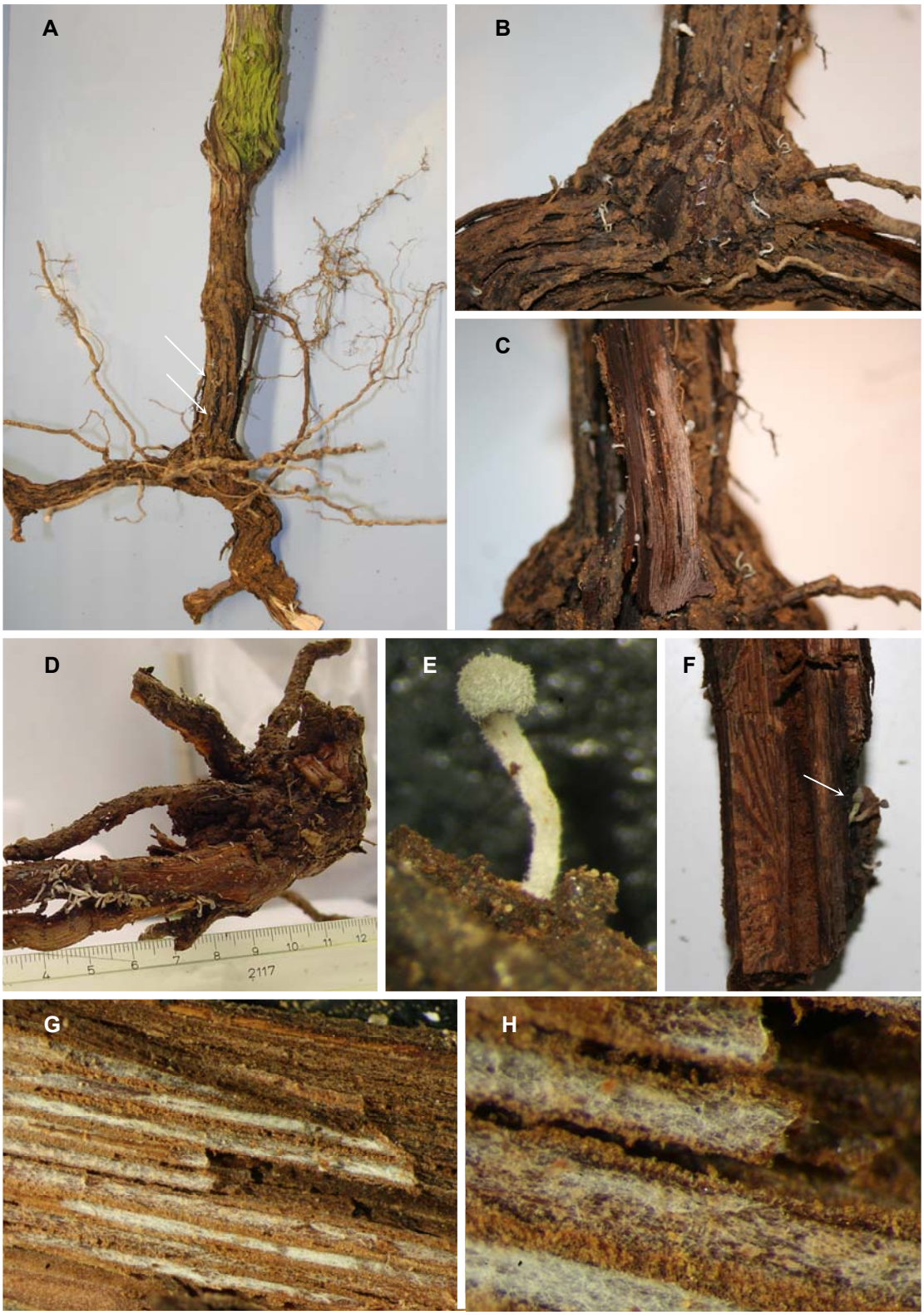
Tab 3-16: Vorkommen von *R. subterranea* in Rebanlagen.
Von nicht allen Exemplaren wurden Belegexemplare hinterlegt.
(Flächenbeschreibungen siehe Tab. 2-7).

Flächen-nummer	Nachweis *R. subterranea* (Jahr des Erstfundes, Sammler und Bestimmer, Belegnummer)
1	2003
3	2002; leg. et det. Huber, Kirchmair; IB 2004/0190
4	2005; leg. et det. Huber, Hoffmann, Michaelis; MJG-040832
5	2005; leg. et det. Huber, Hoffmann, Michaelis; MJG-040833
8	2005
11	2005; leg. et det. Huber, Kirchmair; IB 2005/0502
12	2005; leg. et det. Huber; IB 2005/0501
13	2005
14	2005; leg. et det. Huber, Michaelis; MJG-040834
15	2005
16	2005; leg. et det. Huber, Michaelis, Hoffmann; MJG-040835
17	2005; leg. et det. Huber, Michaelis, Hoffmann; MJG-040836
18	2005; leg. et det. Huber, Michaelis, Hoffmann; MJG-040837

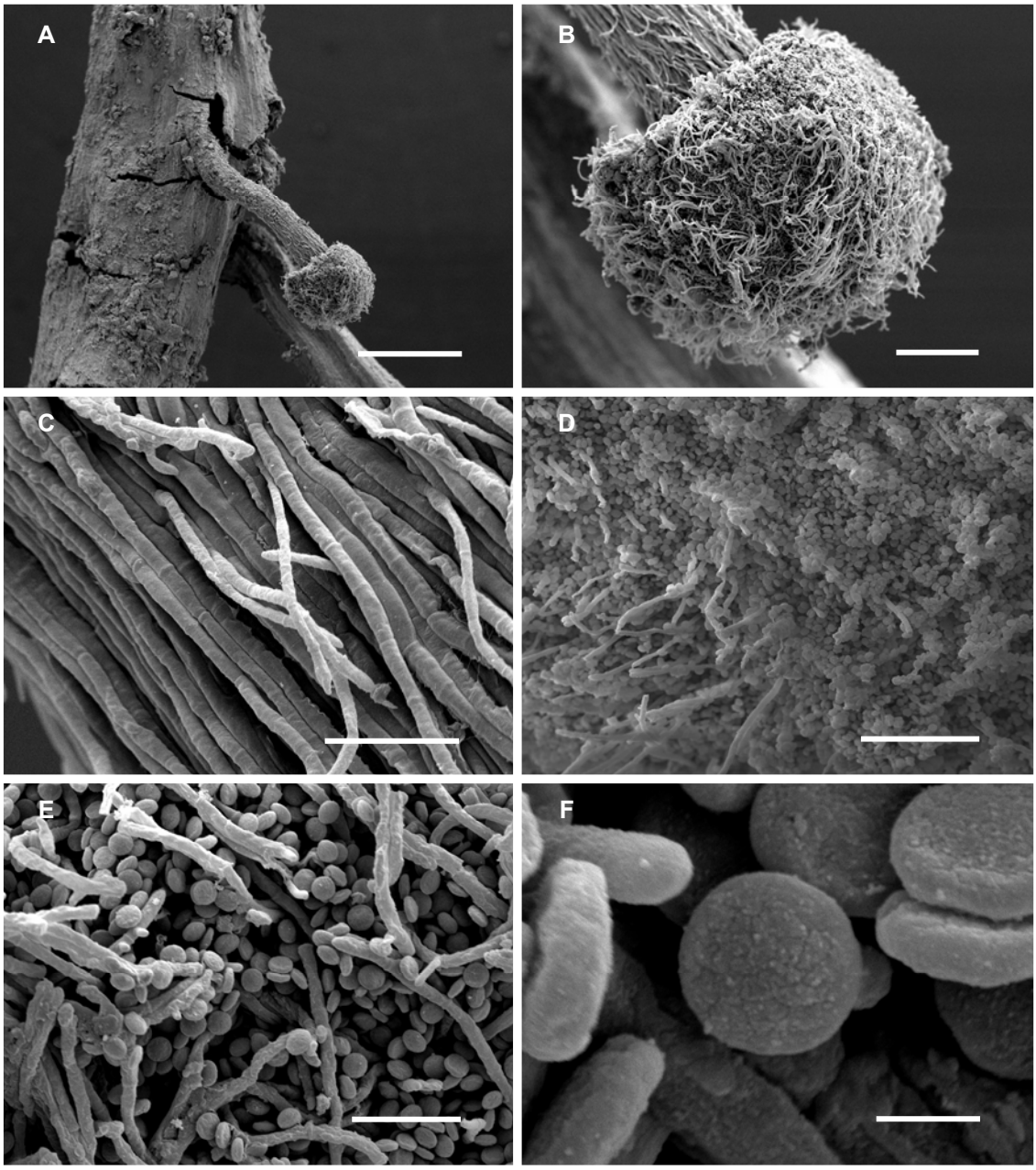
Weißweinsorten in mehreren Fällen eine frühzeitige Gelbfärbung der Blätter beobachtet werden, sofern Altwurzeln oder die Wurzelstangen der Rebstöcke Fruchtkörper von *R. subterranea* aufwiesen (Tafel 3-11 A). Die Bereiche, in welchen eine derartig frühzeitige Blattverfärbung festgestellt werden konnte, umfassten dabei stets zwischen 30 und 50 Rebstöcke. Auf anderen Rebflächen konnten zusätzlich zu Blattverfärbungen auch Rebstöcke mit Kümmerwuchs bzw. abgestorbene Rebstöcke festgestellt werden (Tafel 3-11 B). Der Schadherd der in Tafel 3-11 B dargestellten Rebfläche im Anbaugebiet Mosel-Saar-Ruwer umfasste ca. 140 Rebstöcke, wobei 65 Rebstöcke abgestorben waren oder sehr starken Kümmerwuchs aufwiesen. Auf Rebflächen, auf denen Rotweinsorten angebaut wurden, konnte ein ähnliches Bild beobachtet werden, wobei es sich dort naturgegeben um eine Rotfärbung der Blätter handelte (Tafel 3-11 C + D).



Tafel 3-11: Oberirdische Schadsymptome einer Infektion mit *R. subterranea* an *Vitis* sp. im Jahr 2005.
A. Blattverfärbungen an Weißem Riesling (Unterlagssorte: *V. berlandieri* x *V. riparia*, 5C, SO4); Anbaugebiet Mosel-Saar-Ruwer; Schadherde (Pfeile) umfassen ca. 30 bis 50 Stock. B. Blattverfärbungen und Kümmerwuchs an Weißem Riesling (wurzelecht); Anbaugebiet Mosel-Saar-Ruwer. C. Kümmerwuchs mit vereinzelten Blattverfärbungen an Rotem Spätburgunder (Unterlagssorte: *V. berlandieri* x *V. riparia*, SO4); Anbaugebiet Rheingau. D. Kümmerwuchs mit vereinzelten Blattverfärbungen an Rotem Spätburgunder (Unterlagssorte: *V. berlandieri* x *V. riparia*, 5BB); Anbaugebiet Rheingau.



Tafel 3-12: Unterirdische Schadsymptome einer Infektion mit *R. subterranea*. A. Fruchtkörper von *R. subterranea* an Unterlagsrebe (*V. cinerea* x *V. riparia* Börner). B. Vergrößerung von A. C. Vergrößerung von A; Blick unter die Rinde. D Fruchtkörper an Unterlagsrebe (*V. berlandieri* x *V. riparia*). E. Fruchtkörper von *R. subterranea.* F. Schnitt durch eine Wurzelstange der Unterlagsrebe SO4 (*V. berlandieri* x *V. riparia*) mit Fruchtkörpern (Pfeil) an der Rinde. G+H. Mycel von *R. subterranea* unter der Rinde einer Wurzelstange einer Unterlagsrebe (Börner).



Tafel 3-13: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Fruchtkörpern von *R. subterranea* an *Vitis* sp.
A. Fruchtkörper an Wurzel von *Vitis* sp. B. Köpfchen eines Fruchtkörpers mit Ascosporen. C. Hyphen am Stiel. D-F. Ascosporen.
Größenbalken: A. 500 µm, B. 100 µm, C. 20 µm, D. 50 µm, E. 20 µm, F. 2 µm.

Im Rahmen der Untersuchungen in den oben genannten deutschen Weinanbaugebieten konnten Fruchtkörper von *R. subterranea* an verschiedenen Arten bzw. Kreuzungen von *Vitis* gefunden werden: *V. vinifera* (Weißer Riesling), *V. vinifera* (Trollinger) x *V. riparia* (26G), *V. riparia* x *V. cinerea* (Börner), *V. berlandieri* x *V. riparia* (5C, 125AA, SO4, 5BB). Es konnten keine art- oder kreuzungsspezifischen Unterschiede im Befall der Reben festgestellt werden.

Die Fruchtkörper von *R. subterranea* konnten an allen unterirdischen Teilen der Rebstöcke gefunden werden (Tafel 3-12 A - F), wobei die Bodentiefen, in welchen die

Fruchtkörper zu finden waren, auf den untersuchten Flächen stark variierten. Während auf einigen Flächen wie beispielsweise einer mit der Unterlagssorte 26G bepflanzten Fläche im Anbaugebiet Mosel-Saar-Ruwer (Wiltingen; Fläche 14, Tab. 2-7) bereits in 2 cm Bodentiefe Fruchtkörper vorkamen, waren auf anderen Flächen (z.B. Mosel-Saar-Ruwer, Wehlen, Fläche 5) erst ab Tiefen unterhalb 30 cm Fruchtkörper zu finden. Art- oder kreuzungsspezifische Unterschiede konnten auch hier nicht beobachtet werden.

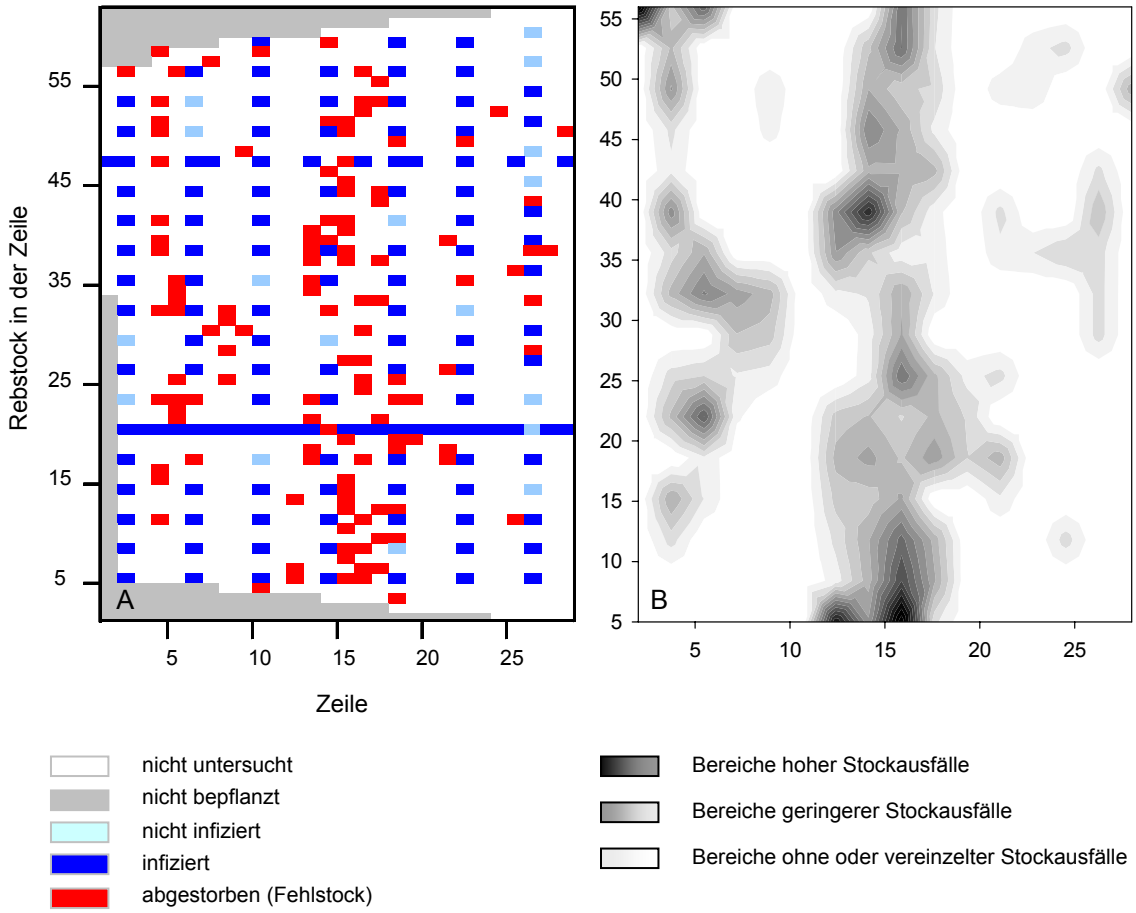


Abb. 3-32: Absterbeerscheinungen von Rebstöcken und Verbreitung von *R. subterranea* in einer kommerziellen Rebanlage im Weinanbaugebiet Rheingau.
A: Infizierte, nicht infizierte und abgestorbene Rebstöcke im Oktober 2005; B: Schadbereiche auf Basis der Fehlstöcke im Oktober 2005 (linear interpoliert).

In einigen Fällen konnten auf den untersuchten kommerziell genutzten Flächen einzelne Rebstöcke vollständig entnommen werden. Hierbei konnten auf einer Fläche im Anbaugebiet Rheingau Fruchtkörper bis in eine Tiefe von 90 cm gefunden werden. Dies entsprach der maximalen Untersuchungstiefe. Das Holz der Altwurzeln und Wurzelstangen wies auch weit über die Fruchtkörper hinaus Verbraunungen auf und war vielfach bereits vollständig abgestorben (Tafel 3-12 F). Bei Ablösung des Rindengewebes konnten in einigen Fällen auch die vegetativen Hyphen des Pilzes festgestellt wer-

den (Tafel 3-12 G+H). Wurzeln bis zu einem Durchmesser von 5 mm, welche Fruchtkörper aufwiesen (Tafel 3-13 A) waren stets abgestorben.

Intakte Fruchtkörper mit keimfähigen Sporen (Tafel 3-13 B - F) konnten in der Zeit von 10.07.2005 bis 14.02.2006 festgestellt werden.

Aufgrund der kommerziellen Nutzung der untersuchten Rebanlagen konnten die Altwurzeln und Wurzelstangen vor allem normalwüchsiger Rebstöcke nur selten untersucht werden. Im Oktober 2005 bot sich auf einer Fläche im Anbaugebiet Rheingau jedoch die Gelegenheit, beliebig viele Rebstöcke vollständig zu entnehmen und auf einen Befall mit *R. subterranea* zu untersuchen (Abb. 3-32). Die Fläche, welche mit Rotem Spätburgunder auf SO4 (Rebzeilen 1 - 25) und Dunkelfelder auf 5BB (Rebzeilen 26 - 29) bepflanzt war, wurde aufgrund der bis dahin festgestellten Schäden vom Eigentümer aufgegeben. Auf dieser 1991 bepflanzten Anlage waren zum Zeitpunkt der Untersuchungen 8% der 1565 Rebstöcke abgestorben. Eine Vielzahl weiterer Stöcke wies Wuchsdepressionen und Kümmerwuchs auf. Aufgrund der fortgeschrittenen Vegetationsperiode wurde auf eine Wuchsbonitur der Einzelstöcke verzichtet. Insgesamt wurden 148 Rebstöcke entnommen und auf Befall mit *Roesleria subterranea* untersucht. Hierbei wurden nur die Wurzelstangen und die Wurzeln bewertet, die nach der Entnahme eindeutig dem entsprechenden Rebstock zugeordnet werden konnten. 89% der 148 untersuchten Reben zeigten einen Befall mit dem Wurzelschimmelerreger, an nur 16 Stock konnten keine Fruchtkörper nachgewiesen werden (Abb. 3-32 A). Übertragen auf die Gesamtstockzahl dieser Anlage bedeutet dies einen Befall von ca. 1390 der 1565 Stock. Abbildung 3-32 B zeigt die wahrscheinlichen Absterbezonen innerhalb der nächsten Vegetationsperioden auf Basis der Verteilung der bis zum Oktober 2005 abgestorbenen Rebstöcke (Kümmerwuchs oder Wuchsdepressionen sind dabei nicht berücksichtigt).

4 DISKUSSION

4.1 Biologie von *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch

Die Verschleppung des obligaten Rebschädlings *D. vitifoliae* aus seiner Heimat Nordamerika und seine epidemiologische Ausbreitung in nahezu alle Weinanbaugebiete dieser Erde führte Ende des letzten Jahrtausends in vielen Ländern beinahe zum Erliegen des kommerziellen Weinbaus und in der Folge zu unvergleichbaren Strukturveränderungen (BASSERMANN-JORDAN 1911, ORDISH 1987). Neben einer Vielzahl mit dieser Kalamität einhergehenden historischen Veränderungen wie dem Beschluss der ersten internationalen Konvention zum Pflanzenschutz im Jahr 1878 und den daraus für die unterzeichnenden Staaten folgenden Gesetzgebungsverfahren (BÖHM 1889) ist vor allem auch die Gründung verschiedener Forschungsinstitute und Kommissionen wie der Reblauskommission der Académie des Sciences in Paris zu nennen, was der Aphidenforschung insgesamt eine gesteigertes öffentliches und wissenschaftliches Interesse verliehen hat (LAMPEL 1968). Die vielfältigen Erkenntnisse aus Wissenschaft und Praxis, welche bei der Beobachtung und Erforschung der Reblaus gewonnen werden konnten, führten in vielen Ländern zur Einführung einer neuen Biotechnologie, der Verwendung von Propfreben mit reblaustoleranten Unterlagsrebsorten. Durch diese und andere Maßnahmen konnten auf Reblausbefall zurückzuführende Schäden an Rebstöcken im kommerziellen Weinbau für mehr als ein halbes Jahrhundert unter Kontrolle gebracht werden. Wie in Kap. 1 bereits geschildert, treten seit circa 2 Jahrzehnten nun erneut weltweit Schäden in mit der Reblaus befallenen Rebanlagen auf. Die zu beobachtenden Schäden müssen allerdings differenziert betrachtet werden. Bei einer Vielzahl der Berichte über Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen, beispielsweise in Kalifornien und Australien, handelt es sich um Schäden in Rebanlagen mit wurzelechten Reben der Art *V. vinifera* bzw. Unterlagsrebsorten mit *V. vinifera*-Erbgut wie der Sorte AXR#1. Auch die in diesen Ländern durchgeführten Labor- und Gewächshausversuche haben vielmals nur Reben mit *V. vinifera*-Erbgut zum Gegenstand. Die an dieser reblausanfälligen *Vitis*-Art bzw. ihren Kreuzungen im Zusammenhang mit Reblausbefall durchgeführten Untersuchungen reichen über 100 Jahre zurück, sind allerdings auf die Verhältnisse in Propfrebenanlagen mit reblaustoleranten Unterlagssorten beispielsweise der Kreuzung *V. berlandieri x V. riparia*, wie sie in der vorliegenden Arbeit untersucht wurden, nur sehr bedingt zu übertragen. Grundlegend muss zwischen Faktoren unterschieden werden, welche zu einem Befall von *Vitis*-Arten mit Reblaus führen und Faktoren, welche an reblausbefallenen Rebstöcken einen Schaden hervorrufen. Diese beiden Fragestellungen wurden und werden oft nicht ausreichend getrennt behandelt.

Die Frage nach den Infektions- bzw. den Abwehrmechanismen, welche zu einer dauerhaften Etablierung von Rebläusen, also auch deren Fortpflanzung an einer Wirtspflanze führen, ist nicht Gegenstand dieser Arbeit und kann hier nur am Rande Beachtung finden. Eine diesbezügliche Erkenntnis welche, gestützt durch verschiedene Untersuchungsergebnisse der letzten Jahre, in neuerer Zeit größere Bedeutung gewinnt, ist die Tatsache, dass ein Reblausbefall von verschiedenen Einflussgrößen bestimmt wird, wobei die absolut verwendeten Begriffe Resistenz, Toleranz und Anfälligkeit zunehmend an Bedeutung verlieren. Als Faktoren, welche den Grad der Anfälligkeit einer Rebsorte gegenüber der Reblaus bzw. deren Überlebens- und Vermehrungspotential beeinflussen, gelten derzeit der genetische Hintergrund des Parasits (KING & RILLING 1985, VAN HEESWIJCK et al. 2003) und des Wirts (KOCSIS et al. 2000), der Zustand des Wirts bzw. seiner Wurzeln (KIMBERLING et al. 1990, OMER et al. 1995a), die Populationsdichte (GRANETT et al. 1983, OMER et al. 1997, 1999b) sowie verschiedene andere Umweltfaktoren (GRANETT et al. 1983). Bei diesen Versuchen wurde auch deutlich, dass sowohl innerhalb als auch zwischen verschiedenen Reblauspopulationen bzw. Genotypen große Unterschiede in der Fähigkeit zur Nutzung unterschiedlicher *Vitis*-Wirte bestehen (DEBENEDICTIS et al. 1996, OMER et al. 1999b, FORNECK et al. 2001b). So konnten in der Vergangenheit beispielsweise bereits mehrfach wirtsadaptierte Reblausbiotypen festgestellt werden (BÖRNER 1914, 1943, GRANETT et al. 1985, FORNECK et al. 1996, FADER 2003). Diese Befunde stehen im Einklang mit einer Vielzahl von Beobachtungen und Untersuchungsergebnissen in älteren Arbeiten, welche auf eine große Heterogenität der Parasit-Wirt-Beziehung hinweisen (einige Aspekte hierzu wurden in Kap 3.1 besprochen), bzw. eine absolute Resistenz bzw. Immunität für keine Art der Gattung *Vitis* annehmen. Wie beispielsweise im Falle der Arbeit von ZWEIGELT (1940), welche die Immunität gegenüber einem Reblausbefall auch bei amerikanischen Wildarten nur unter adäquaten und günstigen Lebensbedingungen postuliert, so müssen in Anbetracht dieser und der genannten neueren Untersuchungen die bisherigen Erkenntnisse zum Resistenzverhalten von Reben neu bewertet werden. Dies umso mehr, da Untersuchungen zur Anfälligkeit von *Vitis*-Arten gegenüber bodenbürtigen phytopathogenen Mikroorganismen darauf hindeuten, dass es sich bei der 'Reblausresistenz' vielmehr um eine Kreuzresistenz handeln könnte, deren eigentlicher Mechanismus der Abwehr von Mikroorganismen dient (OMER et al. 1999a, GRANETT et al. 2001). Wie diese Untersuchungen weiterhin zeigten, bestehen große Unterschiede hinsichtlich der Anfälligkeit gegenüber Mikroorganismen zwischen den verschiedenen Rebsorten. So haben beispielsweise Untersuchungen von ANDRADE et al. (1993) gezeigt, dass Unterlagssorten der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia*, wie SO4 sehr anfällig gegenüber einer Infektion mit *F. oxysporum* f. sp. *herbemontis*,

dem Erreger von Fusariosen sind. Gleiches gilt für die untersuchte Unterlagssorte 1202 (*V. vinifera* x *V. rupestris*). Als sehr tolerant erwiesen sich in den Untersuchungen dieser Autoren Sorten der Art *V. labrusca* wie Concord oder Isabel während Kreuzungen von *V. berlandieri* x *V. rupestris* wie 140 Ru oder Paulsen 1103, 1147 oder 1047 ein intermediäres Verhalten gezeigt haben. OMER et al. (1999a) stellten bei ihren Untersuchungen mit einem *F. oxysporum*-Stamm an verschiedenen Unterlagsrebsorten fest, dass Unterlagsrebsorten am anfälligsten gegenüber dem Pathogen waren, welche auch anfällig gegenüber einem Reblausbefall sind. Unterschiede im Toleranzverhalten von Reben sind nicht nur für Pathogene wie Reblaus oder Mikroorganismen, sondern beispielsweise auch für Nematoden bekannt (ANWAR et al. 2000). Dies ist auch insofern von besonderer Bedeutung, da ein großer Teil der in neuerer Zeit beschriebenen und auf eine Infektion mit phytopathogenen Mikroorganismen zurückgeführten Schäden in Rebanlagen mit reblaustoleranten Unterlagsrebsorten beobachtet bzw. eine Zunahme derartiger Schäden seit Einführung dieser Unterlagsrebsorten festgestellt wurde (SCHECK et al. 1998b, GUBLER 2004).

Bereits Autoren wie BÖRNER (1939) weisen darauf hin, dass es eine übergeordnete Erbanlage für 'Immunität' (Resistenz) nicht gibt, sondern dass das Abwehrverhalten der verschiedenen *Vitis*-Arten auf verschiedenen Grundfaktoren beruht, auch wenn sie gegen denselben Reblausbiotyp wirken. BREIDER (1939) betont in diesem Zusammenhang den Einfluss der Umweltbedingungen und die Empfindlichkeit vor allem der Gattung *Vitis* gegenüber diesen. Er sieht in der Resistenz der Reben die Summe verschiedener morphologischer und physiologischer Merkmale 'von denen schon jedes für sich oder erst in Kombination mit anderen Eigenschaften der Rebe Widerstandsfähigkeit verleihen kann.' Hierbei führt er auch die Ergebnisse von Untersuchungen an, welche gezeigt haben, dass die physiologisch 'resistenten' Unterlagsrebsorten ihre 'Resistenz' verlieren, wenn ihnen die Bodenverhältnisse nicht genügen und schließt hieraus, dass geeignete Maßnahmen zur Reblauskontrolle erst erarbeitet werden können, wenn die Beziehungen zwischen der Vitalität von Reben, Klima- und Bodenverhältnissen und dem Toleranzverhalten aufgeklärt sind. Hiervon ist die Forschung aber derzeit noch weit entfernt. Allerdings werden in neuerer Zeit wieder vermehrt Untersuchungen zu den Schädlingsabwehrmechanismen von Reben durchgeführt. Neben einer Vielzahl verschiedener gewonnener Erkenntnisse beispielsweise mit der Unterlagsrebsorte Börner (EL-NADY 2001, DIETRICH 2005, DIETRICH et al. 2005), sind vor allem die Ergebnisse verschiedener in den letzten Jahren zum Abwehrmechanismus von Pflanzen im Allgemeinen und Reben im Besonderen durchgeführten Untersuchungen von Bedeutung. Hierzu zählen beispielsweise die Erkenntnisse über die unterschiedlichen, an der Schädlingsabwehr bzw. einer induzierten Resistenz und Hypersensitivitätsreaktionen

beteiligten pflanzlichen Stoffe wie beispielsweise Salicylsäure oder Jasmonsäure (RENAULT et al. 1996, MCCONN et al. 1997, REPKA et al. 2000, 2004, KELLOW et al. 2000, THALER et al. 2001). Bei Reben bestehen aufgrund von Untersuchungen und Beobachtungen Hinweise darauf, dass die gegen verschiedene Schädlinge bzw. Schädlingsgruppen gerichteten Abwehrmechanismen sich gegenseitig beeinflussen bzw. auch blockieren (KARBAN & BALDWIN 1997, OMER et al. 2000b). Dies legen auch Untersuchungen zu interspezifischen Interaktionen an verschiedenen Wirtspflanzen nahe. So konnten KARBAN et al. (1987) an Baumwollpflanzen eine reduzierte Infektion mit dem Welkeerreger *Verticillium dahliae* Kleb. nach einem Befall derselben Pflanze durch die Spinnmilbe *Tetranychus urticae* Koch und vice versa beobachten. Der reduzierte Pathogenbefall hielt auch an, nachdem die Spinnmilbe die Pflanze nicht länger besiedelte. Dieses Beispiel zeigt weiterhin, dass derartige Interaktionen auch über verschiedene Pflanzenorgane hinweg stattfinden, da *V. dahliae* die Wurzeln, *T. urticae* hingegen die Blätter besiedelt. Bei derartigen Interaktionen kommt aber auch der Wirtspflanze selbst eine große Bedeutung zu. So konnte bei Interaktionsversuchen zwischen der blattbesiedelnden Aphide *Hayhurstia atriplicis* L. und der wurzelbesiedelnden Aphide *Pemphigus betae* Doane an *Chenopodium album* L. (Weißer Gänsefuß) festgestellt werden, dass die Gallenbildung durch *H. atriplicis* an blattanfälligen Wirtspflanzen zu einer fast vollständigen Elimination der die Wurzeln besiedelnden Aphide führt. Die sehr viel kleineren Populationen von *H. atriplicis* an gegenüber einem Blattbefall toleranten Sorten reichten nicht aus, um *P. betae* von den Wurzeln zu eliminieren. Im entgegengesetzten Fall konnten derartige Interaktionen nicht festgestellt werden (MORAN & WHITHAM 1990). Auch an *Vitis* spp. wurden bereits verschiedene derartige interspezifische Interaktionen beobachtet, wobei sowohl negative als auch positive Wechselwirkungen bekannt geworden sind. So steigt nach SÜLE et al. (1995) die Infektionshäufigkeit von *Agrobacterium vitis* Ophel & Kerr an Rebwurzeln bei einem gleichzeitigen Befall durch den Nematoden *Meloidogyne hapla* Chitwood. Auch sinkt die Anzahl der von *M. hapla* induzierten Wurzelgallen bei einem gleichzeitigen Befall mit *A. vitis*. Die Autoren führen dies auf eine durch *A. vitis* induzierte hormongesteuerte Beeinflussung des Frischwurzelwachstums zurück. Ebenso führt ein Befall von Reben mit der Milbe *Eotetranychus willamettei* Ewing zu einer Reduktion der Populationsdichten bei *Tetranychus pacificus* McGregor, einer Milbe, welche in hohen Dichten das Absterben von Rebblättern bewirken kann (KARBAN et al. 1997, ENGLISH-LOEB et al. 1998). Diese induzierte Resistenz der Reben erstreckt sich dabei über sämtliche Triebe hinweg und ist auch wirksam, wenn der Milbenbefall räumlich oder zeitlich getrennt stattfindet. Ein weiteres Beispiel ist die erhöhte Toleranz von Rebstöcken gegenüber *Botrytis cinerea* bei Inokulation mit *Pseudomonas* sp. (AIT BARKA et al. 2000). Untersuchungen von

Tabakpflanzen (FELTON et al. 1999) haben gezeigt, dass Salicylsäure sowohl bei lokalen Resistenzmechanismen als auch bei einer systemischen Resistenz (systemic acquired resistance, SAR) eine Rolle spielt, während Jasmonsäure sowohl an den systemischen Reaktionen auf Verwundungen als auch an der Herbivorenabwehr beteiligt ist. Diese beiden Abwehrmechanismen können sich bei Tabakpflanzen gegenseitig blockieren. So führt eine verminderte Salicylsäureproduktion zu einer verminderten SAR gegenüber dem Tabakmosaikvirus. Pflanzen mit einer solchen reduzierten SAR zeigen eine wirksamere systemische Resistenz gegenüber dem Herbivor *Heliothis virescens* F. Auch bei Tomatenpflanzen greift Salicylsäure in die Jasmonsäuresynthese ein und unterbindet entsprechende Abwehrmechanismen der Pflanze (DOARES et al. 1995). Wie diese Beispiele zeigen, sind die interspezifischen, die Toleranz der Wirtspflanze gegenüber einem Schadorganismus beeinflussenden Faktoren äußerst vielfältig. Obgleich die komplexen Abwehrmechanismen und Interaktionen noch weitestgehend unbekannt sind, ist bereits jetzt schon festzustellen, dass sie darüber hinaus von verschiedenen weiteren abiotischen und biotischen Faktoren beeinflusst werden (BOSTOCK et al. 2001). Ähnliche Erkenntnisse liegen auch aus anderen Forschungsbereichen, beispielsweise der Mykorrhizaforschung vor (RABIN & PACOVSKY 1985, PAKOVSKY et al. 1985, MASTERS & BROWN 1992, 1997, GANGE & WEST 1994, WEST 1997, BOROWICZ 1997, GANGE & NICE 1997, GANGE & BOWER 1997, GANGE et al. 1999, BONKOWSKI et al. 2001, GANGE 2001). Da die an diesen induzierten Abwehrmechanismen beteiligten Faktoren auch andere vegetative und generative Vorgänge in der Pflanze beeinflussen, ist für eine Nutzung dieser Schädlingskontrollmöglichkeiten im Rahmen des IPM die genaue Kenntnis der Wirkungsmechanismen unabdingbar (BOSTOCK 1999). Es ist anzunehmen, dass in diesem Kontext auch die im Jahr 2005 und 2006 beobachtete Nodositätenbildung an der Unterlagsrebsorte Börner zu sehen ist (Kap. 3.2). So könnten die Reblausabwehrmechanismen der mit *R. subterranea* befallenen Rebstöcke durch die Pilzinfektion gestört oder herabgesetzt worden sein, was zu einem Befall der Frischwurzeln mit Reblaus und in der Folge zu der Ausbildung von Nodositäten geführt hat. Wie beispielsweise die Untersuchungsergebnisse von DIETRICH (2005) nahe legen, sind Jasmonate an den Reblausabwehrmechanismen der Unterlagsrebsorte Börner beteiligt. So konnte die Autorin beispielsweise verschiedene Transferasen in Pflanzengewebe dieser Unterlagssorte nachweisen, welche an der Umwandlung von Jasmonsäure in Methyl-Jasmonsäure beteiligt sind. Dieselbe Autorin hat bei der Behandlung der Wurzeln dieser Unterlagsrebsorte mit IES neben der hypersensitiven Abwehrreaktion auch eine Gallenbildung festgestellt, wobei sich in der Regel aber der Resistenzmechanismus durchgesetzt hat und die Gallenbildung unterblieb. Dahin gegen konnten KOCSIS et al. (2000) in Bioassays mit Wurzeln der Unterlagsrebsorte Bör-

ner die Etablierung und Reproduktion von Rebläusen beobachten, wobei die Rebläuse des verwendeten Stammes schweizerischer Herkunft bis zu 29 Tage an diesen Wurzeln überlebten. Diese Laborbefunde stehen in Einklang mit den im Freiland an mit *R. subterranea* infizierten Wurzeln dieser Unterlagsrebsorte gemachten Beobachtungen (Kap. 3.1.2). Auch das beobachtete erhöhte Vorkommen von Tuberositäten (mit Reblaus befallene Altwurzeln) an den als 'reblaustolerant' geltenden Unterlagssorten beispielsweise der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* könnte auf eine gegenseitige Beeinflussung bzw. Blockierung der pflanzlichen Abwehrmechanismen zurückzuführen sein. Als 'reblaustolerant' eingestufte Kreuzungen wurden bislang meist nur mit der Bildung von Nodositäten, also einem Befall von Frischwurzeln mit Rebläusen, in Zusammenhang gebracht, wohingegen Tuberositäten nicht oder nur in Einzelfällen beschrieben wurden. Diesen Befunden widersprechen die in den Jahren 1998 bis 2006 auf verschiedenen Flächen mit 'reblaustoleranten' Unterlagsrebsorten gemachten Beobachtungen in deutschen Weinanbaugebieten. Bei diesen Untersuchungen konnten wiederholt Tuberositäten, auch in höherer Anzahl, festestellt werden. Hierbei ist zu erwähnen, dass die vergleichende Quantifizierung eines Tuberositätenvorkommens nicht durchgeführt werden kann wenn die Anlagen kommerziell genutzt werden. Diese Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Untersuchungen von MILKO (1961). Der Autor konnte bei seinen Untersuchungen ebenfalls wiederholt Tuberositäten feststellen, wenn das entsprechende (subepidermale) Wurzelgewebe durch die Aktivitäten von pathogenen Mikroorganismen und/oder Bodentieren für einen Reblausbefall prädisponiert war. Bei der Untersuchung entsprechender Wurzelproben aus dem Weinanbaugebiet Rheingau (Versuchsflächen o/R und O/R; Kap. 2.3 und 3.2) konnte ein Befall dieser Wurzeln sowohl mit phytopathogenen Mikroorganismen, beispielsweise der Arten *Cylindrocarpon destructans* und *Fusarium solani*, als auch mit Milben der Gattung *Schwiebea* Oudemans festgestellt werden (HUBER et al. 2006; Tafel 7-2). Einen weiteren Hinweis auf die interspezifischen Interaktionen bzw. eine mögliche Beeinflussung der Abwehrmechanismen der Reben lieferten die Untersuchungsergebnisse zum Vorkommen des obligaten Rebparasiten *S. viticola*. Hierbei zeigte sich eine Präferenz des Parasits für die durch Rebläuse befallenen Wurzelbereiche. Auch in diesem Fall ist eine Quantifizierung mit einer Vielzahl von Problemstellungen verbunden. Entsprechende Untersuchungen befinden sich derzeit in der Bearbeitung.

In der Forst- und Landwirtschaft wurden bis vor wenigen Jahren die oberirdischen und unterirdischen Lebensräume wie sie in der unmittelbaren Nähe von Pflanzen für Fauna und Mikroorganismen zur Verfügung stehen, als getrennte Einheiten betrachtet (BARDGETT et al. 1998). Diese Ansicht ist unter Anbetracht der oben genannten Beispiele auch bei *Vitis* nicht länger tragbar. Vielmehr zeigen neueste Unter-

suchungen wie das nachstehende Beispiel, dass die oberirdischen und unterirdischen Lebensräume noch auf viel weiter reichende Art und Weise miteinander in Verbindung stehen. So können beispielsweise Collembola und Lumbricidae die Fortpflanzungsraten von Aphiden (*Myzus persicae* Sulzer; SCHEU et al. 1999) beeinflussen. Die Autoren stellten bei Anwesenheit von Collembola der Arten *Heteromurus nitidus* Templeton und *Onychiurus scotarius* Gisin eine Reduktion der Reproduktionsraten der Aphide an *Trifolium repens* L. um bis zu 45 % fest, während die Reproduktionsraten an *Poa annua* L. bei Anwesenheit der Collembola um das dreifache gesteigert wurden. Auch bei der Durchsicht der zur Reblaus bis dato verfassten Literatur zeigt sich, dass, ebenso wie beispielsweise bei der Induktion der sexuellen Reproduktion (Kap. 3.1) vermutlich noch eine große Vielzahl weiterer Umweltfaktoren bei der Interaktion Reblaus-Wirt eine Rolle spielen. Mögliche Einflussfaktoren sind beispielsweise vom Wirt aufgenommene und wieder an ihn abgegebene Aminosäuren oder sonstige Substanzen (ANDERS 1957a), der Gesundheitszustand, das Alter und die Wuchskraft der Reben (ZWEIGELT 1916, KIMBERLING et al. 1990) oder die Unterlags-Edelreiskombination (ZWEIGELT 1940). Aber auch endosymbiontisch in der Reblaus vorkommende Organismen wie ein mit *Pantoea agglomerans* Gavini verwandtes Bakterium (VORWERK 2002, VORWERK et al. 2004, LEE 2005) könnten auf mehrere Arten auf die Reblaus-Rebe-Beziehung beeinflussen. Zum einen wäre es möglich, dass Endophyten selbst Stoffe produzieren, welche die Aktivität der Reben beeinflussen; so ist beispielsweise in einigen Fällen eine Gallenbildung an Pflanzen (MANULIS & BARASH 2003) oder eine Beeinflussung des Pflanzenwachstums aufgrund der Produktion von Cytokinin (OMER 2004) beschrieben. Andererseits könnten auch mit der Nahrung von der Reblaus aufgenommene Stoffe verändert werden und somit entweder dem Stoffwechsel der Reblaus zugeführt werden oder wieder an die Pflanze abgegeben werden und dort die bei einem Befall zwischen Reblaus und Reben stattfindenden Interaktionen beeinflussen. Dies ist vor allem vor dem Hintergrund einer Beeinflussung der Reblaus-Rebe-Interaktionen durch verschiedene Mikroorganismen wie *R. subterranea* von Bedeutung, da in verschiedenen Untersuchungen eine fungizide Wirkung von *P. agglomerans* beschrieben wurde (MISAGHI & DONNDELINGER 1990, VÖLKSCH et al. 1992, HALLMANN et al. 1997, SCHISLER et al. 1997, NUNES et al. 2002, BONATERRA et al. 2002, LEE 2005, HOFFMANN 2005). Ein wesentlicher Anteil innerhalb der oben dargestellten Betrachtung der Rebe-Reblaus-Interaktion kommt natürlich den Abwehrreaktionen des Wirtes selbst zu. Für *Vitis* spp. bzw. im Falle des Ertragsweinbaus mit Propfreben und der sich daraus ergebenden großen Vielzahl an Kreuzungen sind allgemein gültige Aussagen über die Schädlingsabwehrmechanismen naturgegeben nicht möglich. Vielmehr müssen sowohl die betroffenen Rebsorten als auch die vielfältigen Standortbedingungen einzeln analysiert werden. Da eine Vielzahl

der hier dargestellten Faktoren sowohl eine direkte als auch eine indirekte Wirkung auf Parasit und/oder Wirt ausüben, ist dies eine mögliche Erklärung, warum sich die Untersuchungsergebnisse und Beobachtungen zum Reblausbefall bzw. den damit einhergehenden Schädigungen von Rebstöcken oftmals stark unterscheiden. Die weiteren, der Entstehung von Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen in Rebanlagen zugrunde liegenden Faktoren und Mechanismen sind Gegenstand des Kap. 4.2. In diesem nächsten Kapitel sowie im Rahmen der Gesamtbetrachtung im Kap. 4.6 sollen auch die weiteren in Kap. 3.2 geschilderten Untersuchungsergebnisse und Beobachtungen die Reblaus betreffend diskutiert werden.

4.2 Bodenbiologische Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten in Rebanlagen mit Reblausbefall

Im Gegensatz zu den im vorherigen Kapitel geschilderten Interaktionen, welche einen Befall von *Vitis* spp. mit *D. vitifoliae* beeinflussen, sollen in diesem Kapitel aus bodenbiologischer Sicht diejenigen Faktoren angesprochen werden, welche zu Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen in Ertragsanlagen mit reblaustoleranten Unterlagsrebsorten der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* führen. Des weiteren werden die Befunde diskutiert, welche darauf hindeuten, dass Ertrags- und Qualitätsverluste in reblausbefallenen Rebanlagen mit reblaustoleranten Unterlagsrebsorten durch verschiedene Bodenparameter beeinflusst und durch geeignete Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen im Rahmen eines Integrated Pest Managements in Grenzen gehalten bzw. verhindert werden können.

4.2.1 Reblausbefall und die vegetative Leistung der Reben

Ein Vergleich der jährlichen Rebwuchsbonituren der beiden exemplarisch untersuchten Versuchsflächen O/R und o/R (Abb. 3-2, 3-3) zeigt sehr deutliche Unterschiede in der vegetativen Leistung der Reben. Betrachtet man hierzu die Reblausbefallsstärken (Abb. 3-4) an den Rebwurzeln, so ist ersichtlich, dass die auf der Versuchsfläche o/R zu beobachtenden Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen nicht auf einen stärkeren Reblausbefall auf dieser Versuchsfläche zurückzuführen sind. Im Hauptuntersuchungsjahr 2000 war die Befallsstärke mit Ausnahme der Versuchsvariante III auf der Fläche O/R sogar leicht erhöht. Ein von den Vergleichsjahren abweichendes Bild zeigte sich im Jahr 2003. Die Ergebnisse der Reblausbonituren des Monats August (Abb. 3-4) weisen sehr viel geringere Befallsstärken als in den Vergleichsjahren auf. In Anbetracht der gleichzeitig eintretenden Verschlechterung der vegetativen Leistung der Reben, vor allem auf der Versuchsfläche o/R, könnte der Eindruck einer Zunahme der Schäden bei gleichzeitiger Abnahme der Reblauspopulation entstehen. Doch sind sowohl der schlechte Rebwuchs als auch die geringen Befallsstärken auf die besonderen Klimabedingungen in der Vegetationsperiode 2003 (SCHÖNWIESE et al. 2003, LUTERBACHER et al. 2004, LÖPMEIER 2004, SCHÄR et al. 2004) zurückzuführen. Insbesondere die sehr hohen Temperaturen und geringen Niederschläge im August (Abb. 2-5 bis 2-7) dieses Jahres führten zu erheblichen Trockenschäden am Wurzelsystem der Reben, was einen starken Einbruch der Reblauspopulationsdichten zur Folge hatte. Die Reblausbonituren im Rahmen der im selben Jahr durchgeführten Untersuchungen zur biologischen Reblauskontrolle (Kap. 3.4 und 4.4) mussten aufgrund dieser Klimabedingungen sogar eingestellt werden. Auf die Auswirkungen derartiger Klimaereignisse und ihre Bedeutung im Kontext weltweiter Klimaveränderungen

wird in den folgenden Kapiteln noch näher eingegangen. Hinsichtlich der Befallshäufigkeit konnten in keinem Jahr Unterschiede zwischen den Versuchsflächen- oder -varianten festgestellt werden. In allen Jahren der Untersuchung wurde auf allen Versuchsvarianten beider Flächen stets eine Befallshäufigkeit von 100 % ermittelt. Wie in Kap. 4.1 ausgeführt, können sich Reben abhängig von verschiedenen Standort- und Umwelteinflüssen sehr stark in ihrer Anfälligkeit gegenüber einem Reblausbefall unterscheiden. Ein weiterer Faktor sind die verschiedenen Reblausgenotypen bzw. -biotypen. Wie beispielsweise OMER et al. (1999b) mit Reblauspopulationen nordamerikanischer Herkunft festgestellt haben, befallen die von den Autoren mit A und B bezeichneten Reblausbiotypen die Unterlagsrebsorte 5C, eine *V. berlandieri* x *V. riparia*-Kreuzung, auch bei hohen Abundanzzahlen nicht. KOCSIS et al. (2000) sehen als die beiden Hauptfaktoren, welche zur Ausbildung eines dauerhaften Reblausvorkommens an Rebwurzeln beitragen, die Virulenz des Reblausstammes und die Anfälligkeit des Wirtes an. Beide Bedingungen sind auf den untersuchten Flächen erfüllt wie die festgestellten Befallshäufigkeiten und -stärken sowie die Befallsbilder und Reproduktionsraten an den Wurzeln zeigen. Unterschiede in der Virulenz der Reblausstämme oder in der Anfälligkeit der Wirtspflanzen in Hinblick auf die beobachteten unterschiedlichen Auswirkung des Reblausbefalls auf die vegetative und generative Leistung der Reben dieser beiden Versuchsflächen können daher ausgeschlossen werden. Von der Universität Hohenheim durchgeführte genetische Untersuchungen der auf den Versuchsflächen vorkommenden Reblauspopulationen lieferten hierfür ebenfalls keine Hinweise (mündl. Mitt. FORNECK). Es ist also festzustellen, dass die Wuchsdepressionen und das Absterben der Pfropfreben mit der Unterlagskreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* auf der Versuchsfläche o/R nicht auf den Reblausbefall der Wurzeln per se zurückzuführen ist. Dieses Ergebnis bestätigt einen Teil der in der ersten Arbeitshypothese (Kap. 1) formulierten Vermutung und steht in Einklang mit verschiedenen in der Literatur beschriebenen Sachverhalten sowohl an dieser Unterlagskreuzung als auch an anderen Arten der Gattung *Vitis* bzw. deren Kreuzungen. So sind auch von wurzelecht gepflanzten *V. vinifera*-Reben bzw. Kreuzungen mit *V. vinifera*-Erbgut Fälle bekannt, in welchen auch ein langjähriger starker Reblausbefall die vegetative und generative Leistung der Rebstöcke nicht negativ beeinflusst hat (BREIDER & HUSFELD 1938, HOFMANN 1957, STEVENSON 1964, BUCHANAN 1978, HELM et al. 1991).

Den Ergebnissen der Rebwuchsbonituren zur Folge verbesserte sich der Wuchs der Reben auf der Versuchsfläche mit geschädigten Rebstöcken (o/R) nach Applikation von für die Praxis unüblich hohen Mineraldüngergaben (120 kg N / ha) im Vergleich zur konventionell betriebsüblich bewirtschafteten Kontrolle (40 kg N / ha). Im Jahr der Applikation konnte auch eine leichte Abnahme der Reblausbefallsdichten auf

den mit hohen Mineraldüngergaben behandelten Versuchsflächen beobachtet werden (PORTEN et al. 2000b, HUBER et al. 2000, PORTEN in Bearb.). Ähnliche Beobachtungen stammen von KOPF et al. (2000). Die Autoren stellten in Gewächshausversuchen eine Reduktion der Anzahl an Nodositäten nach Stickstoffgaben fest, wobei sie dies nicht auf eine toxische Wirkung des Stickstoffs, sondern auf einen von der Pflanze vermittelten Mechanismus zurückführten. Positive Effekte auf den Wuchs reblausbefallener Reben wurden auch von anderen Düngesubstanzen berichtet. So stellten PEROV et al. (1971) eine Wuchsverbesserung bei reblausbefallenen *V. vinifera*-Reben nach Mangandüngung fest, wenn die Böden zuvor mit diesem Nährstoff unterversorgt waren. Gleichzeitig beobachteten diese Autoren eine Erhöhung von Ascorbinsäureoxidasen, Polyphenoloxydasen und Peroxydasen in den Wurzeln sowie eine erhöhte Wurzelatmung und eine Reduktion der Mikroorganismendichten an den Wurzeloberflächen. Wie die Untersuchungen auf der Versuchsfläche o/R zeigten, ist unter Freilandbedingungen die Reduktion der Reblausdichten durch praxisübliche Stickstoffmengen nicht zu erzielen. Hinzu kommt, dass auch die bei sehr hohen, in der Praxis unüblichen, Stickstoffgaben zu beobachtenden Reduktionen der Reblausdichten nur von sehr kurzer Dauer sind. Dass sich eine Stickstoffdüngung positiv auf den Wuchs von Pflanzen auswirkt, ist evident. Den Ergebnissen ist aber zu entnehmen, dass auch dieser Einfluss des Stickstoffs nur von sehr geringer Dauer ist und zur Erklärung des sehr unterschiedlichen Rebwuchses auf den Versuchsflächen o/R und O/R nicht ausreicht. Eine wesentlich länger andauernde positive Beeinflussung des Rebwuchses wurde durch die Applikation organischer Substanz (Fichtensägemehl) in Verbindung mit praxisüblicher Mineraldüngerapplikation (40 kg N / ha) erzielt, wie die Ergebnisse der Versuchsfläche o/R zeigen. Dies wird durch die Ergebnisse des Kreuzversuchs auf der Versuchsfläche o/R, bei welchem im Jahr 2003 die beiden zuvor mit 120 kg N / ha (Mineraldünger) behandelten Versuchsvarianten mit organischer Substanz gedüngt wurden (Fichtensägemehl und Stallmist) bestätigt. Eine weitere Besprechung des direkten Einflusses von Düngemaßnahmen auf reblausbefallene Rebstöcke der Unterlagskreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* erfolgt in PORTEN (in Bearb.).

4.2.2 Die Mikroorganismenzönosen verschiedener Bodenmikrokompartmente unter besonderer Berücksichtigung phytopathogener Pilzarten

'Die Forschungen, die ich seit einigen Monaten verfolge beweisen mir, dass die Fäulnis der Nodositäten und Tuberositäten ausschließlich der Entwicklung von verschiedenen Pilzen und in seltenen Fällen auch anderer parasitischer Organismen zugerechnet werden muss. Diese Wirkung der verschiedenartigen und von verschiedenen Pilzen stammenden Myzelien ist in den Nodositäten und Tuberositäten stets zu

beobachten wenn sie abzufaulen beginnen. Ihre [der Pilzmycelien] stete Anwesenheit in den Nodositäten, den Tuberositäten und im Inneren der kleinen und großen Wurzeln zeigt, dass sie am krankhaften Zustand beteiligt sind. Der Pilzbefall ist nicht die Folge der Wurzelveränderungen sondern die Ursache' (MILLARDET 1878).

Diese Darstellung MILLARDETS über die Beteiligung von phytopathogenen Mikroorganismen am Absterben reblausbefallener Wurzeln von Europäerreben (*V. vinifera*) ist meines Wissens die erste Beschreibung eines derartigen Sachverhaltes. Sie löste in der Folge sehr kontrovers geführte Diskussionen unter den Reblausforschern dieser Zeit aus (eine Diskussion aller zur damaligen Zeit bestehenden Hypothesen zum Reblausbefall und der Entstehung von Nodositäten und Tuberositäten findet sich bei PETRI 1907). Den zur damaligen Zeit zur Reblausproblematik in nahezu unzähliger Zahl publizierten Forschungsergebnissen und Berichten beispielsweise aus Frankreich ('Comptes Rendus des Travaux du Service du Phylloxera'), Deutschland ('Denkschrift zur Bekämpfung der Reblauskrankheit') oder Italien ('Relazione sullo stato della infezione fillosserica') ist zu entnehmen, dass, ebenso wie heute (Kap. 4.1), zwischen den Einflussfaktoren, welche über die Anfälligkeit einer Rebsorte gegenüber der Reblaus bestimmen und den Faktoren, welche die vegetative und generative Leitung der Reben nach einem Reblausbefall beeinflussen, oft nicht unterschieden wurde. So war auch die Arbeitshypothese MILLARDETs heftiger Kritik ausgesetzt und vielfach wurde aus seinen Untersuchungsergebnissen gefolgert, dass unter sterilen Bedingungen keine Nodositäten- oder Tuberositätenbildung stattfinden könne; eine Ansicht, welche der Autor auch selber vertrat. Entsprechende Versuche in späteren Jahren widerlegten diese Vermutung jedoch und führten dazu, dass Untersuchungen zum Einfluss von Mikroorganismen auf das Absterben reblausbefallenen Wurzelgewebes lange Zeit so gut wie nicht durchgeführt wurden. Trotzdem wird eine Beteiligung von Mikroorganismen im Kontext der Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen an Rebstöcken seit dieser ersten Beschreibung von MILLARDET in der Literatur immer wieder diskutiert, wenngleich der Anteil derartiger Arbeiten an der gesamten zur Reblaus in den letzten 150 Jahren verfassten Literatur nur einen Bruchteil beträgt.

Die Durchsicht dieser wenigen Literaturstellen, welche in der Folge noch näher zu besprechen sein werden, legt die Vermutung nahe, dass die meisten dieser Befunde unabhängig voneinander gemacht wurden, da Verweise auf andere kontextbezogene Arbeiten nur in sehr wenigen Fällen erfolgen. Insbesondere die bis circa zum Jahre 1985 abgefassten Arbeiten vor allem russischer, italienischer und deutscher Forscher sind in neuerer Literatur gar nicht oder nur sehr vereinzelt berücksichtigt. Dies ist einerseits bedauerlich, zeigt aber auch, dass entsprechende Beobachtungen zur Beteiligung phytopathogener Mikroorganismen auch geographisch und zeitlich getrennt im-

mer wieder gemacht wurden und keine Einzelfälle darstellen. Die Frage, warum diese Erkenntnisse nicht schon seit langem die Grundlagen fester Arbeitshypothesen darstellen und auch heutzutage sowohl in der Forschung als auch der Praxis vielfach noch nicht bekannt sind oder akzeptiert werden, soll hier nicht diskutiert werden. Neben methodischen und technischen Problemstellungen, welche sich durch die komplexen und vielfältigen Wechselwirkungen ergeben und im Laufe der Zeit auch zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen geführt haben, spielten, zumindest in der Vergangenheit, sicher auch sozioökonomische Faktoren eine Rolle. Ein weiterer wesentlicher Faktor ist, wie auch im Fall anderer Forschungsgebiete (TIEDEMANN 2002), die aufgrund der politischen Lage im letzten Jahrhundert sehr begrenzte oder nicht stattgefundene Berücksichtigung international durchgeführter Forschungsvorhaben und deren Ergebnisse. Dieser Umstand wiegt, zumindest im Falle der im Rahmen dieser Arbeit bearbeiteten Themengebiete mindestens ebenso schwer wie die nur äußert ungenügende Berücksichtigung älterer Literatur. Dies wurde im Rahmen dieser Arbeit wiederholt dargestellt (siehe z.B. Kap. 3.1) und trifft auch auf die hier in der Folge erwähnten Literaturstellen zu. Im Laufe der letzten 5 Jahre konnten durch die Kooperation mit dem Institut für Mikrobiologie der Universität Innsbruck und der National Agrarian University in Kiew unter anderen einige der relevanten Arbeiten russischer Wissenschaftler ermittelt und übersetzt und somit im Rahmen dieser Arbeit berücksichtigt werden.

Da die sowohl mit phytopathogenen Mikroorganismen als auch Reblausbefall in Zusammenhang stehenden Untersuchungsergebnisse aus dieser Literatur auch für die Bewertung der isolierten Pilzarten und deren Einteilung in Pathogenitätsklassen verwendet wurden, erfolgt zunächst eine chronologische Besprechung der bisher bekannten Ergebnisse. Hierbei gilt es zu berücksichtigen, dass der Großteil der kontextbezogenen Untersuchungen und Beobachtungen an *V. vinifera* vorgenommen wurden. Dies war somit auch der Anlass zu den hier durchgeführten und im Anschluss zu diskutierenden Untersuchungen an Unterlagsreben der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia.*

Zwar postulierte MILLARDET (1878) als erster die Beteiligung phytopathogener Mikroorganismen am Absterbeprozess reblausbefallener Wurzeln, doch verdienen die Untersuchungen von PETRI (1907) ebenfalls besondere Beachtung. Er versuchte als erster die verschiedenen bis dahin existierenden Arbeitshypothesen zu vereinen und nahm auch als erster eine Trennung der Frage nach den Faktoren, welche einen Reblausbefall an Rebwurzeln beeinflussen und der Frage, wie und wann es zum Absterben reblausbefallener Wurzelgewebe kommt vor, d.h. 'welche Beziehung besteht bei jeder Rebenart zwischen Reblausresistenz in engerem Sinn und Fäulnisresistenz?'. Dabei fanden bei seinen Untersuchungen nicht nur die auf *V. vinifera* basierenden Rebsorten sondern auch andere Kreuzungen wie *V. berlandieri* x *V. riparia* (420 A) oder *V. riparia*

x *V. rupestris* (3309) Berücksichtigung. Aus seinen Untersuchungsergebnissen folgerte er, dass sich, unter gleichen Bedingungen, die Fäulniserreger bei den unterschiedlichen Rebsorten kaum unterscheiden und auch gleich wirken. Dass die Fäulnis bei weniger resistenten Wurzeln tiefer in das Gewebe eindringt, führt PETRI nicht auf eine höhere Virulenz der Mikroorganismen oder auf eine niedrigere spezifische Resistenz der Wurzelgewebe, sondern auf die 'Intensität und Verbreitung der phylloxerischen Reizung' zurück. Unberücksichtigt bleibt bei seinen Untersuchungen der Einfluss der jeweiligen Vegetations- und Bodenbedingungen. Außerdem betont PETRI, dass seinen Untersuchungsergebnissen zur Folge die unterschiedliche Resistenz der verschiedenen Reben von der Fähigkeit zur Neubildung einer Korkschicht abhängt, da diese das Eindringen der Fäulniserreger einschränkt oder verhindert. Der vom Autor von Rebwurzeln und Rebläusen isolierte *Bacillus vitis* Petri (eine eindeutige Zuordnung dieses Bakteriums unter heutigen taxonomischen und systematischen Kriterien gelang nicht; ein Stamm dieses Bakteriums konnte in keiner Sammlung nachgewiesen werden und Angaben zu einem eventuell vorhandenen Belegexemplar gibt PETRI nicht) dringt nie in die hyperplastischen Gewebe ein. Allerdings wird eine gewisse Parallele zwischen Reblausresistenz und Tauglichkeit der Rebwurzeln für die Besiedlung dieser mit *B. vitis* beschrieben, dergestalt, dass das Bakterium sich auf phylloxerierten Wurzeln sehr viel schneller vermehrt. Als mikrobielle Schaderreger sieht PETRI insgesamt 13 Pilzarten an, darunter auch die im Rahmen dieser Arbeit isolierten Arten *Gliocladium roseum* und *Alternaria alternata* (eine genaue Zuordnung aller Pilzarten erfolgt wie im Falle aller hier angeführten Literaturstellen in Kap. 7.4). An der Vorschädigung der Wurzelgewebe können PETRI zur Folge außer der Reblaus auch andere tierische Organismen wie *Heterodera radicicola* Greef oder *Rhizoglyphus echinopus* Fumouze & Robin beteiligt sein. Folgeuntersuchungen (PETRI 1910) bestätigten seine bereits gewonnenen Erkenntnisse, machten aber auch deutlich, dass Boden- und Klimaeinflüsse ebenfalls eine Auswirkung auf die Schadentstehung haben und sich zudem die auf Amerikanerreben basierenden Kreuzungen in ihrer Anfälligkeit unterscheiden. Dahingegen führt SIEGEL (1955) die Absterbeerscheinungen an reblausbefallenen Pfropfreben der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* vorwiegend auf eine schlechte Nährstoffversorgung der Reben zurück. Ein weiterer von ihm angeführter Aspekt ist die zur damaligen Zeit stark diskutierte 'Selbstreinigung' von Amerikanerreben (z.B. auch BREIDER & HUSFELD 1938). Hierunter verstand man das Verhalten von Reblauspopulationen, an den Wurzeln dieser Amerikanerreben große Zahlen von geflügelten Tieren hervorzubringen, welche abwandern und somit den Befallsdruck an den Rebwurzeln verringern. HOFMANN (1957a) sieht nach Darstellung einer Literaturübersicht das Problem der Reduktion der vegetativen und generativen Leistung von Pfropfreben mit reblaustoleranten

Unterlagsrebsorten vor allem darin, dass die ihm bekannten Untersuchungen stets nur an Tuberositäten durchgeführt wurden, wohingegen zu den durch Nodositäten hervorgerufenen Ausfällen keine Erkenntnisse vorliegen. Zudem geht für den Autor aus den durchgeführten Untersuchungen hervor, dass es sich bei dem unterschiedlichen Toleranzverhalten der Rebsorten um einen Komplex verschiedener Merkmale handelt. Einer der Hauptgründe für das sehr verschiedene Verhalten der Rebsorten bei Reblausbefall bzw. der Schadentstehung liegt nach HOFMANN im unterschiedlichen Wurzelwachstum bzw. der Wachstumsgeschwindigkeit der Wurzeln begründet. So sterben seinen Untersuchungen zur Folge die Nodositäten an den Wurzeln der *V. vinifera*-Sorten meist nach drei bis vier Wochen ab, wobei die daran beteiligten phytopathogenen Mikroorganismen auch auf die anderen Teile der Wurzel übergreifen und die Rebe erheblich in ihrer Leistungsfähigkeit beeinträchtigen. Anders seien die Verhältnisse bei den amerikanischen *Vitis*-Spezies wie beispielsweise bei *V. riparia*. Hier erzeugt die Reblaus zwar auch Nodositäten, diese werden aber nicht so schnell von Mikroorganismen befallen und können häufig ihr Wachstum fortsetzen und funktionsfähig bleiben. HOFMANN bezeichnet dies als 'Durchwachsen'. Aufgrund des unterschiedlichen Pflanzenwachstums zeigen Amerikanerreben dabei über eine längere Zeit ein 'Durchwachsen' befallener Wurzeln. Zusätzlich weisen seinen Untersuchungen zur Folge die wüchsigsten Pflanzen einer Sorte den höchsten Anteil von Wurzeln auf, die trotz Ausbildung einer Nodosität ihr Längenwachstum fortsetzen. Kümmerlich wachsende Pflanzen hingegen bilden nur wenige schwach wachsende Nodositäten aus, welche vergleichsweise schnell durch Mikroorganismen befallen werden. Unter identischen Ausgangsbedingungen zeigen Amerikanerreben (*V. riparia, V. rupestris, V. aestivalis, V. labrusca*) sowie Kreuzung aus diesen Arten eine höhere Gesamtzahl 'durchgewachsener' Nodositäten im Vergleich zu *V. vinifera*. Dieser Mechanismus ist dabei stark von den jeweiligen Bodenverhältnissen abhängig, wobei 'der Einfluss des Bodens unmittelbar auf die einzelnen Wurzeln einwirkt und nicht auf dem Umweg über die Pflanze. Die einzelnen Wurzel scheinen demnach direkt auf Außenbedingungen zu reagieren, so dass man an ein und derselben Pflanze nebeneinander hochanfällige und tolerante Wurzeln findet'. In der Tat lassen sich auch unter Freilandbedingungen immer wieder Wurzeln beobachten, welche trotz Nodositätenbildung nicht Absterben, sondern ihr Längenwachstum fortsetzten. Die Bewertung der Auswirkung dieses 'Durchwachsens' auf den Krankheitsverlauf bzw. auf die Wuchsdepressionen und das Absterben der Rebstöcke ist mit herkömmlichen Methoden so gut wie unmöglich. Hier könnte das bereits in Kap. 3.1.2 erwähnte digitale Wurzelerfassungssystem (WinRhizo) eine neue Untersuchungsmöglichkeit darstellen. Erste Versuche hierzu wurden in der Vegetationsperiode 2006 durchgeführt (HUBER et al. unpubl.). Insbesondere der durch das Sys-

tem erfassbare Anteil an Wurzelspitzen je Bodenvolumen ist dabei vion Interesse. Ziel der zukünftigen Untersuchungen wird es beispielsweise sein, einerseits die Auswirkungen verschiedener Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen auf ein 'Durchwachsen' reblaus- bzw. mikroorganismenbefallener Rebwurzeln zu untersuchen und andererseits verschiedene Unterlagsrebsorten auf diese Fähigkeit unter verschiedenen Bedingungen zu testen. Dies könnte wertvolle Hinweise für die zukünftige Züchtung reblaus- und/oder mikroorganismentoleranter Unterlagsrebsorten liefern, insbesondere vor dem Hintergrund veränderter Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen und Klimabedingungen auf welche in der Folge noch näher eingegangen wird. Ähnliche Effekte an Rebwurzeln beschreibt BALBIANI (1874a, b) im Fall des anholozyklischen Lebenszyklusses an den Wurzeln von Reben. Für die Rebenzüchtung folgert HOFMANN, dass zur Charakterisierung einer Rebsorte diese in verschiedenen Böden untersucht werden muss, da es möglich ist, dass unter Bedingungen, die das Wachstum ungünstig beeinflussen, tolerante Reben anfällig werden; umgekehrt sollen Außenfaktoren, die das Wurzelwachstum der Rebe fördern, eine Erhöhung der Toleranz bewirken. Eine weitere Arbeit, welche sich intensiv mit den Interaktonen zwischen Rebwurzeln, Reblaus und phytopathogenen Organismen bei verschiedenen Rebsorten beschäftigt, stammt aus dem Jahre 1961 (MILKO 1961). Wie bereits PETRI (1907), so betont auch dieser Autor die Bedeutung von Sekundärparasiten, erweitert die Ergebnisse PETRIs aber in einigen Punkten. So gelang es ihm, noch weitere pathogene Bodenpilze (insgesamt 19 Arten) aus dem Nodositäten- bzw. Tuberositätengewebe zu isolieren. Hierzu zählen beispielsweise *Penicillium simplicissimum*, verschiedene Arten der Gattung *Fusarium*, darunter *F. oxysporum* sowie *Cylindrocarpon destructans*. Der Autor findet in Übereinstimmung mit PETRI (1907) keine rebsortenspezifischen Unterschiede in der Anfälligkeit gegenüber einem gemeinsamen Reblaus-/Mikroorganismenbefall. Als Hauptinfektionsweg sieht MILKO die durch die Nodositäten- und Tuberositätenbildung in der Wurzelrinde entstandenen Risse und Aufplatzungen. Vor allem an Tuberositäten kann der Schaden nach Beobachtungen des Autors durch die Einwirkung tierischer Organismen wie Milben (*Rhizoglyphus echinopus* Fumouze & Robin), Nematoden (*Heterodera radicicola* Greeff, *H. schachtii* Schmidt, *Aphelenchus longicaudatus* Cobb, *A. tenuicaudatus* de Man) oder Enchytraeiden (*Enchytraeus bucholzi* Henle) verstärkt werden, wobei auch in diesem Zusammenhang Amerikanerreben ebenso betroffen sind wie Europäerreben (Kap. 4.1). Besondere Bedeutung kommt nach MILKO der Bodenfeuchte zu, da seinen Untersuchungen zur Folge Nodositäten und Tuberositäten besonders schnell bei einer Bodenfeuchte über 25-30 % zerstört werden, während bei trockeneren Bedingungen die Pilze langsamer wachsen und ein Befall der Wurzeln meist auf die Peripherie bzw. die Rindenzellen beschränkt bleibt, wobei auch bei sehr trockenen Verhältnissen das

Nodositätengewebe häufig degeneriert. Abgesehen von der Bildung von Stärkekörnern in den Wurzelzellen, welche von den pathogenen Mikroorganismen als zusätzliche Kohlenstoffquelle genutzt werden, wird nach MILKO die Widerstandsfähigkeit einer Rebsorte vor allem von ihrem Potential bestimmt, durch die Bildung von Wundgewebe infizierte Gewebsbereiche schnell abschließen zu können. Auch bei Rebsorten mit einer sehr gut ausgebildeten Wurzelrinde wie bei der Kreuzung *V. riparia* x *V. rupestris* (cv. 101-14) ist die Anfälligkeit gegenüber einer kombinatorischen Reblaus-/Mikroorganismeninfektion geringer. Etwa zur gleichen Zeit wie MILKO wurde der Einfluss der Bodenmikroorganismen auf reblausbefallene Rebwurzeln auch von PEROV et al. (1970) untersucht. Diesen Autoren zur Folge haben nicht alle der aus Nodositäten- und Wurzelgewebe isolierbaren Mikroorganismen eine pathogene Wirkung. Bei den Hauptarten, welche am Absterben des reblausinfizierten Wurzelgewebes beteiligt sind, handelt es sich nach diesen Autoren um *F. oxysporum*, *P. simplicissimum*, *Gliocladium verticilloides* Pidopl. sowie den Bakterien *Pseudomonas leguefaciens* Migula und *Bacillus vulgatus* Trevisan. Bezüglich der Anfälligkeit gegenüber einem Reblaus-/Mikroorganismen-Befall bestehen nach PEROV et al. starke rebsortenspezifische Unterschiede, wobei die Wurzeln reblausanfälliger Sorten nicht so beständig sind wie die reblaustoleranter Sorten. Die von der Reblaus befallenen Wurzelgewebe zeichnen sich in beiden Fällen durch erhöhte Mikroorganismendichten aus, verglichen mit reblausfreien Wurzeln. Einige Missverständnisse vor allem in der weinbaulichen Praxis löste die Arbeit von RILLING (1975) aus. Der Autor rechnet die 'Schäden' an den Rebwurzeln allein der Reblaus zu und sieht in Mikroorganismen nur einen Faktor, welcher das Absterben der reblausbefallenen Wurzeln beschleunigt. Diese Arbeit bzw. die Diskussion der Untersuchungsergebnisse ist ein Beispiel für eine unzureichende Trennung der Aspekte eines Reblausbefalls und der Anfälligkeit von Rebsorten einerseits und der Entstehung von Nekrosen und Absterbeerscheinungen an Wurzeln und Rebstöcken andererseits. Dass RILLING bei seinen Untersuchungen 'zur Frage der direkten oder indirekten Schädigung von Rebwurzeln durch die Reblaus' die Nodositätenentstehung selber und nicht das Absterben des Nodositätengewebes als 'Schädigung' bezeichnet, geht beispielsweise aus den von ihm angewandten Methoden hervor. Ein Beispiel dafür, dass verschiedenen Autoren, welche sich seit Ende des letzten Jahrhunderts mit dem Schadkomplex Reblaus-Mikroorganismen-Umweltfaktoren beschäftigen, die Grundlagenarbeiten beispiels-weise von PETRI (1907), HOFFMANN (1957a) oder MILKO (1961) nur teilweise oder nicht bekannt waren, ist die Arbeit von VANACCI et al. (1984). Trotz dieser Unkenntnis auch der in den vorherigen Arbeiten angewandten Methoden sind deutliche Parallelen zwischen den Untersuchungsergebnissen festzustellen, was nahe legt, dass den verschiedenen Beobachtungen gleiche Wirkungsmechanismen

zugrunde liegen. Dies betrifft beispielsweise die aus dem reblausbefallenen Wurzelgewebe isolierten Pilzarten. Bei den von aus reblausbefallenen Wurzeln der Rebe *V. vinifera* isolierten Pilzarten handelt es sich um *C. destructans*, verschiedene *Fusarium*-Arten wie *F. equiseti* oder *F. solani*, *G. roseum* sowie Arten der Gattungen *Aspergillus*, *Penicillium* und *Verticillium*. Diese Mikroorganismen wurden von VANACCI et al. stets in höherer Zahl aus reblausbefallenem als aus reblausfreiem Wurzelgewebe isoliert. Tests zu Pathogenität dieser Pilze zeigten während der 11-monatigen Versuchsphase im Gewächshaus jedoch keine negativen Auswirkungen auf den Pflanzenwuchs. Dieser letzte Befund verdient besondere Aufmerksamkeit, da er auf die Grundmechanismen einer Schadentstehung an reblausbefallenen Rebstöcken zurückzuführen ist. Da dieser Aspekt von besonderer Bedeutung auch im Hinblick auf die Frage warum derartige Schäden vermehrt erst seit circa 1985 beobachtet werden ist, kann er an dieser Stelle nicht behandelt werden, sondern wird erst im folgenden Kapitel ausführlich besprochen. Die umfassendsten mir bekannten Arbeiten zur Wirkung pathogener Mikroorganismen an *Vitis* im Allgemeinen und im Zusammenhang mit Reblausbefall im Besonderen stammen von NEDOV (1985) und NEDOV & GULER (1987). Die Freiland- und Gewächshausuntersuchungen dieser Autoren haben gezeigt, dass bestimmte im Zusammenhang mit Reblausbefall aus Wurzelgewebe von *Vitis* spp. isolierte Pilzarten auch ohne eine vorhergehende Schädigung der Wurzeln beispielsweise durch die Reblaus als fakultative Wurzelparasiten von *Vitis* spp. anzusehen sind. Solche Pilzarten sind beispielsweise *F. oxysporum* und *C. destructans* (NEDOV 1985). In weiteren Versuchen haben die Autoren über 200 *Vitis*-Arten und Kreuzungen auf ihre Anfälligkeit gegenüber einer Reblaus-/Mikroorganismen-Infektion getestet und aufgrund dieser Ergebnisse in 7 Anfälligkeitsklassen eingeteilt. Diese Klassen sind durch verschiedene Parameter charakterisiert, welche erstens die Entwicklung der Reblauspopulationen, zweitens das Ausmaß des Mikroorganismenbefalls sowohl an der Wurzeloberfläche als auch in den verschiedenen Wurzelgeweben und drittens die von der Pflanze gebildeten Abwehrreaktionen wie die Bildung von Wundabschlussgewebe berücksichtigen. Der geringsten Anfälligkeitsstufe werden dabei Reben zugerechnet, bei welchen keine Folgen einer Reblaus- oder Mikroorganismeninfektion zu beobachten sind. Die höchste Anfälligkeit zeigen die Reben der Klasse 5. Bei diesen Rebsorten konnten die Autoren einen intensiven Reblausbefall sowie einen Mikroorganismenbefall in allen Wurzelgewebsbereichen beobachten, wobei Fäulniserscheinungen an 30 - 100 % der Wurzeloberfläche festzustellen waren und die Entwicklung des Wundperiderms weniger als 50 % betragen hat. Sämtliche Sorten der Kreuzung der im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit untersuchten Unterlagsrebsorten der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* wurden von den Autoren der Anfälligkeitsklasse 1 zugerechnet. Rebsorten dieser Klasse sind

gekennzeichnet durch einen schwachen Reblausbefall und eine geringe Fäulnis, welche auf die äußeren Gewebsschichten der Nodositäten beschränkt bleibt, wobei zudem nur 3 - 5 % der Oberfläche Fäulnis aufweisen. Das periderme Wundgewebe ist bei Rebsorten dieser Anfälligkeitsklasse zu 100 % entwickelt. Nach NEDOV & GULER wird die qualitative und quantitative Zusammensetzung der Mikroorganismenzönosen in der Rhizosphäre von Reben mehr von den Bodenbedingungen beeinflusst als von den Rebstöcken. Die Zusammensetzung der Mikroflora in den Wurzeln hingegen wird auch von der Rebsorte beeinflusst. Die aus von der Reblaus geschädigten Rebwurzeln isolierten Mikroorganismenzönosen sind diesen Autoren zur Folge unabhängig vom Standort immer gleich mit nur sehr geringen quantitativen Unterschieden. Verantwortlich hierfür sind die Wurzelausscheidungen und flüchtige Stoffe mit antimikrobieller Wirkung. Weiterhin besteht nach diesen Autoren kein Zweifel daran, dass die Entwicklung und das Eindringen der Mikroorganismen in das Wurzelgewebe durch die fungistatischen Eigenschaften der Böden bestimmt wird. Dabei sollte Fungistase insbesondere im Rhizosphärenbereich von Rebwurzeln als dynamisches Phänomen angesehen werden, da die hierbei wirkenden Mechanismen sehr unterschiedlich sein können. Als einen die fungisatischen Eigenschaften der Böden wesentlich beeinflussenden Faktor sehen die Autoren die Wechselwirkungen zwischen pathogenen und saprophytischen Mikroorganismen unter aktiver Beteiligung des Wurzelsystems an. Diese letztgenannten Aspekte werden in Kap. 4.2.3 ausführlich besprochen. Auch die von NEDOV & GULER (1987) beschriebenen Untersuchungsergebnisse weisen *F. oxysporum*, *C. destructans* und *Gliocladium verticilliodes* als die Hauptschaderreger aus, wobei sie sowohl aus geschädigtem als auch ungeschädigtem Wurzelgewebe isoliert werden können. Daneben konnten die Autoren noch 9 weitere Pilzarten isolieren, welche ihren Untersuchungsergebnissen zur Folge als Schwächeparasiten angesehen werden müssen. Die erste Beschreibung einer Untersuchung zum Einfluss phytopathogener Mikroorganismen bei der Entstehung von Wurzelschäden an reblausbefallenen Reben aus Nordamerika stammt von OMER et al. (1995). Die Untersuchungen dieser Autoren beschränken sich auf Rebsorten der Art *V. vinifera*. Aus den Wurzeln rebausbefallener Reben einer Freilandfläche konnten die Autoren 7 verschiedene Pilzgattungen isolieren (eine Art-Angabe erfolgt nicht). Auffällig an diesen Untersuchungen ist, dass aus reblausfreiem Wurzelgewebe keine Pilze isoliert werden konnten; ein Umstand, welcher im Zusammenhang mit den im Rahmen der vorliegenden Arbeit darzustellenden Ergebnissen noch diskutiert werden wird. Gewächshausversuche der Autoren mit den Pilzarten *Fusarium solani* und *Phytium ultimum* zeigten starke Wuchsdepressionen an den oberirdischen und unterirdischen Organen der Pflanzen. Eine Präventivbehandlung der Gewächshauspflanzen mit den Fungiziden Metalazyl oder Benomyl führte zu

einer signifikanten Reduktion der Schadsymptome. Auch die in den Folgejahren von diesen Autoren durchgeführten Untersuchungen (GRANETT et al. 1998, LOTTER et al. 1999, OMER 2000, OMER & GRANETT 2000) beschränken sich auf *V. vinifera*-Reben, bzw. Kreuzungen mit *V. vinifera*-Erbgut und sind aus diesem Grund für die hier zu besprechenden Untersuchungsergebnisse in Rebanlagen mit reblaustoleranten Unterlagsrebsorten der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* nur sehr bedingt nutzbar. Die Autoren stellten bei Rebsorten, welche auf *V. vinifera* basieren, einen Unterschied in den die reblausbefallenen Gewebe besiedelnden Pilze fest. Während bei wurzelechten *V. vinifera*-Reben vorwiegend *F. oxysporum*, *G. roseum* und *P. ultimum* isoliert wurden, wurden bei der Kreuzung AXR#1 *(V. vinifera* x *V. rupestris*) vor allem *F. oxysporum* und *Cephalosporium* sp. isoliert (GRANETT et al. 1998). Auch wird diesen Arten nur eine geringe Virulenz zugerechnet, was sie somit nur im Zusammenhang mit Reblausbefall zu Schädlingen von Reben macht. Dieser Befund steht in Widerspruch zu NEDOV & GULER (1987) sowie zu anderen Untersuchungen an *F. oxysporum*. Hierbei muss aber auch die sehr unterschiedliche Pathogenität verschiedener *F. oxysporum*-Stämme berücksichtigt werden (FRAVEL et al. 2003) worauf aber auch in der Folge noch weiter eingegangen wird. Bei gleichzeitigem Reblaus- und Pilzbefall konnten die Autoren einen Wurzelverlust von bis zu 27 % feststellen (GRANETT et al. 1998). Dabei fanden die Autoren starke Unterschiede zwischen organisch und mineralisch bewirtschafteten Rebflächen (LOTTER et al. 1999). So traten in organisch bewirtschafteten reblausbefallenen Rebanlagen weniger (9 %) auf Pilzbefall zurückzuführende Wurzelnekrosen auf als in konventionell (31 %) bewirtschafteten Anlagen. Die Größe der Reblauspopulationen sowie verschiedene Bodenparameter (z.B. organische Bodensubstanz, Stickstoffgehalt) unterschieden sich nicht auf den unterschiedlich bewirtschafteten Flächen, wofür verschiedene Gründe angenommen werden können, welche im folgenden Kapitel besprochen werden sollen. Nach OMER & GRANETT (2000) entwickeln sich an den mit Pilzen infizierten Wurzeln die Reblauspopulationen langsamer. Die Überlebensrate sank in den Labor- und Gewächshausversuchen und die Vermehrungsraten waren geringer. Außerdem konnten die Autoren zeigen, dass die Reblaus als Vektor für die Pilzinokulate von geschädigten zu ungeschädigten Wurzeln dient. In den von KOCSIS et al. (2000) durchgeführten Untersuchungen an unterschiedlichen Rebsorten zeigte sich zwar ein starker Reblausbefall aber keine durch Reblaus- und Mikroorganismen-Infektionen verursachten Schäden an Rebsorten der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia*. Die von den Autoren beschriebenen Untersuchungen wurden lediglich an einem Prüfglied, einer Versuchsfläche der Universität Keszthely durchgeführt. Auf die hieraus entstehenden Problematiken weist neben NEDOV & GULER (1987) bereits HOFMANN (1957a,b) hin. Aus diesen Gründen sind diese Ergebnisse zur Interpretation der im

Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchungen nicht verwendbar. Eine weitere Arbeit, in welcher verschiedene Rebsorten, unter anderen auch der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* berücksichtigt werden, sind die Untersuchungen von SCHWAPPACH (2006). Der Autor erfasst aber lediglich den Reblausbefall und die Fäulnis in einem dreiklassigen Bonitursystem, ohne Mikroorganismenarten zu isolieren oder Angaben zu sonstigen weiterführenden Untersuchungen. Des Weiteren besteht auch dieser Versuch nur aus einem Prüfglied und macht ihn damit wie im Fall der Untersuchungen von KOCSIS et al. (2000) für die in der Folge darzustellen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit nutzlos.

Von den crica 20 mir bekannten Arbeiten zu Reblaus-Mikroorganismen-Interaktionen berücksichtigen lediglich 8 Arbeiten auch reblaustolerante Unterlagssorten in entsprechender Weise. Ohne die aus den geschilderten Gründen für die Interpretation der Untersuchungsergebnisse dieser Arbeit nicht nutzbaren Literaturangaben stehen zum Vergleich im Wesentlichen nur die Arbeiten von PETRI (1907), HOFMANN (1957a,b), MILKO (1961), NEDOV (1985) und NEDOV & GULER (1987) zur Verfügung. Aus diesem Grunde wurde zur Diskussion der Ergebnisse auf verschiedene an *Vitis* und anderen höheren Pflanzen durchgeführte Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenmikroorganismen zurückgegriffen. Im Falle von *Vitis* spp. beschäftigen sich, wie in Kap. 1.1 bereits dargestellt, die wenigen kontextbezogenen Untersuchungen nur mit sehr wenigen verschiedenen Bodenpilzarten. Dies sind im wesentlichen *F. oxysporum* sowie verschiedene Arten der Gattung *Cylindrocarpon*, *Phytophthora* und *Phytium*. Eine umfassende Referenzmöglichkeit für die insgesamt 46 im Rahmen der vorliegenden Arbeit isolierten Pilzarten bietet fast ausschließlich die Arbeit von POPUSCHOI & MARZINHA (1980). Allgemeine Arbeiten zur Bodenmikrobiologie von Weinbergsböden liegen nicht vor, weshalb ein Literaturvergleich beispielsweise der im Folgenden diskutierten Mikroorganismendichten in den Bodenmikrokompartimenten der Versuchsflächen nicht vorgenommen werden konnte. Die zur Diskussion der isolierten Pilzarten genutzten Literaturangaben wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit in einem eigenen Kapitel (Kap. 7.6) dargestellt und werden im Folgenden nur bedingt nochmals extra aufgeführt. Aufgrund dieser Defizite bezüglich der Erkenntnisse zur Bodenmikrobiologie von Weinbergsböden wurden und werden verschiedene weitere Untersuchungen angestellt. Hierzu zählen beispielsweise die im Rahmen des DFG-Forschungsvorhabens EI-87/6-4 (Thema 'Untersuchungen zum Einfluss phytopathogener Bodenpilze auf Absterbeerscheinungen von Rebstöcken') durchgeführten Arbeiten, welche Gegenstand der Dissertation von HAMMES (in Bearb.) sind.

Des Weiteren muss an dieser Stelle noch auf zwei Aspekte des Versuchsaufbaus der bodenbiologischen Untersuchungen hingewiesen werden. So ist ein wesentli-

cher Punkt, dass es nicht Ziel dieser Untersuchungen war, die Pilzzönosen der Boden- und Wurzelmikrokompartimente vollständig zu erfassen. Dies wäre angesichts der bekannten methodischen Problemstellungen bei bodenmikrobiologischen Untersuchungen (WOLLUM 1982, ALEF 1991, ELSAS et al. 1997, DUNGER & FIEDLER 1997) auch nicht angebracht. Die auf anderen als im Kap. 2.1.2 beschriebenen Nährmedien (z.B. Bodenextrakt-Agar nach ALEF 1991) isolierten Bodenpilze wurden auf ihre Fähigkeit zum Wachstum auf Czapek-Dox-Agar, PDA (Kartoffel-Dextrose-Agar) und SNA (Synthetischer Nähragar) getestet, wobei sich keine Unterschiede in den isolierbaren Pilzarten auf diesen Medien zeigten. Dieses Vorgehen wurde zudem durch den Nachweis des obligaten Rebenpathogens *S. viticola*, welches sich nicht außerhalb der Wurzeln kultivieren lässt, bestätigt. Die aufgeführten Pilzarten stellen also nur einen Ausschnitt der Gesamtpilzzönose dar, wenngleich den Untersuchungen von NEDOV (1985) zur Folge mit dem verwendeten Nährmedium ein großer Teil der Pilzarten isoliert werden kann. Die eigenen Untersuchungen bestätigen dies. Der Fokus des Interesses lag auf den Unterschieden zwischen geschädigten und ungeschädigten Rebflächen bzw. dem möglichen Unterschied zwischen konventioneller und organischer Bodenbewirtschaftung. In Anbetracht dessen wird ebenfalls deutlich, dass es ebenfalls nicht Ziel dieser Untersuchungen sein konnte, das Spektrum der pathogenen Pilze im Wurzelgewebe der verschiedenen Testpflanzen vollständig zu eruieren, sondern vielmehr die Grundmechanismen der Schädigung der Reben bei Reblausbefall mit einem möglichst breiten und interdisziplinären Methodenfächer darzustellen. Diesem lag die Annahme zugrunde, dass hierbei weniger bestimmte einzelne Mikroorganismenarten von Bedeutung sind, sondern vielmehr die Zusammensetzung und die Wechselwirkungen in der Mikroorganismenzönosen und deren Interaktion mit anderen abiotischen und biotischen Faktoren.

Betrachtet man ausschließlich die Ergebnisse der Pilzdichtebestimmungen in den verschiedenen Bodenmikrokompartimenten der Versuchsflächen, so wird deutlich, dass einheitliche Tendenzen zwischen Bewirtschaftungsarten, Reblausbefall oder zwischen Bereichen mit geschädigten oder ungeschädigten Rebstöcken nicht bestehen. Die im Monat Juni in allen drei Mikrokompartimenten vergleichsweise geringen Pilzdichten sind möglicherweise auf die trockene und warme Witterung des Frühjahrs 2000 (Abb. 2-5 bis 2-7; LÖPMEIER 2001) zurückzuführen. Auffällig ist aber, dass bei der Zusatzuntersuchung im Monat August der mit organischer Substanz (Fichtensägemehl) zusatzversorgten Variante der konventionell bewirtschafteten Versuchsfläche (o/R/IV/s) sowohl die Pilzdichten im wurzelnahen als auch im wurzelfernen Mikrokompartiment stark erhöht waren. Ein ähnliches uneinheitliches Bild zeigen die Ergebnisse der Bakteriendichtebestimmung. Allerdings wiesen die geschädigten Reben der konventionell

bewirtschafteten Versuchsfläche (o/R) in der Rhizoplane bei drei von vier Untersuchungsterminen geringere Bakteriendichten auf als die bis dahin ungeschädigten Rebstöcke. Im wurzelnahen Bereich bestehen in der Tendenz Unterschiede zwischen den ungeschädigten Rebstöcken der reblausfreien zuletzt unbewirtschafteten (o/r) und der langjährig organisch (O/R) bewirtschafteten Fläche mit Reblausbefall einerseits und der konventionell bewirtschafteten Versuchsfläche o/R andererseits, wobei die geringeren Dichten auf der zuletzt genannten Versuchsfläche vorgefunden wurden. Hinsichtlich des Vorkommens von Actinomyceten sind die im Monat August stark erhöhten Werte in allen drei Mikrokompartimenten der Versuchsvariante o/R/I/S zu erwähnen, bzw. die niedrigeren Werte des ungeschädigten Bereichs dieser Versuchsfläche. Eine Gesamtbetrachtung aller Mikroorganismendichten lässt insgesamt in der Tendenz eine größere Ähnlichkeit zwischen der reblausfreien Versuchsfläche (o/r) und der reblausbefallenen, organisch bewirtschafteten Versuchsfläche (O/R) vermuten. Die Versuchsfläche o/R zeigt sowohl im Vergleich zu den beiden Vergleichsflächen deutlichere Unterschiede als auch in vielen Fällen gegenläufige Tendenzen zwischen den Bereichen geschädigter und ungeschädigter Rebstöcke wie beispielsweise der Bakteriendichten in der Rhizoplane und dem wurzelfernen Mikrokompartiment im September und Oktober. Dies lässt darauf schließen, dass Unterschiede in den Mikroorganismendichten nicht auf einen Reblausbefall zurückzuführen sind. Vielmehr scheint es, dass der Zustand der Böden und die Bodenbewirtschaftung einen Einfluss auf die Dichte der Mikroorganismen in den Mikrokompartimenten der Böden haben. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit denen von NEDOV & GUHLER (1987). Diese Autoren sahen als den Haupteinflussfaktor auf die qualitativen und quantitativen Eigenschaften der Mikroorganismenzönosen in der Rhizosphäre von Reben ebenfalls die Bodeneigenschaften und nicht die Rebe bzw. deren Wurzeln. Im Gegensatz zu dem quantitativen Aspekt der koloniebildenden Einheiten (CFU) unterscheiden sich die Pilzzönosen der Versuchsflächen o/r und O/R einerseits und der Fläche o/R andererseits bezüglich der qualitativen Artzusammensetzung erheblich, wie die Ergebnisse der Korrespondenzanalysen zeigen. Dabei bestehen die Unterschiede sowohl hinsichtlich des Vorkommens von phytopathogenen bzw. saprophytischen Pilzen (Abb. 3-8) allgemein als auch hinsichtlich der Zusammensetzung der Einzelarten (Abb. 3-9). Wären auf zwei Vergleichsvarianten beispielsweise jeweils 3 parasitische und 3 saprophytische Pilzarten isoliert worden, wäre ihre Zuordnung im Rahmen der Korrespondenzanalyseergebnisse basierend auf den Pathogenitätsklassen dieselbe auch wenn es sich dabei um unterschiedliche Pilzarten gehandelt hätte. Im Falle gleicher Pilzarten wäre die Zuordnung dieser Versuchsvarianten auch hinsichtlich der Ergebnisse der Korrespondenzanalyse basierend auf Einzelarten dieselbe. Anders im Falle verschiedener Arten mit

gleicher Pathogenitätsklassenzugehörigkeit. Die Ergebnisse beider Korrespondenzanalysen gemeinsam zeigen also, dass Unterschiede sowohl hinsichtlich des Vorkommens von pathogenen bzw. saprophytischen Arten als auch im Vorkommen bestimmter Einzelarten zwischen den Versuchsflächen und Versuchsvarianten bestehen. Die Ergebnisse zeigen, dass **1.** sich die konventionell bewirtschaftete Versuchsfläche o/R sowohl in Bereichen geschädigter als auch in Bereichen ungeschädigter Reben dabei konstant von der bis 5 Jahre zuvor ebenfalls konventionell bewirtschafteten aber reblausfreien (o/r) und der reblausbefallenen aber organisch bewirtschafteten Versuchsfläche O/R unterscheidet; **2.** diese Unterschiede sowohl hinsichtlich der Phytopathogenität der Gesamtpilzzönose als auch bezüglich des Vorkommens bestimmter Einzelarten bestehen und diese Unterschiede besonders in dem Mikrokompartiment Rhizoplane und im wurzelnahen Boden evident sind; **3.** die Zufuhr organischer Substanz auch 2 Jahre nach der Applikation eine deutliche Auswirkung auf das Vorkommen phytopathogener Pilzarten sowie der gesamten Artzusammensetzung der Pilzzönose hat. Dies steht in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von KWASNA et al. (2000), welche nach Zugabe von Kiefernsägemehl ebenfalls eine Beeinflussung der Zusammensetzung der Pilzzönosen zwei Jahre nach der Applikation feststellen konnten, wobei vor allem *Trichoderma harzianum* gefördert wurde. Dieser Umstand wird weiter verdeutlicht wenn man nicht nur die Mikrokompartimente Rhizoplane sowie den wurzelnahen und wurzelfernen Boden betrachtet, sondern zusätzlich die in den Nodositäten- und Wurzelgeweben vorkommenden Pilzarten bzw. ihre Zugehörigkeit zu einer Pathogenitätsklasse mit berücksichtigt. So ist festzuhalten, dass **4.** die Pilzzönosen im Gewebe reblausfreier Wurzeln der Reben auf der reblausfreien Versuchsfläche (o/r) und der reblausbefallenen, aber organisch bewirtschafteten Versuchsfläche (O/R) ähnlicher sind, verglichen mit der reblausbefallenen konventionell bewirtschafteten Versuchsfläche (o/R), wobei zudem Unterschiede zwischen den Mikroorganismenzönosen in Nodositätengewebe der beiden reblausbefallenen Flächen bestehen. Dies gilt vor allem für den Bereich mit geschädigten Reben der Versuchsfläche o/R. Dieser Befund steht im Gegensatz zu den von OMER et al. (1995), die überhaupt keine Pilze aus reblausfreiem Wurzelgewebe isolieren konnten. Bestätigt werden die eigenen Ergebnisse durch die Untersuchungen von NEDOV & GULER (1987), die ebenfalls aus reblausfreien Wurzeln Pilze isolieren konnten. In Anbetracht der Vielzahl die Rindenbereiche von Pflanzenwurzeln besiedelnden Pilzen (SIVASITHAMPARAM 1998) sowie den verschiedenen endophytisch die Rebe besiedelnden Arten (TIEDEMANN et al. 1988) verwundert das Untersuchungsergebnis von OMER et al. (1995). Bei verschiedenen eigenen Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass auch eine intensive, mehrere Zellschichten durchdringende Oberflächensterilisation nicht zu einer vollständigen Abtö-

tung der Pilze in den tiefer liegenden Wurzelgeweben und/oder Gefäßen führt. Wie die durchgeführten Untersuchungen, ebenso wie die von NEDOV & GULER (1987) zeigen, können aus dem Gewebe reblausfreier Wurzeln in einigen Fällen auch als pathogen anzusehende Pilzarten wie *F. oxysporum* isoliert werden. Die Betrachtung der in den verschiedenen untersuchten Mikrokompartimenten vorkommenden Pilzarten zeigt ebenfalls, dass: **5.** sich die Pilzzönosen in den Mikrokompartimenten geschädigter und ungeschädigter Rebstöcke mit Reblausbefall nicht nur hinsichtlich des Vorkommens pathogener Pilzarten, sondern ebenfalls im Vorkommen von als neutral oder saprophytisch anzusehender Pilzarten unterscheiden. Dieser letzte Punkt ist von besonderer Bedeutung, sowohl im Kontext der grundlegenden Mechanismen der Interaktionen zwischen Mikroorganismen in Böden als auch bezüglich deren Wechselwirkung mit weiteren abiotischen und biotische Faktoren, so dass dieser Aspekt gesondert in Kap. 4.2.3 besprochen wird. Von besonderem Interesse waren bei diesen Untersuchungen sowohl das Vorkommen als auch die Häufigkeit einzelner Pilzarten im Nodositäten- und Wurzelgewebe der Rebstöcke (Tab. 3-8 bis 3-10). Hierbei konnte festgestellt werden, dass: **6.** der Prozentsatz der mit Pilzen infizierten jungen Nodositäten auf der reblausbefallenen konventionell bewirtschafteten Versuchsfläche mit schlechterem Wuchs der Reben höher ist als im Vergleich zu der ebenfalls reblausbefallenen aber organisch bewirtschafteten Rebfläche ohne Beeinträchtigung der vegetativen und generativen Leistung der Rebstöcke; **7.** ein höherer Prozentsatz von Nodositäten in den Bereichen stark im Wuchs beeinträchtigter Rebstöcke mit Pilzen infiziert ist als in Bereichen nur schwach oder nicht geschädigter Rebstöcke derselben Versuchsfläche (o/R); **8.** die Infektionsraten auf der organisch bewirtschaften Versuchsfläche im Laufe der Vegetationsperiode nur schwach zunehmen und gegen Ende der Vegetationsperiode wieder zurückgehen, wobei ein Maximum von 12 % nicht überschritten wird, während der Anteil der mit Pilzen infizierten Nodositäten auf der konventionell bewirtschafteten Versuchsfläche - bei stetig höheren Raten - im Laufe der Vegetationsperiode steigt und im Falle der Reben in den geschädigten Bereichen, auch nicht wieder abnimmt; hier wurden im Oktober Infektionsraten von über 40 % beobachtet. Im Bereich ungeschädigter Reben dieser Versuchsfläche (o/R) war die auf der Versuchsfläche O/R zu beobachtende abnehmende Tendenz im Befall zum Ende der Vegetationsperiode ebenfalls festzustellen. Weiterhin hat sich gezeigt, dass: **9.** das Vorkommen der das Nodositätengewebe besiedelnden Pilzarten im Laufe der Vegetationsperiode teilweise erheblichen Veränderungen unterliegt, wobei bestimmte Arten insgesamt oder bei bestimmten Reben relativ konstant vorkommen. Zudem kann den Ergebnissen entnommen werden, dass **10.** allein das Vorkommen als pathogen anzusehender Arten im Boden einer Versuchsfläche nicht ausreicht, um eine andauernde Infektion der Wurzeln bzw. Nodo-

sitäten zu verursachen. Dies zeigt insbesondere das Beispiel von *C. destructans*, der im Monat August aus 25 % der auf der Versuchsfläche O/R mit Pilzen infizierten Nodositäten isoliert werden konnte, aber weder vor noch nach diesem Termin wieder isoliert wurde, sicherlich aber vorhanden war. Zudem wurde diese Art im Jahr 2000 relativ konstant aus den Mikrokompartimenten 'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsfläche o/R isoliert, aber nie aus dem Nodositätengewebe der Reben. Ähnliches gilt für die Art *F. oxysporum*. Diese Art wurde beispielsweise nie aus dem Mikrokompartiment 'rp' der Versuchsvarianten o/R/I/s isoliert, obgleich er im Nodositätengewebe mehrfach und in hohen Befallsraten nachgewiesen wurde. Auf der Variante o/R/I/S der gleichen Versuchsfläche wurde diese Art in wurzelfernem und wurzelnahem Boden Monate vor der Infektion der Nodositäten nachgewiesen. Die drei letztgenannten Punkte stehen damit teilweise im Widerspruch zu den von NEDOV & GULER (1987) erzielten Ergebnissen. Diese Autoren beobachteten im Nodositätengewebe unabhängig vom Standort stets dieselben Mikroorganismenarten, allenfalls mit leichten Unterschieden quantitativer Art. So zeigt aber auch der Vergleich der Ergebnisse der, sehr wenigen, in diesem Kontext durchgeführten Untersuchungen, dass sich die aus Nodositätengewebe isolierten Pilzarten im Gegensatz zu den Befunden von NEDOV & GULER (1987) doch sehr stark unterscheiden können. Dabei wurden die folgenden Pilzarten nach Angaben der entsprechenden Literatur am häufigsten isoliert (wobei hier die Untersuchungen an *V. vinifera* mit einbezogen wurden; Zahlen in Klammern geben die Anzahl von in der Literatur beschriebenen Untersuchungen wieder): *F. oxysporum* (6/8), *C. destructans* (5/8), *F. equiseti* (4/8), *F. solani* (4/8), *G. roseum* (4/8) und *Gliocladium verticilloides* (3/8). Alle anderen der insgesamt über 50 Pilzarten wurden nur bei einer oder zwei der durchgeführten Untersuchungen aus mit Reblaus befallenem Wurzelgewebe isoliert. Insbesondere die Untersuchungen von PETRI (1907) weichen in den Isolationsergebnissen von denen anderer Untersuchungen deutlich ab. So nennt der Autor nur 2 Pilzarten, *Gliocladium roeseum* und *Alternaria alternata*, welche auch bei anderen Untersuchungen isoliert wurden. *Alternaria alternata* wurde nur in einer weiteren Arbeit, der hier vorliegenden, nochmals nachgewiesen. Es ist hierbei allerdings anzumerken, dass nicht alle Autoren eine vollständige Liste der isolierten Arten angeben. Derartige Artlisten sind nur den Publikationen von PETRI (1907), MILKO (1961) und NEDOV & GULER (1987) zu entnehmen. PEROV et al. (1971), VANACCI et al. (1984), OMER et al. (1995), GRANETT et al. (1998) und LOTTER et al. (1999) geben Gattungen, aufgrund der Vorgeschichte an *Vitis* als Pathogene bekannte sowie die in Labor- oder Gewächshausuntersuchungen weiterführend untersuchten Einzelarten oder häufig isolierte Arten an. Dabei haben manche der Autoren jahresabhängige (LOTTER et al. 1999) oder rebsortenspezifische

(GRANETT et al. 1998) Unterschiede zwischen den Pilzzönosen im Wurzelgewebe reblausbefallener Rebstöcke festgestellt.

Wie ist nun aber die Pathogenität der verschiedenen Pilzarten im Zusammenhang mit Reblausbefall bei *Vitis* spp. bzw. *V. berlandieri* x *V. riparia*-Kreuzungen einzustufen? Generell ist zu sagen, dass auf der Grundlage von Labor- oder Gewächshausuntersuchungen gewonnene Erkenntnisse zur Phytopathogenität bei Reben nur eine sehr bedingte Aussage über das Verhalten unter Freilandbedingungen zulassen. Neben den allgemein bekannten, einem derartigen Ergebnistransfer immanenten Problemstellungen beispielsweise bezüglich der hohen Simplizität in diesen künstlichen Systemen gegenüber Freilandbedingungen (KLIRONOMOS & KENDRICK 1996, GANGE 2000) wird diese Problematik für die perennierende Kulturpflanze *Vitis* spp. im Besonderen durch zwei Beobachtungen im Rahmen dieser Arbeit verdeutlicht. Ein mehrmonatiger Gewächshausversuch mit verschiedenen von den Versuchsflächen isolierten Pilzarten (TEPE 2002; *Acremonium kiliense*, *Acrodontium crateriforme*, *Alternaria alteranta*, *Cladosporium cladosporoides*, *Fusarium culmorum*, *Gliocladium catenulatum*, *Gliocladium roseum*, *Penicillium aurantiogriseum*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium citrinum*, *Penicillium simplicissimum*, *Penicillium viridicatum*, *R. subterranea* und *Schizophyllum commune*) zeigte keine Unterschiede im Wuchs der Reben. Dass *R. subterranea* aber als Primärpathogen von *Vitis* anzusehen ist, geht sowohl aus der Literatur als aus eigenen Untersuchungen eindeutig hervor (Kap. 4.5). Trotzdem zeigten sich bei Ende des Versuchs keinerlei Wuchsdepressionen an den infizierten Rebstöcken. Es ist also davon auszugehen, dass entweder die Zeitdauer der Versuche zu kurz gewählt wurde, oder die Kulturbedingungen (Wasserversorgung, Temperaturbedingungen etc.) unnatürlich günstig in dieser künstlichen Umgebung waren. Im Falle von *Vitis* spp. zeigen dies beispielsweise die Untersuchungen von PORTEN et al. (2000a). Gegenstand der Untersuchungen dieser Autoren war die Frage, ob Wasserstress bei Reben durch einen zusätzlichen Reblausbefall erhöht wird. Wie eine unter Freilandbedingungen meist nur durch künstliche Bewässerung zu erreichende, in Gewächshausversuchen aber übliche, Wasserversorgung der im Versuch verwendeten Containerpflanzen zeigte, hat ein Reblausbefall bei ausreichender Bewässerung keinen negativen Einfluss auf die Transpirationsraten von Reben. Dies wird weiterhin durch die Untersuchungsergebnisse von VANNACCI et al. (1984) bestätigt. Ein 11-monatiger Gewächshausversuch mit verschiedenen aus reblausbefallenen Wurzeln aus dem Freiland isolierten Pilzarten zeigte unter künstlichen Bedingungen keine negative Beeinflussung des Rebwuchses. Derartige Einflüsse künstlicher Kulturbedingungen wurden beispielsweise bereits von BÖRNER (1921) bezüglich der Anfälligkeit von Rebstöcken gegenüber einem Reblausbefall an den Blättern festgestellt. Im Gegensatz hierzu wurden

bei Gewächshausversuchen im Rahmen der vorliegenden Arbeit die künstlichen Bedingungen den Freilandbedingungen möglichst weitgehend angenähert. Dies wurde beispielsweise durch die Verwendung von aus den Versuchsflächen stammender Topferde bzw. einer Übertragung natürlich vorkommender Mikroorganismen- und Faunazönosen durch Bodensuspensionen erzielt (Kap.2.3.2 und 3.2.2). In diesem Fall zeigten sich bereits einige Monate nach Versuchsbeginn deutliche Unterschiede im Wuchs der Rebstöcke zwischen den Vergleichsvarianten, wobei der Wuchs der Reben in spezieller Pflanzenanzuchtserde im Allgemeinen besser war als bei Verwendung von Naturböden. Dies zeigt, dass bei Gewächshaus- bzw. Topfversuchen verschiedene Kulturmaßnahmen wie beispielsweise die Wasserversorgung oder die Bodenbedingungen einen Einfluss haben. Angesichts dieser Aspekte verbleiben zur Bewertung der Pathogenität der isolierten Pilzarten für einen Literaturvergleich die Freilanduntersuchungen von PETRI (1907), MILKO (1961) und NEDOV & GULER (1987). Legt man die Annahme von NEDOV & GULER (1987) zugrunde, dass es sich bei Pilzen, welche auch aus gesunden Wurzeln isoliert werden können um Parasiten, bei solchen, die nur aus reblausbefallenen Wurzeln isoliert werden können um Saprobier handelt, würden den eigenen durchgeführten Untersuchungen zur Folge die Arten *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporoides*, *Fusarium equiseti*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Gliocladium catenulatum*, *Gliocladium roseum*, *Nectria inventa* und *Penicillium citrinum* pathogene Pilzarten darstellen. Für einen Teil dieser Pilzarten wäre dieses Kriterium auch in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von GRANETT et al. (1998), welche in reblausfreien Wurzeln in keinem Fall Pilze isolieren konnten. Aufgrund der bei den eigenen Untersuchungen beobachteten Vorkommen dieser Pilze beispielsweise unter Einbeziehung der reblausfreien Vergleichsfläche und den weiterführenden Untersuchungen zum Vorkommen von Pilzarten in Nodositäten unterschiedlichen Alters scheint es aber angebracht, eine differenziertere Pathogenitätsklassenzugehörigkeit vorzunehmen. Hierbei müssen neben dem beobachteten unterschiedlichen Vorkommen auf den Versuchsflächen und -varianten neben weiteren vor allem aber vier Aspekte mitberücksichtigt werden. Erstens ist das Vorkommen einer Pilzart in Wurzelgewebe von Pflanzen nicht in allen Fällen mit einer Phytopathogenität gleichzusetzen. So kommen neben Mykorhizapilzen oder Endophyten beispielsweise in der Wurzelrinde auch andere Pilzarten vor, von welchen keine schädigende Wirkung auf das Wurzelwachstum ausgeht (SIVASITHAMPARAM 1998). Zweitens ist bei vielen Pilzarten bekannt, dass verschiedene Stämme sehr unterschiedliche physiologische Eigenschaften besitzen können (Kap. 7.4). Dies bezieht sich sowohl auf die Nutzbarkeit verschiedener Nährstoffquellen oder die antagonistische Wirkung gegenüber anderen Pilzarten, z.B. bei *Cylindrocarpon destructans*, aber auch auf die Phytopathogenität welche bei-

spielsweise bei *Fusarium oxysporum* stammabhängig sehr unterschiedlich sein kann. Im Fall der letztgenannten Art sind diese Unterschiede so stark ausgeprägt, dass derzeit unter anderem aus diesem Grund mehrere hundert Forma speciales bekannt sind. Während von dieser Art verschiedene Stämme mit einer sehr hohen Phytopathogenität bekannt sind, werden verschiedene andere nichtpathogene Stämme im Rahmen der biologischen Schädlingskontrolle eingesetzt (BAILEY et al. 1998, CIOTOLA et al. 2000, GHNINI et al. 2000, FRAVEL et al. 2003). Der dritte zu betrachtende Aspekt ist unmittelbar mit den verschiedenen komplexen, unter nativen Bedingungen anzutreffenden, Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und ihrer Umgebung verknüpft. So ist es als natürliche Erscheinung anzusehen, dass sich sowohl in und an reblausfreien aber auch reblausbefallenen Wurzeln Mikroorganismen ansiedeln, welche weder in Korrelation zu einem Reblausbefall noch zu den zu beobachtenden Wuchsdepressionen in reblausbefallenen Rebanlagen stehen. Neben obligaten und fakultativen Parasiten wie *S. viticola* oder *R. subterranea* wirken auf die Rebwurzeln eine Vielzahl mehr oder minder schädliche Faktoren ein, welche die Wurzeln für eine Besiedlung durch Mikroorganismen prädisponieren. Somit kann aufgrund des Vorkommens einer Pilzart in reblausfreiem Wurzelgewebe wie beispielsweise auf der Versuchsfläche o/r nicht ohne weiteres auf die Pathogenität eines Organismus geschlossen werden. Dies gilt ebenso für die aus reblausfreien Wurzelteilen reblausbefallener Reben isolierten Pilzarten. An dem in diesem Zusammenhang stehenden Befund von GRANETT et al. (1998), welche aus reblausfreiem Gewebe keinerlei Mikroorganismen isolieren konnten sind aus Sicht des Autors Zweifel angebracht. Ein vierter und letzter Punkt muss in diesem Zusammenhang kurz angesprochen werden. Wie die folgende Überlegung verdeutlichen soll, können auch die aus reblausbefallenem Wurzelgewebe aber aus Rebanlagen ohne Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen an den Reben isolierten Pilzarten nicht per se als Saprophyten angesehen werden. So besteht die Möglichkeit, dass auch diese Pilzarten eine pathogene Wirkung auf die Reben haben, aber beispielsweise in so geringen Häufigkeiten vorkommen, dass sie auf den Gesamtgesundheitszustand und den Wuchs des Rebstocks keinen Einfluss haben. Im selben Zusammenhang muss ebenfalls berücksichtigt werden, dass das Wurzelsystem kein statisches System darstellt, sondern in ständigem Auf- und Abbau begriffen ist wie beispielsweise auch die weinbauliche Nutzung dieser dynamischen Eigenschaften des Wurzelsystems zeigt (DAVIES & ZHANG 1991, STOLL et al. 2000). Das heißt, sowohl Nodositäten als auch vollständig schädlingsfreie Wurzeln sterben aufgrund von Alterserscheinungen naturgegeben nach einer gewissen Zeit ab und werden im Verlauf dieses Prozesses von verschiedenen Mikroorganismen besiedelt, auch wenn das Gewebe noch nicht abgestorben ist. Dieser letztgenannte Aspekt ist im Rahmen der Entstehung von

Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen von reblausbefallenen Reben vor allem mit der Unterlagssorte *V. berlandieri* x *V. riparia* bzw. deren Kontrolle von besonderer Bedeutung und wird im folgenden Kapitel eingehend besprochen. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Art und Weise der Schadentstehung mit berücksichtigt werden muss. Die geschilderten negativen Einflüsse auf die vegetative und generative Leistung der Reben wirken über vergleichsweise lange Zeiträume von bis zu mehreren Jahren. Das heißt, zu beobachtende Schäden an den oberirdischen Organen der Rebstöcke entstehen nicht durch einen schnellen kurzzeitigen, sondern durch einen andauernden und akkumulierten Frischwurzelverlust. Es zeigt sich also, dass **11.** die phytopathogene Wirkung der aus reblausbefallenem Wurzelgewebe isolierbaren Pilzarten aufgrund von Einzelbefunden nur sehr begrenzt oder überhaupt nicht bestimmt werden kann und eine derartige Bewertung nur unter Berücksichtigung der jeweiligen Standortbedingungen und den komplexen Wechselwirkungen unter nativen Verhältnissen vorgenommen werden kann. Zusätzlich zu den oben genannten, nach der Arbeitshypothese von NEDOV & GULER (1987) als pathogen anzusehenden, da auch aus reblausfreiem Wurzelgewebe isolierbaren, Pilzarten wurden im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen noch eine Anzahl weiterer Pilzarten aus Wurzelgeweben isoliert, welche deshalb ebenfalls hinsichtlich ihrer pathogenen Wirkung bzw. ihrem Beitrag am Rückgang der vegetativen und generativen Leistung und am Absterben reblausbefallener Rebstöcke mit Unterlagsrebsorten der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* bewertet werden müssen. Es sind dies: *Acremonium furcatum*, *Aspergillus ustus*, *Cylindrocarpon destructans*, *Cylindrocarpon magnusianum*, *Cylindrocarpon lichenicola*, *Fusarium sacchari*, *Fusarium sambuccinum*, *Mucor hiemalis*, *Rhizopus stolonifer*, *Schizophyllum commune* und *Trichoderma koningii*.

Unter Einbeziehung der genannten Aspekte, der Biologie und Ökologie (Kap. 7.4), dem bei den Untersuchungen festgestellten Vorkommen (Übersicht siehe Tab. 7-35) und den beobachteten Isolationshäufigkeiten (Tab. 3-6, 3-7, 3-10) können die im Rahmen der vorliegenden Arbeit isolierten Pilzarten bewertet werden. Im Zusammenhang mit Vorschädigungen wie beispielsweise durch eine Nodositätenbildung kann für Unterlagsrebsorten der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* angenommen werden, dass **12.** eine eindeutig pathogene Wirkung auf das Wurzelsystem der Reben von den Pilzarten *Fusarium oxysporum*, *Fusarium equiseti* und *Cylindrocarpon destructans* ausgeht; **13.** als schwache Pathogene bzw. Parasiten auch an lebendem Gewebe die Arten *Aspergillus ustus*, *Cladosporium cladosporiodes*, *Fusarium sacchari*, *Fusarium sambuccinum* und *Fusarium solani* anzusehen sind; **14.** die Pilzarten *Acremonium furcatum*, *Alternaria alternata*, *Cylindrocarpon magnusianum*, *Cylindrocarpon lichenicola*, *Mucor hiemalis* und *Schizophyllum commune* als Saprobier anzusehen sind und **15.**

aus dem Nodositätengewebe Pilzarten zu isolieren sind, welche endophytisch im Gefäßsytem von Reben vorkommen. Es sind dies die Arten *Cladosporium cladosporoides*, *Gliocladium catenulatum*, *Gliocladium roseum*, *Penicillium citrinum* und *Trichoderma koningii*. Diese im Boden aber auch endophytisch im Gefäßsystem der Reben vorkommenden Arten bedürfen einer genaueren Betrachtung. Es ist bei der Bewertung ihrer eventuellen phytopathogenen Eigenschaften zu berücksichtigen, dass allein das endophytische Vorkommen nicht gleichbedeutend mit Neutralität oder Nützlingseigenschaften gegenüber dem Wirt ist. So liegen auch für *Vitis* spp. im Zusammenhang mit der Petri-Erkrankung Hinweise darauf vor, dass die die Krankheit auslösenden Pilze bei Stressbelastungen sich nicht länger neutral gegenüber ihrem Wirt verhalten, sondern eine zunehmend pathogene Wirkung zeigen (GUBLER et al. 2004). Es muss also angenommen werden, dass **16.** die isolierten Pilzarten *Cladosporium cladosporiodes*, *Gliocladium catenulatum* und *Gliocladium roseum* als Endophyten mit parasitischem Potential anzusehen sind, welche je nach den äußeren Umständen ein neutrales Verhalten zeigen oder pathogen auf die Wirtspflanze wirken. Besonders im Falle von *Gliocladium roseum* könnte diese Hypothese die Uneinheitlichkeit der Befunde erklären. Zum einen wurde dieser Pilz in teilweise sehr hohen Häufigkeiten sowohl aus Nodositäten- als auch aus Wurzelgewebe isoliert. Dabei kam er im Gewebe der Reben auf allen untersuchten Flächen, sowohl der konventionell als auch der organisch bewirtschaften, der reblausfreien als auch der reblausbefallenen sowie bei gesunden und im Wuchs gestörten Reben vor. Des Weiteren wird dieser Pilz in der Literatur sowohl als Pathogen als auch als Endophyt an Reben beschrieben. Zudem ist dieser Pilz PEROS et al. (1999) zur Folge mit *Eutypa lata* assoziiert. Wie das Vorkommen endophytisch im Gefäßsystem von Reben lebender Pilze mit pathogenem Potential im Kontext von Schädigungen von Reben nach Reblausbefall zu sehen ist, wird im folgenden Kapitel diskutiert. Im Falle des ebenfalls als Endophyten von *Vitis* spp. bekannten Pilz *Penicillium citrinum* kann dagegen mit relativ großer Sicherheit davon ausgegangen werden, dass es sich bei dem nicht aus Nodositäten-, sondern nur aus Wurzelgewebe der reblausfreien und ungeschädigten Rebstöcke der Versuchsfläche o/r isolierten Pilz um einen Endophyten ohne pathogenes Potential handelt. Noch etwas anders stellt sich die Situation für die Art *Trichoderma koningii* dar. Aufgrund ihrem bei den Untersuchungen beobachteten Auftreten sowie den zu dieser Art vorliegenden Literaturbefunden kann vermutet werden, dass **17.** es sich bei *Trichoderma koningii* um einen endophytisch im Gefäßsystem von Reben vorkommenden Pilz handelt, welcher das Potential besitzt, gestresste bzw. reblausbefallene Reben vor einer Infektion mit Sekundärparasiten zu schützen. In dem Zusammenhang der endophytisch an Reben vorkommenden Pilzarten stellt sich aufgrund des Vorkommens im Rahmen der durchge-

führten Untersuchungen auch im Fall von *Nectria inventa* die Frage, ob dieser Pilz nicht auch als Endophyt von *Vitis* anzusehen ist. Diese Frage wird aber nur durch weiterführende Untersuchungen zu klären sein. Aus den unter den Punkten 15 bis 17 diskutierten Sachverhalten ergibt sich, dass **18.** den endophytisch im Gefäßsystem von Reben vorkommenden Mikroorganismenarten potentiell eine große Bedeutung im Kontext von biotisch verursachten Erkrankungen wie Esca, Eutypiose, Petri-Erkrankung, Reblaus-, Botrytis- oder Peronosporabefall bei Reben zukommt. Diesbezügliche Untersuchungen sind Gegenstand der derzeitigen und zukünftigen Forschung. Wie das Vorkommen endophytischer, potentiell pathogener bzw. nützlicher Mikroorganismen im Gefäßsystem auf die vegetative und generative Leistung von Reben speziell im Zusammenhang mit Reblausbefall zu sehen ist, ist Gegenstand des folgenden Kapitels.

4.2.3 Schadkonduktive und -suppressive Bedingungen in Pfropfrebenanlagen mit Reblausbefall und ihre Bedeutung im Rahmen des IPM

Wie die bisherigen Betrachtungen zeigen, ist sowohl das Vorkommen der Reblaus (Kap. 4.1), als auch das Vorkommen phytopathogener Mikroorganismen (Kap. 4.2.2) allein nicht ausreichend, um die unterschiedliche generative und vegetative Leistung der Rebstöcke auf den Versuchsflächen zu erklären. Bezüglich des Vorkommens pathogener Mikroorganismen sei in diesem Zusammenhang auf das Auftreten von *S. viticola* und *R. subterranea* auf den Versuchsflächen (Kap. 3.3 und 3.5) hingewiesen, deren Bedeutung in den folgenden Kapiteln diskutiert wird (Kap. 4.3 und 4.5). Das Beispiel der Versuchsfläche O/R zeigt, dass aber auch ein gemeinsames Vorkommen tierischer und pilzlicher Schaderreger noch nicht zu einer negativen Beeinflussung des Rebwuchses führen muss. Wie auch die Anfälligkeit verschiedener Rebsorten gegenüber Reblausbefall durch eine Reihe verschiedener Einflussfaktoren bestimmt wird (Kap. 4.1), so scheint auch im Falle der Schadentstehung an Reben ein Faktorenkomplex über die Anfälligkeit der Reben zu bestimmen. Es stellt sich nun die Frage, welche und wie bestimmte Einflussfaktoren bei der Schadentstehung bzw. Schadunterdrückung zusammenwirken. Bevor für den in der vorliegenden Arbeit untersuchten Fall der Schädigung reblaustoleranter Unterlagsreben der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* eine derartige Bewertung vorgenommen werden kann und somit die sich aus den Arbeitshypothesen folgenden Fragen (Kap. 1.4) beantwortet werden können, müssen zunächst verschiedene Aspekte beispielsweise zur Pathogenabwehr, zum Einfluss abiotischer und biotischer Faktoren sowie zum Einfluss verschiedener Bewirtschaftungsmaßnahmen betrachtet werden. Dies ist im vorliegenden Fall von besonderer Bedeutung, da beispielsweise zu den Pathogenabwehrmechanismen bei *Vitis* im Allgemeinen sowie zu den Abwehrmechanismen der Rebwurzeln im Besonderen bis dato

wenige oder gar keine Erkenntnisse vorliegen wie in den bisherigen Ausführungen dargelegt wurde. Es hat sich weiterhin gezeigt, dass beispielsweise die auch unter heutigen Gesichtspunkten sehr weitsichtige und fortschrittliche Betrachtung der Interaktionen Rebe - Reblaus - pathogene Mikroorganismen wie sie von NEDOV & GULER (1987) durchgeführt wurde, nicht ausreicht, um die unterschiedlichen Schäden in reblausbefallenen Propfrebenanlagen zu erklären. Allerdings weisen die Autoren auch darauf hin, dass die zu einer Schädigung des Wuchses der Rebstöcke beitragenden Faktoren maßgeblich beispielsweise durch die Umweltbedingungen beeinflusst werden. Die von den beiden Autoren angenommene Möglichkeit, Rebsorten aufgrund ihrer Anfälligkeit gegenüber einem kombinatorischen Reblaus-/Mikroorganismenbefall pauschal klassifizieren zu können, hat sich als ebenso falsch erwiesen wie die Versuche, diese Rebsorten allgemeingültig bezüglich ihrer Anfälligkeit gegenüber einem Reblausbefall in Gruppen mit resistenten, toleranten und anfälligen Eigenschaften zu klassifizieren. Dies zeigt sich allein daran, dass bei den von den Autoren als gegenüber einem kombinatorischen Reblaus-/Mikroorganismenbefall als nur sehr gering anfällig eingestuften Unterlagsrebsorten in neuerer Zeit, wie beschrieben, vermehrt Schäden auftreten. Zusätzlich haben neuere Untersuchungen gezeigt, dass durch bestimmte pilzliche Erreger verursachte Schäden vermehrt in Rebanlagen mit reblaustoleranten Unterlagsrebsorten auftreten (SCHECK et al. 1998b). Es folgt daraus, dass es sich bei den das Schadausmaß bestimmenden Faktoren nicht nur um die bislang besprochenen, namentlich die Anfälligkeit der Reben gegenüber Reblausbefall und der Anfälligkeit der Reben gegenüber Mikroorganismenbefall bzw. der Anfälligkeit der Reben gegenüber einem kombinatorischen Befall handelt. Dies bedeutet aber auch, dass die Faktoren, welche zu Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen an reblaustoleranten Unterlagssorten der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* führen, nicht isoliert anhand von Untersuchungen in geschädigten Rebanlagen sowie den Ergebnissen aus Labor- und Gewächshausversuchen zur Pathogenität der einzelnen beteiligten Pathogene eruiert werden können, sondern nur im Zusammenhang und Vergleich mit den Faktoren, welche negative Auswirkungen auf die vegetative und generative Leistung verhindern. Dass dies auch Auswirkungen auf die Klassifizierung anderer *Vitis*-Arten bzw. ihrer Kreuzungen, sowohl der als sehr anfällig geltenden Sorten mit *V. vinifera*-Erbgut als auch der als hochtolerant eingestuften Sorten wie beispielsweise der Unterlagsrebsorte Börner hat, soll im Rahmen der folgenden Diskussion besprochen werden. Es stellt sich die Frage, welche weiteren möglichen Einflussfaktoren eine Rolle spielen könnten. Dabei müssen nicht nur die seit einigen Jahren in entsprechenden Rebanlagen auftretenden Wuchsdepressionen und Stockausfälle erklärt werden, sondern auch die Tatsache, dass derartige Schädigungen in früheren Jahren nicht oder

nur sehr selten beobachtet wurden. Dabei können aber nicht die weltweit in diesem Kontext beobachteten Sachverhalte herangezogen werden, da beispielsweise in Kalifornien reblaustolerante Unterlagsrebsorten der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* in größerem Umfang erst seit vergleichsweise kurzer Zeit eingesetzt werden. Dies spielt bei der Betrachtung insofern eine Rolle, da die entsprechenden Unterlagsrebsorten nicht für die dortigen Standortbedingungen, sondern für die in Europa vorherrschenden gezüchtet wurden und sich bei einer vergleichsweise geringen Verbreitung und Nutzungsdauer natürlich auch Berichte über auftretende Schäden in Grenzen halten. Ein möglicher, derzeit auch in der öffentlichen Diskussion stark präsenter, Einflussfaktor ist die beobachtete Veränderung der klimatischen Bedingungen innerhalb der letzten Jahrzehnte. Nicht nur eine kontinuierliche Veränderung der Temperaturen, sondern auch eine Zunahme von extremen Wetterereignissen wie Hitze, Trockenheit oder Überschwemmungen könnte zu dauerhaft negativen Auswirkungen auf die Landwirtschaft und den Weinbau führen. Betrachtet man historische Weinbaudaten (Übersicht in BASSERMANN-JORDAN 1923), so geht aus ihnen sehr deutlich hervor, dass extreme Ereignisse wie beispielsweise die Hitze und Trockenheit in der Vegetationsperiode 2003 keine ausschließliche Erscheinung neuerer Zeit sind. So wird beispielsweise aus den Jahren 1022 und 1539 von einer Vielzahl von Todesfällen aufgrund von Hitzewellen in Deutschland berichtet. Zwischen 1718 und 1801 werden verschiedene Jahre erwähnt, in welche die Temperaturen über 38° C lagen, wobei 1801 als das heißeste Jahr seit Erfindung des Thermometers bezeichnet wurde. Große Hitze und geringe Niederschläge waren Ursache für verschiedene urkundliche Berichte beispielsweise aus den Jahren 1132, 1303, 1540 und 1848 über eine so starke Austrocknung des Rheins, dass er durchschritten werden konnte; eine Parallele zu den Gegebenheiten im Sommer 2003. Aufgrund der für den Mensch bedrohlichen Wetterlagen, zumindest unter mitteleuropäischen Bedingungen, stellten bislang weniger extreme Hitze und Trockenheit im Sommer, sondern extreme Winterkälte eine große Gefahr dar weshalb derartige Extremereignisse verstärkt in Chroniken und Berichten erwähnt. So liegen aus den Jahren zwischen 733 und 1921 177 Berichte über extrem heiße Sommer aber 260 Berichte über extrem kalte Winter vor, wobei insgesamt 18 mal große Flüsse wie beispielsweise der Rhein zugefroren waren. Hierbei scheint dies im 18. Jahrhundert besonders häufig vorgekommen zu sein (zwischen 1710 und 1799 in sechs Jahren mit einer besonders großen Häufigkeit im Zeitraum zwischen 1728 und 1740, in welchem der Rhein 3 mal zugefroren war), während dies, obgleich ebenfalls sehr ausführlicher Schilderungen aus dem 16. und 17. Jahrhundert nie berichtet wird. Ebenso wie mit extrem kalten Wintern und extrem heißen Sommern verhält es sich auch mit den Berichten von warmen Wintern und kalten Sommern in diesen Jahrhunderten. 55 Berich-

ten über extrem kalte Sommer stehen 91 Berichte über extrem warme Winter gegenüber. So berichten beispielsweise die Annalen von Lüttich aus dem Jahr 1107 'Erdbeeren hatte zur Weihnachtszeit - der Herzog von Löwen auf seinem Tisch - auch aß man Bohnen zur selbiger Zeit - wie sonst nur im Juni jung und frisch'. Eine Schilderung welche deutliche Parallelen zu den Bedingungen des Herbstes und Winters 2006/2007 aufweist (DWD 2006, 2007). Vor allem anhand der Blüte von Nutzbäumen wurde eine Vielzahl von warmen Wintern dokumentiert, in welchen die Bäume bereits im Dezember oder Januar blühten. Derartige Ereignisse kamen nicht nur vereinzelt, sondern auch gehäuft vor. So wird beispielsweise von 4 beinahe aufeinander folgend warmen Wintern zwischen 1182 und 1186 berichtet, in welchen die Baumblüte bereits im Januar stattgefunden hat. Ähnlich auch in den Jahren 1833 und 1834, in welchen die Mandelbäume im Dezember und Januar blühten, ebenfalls eine Parallele zu den Gegebenheiten im Januar 2007 (REINEKE 2007). Es stellt sich aber die Frage, ob diesen Daten eine kontinuierliche Veränderung oder Tendenzen in der Veränderung des Klimas entnommen werden kann. BASSERMANN-JORDAN (1923) gibt nicht an, ob er diese Daten einer systematischen Auswertung unterzogen hat, eine zusammenfassende Darstellung erfolgt jedenfalls nicht. Im Kontext der bereits zu Drucklegung seines Buches stattfindenden Diskussion zum Klimawandel hält er fest, dass seiner Betrachtung zur Folge und in Übereinstimmung mit anderen Fachkollegen dieser Zeit den Daten kein Hinweis auf eine Veränderung des Klimas, zumindest seit dem 15. Jahrhundert, zu entnehmen ist. Da systematische Wetteraufzeichnungen erst seit dem Jahre 1865 durchgeführt werden, standen BASSERMAN-JORDAN (1923) wie allen Wissenschaftlern seiner Zeit nur sehr begrenzte Datensätze zur Verfügung. Wie heutzutage aber bekannt ist, unterscheidet sich die seit dem späten 20. Jahrhundert zu beobachtende Erwärmung in fundamentalen Punkten von früheren Wärmeperioden. Die früheren vorindustriellen Wärmeperioden, welche genauso warm oder sogar wärmer waren, waren zum einen nicht auf der gesamten Hemisphäre ausgebreitet, sondern regional begrenzt und zum anderen zeitlich gestreut (LUTHERBACHER et al. 2004). Wie neuste Untersuchungen zeigen, haben sich verschiedene klimatische Bedingungen bereits seit 1900 verändert, so beispielsweise die Häufigkeit der sommerlichen und winterlichen Niederschläge (SCHÖNWIESE et al. 2006). Aus diesem Grunde wurden die, die weinbauliche Sicht wiedergebenden Daten aus BASSERMANN-JORDAN (1923) nochmals vollständig erfasst, extreme Winter (extrem kalt, extrem warm) und Sommer (extrem kalt, extrem warm) gekennzeichnet und in Zeitintervallen von 100 Jahren ausgewertet (dieser Auswertung sind auch die oben genannten Angaben zur Zahl extremer Winter und Sommer entnommen). Da die Aufzeichnungen von BASSERMANN-JORDAN (1923) mit dem Jahr 1921 enden, wurden die Jahrhundertintervalle von diesem Jahr an rückwärts

gelegt. Eine Ausnahme bilden die Jahre 733 bis 921. Diese wurden zusammengefasst, da aus dieser Zeit vergleichsweise wenige Angaben vorliegen. Die Auswertung zeigt, dass in den meisten Hundert-Jahr-Intervallen das Verhältnis von warmen Wintern zu kalten Wintern zwischen 2,8 und 4 liegt. Ausnahmen stellen die Zeiträume von 1022 - 1121, 1122 - 1221 und 1422 - 1521 mit Verhältnissen von 11, 16 und 26 dar. Anders auch im Zeitraum 1822 - 1921 in dem das Verhältnis mit 0,8 extrem niedrig liegt. Die Betrachtung der sommerlichen Witterung in denselben Zeiträumen zeigt ein wesentlich engeres Verhältnis als bei den Winterbedingungen. In den Jahren von 733 bis 1121 ist überhaupt kein extrem kalter Sommer und nur 4 bzw. 7 extrem warme Sommer erwähnt. In den Intervallen 1222-1321 und 1322-1421 liegt das Verhältnis zwischen 0,21 und 0,22. In den Jahren 1422 bis 1521 hingegen betrug das Verhältnis nur 0,15. Seit 1521 stieg das Verhältnis von 0,2 im Zeitintervall 1521 - 1622 auf 0,74 im Intervall 1822 - 1921 an, wobei der größte Sprung zwischen den Intervallen 1722-1821 (0,36) und 1822-1921 zu beobachten ist. Der Anteil an Extremwintern (warm und kalt) stieg seit 733 von 0,1 auf 0,6 und der Anteil von Extremsommern von 0,04 auf 0,47, wobei nur die Zunahme der Extremsommer als stetig zu bezeichnen ist. Wie bereits BASSERMANN-JORDAN (1923) hervorhebt, sind die historischen Angaben vor allem vor dem 16. Jahrhundert mit vielen Unsicherheiten belastet und aus ihnen auf dauerhafte klimatische Veränderungen zu schließen wäre sicherlich sehr gewagt. Nichts desto trotz geht mit der Zunahme der Beobachtung extrem warmer Winter von maximal jeweils 12 in den Hundert-Jahr-Intervallen bis 1821 auf insgesamt 34 im Intervall 1822-1921 eine starke Zunahme der Schädlingsbeobachtungen seit circa 1870 einher. Wie bereits BASSERMANN-JORDAN (1923) hervorhebt, sind derartige Kalamitäten auch nativer Schädlinge wie Heu- und Sauerwurm (*Lobesia botrana* Denis & Schiffermüller und *Eupoecilia ambiguella* Hübner) in früherer Zeit gar nicht bzw. wesentlich seltener beobachtet worden. Eine Auswertung der Beziehung zwischen Klimaveränderungen und dem Auftreten von Schädlingen in den Jahren nach 1921 bis in die heutige Zeit wird durch die zunehmende Anwendung von Pflanzenschutzmaßnahmen und anderer anthropogener Einflüsse sehr erschwert, bzw. auch verfälscht (HOFFMANN mündl. Mitt.) warum hierauf auch verzichtet wurde. Zudem liegen eine Vielzahl von Arbeiten vor (SCHÖNWIESE et al. 2003, 2006, SCHÄR et al. 2004, LUTERBACHER 2004, LÖPMEIER 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, SCHRÖTER et al. 2006), welche eine Veränderung des Klimas in dieser Zeit aufzeigen, was eine Auswertung weinbaulicher Beobachtungen erübrigt. Dass die im 20. und 21 Jahrhundert beobachtete Klimaveränderung wiederum einen Einfluss auf Reben, z.B. den Blütebeginn und somit den gesamten Weinbau hat, ist evident (MAIXNER & HOLZ 2003). Dabei sind die neuzeitlichen Klimaveränderungen mit großer Wahrscheinlichkeit auf anthropogene Einflüsse zurückzu-

führen, da die beobachtete Erwärmung die natürliche Variabilität beispielsweise hervorgerufen durch Vulkanismus übersteigt (CROWLEY 2000, HASSELMANN et al. 2003, IPCC 2007). Ob eine Klimaerwärmung einen direkten Einfluss auf die Zunahme von Pflanzenschädlingen hat oder indirekt über eine Veränderung des Nahrungsangebots, also den Gesundheitszustand des Wirtes, wirkt, ist hier nicht zu klären, vermutlich spielen beide Faktoren eine Rolle. Generell lässt sich sagen, dass in einzelnen Fällen die Zunahme eines Schädlings oder seine Ausbreitung sicherlich allein durch veränderte klimatische Bedingungen zu erklären sein wird. Direkte Auswirkungen beispielsweise im Weinanbaugebiet Rheingau sind anhand des Auftretens der ersten männlichen Tiere von *L. botrana* und *E. ambiguella* in der Vegetationsperiode zu beobachten. So treten diese Individuen heutzutage um 10 bzw. 13 Tage früher auf als 1984. Im selben Zeitraum (Vergleichszeitraum 1984 - 2004) ist im Rheingau die durchschnittliche Lufttemperatur um circa 1 °C gestiegen (REINEKE 2007). Eine ausschließlich von den klimatischen Veränderungen abhängige Zunahme der Ausbreitung kann insbesondere dann angenommen werden, wenn weitere Einflussfaktoren mit Sicherheit auszuschließen sind und sich die Wirkung des Schädlings zusammenhängig und großräumig in allen von einer Klimaveränderung betroffenen Gebieten beobachten lässt wie dies im Fall der Zunahme der Traubenwicklerpopulationen Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts war. Sind die Schädlinge aber seit längerer Zeit gleichmäßig und weiträumig verbreitet, wie dies bei den durch die Interaktion zwischen Reblaus und phytopathogenen Pilzen verursachten, in neurer Zeit zu beobachtenden Schäden in Rebanlagen mit reblaustoleranten Unterlagsreben der Fall ist, genügen allein veränderte Klimabedingungen einer stichhaltigen Erklärung nicht zumal, aus der entsprechenden Literatur sowie den Auswertungen der Weinbaudaten hervorgeht, dass die neuzeitlichen Klimaveränderungen bereits seit 100 bis 150 Jahren nachzuvollziehen sind. Es sei aber ausdrücklich betont, dass im Zusammenhang mit einer Prädisposition des Wirtes gegenüber einem Schädlingsbefall veränderte Klimabedingungen vor allem aber eine Zunahme extremer Klimaereignisse auch in diesem Zusammenhang von großer Bedeutung sind. Dies vor allem auch hinsichtlich des zukünftig zu erwartenden Schadbilds, da Modellberechnungen zeigen, dass besonders die Gebiete in Deutschland, in welchen Weinbau möglich ist, und speziell der obere Rheingraben zu den besonders gefährdeten Gebieten in Deutschland zählen (SCHRÖTER et al. 2006). Zudem liegen verschiedene Hinweise darauf vor, dass ein Zusammenwirken von phytopathogenen Mikroorganismen und klimatischen Veränderungen zu einer Zunahme der Schäden bei Reben führen kann, wie das Beispiel des Zusammenwirkens eines *F. oxysporum*-Befalls und Trockenstress zeigt (Kap. 7.4).

Den häufig diskutierten - als große Gefahr für die landwirtschaftliche Produktion angesehenen - Einflüssen einer Veränderungen des Klimas stehen die meist unbeachteten aber erheblichen Veränderungen der Böden bzw. der Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen in der letzten Jahrzehnten gegenüber. Die strukturellen Veränderungen in der Agrarwirtschaft der letzten Jahrzehnte, vor allem auch im Weinbau, führten zu stark veränderten Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen, geprägt durch einen deutlich geringeren Einsatz organischer Substanz (z.B. STATISTISCHES BUNDESAMT 1970, BUCHNER & STURM 1980, LAMMEL & FLESSA 1998, HOITINK & BÖHM 1999, BMVEL 2000, EFMA 2005). In vielen Untersuchungen konnte beispielsweise gezeigt werden, dass Böden mit geringem Humusgehalt eine oft signifikant verminderte bodenbiologische Aktivität (z.B. Basisrespiration, Dekomposition, Bioturbation, etc.) aufweisen (KILLHAM 1994, DOUBE et al. 1994, COLEMAN & CROSSLEY 1996, GISI 1997, STURM et al. 2002). Dies beeinflusst unter anderem auch die Mineralisierung und somit die Freisetzung pflanzenverfügbarer Nährstoffe (MENGEL & KIRKBY 2001). Ein ausreichendes Nährstoffangebot ist für die vegetative Leistung von Rebstöcken, vor allem unter der Einwirkung von Stressfaktoren (z.B. Reblausbefall), aber elementar (CURRLE et al. 1983, RAVEN et al. 1999). Neben diesen verschiedenen Wirkungen der organischen Substanz im Boden, welche im Kontext der durchgeführten Untersuchungen in der Folge teilweise noch weiter besprochen werden, ist ein weiterer Aspekt von besonderer Bedeutung. Es handelt sich dabei um die bereits in Kap. 1 angeführten, so genannten pathogensuppressiven bzw. -konduktiven Eigenschaften (ALABOUVETTE et al. 1982) oder das so genannte antiphytopathogene Potential (REINMUTH 1963) von Böden. Wie aber ist eine durch veränderte Bewirtschaftungsbedingungen hervorgerufene geringere Versorgung der Böden mit organischer Substanz in Zusammenhang mit den durch die kombinatorische Infektion von Reblaus und phytopathogenen Mikroorganismen verursachten Wuchsdepressionen an Rebstöcken zu beurteilen? Um diese Frage zu beantworten, müssen verschiedene Aspekte betrachtet werden, da die Einflüsse des Entzugs bzw. der Zufuhr organischer Substanz sehr vielschichtig sind und sowohl direkt als auch indirekt auf alle Interaktionspartner - Rebstock, Reblaus, Mikroorganismen und Boden - wirken. Dabei ist bei Untersuchungen sowohl zur Schadwirkung des Komplexes Reblaus - Mikroorganismen - Umweltfaktoren als auch der biologischen Kontrolle der von diesen Faktoren möglicherweise ausgehenden negativen Auswirkungen auf die Pflanzengesundheit und den Pflanzenwuchs zu bedenken, dass es sich bei dem primären Ort des Geschehens um das dynamischste und komplexeste Mikrokompartiment des Bodens, die Rhizosphäre, handelt, welche durch schnelle Veränderungen, den Einfluss der Pflanzenwurzel, starke Nährstoffffluktuationen sowie hohe Mikroorganismenaktivität und -populationsdichten gekennzeichnet ist (HANDELSMAN & STABB 1996). Die selben

Autoren verweisen auch auf die Tatsache, dass Pflanzen bis zu 20 % des Kohlenstoffgehalts ihrer Wurzeln durch Abscheidung metabolisch aktiver Zellen in die Rhizosphäre abscheiden, was auf ein hoch entwickeltes Beziehungsgefüge zwischen der Pflanze und den in ihrer Rhizosphäre lebenden Mikroorganismen hindeutet. Wie beispielsweise aus den Untersuchungesergebnissen von SABATINI & INNOCENTI (2001) abzuleiten ist, könnten Collembola aufgrund ihrer Nahrungspräferenzen die Interaktionen zwischen Wurzelexudaten und phytopathogenen Mikroorganismen wie Arten der Gattung *Fusarium*, wie sie auch im Kontext der Untersuchungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit isoliert wurden, beeinflussen. Somit besteht die Möglichkeit, dass auch andere in diesen Mikrokompartimenten vorkommende tierische Organismen Auswirkungen auf dieses Beziehungsgefüge und somit auch auf die Besiedlung der Rhizosphäre durch Mikroorganismen oder tierische Organismen haben. Es zeigt sich also, dass die Beziehungsgefüge in den verschiedenen Bodenmikrokompartimenten sehr vielschichtig sind und für die richtige Interpretation gewonnener Ergebnisse eine Vielzahl von Einflussfaktoren zu berücksichtigen sind.

Ein Kennzeichen der Landwirtschaft der letzten Jahrzehnte ist die primäre Zufuhr mineralischer Düngestoffe und die damit einhergehende Reduktion in der Zufuhr organischer Substanz in die Böden. Dies führte in vielen Fällen bis zu einer 40-60 %-igen Reduktion des Gesamthumusgehaltes in entsprechend bewirtschafteten Böden (DORAN 1992). Eine einfache Betrachtung der Gegebenheiten auf den im Rahmen dieser Arbeiten untersuchten Rebflächen zeigt sehr unterschiedliche Humusbilanzen für die Böden der Versuchsflächen. So lässt sich basierend auf den in Kap. 2.3.1.2 angeführten versuchsflächenspezifischen Bodenparametern und den für die Einzelflächen ermittelten Gehalten an organischer Bodensubstanz (Kap. 3.2.1.5) in Anlehnung an die Durchführungsbeschreibungen zum Direktzahlungen-Verpflichtungengesetz vom 21. Juli 2004 (BGBl. I S. 1763, 1767) und SCHALLER (2004) der jährliche Abbau organischer Substanz an den Standorten berechnen. Bei aufgrund der Bodenart und des Kalkgehalts der Einzelflächen angenommenen mittleren Mineralisationskoeffizienten (o/r: 0,8. o/R: 2,0; O/R: 1,5) und einer mittleren Bodendichte von 1,43 kg / dm^3 beläuft sich der jährliche Humusverlust der Versuchsflächen, berechnet für die bei den Untersuchungen berücksichtigten Bodentiefen bis circa 30 cm, auf circa 1,1 t ha^{-1} (o/r), 2,56 t ha^{-1} (o/R) und 2,45 t ha^{-1} (O/R). Berücksichtigt man die Rückfuhr des Schnittholzes (1,5 t / ha TM), der Rebblätter (1 t / ha TM) und der Gipfeltriebe (0,9 t / ha TM; Durchschnittswerte HÜGELSCHÄFFER 1990) so ergeben sich für alle Versuchsflächen negative Humusbilanzen mit -0,72 t ha^{-1} a^{-1} (o/r), -2,18 t ha^{-1} a^{-1} (o/R) und - 2,07 t ha^{-1} a^{-1} (O/R). Dabei zeigt sich, dass der jährliche Humusverlust auf der reblausfreien Versuchfläche aufgrund des hohen Kalkgehalts im Boden geringer ist als auf den beiden Ver-

gleichsflächen. Die beiden reblausbefallenen Versuchsflächen zeigen dabei nahezu identische Werte. Bezieht man die jährliche Zufuhr von organischer Substanz auf der Versuchsfläche O/R (Kap. 2.3.1.2) vor Anlage des Düngemittelversuchs im Jahre 1998 in die Berechnungen mit ein, so ergibt sich für die betriebsübliche Bewirtschaftung diese Fläche eine positive jährliche Humusbilanz von 0,3 t ha^{-1}. Der jährliche Unterschied zwischen reblausbefallener Rebanlage mit Schaden und der ohne Schaden beläuft sich somit auf 2,48 t ha^{-1}. Da die Versuchsflächen vor Durchführung des Versuchs auf die entsprechende Art und Weise viele Jahre bzw. Jahrzehnte bewirtschaftet wurden, sind die akkumulierten Unterschiede entsprechend größer. Der standorttypische Humusgehalt eines landwirtschaftlich genutzten Bodens ist das Resultat des Zusammenwirkens der Faktoren geologisches Ausgangsmaterial und Bodenbildung, Klima, Hydromorphieverhältnisse, Nutzungsart und Abbauverhältnis, Intensität der Bewirtschaftung und Düngung (ASMUS 1992). Auch wenn es sich demzufolge bei den angeführten Berechnungsbeispielen nur um sehr theoretische Werte handelt, welche eine Reihe von Einflussfaktoren sowie verschiedene Humussenken und Quellen unberücksichtigt lassen, so legen sie aufgrund der hohen Differenzen doch eine genauere Betrachtung des Einflusses der Humusversorgung der Böden im Kontext der in den letzten beiden Jahrzehnten zu beobachtenden Schäden in mit der Reblaus befallenen Rebanlagen nahe. 'Unter Humus im weiteren Sinne versteht man den Gesamtkomplex aller organischer Substanzen im Boden, die dort biochemischen Abbau- und Umwandlungsprozessen unterliegen' (SAUERBECK 1992a). Aufgrund dieser Ab- und Umwandlungsprozesse und der Interaktion zwischen organischen und mineralischen Bestandteilen des Bodens setzt sich der Gesamthumusgehalt eines Bodens aus sehr unterschiedlich aktiven Anteilen zusammen. Der aktive Humusanteil zu dem im Wesentlichen die mikrobielle Biomasse und die von den Mikroorganismen bei der Umsetzung leicht mineralisierbaren organischen Materials gebildeten Stoffe gerechnet werden, hat eine sehr kurze Verweildauer von einigen Monaten bis zu ein bis zwei Jahren. Die schwerer zu mineralisierenden Bestandteile der dem Boden zugeführten organischen Substanzen wie beispielsweise Lignin gehen nach der mikrobiellen Umsetzung in einen beständigeren, bereits durch die Sorption an die mineralischen Bestandteile stabilisierten Humusanteil ein, welcher einer Verweilzeit im Boden von circa 25 Jahren aufweist. Vor allem der beständigere Humusanteil geht nach und nach in den noch stärker stabilisierten so genannten passiven Humuspool über. Dieser, vor allem für die Gesamtbodenstruktur bedeutende Anteil des Gesamthumusvorkommens im Boden, ist durch Strukturveränderungen und Assoziation mit der anorganischen Matrix des Bodens so beständig, dass seine mittlere Verweildauer bis zu 1000 und mehr Jahren beträgt (HAIDER 1992). Auch wenn vor allem der aktive Humuspool Einfluss auf die Nähr-

stoffflüsse im Boden hat und somit aus Sicht der Pflanzenernährung den wichtigsten Anteil am Gesamthumusgehalt des Bodens darstellt, so ist auch der passive Humusanteil aufgrund seiner die Bodenstruktur beeinflussenden Wirkung für das Wachstum der Rebstöcke von großer Bedeutung. So haben beispielsweise Untersuchungen von PENKOV et al. (1980) gezeigt, dass bei sehr kompakten und verdichteten Böden die Penetrationsfähigkeit der Rebwurzeln deutlich reduziert ist. Dies kann besonders unter Wasserstressbedingungen zu einer negativen Beeinflussung des Rebwuchses führen, da der Anteil der aktiv den Boden durchdringenden Seitenwurzeln an der Gesamtwasserversorgung der Reben bei zunehmender Trockenheit steigt (MAPFUMO et al. 1994). Auch konnte STEINBERG (1968) auf leichten Böden mehr Wurzelspitzen nachweisen als auf schweren. Dabei liegt die Bedeutung des Wurzelsystems nicht nur, wie vor allem in der weinbaulichen Praxis oft angenommen, in der Zulieferung von Nährstoffen und Wasser. Wie BARBER et al. (1963) festgestellt haben, trägt beispielsweise das Wachstum von Pflanzenwurzeln nur zu einem sehr geringen Prozentsatz zur Verfügbarkeit bzw. Erschließung der Nährstoffreserven im Boden bei. Die Autoren schätzten den Anteil an Nährstoffen, welche aufgrund des aktiven Wurzelwachstums an die Pflanze gelangen, auf weniger als 3 %. Sie sahen nur den Bedarf an Kalzium und Magnesium durch diesen Mechanismus gedeckt. Der Großteil der Nährstoffe erreicht die Pflanze durch Massenfluss (z.B. Kalzium, Magnesium und Stickstoff) und Diffusion (z.B. Kalium und Phosphor). Eine, neben der Wasser- und Nährstoffversorgung für die Pflanze essentielle Leistung des Wurzelsystems, welche sowohl in der weinbaulichen Praxis als auch in der Forschung bei Untersuchungen der die pflanzliche Gesundheit verbessernden Faktoren meist unberücksichtigt bleibt, ist die Synthese einer Reihe verschiedener Substanzen wie Aminosäuren, organischen Phosphorverbindungen wie Nukleinsäuren oder Phytohormonen (TORREY 1976, WEBER 1984). Dabei zeigen auch neueste Forschungsergebnisse, dass verschiedene in den Rebwurzeln gebildete Hormone wie beispielsweise Abscisinsäure einen direkten Einfluss auf die Stomata haben und so die Transpiration und Photosyntheseleistung der Pflanze beeinflussen (STOLL et al. 2000). Wie die Autoren zeigen konnten, führt die Erhöhung der Abscisinsäurekonzentration in trockenen Rebwurzeln zu einer erhöhten Konzentration dieser Säure in der Xylemflüssigkeit und einer Reduktion des stomatären Leitvermögens. Bei längerem Anhalten dieses Effekts führt dies beispielsweise zu einer Reduktion des Sprosswachstums. Auch NIKOLAOU et al. (2000) betonen die besondere Bedeutung der Wurzeln, da der allergrößte Teil der Phytohormone in den Wurzeln gebildet wird und somit verschiedene fundamentale Prozesse des Rebenwachstums und der -entwicklung wie beispielsweise die Zellteilung und Organogenese von der Produktion dieser Stoffe in den Wurzeln abhängig sind. Im Hinblick auf die Tatsache, dass die negative Beeinträchtigung

dieser Prozesse auch in ökonomischer Hinsicht, beispielsweise über den Stockertrag oder die Traubenqualität Auswirkungen zeigt, ist es unverständlich, warum sich so wenige Forschungsvorhaben mit dem Wurzelsystem der Reben und dem ihn umgebenden Boden beschäftigen; ein Umstand auf welchen in den letzten Jahrzehnten immer wieder hingewiesen wird (RICHARDS 1983, SMART et al. 2003). Dieses mangelnde Interesse am Wurzelsystem der Reben spiegelt sich auch in den praxisüblichen Bewirtschaftungsweisen vor allem in konventionellen Weinbaubetrieben wieder. Hier sind der überwiegende Teil der Bewirtschaftungsmaßnahmen, sowohl an Sach- als auch an Arbeitsmitteln, auf den oberirdischen Teil - sozusagen die Spitze des Eisbergs - der Rebstöcke gerichtet. Das dieses Bild nicht nur im übertragenen Sinne zutrifft, zeigen neuste Untersuchungen zum Wurzelvorkommen und der Wurzelverteilung in Ertragsrebanlagen des Rheingaus, bei welchen in der Vegetationsperioden 2006 in 14-tägigen Abständen Wurzelproben entnommen, digital erfasst und elektronisch vermessen wurden. Bei diesem Screening hat sich gezeigt, dass die Wurzeloberfläche in den obersten 60 cm Boden allein des Unterstockbereichs (je 20 cm links und rechts des Rebstocks), also 20 % der Gesamtrebfläche, der Blattoberfläche (20000 - 30000 m^2 ha^{-1}) je Hektar gleicht oder sie sogar übertrifft. Die jahresmittlere Wurzeloberfläche des Unterstockbereichs belief sich dabei auf ~ 22000 m^2, wobei Maxima bis 54000 m^2 festgestellt wurden. Die aus diesen Daten geschätzte Gesamtwurzeloberfläche je ha Rebfläche beläuft sich auf weit über 100000 m^2, wobei die jahresmittlere Anzahl an Wurzelspitzen im Unterstockbereich 2,6 * 10^9 ha^{-1} betrug (HUBER et al. unpubl.). Ähnliche Anzahlen von Wurzelspitzten in Normallagen des Rheingaus wurden auch von STEINBERG (1968) festgestellt. Es zeigt sich also, dass der, neben dem sortenspezifischen Wurzelbildungsvermögen der Reben (GEISLER 1957, 1959, WEBER 1984) eine gute Entwicklung des Wurzelsystems mitbestimmende Hauptfaktor, die Bodenstruktur (WOODHAM & ALEXANDER 1966, PENKOV et al. 1980, RICHARDS 1983), große Bedeutung für die vegetative und generative Leistung der Reben hat. Somit spielt der, die Bodenstruktur maßgeblich mitbestimmende, passive Humuspool ebenfalls eine bedeutende Rolle hinsichtlich der Ertrags- und Qualitätsleistung sowie der Schädlingsanfälligkeit von Reben. Wie bereits GEISLER (1959) für den Schädling Reblaus betont, resultiert die 'Reblausresistenz' von Unterlagssorten, abgesehen von den gegebenen sortenspezifischen 'Resistenzeigenschaften', aus dem Zusammenwirken des Reblausbefalls und den Wachstumsbedingungen für die Wurzel. Dies steht in Einklang mit den Beobachtungen von BALBIANI (1874b) und HOFMANN (1957b), welche Unterschiede zwischen den Wurzeln desselben Rebstocks in der Fähigkeit zur Sexualesbildung bzw. der Anfälligkeit gegenüber einem Reblausbefall festgestellt haben.

Die sich aus den eben erwähnten Aspekten ergebenden Konsequenzen und Untersuchungsmöglichkeiten bezüglich des passiven Humuspools von Weinbergsböden konnten bei den praktischen Untersuchungen im Zusammenhang mit den durch die Interaktionen Reblaus/Mikroorganismen verursachten Schäden in Rebanlagen nur sehr begrenzt berücksichtigt werden. Im Fokus dieser Untersuchungen stand der mengenmäßig sehr viel kleinere aktive Humuspool (HAIDER 1992) und dort vor allem die ihn maßgeblich bildende und bestimmende mikrobielle Biomasse. Dieser mikrobiellen Biomasse, welche JENKINSON (1978) als 'das Nadelöhr, durch welches das gesamte organische Material, welches in den Boden gelangt hindurch muss' bezeichnet, kommt aus pflanzenbaulicher Sicht eine große Bedeutung zu, da sie maßgeblichen Einfluss auf die Nährstoffkreisläufe im Boden hat. Hierbei bleibt häufig unberücksichtigt, dass die Aufrechterhaltung und der Zuwachs der mikrobiellen Biomasse vor allem durch die Verfügbarkeit an organischem Kohlenstoff und somit der Zufuhr organischer Substanz bestimmt werden, was wiederum Einfluss auf die Stickstoffaufnahme und -abgabe hat (VAN VEEN et al. 1984). Dies zeigen beispielsweise auch die Untersuchungen von ASMUS (1992) auf Flächen mit humuszehrender (Brache mit intensiver Bodenbearbeitung) und humusmehrender (Anbau humusmehrender Fruchtarten und organische Düngung) Vorbewirtschaftung. Bei diesen Versuchen konnte gezeigt werden, dass nach 5 Jahren der Gesamtstickstoffgehalt auf der humusmehrenden Versuchsvariante um 7,2 dt ha^{-1} und der Gesamtkohlenstoffgehalt um 47 dt ha^{-1} erhöht waren im Vergleich zur Variante mit humuszehrender Vorberwirtschaftung (Gesamt-N: 26,3 ha^{-1} ha; Gesamt-C: 287 dt ha^{-1}). Nach folgender sechsjähriger landwirtschaftlicher Nutzung der Flächen ohne zusätzliche weitere Düngemaßnahmen lag das sechsjährige Ertragsmittel (Fruchtfolge) um 7,8 dt ha^{-1} TM höher auf der Versuchsvariante mit humusmehrender Vorbewirtschaftung. Der mittlere sechsjährige Stickstoffentzug war auf dieser Variante um 16,4 kg ha^{-1} a^{-1} geringer als auf der Vergleichsvariante mit humuszehrender Vorbewirtschaftung. Auf weiteren Versuchsvarianten, welche während des Fruchtfolgeanbaus zusätzlich mit Düngestoffen versorgt wurden, konnten auch nach 6 Jahren diese Unterschiede im Ertrag und Stickstoffentzug zwischen humusmehrender und humuszehrender Vorbewirtschaftung nicht ausgeglichen werden. Diese Beispiele verdeutlichen die Bedeutung einer kontinuierlichen Versorgung der Böden mit organischer Substanz aus Sicht der Pflanzenernährung. Dass derartige Zusammenhänge auch im Kontext eines Reblausbefalls von Rebstöcken bzw. eines entstehenden Schadens an den Rebstöcken haben, zeigen die Untersuchungen von PORTEN et al. (2000b). Wie die Ergebnisse der Rebwuchsbonituren der Versuchsflächen zeigen (Kap. 3.2), ist auch hier der den Wuchs förndernde Effekt einer ausschließlichen Stickstoffzufuhr durch Mineraldünger auch in hohen, praxisunüblichen Mengen nur sehr kurz. Der direkte Einfluss

verschiedener Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen auf den in reblausbefallenen Rebanlagen zu beobachtenden Schaden an Rebstöcken hinsichtlich der Nährstoffversorgung der Reben ist Gegenstand der Dissertation von PORTEN (in Bearb.). Angesichts der bisher besprochenen Folgen, welche sich aus den veränderten Bewirtschaftungsbedingungen, vornehmlich der geringeren Versorgung der Böden mit organischer Substanz, ergeben, kann auf vielfältige Auswirkungen auf die Entstehung bzw. die Nichtentstehung der seit circa 20 Jahren verstärkt auftretenden Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen in Pfropfrebenanlagen mit reblaustoleranten Unterlagsrebsorten vor allem der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* geschlossen werden. Folgende Zusammenhänge können dabei angenommen werden: Die zunehmende Verfügbarkeit der im 19. Jahrhundert entwickelten Mineraldünger und die Unterbrechung innerbetrieblicher bzw. anderer kleinräumiger Nährstoffkreisläufe durch die Trennung der Tier- und Pflanzenproduktion führte seit Mitte des 20. Jahrhunderts zu einem vermehrten Einsatz von Mineraldüngern, auch im Weinbau. So ist beispielsweise der Verbrauch nährstoffhaltiger Mineraldünger seit 1950 in den Mitgliedstaten der EU (EU-15) von circa 1,5 Mio. t auf rund 10 Mio. t im Jahr gestiegen (Quelle: EFMA 2005). Damit einhergehend sank der Einsatz organischer Dünger bzw. Stickstoffdüngern mit organischem, also kohlenstoffhaltigem Trägermaterial und wurde in vielen Betrieben vollständig eingestellt. Dies führte in den Folgejahren zu immer stärker steigenden Humusdefiziten und den damit beschriebenen vielfältigen Auswirkungen beispielsweise auf die Struktur, die biologische Aktivität, die Durchwurzelbarkeit oder die Nährstoffverfügbarkeit der Böden. Es gilt dabei auch zu bedenken, wie einschneidend diese Veränderung der Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen waren. So wurden vor dem ersten Weltkrieg in Qualitätsweinlagen verbreitet 120-160 t Stallmist / ha in einem dreijährigen Turnus in Weinbergsböden eingebracht. Die Norm waren 60-80 t / ha (WÜRZNER 1925). Bereits im Jahre der Veröffentlichung WÜRZNERs Buches zur Düngung der Reben war die Beschaffung von ausreichenden Stallmistmengen problematisch. Maximal waren Anfang des 20. Jahrhunderts noch 10 t ha^{-1} a^{-1} möglich. WÜRZER weist aber bereits 1925 darauf hin, dass die dadurch notwendige Nährstoffversorgung mit Mineraldünger nicht dazu führen darf, dass dem Boden keine organische Masse mehr zugeführt wird, da ansonsten die Bodenstruktur und die biologische Aktivität der 'kleinen Lebewesen' im Boden zerstört wird. Als Alternative empfiehlt der Autor in Fällen in welchen eine Stallmistdüngung nicht mehr möglich ist, den Einsatz von Torf. Als Düngeempfehlung, bezogen auf den Stickstoffanteil gibt der Autor Mindestmengen (gute Böden mit hohen Stallmistgaben im dreijährigen Turnus) von 60 kg N ha^{-1} a^{-1} und Höchstmengen (geringe Böden mit geringer oder keiner Stallmistgabe) von 150 kg N ha^{-1} a^{-1} an. In dieser Art wurden die Weinberge für etliche weitere Jahre bewirtschaftet,

bis nach dem zweiten Weltkrieg der in vielen Fällen vollständige Ersatz organischer Dünger bzw. von Stickstoffdüngern mit organischem Trägermaterial erfolgte (LAMMEL & FLESSA 1998). Dass sich die negativen Folgen dieser Bodenveränderungen nicht bereits kurz nach der Einstellung organischer Bodenbewirtschaftung negativ auf die Reben in reblausbefallenen Rebanlagen auswirkten, liegt in der Natur der Sache, was sich an verschiedenen Punkten verdeutlichen lässt. Zum einen weisen Anteile des aktiven, bzw. des gering stabilisierten Humuspools wie beschrieben Verweildauern von mehreren Jahrzehnten auf, deren mengenmäßiger Rückgang teilweise auch durch den passiven Humuspool ausgeglichen werden kann, da die Humusfraktionen bedingt miteinander interagieren (HAIDER 1992). Zum anderen wird dem Boden durch natürliche Quellen, beispielsweise durch den Eintrag von Holz und Laub sowie durch abgestorbene Wurzeln immer wieder organische Substanz zugeführt. Dabei stellen lebende und abgestorbene Wurzeln die beiden wichtigsten natürlichen Energiequellen des Bodens dar. Die bereitgestellte Energie stammt aus dem Abbau abgestorbener Wurzeln durch Bodenmikroorganismen und von verschiedenen organischen Substanzen, welche von den aktiven Wurzeln ausgeschieden werden. Zwar wird der von den Pflanzen mit diesen Substanzen aktiv ausgeschiedene Kohlenstoff nur zu einem sehr geringen Teil in die mikrobielle Biomasse eingebunden, doch findet aufgrund der höheren Mineralstoffkonzentration in der Rhizosphäre ein verstärkter Abbau der im Boden befindlichen organischen Substanz statt (GUCKERT 1992). Hinzu kommt, dass die Zufuhr aus diesen natürlichen Quellen organischer Substanz durch Mineraldünger beeinflusst wird. So steigert, im Vergleich zu Flächen ohne jegliche Zusatzdüngung, auch die rein mineralische Düngung durch die vermehrte Produktion pflanzlicher Biomasse den Humusgehalt der Böden, doch können negative Humusbilanzen nur dann vermieden werden, wenn kein Entzug von Pflanzenmaterial, wie beispielsweise durch die Entnahme von Lesegut, stattfindet (SAUERBECK 1992b). Die Tatsache, dass das Absterben von reblausbefallenen Reben regional und überregional zwar annähernd zeitgleich aber unterschiedlich stark und nicht flächendeckend zu beobachten war und ist, kann auch darauf zurückgeführt werden, dass die eben geschilderten Faktoren sich standortbedingt sehr stark unterscheiden. So sind beispielsweise die Mineralisationskoeffizienten von Böden sehr unterschiedlich und werden, wie den durchgeführten Berechnungen zu entnehmen, beispielsweise sehr stark vom Kalkgehalt der Böden beeinflusst. Zudem wird die Mineralisierung organischer Substanz im Boden auch von einer Vielzahl weiterer Faktoren wie der Art der Bodenbearbeitung, wendend - nicht wendend, tief - flach etc. beeinflusst. Wie außerdem bereits im vorhergehenden Kapitel festgestellt, unterscheiden sich auch die Mikroorganismenzönosen verschiedener Standorte, was ebenfalls einen - vermutlich den maßgebenden - Einfluss auf die Schadentstehung hat. Dies

wird in der Folge noch näher erörtert. Es bleibt aber festzuhalten, dass **19.** das seit circa 20 Jahren zu beobachtende erneute Auftreten von Wuchsdepressionen und Abstebeerscheinungen in reblausbefallenen Rebanlagen auch im Falle von Pfropfrebenbeständen mit reblaustoleranten Unterlagsrebsorten vor allem auf veränderte Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen zurückgeführt werden kann. Dass Veränderungen des Klimas oder ähnliche Faktoren dabei ebenfalls einen Einfluss haben, ist anzunehmen, zumal die Erhöhung der Bodentemperaturen beispielsweise eine Erhöhung der bodenbiologischen Aktivität bewirkt und in der Folge eine schnellere Mineralisierung organischen Materials nach sich zieht (HAIDER 1992). Dabei ist auch das bereits beschriebene klimabedingt veränderte Auftreten anderer Schädlinge wie zum Beispiels von *L. botrana* zu berücksichtigen. Die vielfältigen Auswirkungen einer bewirtschaftungsbedingten additiven Zufuhr organischen Materials in Agrarböden sind in vielen Fällen nicht einfach zu bewerten. Neben den angeführten Wechselwirkungen sind hier vor allem zwei, bei der Bewertung von Untersuchungsergebnissen immer wiederkehrende Aspekte zu nennen. Der erste Punkt betrifft den direkten Vergleich der Wirkung von Mineraldüngern und organischen Düngern auf den Pflanzenwuchs und Bodenparameter wie den Humusgehalt der untersuchten Böden. Hierbei bleibt wie bereits erwähnt oft unberücksichtigt, dass auch eine rein mineralische Düngung durch die vermehrte Produktion pflanzlicher Biomasse im Vergleich zu einer Variante ohne jegliche Düngung den Humusgehalt der Böden steigert bzw. konstant hält. Wie eine Reihe von Untersuchungsergebnissen aber zeigt, ist im Vergleich zu einer organischen oder einer kombinierten organisch-mineralischen Düngung der Humuszuwachs bei einer rein mineralischen Düngung wesentlich geringer bzw. die Erniedrigung des Humusgehalts der Böden größer. Der zweite Aspekt, welcher oft zu der Annahme führt, dass die Zufuhr organischen Materials in den Boden keine oder eine nur sehr geringe Auswirkung auf die verschiedenen Bodenfunktionen bzw. die biologische Aktivität von Böden hat, betrifft die vergleichsweise langen notwendigen Beobachtungsdauern bzw. die relativ geringen, teilweise nicht messbaren, Veränderungen im Gesamthumusgehalt der Böden auch bei einer langjährigen hohen Zufuhr organischen Materials (BIN 1983, KÖRSCHENS 1992). Eine der Ursachen hierfür ist, dass der stabilisierte Humuspool und die zugeführten leicht abbaubaren organischen Substanzen miteinander verknüpft sind. Dabei gehen mit der Umwandlung hohe Abbauverluste einher, sodass die Unterschiede einer unterschiedlich intensiven Versorgung der Böden mit organischer Substanz vielfach nur wenige Zehntel Prozent betragen (SAUERBECK 1992a). Der Autor hebt aber hervor, dass viele der bodenverbessernden Eigenschaften der Zufuhr organischer Substanz nicht auf deren langjährigen Festlegung im Boden, sondern auf ihrer schnellen Umsetzung und den daraus entstehenden Umsetzungsprodukte beruhen.

In diesem Zusammenhang sind auch die Unterschiede in der Wirkungsdauer suppressiver Bodeneigenschaften zu sehen. Langanhaltende, d.h. über Jahrzehnte andauernde Suppressivität, ist HORNBY (1983) zufolge nur in sehr wenigen Fällen, beispielsweise an einigen Weizenanbaustandorten zu beobachten und wird von HÖPER & ALABOUVETTE (1996) auf stabile Bodenbedingungen zurückgeführt. Kurzfristige Suppressivität wird durch verschiedene äußere Faktoren oder die Einführung von Antagonisten beeinflusst und dauert in der Regel nur wenige Vegetationsperioden an, wobei Änderungen in den Bewirtschaftungsmethoden hierbei eine bedeutende Rolle spielen können (HÖPER & ALABOUVETTE 1996). Die zur Pathogen- oder Krankheitssuppressivität von Böden vorliegende Literatur ist dabei sehr vielfältig und uneinheitlich. In den meisten Fällen kann die Suppressivität von Böden auf mehr oder minder komplexe mikrobielle Wechselwirkungen (Antibiose, Fungistase, Konkurrenz) zurückgeführt werden, wobei alle oder ein Teil der Bodenmikroorganismen involviert sind (HORNBY 1983). Wie auch ALABOUVETTE & STEINBERG (2006) feststellen, befindet sich die derzeitige Forschung diesen Themenkomplex betreffend noch eher in einer deskriptiven Phase. Die Ursachen hierfür liegen einerseits in den sehr komplexen multifaktoriellen Interaktionen, andererseits aber auch in der Tatsache begründet, dass der Gegenstand einer großen Zahl der bislang durchgeführten Untersuchungen dem Nachweis eines direkten Effektes des Bodens auf die Dichte des Phytopathogens gewidmet war. Zudem sind die Ergebnisse von Laboruntersuchungen zu den einer Suppressivität zugrunde liegenden Mechanismen nur bedingt auf Freilandbedingungen zu übertragen wobei vor allem die lang anhaltende natürlich vorkommende Suppressivität von Böden im allgemeinen nicht berücksichtigt wird (HÖPER & ALABOUVETTE 1996). In ihrem Literaturreview zum Einfluss abiotischer Bodenparameter auf die langfristige Suppressivität von Böden betonen die Autoren einerseits die aus dem geringen Wissensschatz zur Lebensweise vieler Pathogene hervorgehenden Problemstellungen bei der Untersuchung suppressiver Bodeneigenschaften. Andererseits sehen sie als ein weiteres Hauptproblem die auf der Komplexität dieses Themenkomplexes und den unterschiedlichen eingesetzten Untersuchungsmethoden beruhenden widersprüchlichen Darstellungen zum Einfluss abiotischer Parameter in der Literatur an. Wie auch verschiedene Untersuchungen zum antiphytopathogenen Potenzial (REINMUTH 1963) zeigen, begründen sich die Unterschiede in den Untersuchungsergebnissen aber vor allem in der Tatsache, dass den pathogen- und krankheitssuppressiven Bodeneigenschaften keine allgemeingültigen Wirkungsmechanismen zugrunde liegen. Die Vielfältigkeit der Wirkmechanismen und die Bedeutung von abiotischen Faktoren heben bereits beispielsweise WENSLEY & MCKEEN (1963) bei ihren Untersuchungen zu den Welkeerscheinungen von Melonen verursacht durch *Fusarium oxyporum* f. sp. *melonis* hervor. Es zeigt

sich also, dass auch im Falle der Pathogen- bzw. Krankheitssuppressivität von Böden die von HEADRICK & GOEDEN (2001) im Rahmen der Biocontrol beschriebene Einzigartigkeit jedes individuellen Falles berücksichtigt werden muss. Wie ALABOUVETTE & STEINBERG (2006) betonen, muss demzufolge im Mittelpunkt der kontextbezogenen Untersuchungen nicht die Frage stehen wie die Phytopathogendichte reduziert werden kann, sondern wie die auf vielen Faktoren beruhende Pathogensuppresssivität der Böden erhöht werden kann. BRUGGEN & SEMENOV (1999) folgern aus den genannten Gründen, dass eine ausschließliche Suche nach boden- oder klimatypischen Indikatoren zur Erklärung suppressiver Bodeneigenschaften nicht sinnvoll ist. Für die Autoren steht die Pathogen- bzw. Krankheitssuppressivität von Böden in Zusammenhang mit der allgemeinen Bodengesundheit bzw. stellt ein Charakteristikum gesunder Böden dar. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass Suppressivität als ein Indikator gesunder Böden angesehen werden kann, eine Hypothese, welche in Einklang mit den Beobachtungen anderer Autoren wie beispielsweise DORAN et al. (1996) steht. Nach BRUGGEN & SEMENOV (1999) sollten darum vielmehr universelle Indikatoren wie die Stabilität von Ökosystemen verwendet werden. Die Annahme hierbei ist, dass gesunde Böden eine ausreichende funktionelle Redundanz besitzen und somit in der Lage sind schnell auf einen einwirkenden Stressfaktor zu reagieren. Die Homöostase eines gesunden Bodens wird dabei von einer diversen mikrobiellen Zönose aufrechterhalten. Diese Zönose besteht aus einem aktiven Pool und einem Reservepool inaktiver Mikroorganismen. Dieser Reservepool zeichnet sich durch eine höhere Diversität als der aktive Pool aus. Die Mikroorganismen des Reservepools können sehr schnell auf Störungen wie beispielsweise die Zufuhr verschiedener Substanzen in den Boden regieren. Um den von DORAN et al. (1996), BRUGGEN & SEMENOV (1999) und ALABOUVETTE & STEINBERG (2006) an die Untersuchung von krankheits- und pathogenkonduktiven Bodeneigenschaften gestellten Ansprüchen weitgehend Rechnung zu tragen, wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein möglichst breiter interdisziplinärer Methodenfächer angewandt, um das mögliche Bestehen konduktiver und suppressiver Bodeneigenschaften im Kontext von Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen an reblausbefallenen Reben der Unterlagskreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* zu untersuchen. Um Hinweise auf die Natur dieser hypothetischen pathogen- bzw. krankheitssuppressiven Eigenschaften von Weinbergsböden im Bezug auf die die vegetative und generative Leistung der Reben beeinflussenden Mikroorganismen - Reblaus - Boden - Interaktionen zu erhalten, wurden auch zwei, annähernd konsistent beobachtete bzw. in sehr vielen Fällen in kontextbezogener Literatur beschriebene, Eigenheiten suppressiver bzw. konduktiver Böden genutzt. Es handelt sich dabei einerseits um die Übertragbarkeit der suppressiven Bodeneigenschaften auf konduktive Böden und andererseits um die Be-

obachtung, dass der suppressive Effekt durch Erhitzen des Bodens aufgehoben werden kann (LOCKWOOD 1977, SCHER & BAKER 1980, HWANG et al. 1982, LIEBMANN & EPSTEIN 1992, HÖPER & ALABOUVETTE 1996). In den durchgeführten Gewächshausversuchen wurde aufgrund der oben genannten Gründe explizit darauf verzichtet, einzelne in Frage kommende Schaderreger zu untersuchen. Vielmehr wurde die Wirkung der Mikroorganismenzönosen und, in einem untergeordneten Umfang, der Einfluss der Weinbergsböden per se untersucht. Basierend auf den Ergebnissen der Gewächshausversuche (Abb. 3-23, Tafel 7-3) lassen sich verschiedene Sachverhalte ableiten. Aufgrund des signifikant besseren Wuchses der Rebstöcke in Einheitserde und Pflanzerde der Versuchsfläche O/R, sowohl in erhitztem als auch nicht erhitztem Zustand, zeigt sich, dass **20.** der Wuchs der reblausbefallenen Rebstöcke durch diese Böden (Einheitserde, Pflanzerde Versuchsfläche O/R) bzw. durch die in diesen Böden vorkommenden Mikroorganismen nicht negativ beeinflusst wird. Der hierzu vergleichbar deutlich schlechtere Wuchs der Reben in nicht erhitzter Pflanzerde der Versuchsfläche o/R zeigt, dass **21.** Teile der im Boden der Versuchsfläche o/R vorkommenden Mikroorganismenzönosen einen signifikant negativen Einfluss auf die vegetative Leistung der Rebstöcke haben. Es zeigt sich weiterhin, dass **22.** sich die von den Mikroorganismenzönosen der Versuchsfläche o/R ausgehenden krankheitskonduktiven Eigenschaften auf andere Böden (Einheitserde und Pflanzerde O/R) übertragen lassen und dass **23.** sich die krankheitssuppressiven Eigenschaften des Bodens der Versuchsfläche O/R zumindest teilweise auf den krankheitskonduktiven Boden der Versuchsfläche o/R übertragen lassen. Da eine regelmäßige Überprüfung der Reblausdichten während der Versuchsdauer keine Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten zeigte, ein einheitlicher Unterlagsklon verwendet wurde und die Haltungsbedingungen für alle Testpflanzen während des gesamten Versuchszeitraums identisch waren, lässt sich aus diesen Ergebnissen ableiten, dass **24.** den Mikroorganismenzönosen der getesteten Weinbergsböden bzw. deren pathogen- oder krankheitssuppressiven und -konduktiven Eigenschaften die entscheidende Rolle bei den in den letzten beiden Jahrzehnten zu beobachtenden Wuchsdepressionen und dem Absterben von reblausbefallenen Pfropfreben mit reblaustoleranten Unterlagsreben der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* zukommt. Damit konnte die eingangs formulierte (Kap. 1.4) 1. Arbeitshypothese für die bodenbiologischen Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten in Rebanlagen mit Reblausbefall bestätigt werden.

Im Zusammenhang mit den genannten suppressiven und konduktiven Eigenschaften bzw. dem antiphytopathogenen Potential von Böden wurde und wird nahezu konsistent auf die besondere Bedeutung des Humusgehaltes der Böden bzw. einer Versorgung des Bodens mit organischer Substanz und deren vielfältige Auswirkungen

beispielsweise auf die Verfügbarkeit von Kohlenstoffquellen hingewiesen (BOCHOW 1959/1960, REINMUTH 1963, 1968, LINDSEY 1965, BAKER 1968, SCHÖNBECK 1970, SMITH & SNYDER 1972, BIN 1983, ALABOUVETTE et al. 1985, KOKALIS-BURELLE & RODRIGUEZ-KÁBANA 1994, HOITINK & BOEHM 1999, KNUDSEN et al. 1999, TIEDEMANN 2002, DE BOER et al. 2003, CHUANKUN et al. 2004, ALABOUVETTE & STEINBERG 2006). Auch im Falle der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Versuchsflächen ist, wie oben dargestellt, das primäre Unterscheidungsmerkmal die unterschiedliche Versorgung der Böden mit organischer Substanz. Dies spiegelt sich unter anderem in den signifikant höheren Gehalten an organischer Bodensubstanz auf der Versuchsfläche O/R wieder. Die Messergebnisse zeigen neben unterschiedlich großen Fluktuationen im Verlauf der Vegetationsperiode vor allem auf der Versuchsfläche o/r und im Bereich geschädigter Rebstöcke der Versuchsfläche o/R aber auch, dass im Vergleich der ausschließlich mit Mineraldüngern versorgten Flächen auch 5 Jahre nach Beendigung der Düngemaßnahmen keine konsistente Abnahme des Gehaltes an organischer Substanz zu beobachten ist. Deutliche, teilweise signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsflächen bestehen auch hinsichtlich der abiotischen Bodenparameter Wassergehalt und pH-Wert, wobei der Bodenwassergehalt natürlicherweise starken kurzzeitigen Fluktuationen unterliegt und vor allem auch durch die kleinräumigen Klima- und Witterungsverhältnisse beeinflusst wird. Sehr viel auffälliger und konsistenter sind die Unterschiede im pH-Wert des Bodens auf den Versuchsflächen. Bei der Untersuchung von Bodenmischproben konnten bei allen Beprobungen dabei signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsflächen o/r und O/R einerseits und den geschädigten und ungeschädigten Arealen der Versuchsfläche o/R andererseits festgestellt werden, wobei die Werte auf der Versuchsfläche o/R stets niedriger waren. Wie sowohl den Ergebnissen der Diskriminanzanalyse als auch den dargestellten Absolutwerten zu entnehmen ist (Abb. 3-12), unterscheiden sich auch die Bereiche mit ungeschädigten und geschädigten Rebstöcken der Versuchsfläche o/R signifikant voneinander. Bei der Durchführung der ersten Messungen fiel auf, dass die Messwerte der Mischproben der Versuchsfläche o/R größere Schwankungen zeigten als die der Vergleichsflächen. Dies gab Anlass zu einer getrennten Bestimmung der pH-Werte der wurzelnahen und wurzelfernen Bodenmikrokompartimente. Die Ergebnisse zeigten, dass die pH-Werte zwischen diesen Mikrokompartimenten auf der Versuchsfläche o/R stärker schwankten als auf den beiden Vergleichsflächen. Auch waren gegenläufige Tendenzen der pH-Wertveränderungen zwischen den Bereichen mit geschädigten und ungeschädigten Rebstöcken dieser Versuchsfläche zu beobachten. Die möglichen Ursachen dieser Fluktuationen sind sehr vielfältig und können beispielsweise sowohl von der Pflanze als auch von den Mikroorganismen ausgehen. Ein Beispiel hiefür ist der aus alten Nodosi-

täten der Versuchsfläche o/R isolierte Pilz *Schizophyllum commune*. Dieser holzbesiedelnde Weißfäuleerreger kann innerhalb kurzer Zeit den pH-Wert seines Substrates stark erhöhen (HUMAR et al. 2001). Zwar sind kurzzeitliche starke Schwankungen des pH-Werts vor allem in der Rhizosphäre ein häufiges Phänomen (HANDELSMAN & STABB 1996), doch sind die im Rahmen dieser Untersuchungen beobachteten Unterschiede aufgrund ihrer Konsistenz sicher nicht nur als eine kurzzeitige Erscheinung zu betrachten. Hierfür spricht auch der in beiden Mikrokompartimenten erhöhte, den Bedingungen der Versuchsflächen o/r und O/R ähnliche, Wert der organisch gedüngten Versuchsvariante der Versuchsfläche o/R. Die Auswirkungen dieser pH-Wert-veränderungen sind sehr unterschiedlich und betreffen sowohl die Reben selbst als auch das sie umgebende Bodenmilieu und die darin enthaltenen Mikroorganismen. Während beispielsweise Pilze wie *Gliocladium catenulatum* oder *G. roseum* ein Wachstum in einem sehr breiten pH-Bereich zeigen oder die Dichten der Pilze nur sehr gering durch den pH-Wert beeinflusst werden wie im Falle von *Nectria inventa*, so können andere, reaktionsempfindliche Mikroorganismen wie *Plasmodiophora brassicae* stark durch pH-Wertänderungen gehemmt werden. Im Fall von *P. brassicae* führt hierbei die Erhöhung des pH-Wertes zu einer Wachstumshemmung (REINMUTH 1963). Aber auch das Wachstum der Rebstöcke selbst kann durch pH-Wertveränderungen beeinträchtigt werden. Untersuchungen von BATES et al. (2002) haben gezeigt, dass junge Rebstöcke (*V. labrusca* cv. Concord) nur eine sehr geringe pH-Toleranz zeigen. Eine Absenkung des pH-Werts über den Toleranzbereich hinaus führte zu einer Reduktion der Wurzelmasse. Dabei konnten die Autoren keinen Einfluss des Boden-pH-Werts auf die Nodositätenbildung feststellen. Ein starker Reblausbefall bei gleichzeitig niedrigem pH-Wert hatte aber eine Reduktion der Triebtrockenmasse zur Folge, wobei die Reduktion höher war als bei der Einwirkung nur eines Stressfaktors. Veränderungen im pH-Wert des Bodens haben aber auch Auswirkungen auf die krankheits- bzw. pathogensuppressiven Eigenschaften der Böden. So konnten SCHER & BAKER (1980) eine Aufhebung der suppressiven Eigenschaften gegenüber *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* bei einer pH-Wertabsenkung von pH 8 auf pH 6 beobachten. Dahingegen hatte eine pH-Wertsabsenkung in konduktiven Böden keine Auswirkung auf die Erkrankungshäufigkeit. BOCHOW (1959/1960) stellte im Falle des Phytopathogens *P. brassicae* ebenfalls eine Hemmung dieses Organismus bei höheren pH-Werten fest. RUPE et al. (1999) sehen den durch Bodenbewirtschaftungsmethoden bzw. Bodenverdichtungen veränderten pH-Wert als einen Einflussfaktor bei den durch *Fusarium solani* und *Heterodera glycines* verursachten Erkrankungen bei Sojabohnen an. Verschiedene neuere Untersuchungen weisen den so genannten VOCs (volatile organic compounds) eine besondere Bedeutung bei der Ausbildung der für die Pathogen- bzw. Krankheits-

suppressivität mitverantwortlichen fungistatischen Bodeneigenschaften zu. Von Mikroorganismen gebildete VOCs wie Trimethylamin, N,N-Dimethyloktylamin und Benzaldehyd könnten zu einer Erhöhung des Boden-pH-Werts führen. Schon Autoren wie z.B. LOCKWOOD (1977) vermuteten, dass fungistatische Bodeneigenschaften auf eine Erhöhung des Boden-pH-Wertes zurückgeführt werden können. CHUANKUN et al. (2004) folgern daraus, dass die Produktion von alkalischen flüchtigen Substanzen eine Erklärung für VOC-Fungistase sein könnte. Es zeigt sich also, dass die in reblausbefallenen Rebanlagen mit geschädigten Rebstöcken beobachteten Veränderungen des Boden-pH-Wertes den Krankheitsverlauf auf vielfältige Art und Weise beeinflussen können. Anders ausgedrückt kann die Konstanz der Messwerte auf den ungeschädigten Versuchsflächen einerseits und die Absenkungen und Schwankungen des Boden-pH-Wertes auf der Versuchsfläche mit geschädigten Rebstöcken andererseits als ein weiterer Hinweis auf eine gestörte Bodengesundheit im Sinne von DORAN et al. (1996) und BRUGGEN & SEMENOV (1999) auf der Versuchsfläche mit geschädigten Rebstöcken (o/R) angesehen werden.

Die beobachteten Unterschiede in den Bodenkennwerten der Versuchsflächen beschränken sich aber nicht nur auf die bisher genannten abiotischen Parameter oder die qualitative Zusammensetzung der Pilzzönosen. Auch die Masse (C_{mic}) bzw. die Aktivität (DOC, Basisrespiration, SIR, metabolischer Quotient, Respirationskoeffizienten) der in den Böden vorkommenden Mikroorganismenzönosen unterscheidet sich teilweise erheblich zwischen den Versuchsflächen. Betrachtet man zunächst den quantitativen Aspekt der mikrobiellen Biomasse, dargestellt durch den Gehalt der Böden an mikrobiellem Kohlenstoff, so weisen die unbewirtschaftete Versuchsfläche o/r und die organisch intensiv bewirtschaftete Fläche O/R bei allen Untersuchungsterminen zumeist signifikant höhere Werte auf. Zwar ist ein Vergleich der Werte wie bereits dargestellt aufgrund der vielfältigen von den Bodenarten oder Bewirtschaftungsmaßnahmen ausgehenden Einflüssen (reviewed z.B. in WARDLE 1992) mit Literaturangaben nur sehr bedingt möglich, doch zeigt sich, dass vor allem die C_{mic}-Werte des Bodens der Versuchsfläche o/R oftmals deutlich unter den in anderen Untersuchungen für Agrarböden festgestellten mikrobiellen Kohlenstoffgehalten liegen. So konnten mit derselben Messmethode und in ähnlichen Bodentiefen C_{mic}-Werte von 0,18 - 0,36 mg $g(TM)^{-1}$ (Deutschland, JOERGENSEN et al. 1994), ~ 0,5 mg $g(TM)^{-1}$ (Neuseeland, FRASER et al. 1994), 0,24 - 0,42 mg $g(TM)^{-1}$ (Indien, SINGH 1995) oder 0,25 - 0,61 mg $g(TM)^{-1}$ (Deutschland, LENZ 1999) ermittelt werden. Im Vergleich zu diesen Untersuchungen wurden unter Verwendung der Methode von ANDERSON & DOMSCH (1978) sehr unterschiedliche Werte für Weinbergsböden von ILLMER & SCHIMMER (1999) in Österreich festgestellt. Bei ihren Untersuchungen zum Einfluss einer Bodenbedeckung ergaben

ihre Messungen Werte zwischen 0,3 und 1,25 mg $g(TM)^{-1}$. Die auf den Versuchsflächen o/r und O/R gemessenen Werte liegen in Bereichen wie sie auch bei anderen Untersuchngen ermittelt wurden. REINMUTH (1963) folgert aus seinen Untersuchungen zu den mit dem antiphytopathogenen Potential von Böden verbundenen fungistatischen Eigenschaften, dass diese umso höher sind, 'je reicher der Boden an Mikroorganismen ist und je aktiver diese Mikroorganismen in Erscheinung treten'. Ähnliche Ergebnisse wurden auch von ALABOUVETTE et al. (1985) bei Untersuchungen zur Pathogen- bzw. Krankheitssupressivität von Böden gegenüber *Fusarium oxysporum* festgestellt. Bei ihren Untersuchung der fungistatischen Eigenschaften der Böden zeigten suppressive Böden im Vergleich zu konduktiven eine um das circa dreifach höhere Respiration bzw. mikrobielle Biomasse. Außerdem steigerte sich die mikrobielle Aktivität in suppressiven Böden bei Zugabe einer zusätzlichen Kohlenstoffquelle (Glucose) schneller als in konduktiven. Die Autoren folgerten aus ihren Untersuchungen, dass eine erhöhte Biomasse in suppressiven Böden den Nahrungskonkurrenzkampf zwischen den Mikroorganismen erhöht und sich die Keim- und Wachstumsbedingungen für pathogene *F. oxysporum*-Stämme dadurch deutlich verschlechtern. Die erhobenen C_{mic}-Werte können demzufolge als ein Beleg dafür angesehen werden, dass **25.** die konsistent signifikant höheren mikrobiellen Biomassen der Versuchsflächen o/r und O/R als ein weiteres Anzeichen für eine ausgeprägte Krankheits- bzw- Pathogensuppressivität dieser Böden angesehen werden können.

Aber nicht nur hinsichtlich der Masse der Mikroorganismen, sondern auch hinsichtlich ihrer Aktivität zeigten die Böden der Versuchsfläche o/r und O/R höhere Werte. Dies wird beispielsweise durch die Menge an löslichem organischem Kohlenstoff (DOC) verdeutlicht. Die aufgrund der stärkeren Mineralisierung der organischen Rückstände konsistent höheren DOC-Werte sind ein deutlicher Beweis für die erhöhte Aktivität der Mikroorganismen in den Böden der Versuchsflächen o/r und O/R. Die Aktivität der Mikroorganismen unterliegt viel stärkeren Beeinflussungen durch äußere Faktoren wie die mikrobielle Biomasse selber (HAMM 1997, DEGENS et al. 2000, 2001). Auch bezüglich der Basisrespiration bzw. des metabolischen Quotienten konnten deutliche Unterschiede in der Aktivität der Mikroorganismenzönosen in den Versuchsflächenböden beobachtet werden. Dabei waren bei der Basisrespiration ähnliche Verhältnisse zu beobachten wie im Falle des DOC. Auch hier konnten die in der Tendenz höheren Aktivitäten der Mikroorganismen auf den Versuchsflächen o/r und O/R festgestellt werden. Ein Einfluss auf diese Mikroorganismenaktivitäten kann dabei auch der Bodenbegrünung auf der Versuchsfläche O/R bzw. auf den, aufgrund der reduzierten Boden- und Stockpflegemaßnahmen, verstärkten Wuchs von Gräsern und krautigen Pflanzen auf der Versuchsfläche o/r zugerechnet werden. So haben ILLMER & SCHINNER (1999)

eine deutlich erhöhte Aktivität der Mikroorganismen in strohbedeckten bzw. begrünten Böden im Vergleich zu offen gehaltenen Weinbergsböden festgestellt. Die erhöhte CO_2-Bildung ist dabei nicht nur als ein Anzeichen für eine höhere Aktivität der Mikroorganismen von Bedeutung sondern auch dafür, dass das durch die saprophytischen Mikroorganismen gebildete Atmungs-CO_2 einen direkten fungistatischen Effekt auf phytopathogene Mikroorganismen ausüben kann (BAKER 1968). Bezüglich der Atmungsaktivität der Mikroorganismen sind auch die im Vergleich zu den Versuchsflächen o/r und O/R teilweise stark erhöhten metabolischen Quotienten auf der Versuchsfläche o/R sehr auffällig. Die Werte liegen im Bereich geschädigter Rebstöcke dieser Versuchsfläche stets über denen der Vergleichsflächen und übertreffen diese teilweise um das vierfache. Bei zwei Beprobungen ist der metabolische Quotient auch im Bereich ungeschädigter Rebstöcke der Versuchsfläche o/R deutlich höher als auf den Vergleichsflächen, wobei die Erhöhung auch hier mehr als 65 % beträgt. Betrachtet man die diesem Quotienten zugrunde liegenden Daten des Gehalts an mikrobiellem Kohlenstoff (C_{mic}) und der Basisrespiration, so wird deutlich, dass die erhöhten Werte auf eine reduzierte mikrobielle Biomasse zurückzuführen sind. Dieses Ergebnis steht in Einklang mit Befunden von WARDLE & PARKINSON (1992), welche bei ihren Untersuchungen feststellen konnten, dass unter bestimmten Bedingungen die mikrobielle Biomasse sinkt während die Atmungsaktivität der Mikroorganismen zunimmt. Die Autoren sehen Stresssituationen, verursacht beispielsweise durch Nährstoffmangel, als Ursache für dieses Phänomen an. Stresssituationen für die Mikroorganismen, wie ein Nährstoffmangel haben ihrerseits große Auswirkungen auf die pathogen- bzw. krankheitssuppressiven Eigenschaften von Böden. So haben Untersuchungen beispielsweise von DE BOER et al. (2003), HWANG et al. (1982), oder SMITH & SNYDER (1971) gezeigt, dass die an der Suppressivität beteiligten Prozesse wie die Bodenfungistase zu einem großen Teil sowohl direkt als auch indirekt von der Menge des verfügbaren Kohlenstoffs bestimmt werden. Unterschiede zwischen den Versuchsflächen in diesem Kontext bestanden bei den Untersuchungergebnissen der substratinduzierten Respiration. Dabei zeigten in der Tendenz die Mikroorganismenzönosen der Versuchsfläche O/R die höchste Atmungsaktivität und die effektivste Umsetzung der zugegebenen Kohlenstoffquelle, was auf ein Nährstoffdefizit auf der Fläche o/R und bedingt auch auf der Fläche o/r schließen lässt. Im Gegensatz hierzu war die Atmungsaktivität der Mikroorganismenzönosen bei der Zugabe einer Stickstoffquelle auf der Versuchsfläche o/R, vor allem im Bereich geschädigter Rebstöcke, erhöht. Allerdings war die Nutzungseffizienz wie den Respirationskoeffizienten zu entnehmen ist, in der Tendenz auf dieser Versuchsfläche geringer. Die zur Aktivität der Mikroorganismen durchgeführten Untersuchungen zeigen ebenso wie die zuvor beschriebenen Ergebnisse der qualitativen und quantitativen

Untersuchungen sehr deutlich, dass **26.** die mikrobiellen Aktivitäten auf den Versuchsflächen mit ungeschädigten Rebstöcken, o/r und O/R, im Vergleich zur Versuchsfläche o/R deutlich erhöht sind, was als ein Beleg für die vielfältigen pathogen- bzw krankheitssuppressiven Eigenschaften dieser Böden anzusehen ist. Ähnliche Ergebnisse zur mikrobiellen Biomasse und der mikrobiologischen Aktivität in konventionell und organisch bewirtschafteten Weinbergsböden ergaben auch die Untersuchungen von HAMM (1997). Seinen Untersuchungen zur Folge nimmt die Organismendichte (Bakterien, Pilze, Actinomyceten) mit steigender Stickstoffmenge (im Versuch: 0 - 90 kg N ha^{-1} a^{-1}) ab. Dabei stellte aber nicht nur eine Abnahme der Dichte, sondern auch eine Abnahme der mikrobiellen Biomasse fest. Dahingegen konnte bei Erhöhung der Düngemengen eine Zunahme der Mikroorganismenaktivität beobachtet werden. Der Autor folgert aus seinen Untersuchungen, dass durch langjährige offene Bodenbearbeitung mit höheren Stickstoffgaben ein von geringer Artenvielfalt und hohen Aktivitäten geprägter Boden entsteht. Ein begrünter Boden weist seinen Untersuchungen zur Folge zwar eine höhere Diversität auf, in welchem aber auch Ermüdungserscheinungen aufgrund der ungenügenden Verfügbarkeit von Nährsubstrat auftreten können. Diese Ergebnisse stehen in Einklang mit den Beobachtungen von DEGENS et al. (2000, 2001) und WARDLE (2001). Die Versuche von DEGENS et al. (2001) untersuchten den Einfluss von Stressfaktoren wie beispielsweise sinkende pH-Werte, oder Störungen wie kurze nass-trocken Zyklen. Dabei stellten sie fest, dass die katabolische Evenness, eine Bezeichnung für die Gleichförmigkeit des Substratumsatzes, beispielsweise unter Einwirkung des Stressfaktors pH-Werterniedrigung in Ackerböden stärker absinkt als in Weidelandlandböden. Dahingegen stellten die Autoren im Allgemeinen nur eine sehr geringe Änderung in der mikrobiellen Biomasse bei Stress oder Störungen fest. So führten die meisten der untersuchten Stressoren bei niedriger Belastung sogar zu einer leichten Zunahme der mikrobiellen Biomasse. Bei hohen Stress- oder Störungsbelastungen sank die mikrobielle Biomasse wieder. Die Autoren schlossen aus ihren Untersuchungen, dass eine Reduktion der katabolischen Diversität und die durch eine landwirtschaftliche Nutzung hervorgerufene Änderungen der Bodeneigenschaften die Toleranz der Mikroorganismenzönosen gegenüber Stress und Störungen reduziert. Dabei korrespondierten Unterschiede in der katabolischen Diversität in erster Linie mit Unterschieden im Gehalt der Böden an organischem Kohlenstoff und nicht so sehr mit der mikrobiellen Biomasse (DEGENS et al. 2000). Die Ergebnisse der Autoren implizieren, dass eine landwirtschaftliche Nutzung der Böden, welche die Gehalte an organischem Kohlenstoff aufzehrt, auch zu einem Rückgang in der katabolischen Diversität der Mikroorganismenzönosen führt. Sie sehen deshalb die Aufrechterhaltung der organischen Kohlenstoffgehalte in Böden als eine wichtige Voraussetzung an, die mikrobielle

Diversität im Boden zu erhalten. WARDLE (2001) folgert unter anderem aus diesen Ergebnissen, dass mäßiger Stress oder Störungszustände die mikrobielle Diversität im Boden erhöhen bzw. maximieren können, ein Sachverhalt, der auch für Störungen gelten könnte, wie sie durch die Bewirtschaftung in Agrarökosystemen entstehen. Dies könnte eine Erklärung für die beobachteten, von den allgemeinen Tendenzen der mikrobiellen Biomasse und der Aktivität der Mikroorganismen auf den Versuchsflächen abweichenden Werte sein. Ein Vergleich der Probennahmetermine mit den auf den Flächen durchgeführten Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen, Pflanzenschutz und Stockpflegearbeiten (Tafel 7-1) erhärtet diese Vermutung. Es zeigt aber weiterhin, dass der gewählte Einsatz eines möglichst breiten Methodenfächers zur Untersuchung der in den Böden vorherrschenden Bedingungen der richtige Weg war, da durch die Untersuchung allein der Mikroorganismendichten oder der Aktivitäten durch die substratinduzierte Respiration derartige Zusammenhänge und Tendenzen nicht hätten erkannt werden können. Wie der Versuchsflächenvergleich der Untersuchungsergebnisse ebenfalls zeigt, können **27.** das Ausmaß und der Verlauf der Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen in mit *D. vitifoliae* befallenen Pfropfrebenbeständen mit Unterlagsrebsorten der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* durch geeignete Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen im Rahmen des IPM beeinflusst und betroffene Rebanlagen langfristig in der Produktion gehalten werden. Dies bestätigt die den Arbeitszielen zugrunde liegende 2. Arbeitshypothese (Kap. 1.4).

Um Hinweise darauf zu erlangen, ob und wie sich die unterschiedlichen erhobenen Bodenparameter, vor allem die im Rahmen der bodenmikrobiologischen Untersuchungen festgestellten Massen- und Aktivitätsunterschiede auch auf andere Bodenlebewesen auswirken, wurden stellvertretend die Nemtodenzönosen der Versuchsflächenböden untersucht, da diese maßgeblich von den bodenbiologischen und bodenphysikalischen Bedingungen beeinflusst werden (YEATES & BONGERS 1999). Da verschiedene Autoren wie beispielsweise NEHER (1999) festgestellt haben, dass Bewertungsindices zum Vergleich des Einflusses verschiedener Bewirtschaftungsmethoden auf die Zusammensetzung der Nematodenzönosen nur bedingt genutzt werden können, sollen im Rahmen dieser Arbeit nur die trophischen Gruppen betrachtet werden (eine ausführlichere Darstellung der Ergebnisse erfolgt in PETERSON (2002) und PETERSON et al. (2003)). Nach YEATES & BONGERS (1999) sind hierfür vor allem die Gruppen der bakterivoren und fungivoren Nematoden geeignet. Die Gesamtabundanz der Nematodenzönosen schwankt erheblich zwischen verschiedenen Böden, wobei der Wassergehalt einen Haupteinflussfaktor darstellt. So stellten beispielsweise PANESAR et al. (2001) in einem nassen Küstenwaldboden 55000 Individuen in 100 g Boden fest, während LIANG et al. (1999) in derselben Menge Boden in einem trockenen Kartoffel-

feld nur 27 Individuen feststellen konnten. Bewirtschaftungsbedingte Unterschiede in der Gesamtabundanz in organisch und konventionall bewirtschafteten Böden konnte NEHER (1999) nicht feststellen; bei ihren Untersuchungen lagen die Abundanzen zwischen circa 650 und 2500 Individuen je 100 g TM Boden. Unterschiede in den Abundanzen konnte die Autorin auf die angebaute Feldfrucht zurückführen. Generell scheinen in Böden mit Dauerkulturen die Abundanzen geringer zu sein als bei einem Anbau mit Fruchtwechseln. So konnten FRECKMAN & ETTEMA (1993) in unterschiedlich intensiv bewirtschafteten Kulturen mit Fruchtfolgen 960 - 1220 Individuen (100 g TM Boden)$^{-1}$, bei Dauerkulturen aber nur 450 - 510 Individuen (100 g TM Boden)$^{-1}$ isolieren. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit ermittelten Gesamtabundanzen liegen ebenfalls in dem von FRECKMAN & ETTEMA (1993) für Dauerkulturen ermittelten Bereich. Bei Untersuchungen in sandigen Weinbergsböden mit niedriger Feldkapazität im Anbaugebiet Rheingau (Griesheim) konnte SOPP (1994) hingegen nur zwischen 170 und 280 Individuen (100 cm^3 Boden)$^{-1}$ feststellen. Die auf den Versuchsflächen festgestellten Abundanzen scheinen unter den gegebenen Bedingungen demzufolge übliche Werte darzustellen. Allerdings unterscheiden sich die Versuchsflächenböden teilweise erheblich in der Abundanz der Nematoden. Während beispielsweise auf der Versuchsfläche o/r und O/R die Abundanzen von August zu Oktober hin abnahmen, weist die Versuchsfläche o/R erst niedrige, dann hohe Abundanzwerte auf.

Ein Vergleich der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung der auf den Versuchsflächen festgestellten Nematodenzönosen mit Literaturwerten ist wie bereits angedeutet mit verschiedenen Schwierigkeiten verbunden, beispielsweise was die Zuordnung einer Nematodenfamilie zu einer trophischen Gruppe betrifft. So werden beispielsweise die Tylenchidae abhängig vom Autor zu den Fungivoren (SOHLENIUS & BOSTRÖM 1984, BOUWMAN & ARTS 2000), den Ectoparasiten (URZELAI et al. 2000) oder den Wurzelhaar- und Epidermisfresser YEATES et al. (1993) gerechnet. Der Anteil von fungivoren Nematoden liegt in Agrarböden zwischen circa 2 und 18 % (BAIRD & BERNARD 1984, YEATES 1996, EKSCHMITT et al. 1999), einem Bereich, welcher auch bei der vorliegenden Untersuchung beobachtet wurde. Bezüglich der fungivoren Nematoden fallen die erhöhten Anteile des Bodens im Bereich ungeschädigter Reben der Versuchsfläche o/R im August und des Bereichs geschädigter Reben im Monat Oktober auf. Dies könnte auf ein vermehrtes Pilzwachstum bedingt durch die niedrigeren Boden pH-Werte in den entsprechenden Arealen der Versuchsfläche o/R zurückzuführen sein (RUESS 1997). Erheblich größer sind die Unterschiede zwischen den Versuchsflächen bezüglich der Abundanzen der bakterivoren Nematoda. Die Abundanzen dieser trophischen Gruppe sind in den Böden der Versuchsflächen o/r und O/R wesentlich höher als in denen der untersuchten Areale mit und ohne Schaden (ausge-

nommen Düngevariante IV) der Versuchsfläche o/R, vor allem im Oktober. Hierbei liegen die Abundanzen der Bakterivoren in den mit zusätzlicher organischer Substanz versorgten Böden der Düngevariante IV der Versuchsfläche o/R bedeutend höher als auf den Vergleichsvarianten. Der Anteil der bakterivoren Nematoda beträgt im Normalfall zwischen 20-50 % der Gesamtabundanz, wobei er in Böden mit einem hohen Anteil an organischer Substanz auf bis zu 99 % steigen kann (BAIRD & BERNARD 1984; EKSCHMITT et al. 1999; GRIFFITHS 1989). Somit können die auf den entsprechenden Versuchvarianten festgestellten höheren Abundanzwerte mit großer Wahrscheinlichkeit auf die Zufuhr von organischer Substanz zurückgeführt werden. Auch JÖRGER (1989) findet bei seinen Untersuchungen in Weinbergsböden des Anbaugebiets Baden Unterschiede in der Zusammensetzung der edaphischen Fauna, vor allem der Gamasina auf organisch und konventionell bewirtschafteten Flächen. Hierbei stellte der Autor auch eine erhebliche Belastung der edaphischen Fauna durch die konventionellen Pflanzenschutzmaßnahmen fest. So wurden bei diesen Varianten nach 2 Jahren eine 25 %-ige Reduktion der Abundanz, eine circa 30 %-ige Reduktion der nachweisbaren Arten und eine circa 40 %-ige Reduktion der Artendichte festgestellt. Solche Belastungen stellte JÖRGER (1989) auf der alternativ und organisch bewirtschafteten Variante nicht fest. Zudem zeigen seine Ergebnisse, dass durch die zufuhr organischer Substanz die Abundanz der Gamasina um 280 % und die Artenzahlen um 41 % stiegen. Außerdem wurden die negativen Einflüsse durch Fungizid- und Insektizidapplikationen auf die Gamasinazönose durch die organische Substanz gemildert. Die negativen Einflüsse von Herbiziden waren bei seinen Untersuchungen bei beiden untersuchten Bewirtschaftungsarten gleich. Sowohl die verwendeten Präparate als auch deren Menge unterscheiset sich bei den im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchten Versuchsflächen erheblich (Tab. 7-1, 7-3). Der Vergleich zeigt, dass im fünfjährigen Mittel (2000 - 2004) eine mehr als doppelt so hohe Menge an Pflanzenschutzmitteln auf der Versuchsfläche o/R appliziert werden musste. Der Anteil der Fungizide betrug bei beiden Versuchsflächen (o/R und O/R) im Mittel 93 %. Auch konnte auf der Versuchsfläche O/R in zwei Jahren (2003 und 2004) vollständig auf den Einsatz von Insektiziden verzichtet werden. Die Belastungen durch Pestizide sowohl für die Bodenmikroorganismen als auch die Bodenfauna ist auf der Versuchsfläche O/R somit wesentlich geringer. Diese Ergebnisse zeigen, dass **28.** die Art der Bodenbewirtschaftung, d.h. im untersuchten Fall die Zufuhr organischer Substanz, nicht nur vielfältige Auswirkungen auf die Masse und Aktivität der Mikroorganismen, sondern auch auf die Faunenelemente des Bodens hat.

Da die dargestellten Ergebnisse der bodenbiologischen Untersuchungen auch weitreichende Bedeutung für die weiteren im Rahmen dieser Arbeit dargestellten

Sachverhalte, beispielsweise im Kontext der Wirksamkeit und Persistenz von zur biologischen Kontrolle bodenbürtiger Schädlinge eingesetzter Organismen oder der Aus- und Verbreitung des obligaten *Vitis*-Parasiten *S. viticola* in Weinbergsböden haben, erfolgt die weitere Diskussion dieser Ergebnisse im Rahmen der folgenden bzw. einer Gesamtbetrachtung in Kap. 4.6.

4.3 Morphologie und Ökologie von *Sorosphaea viticola* Kirchmair, Neuhauser, Huber

Plasmodiophoriden sind Zoosporen-bildende Eukaryoten mit viel diskutierten, unklaren phylogenetischen Verwandtschaftsbeziehungen. Aus diesem Grunde wird im Rahmen dieser Arbeit der informelle Begriff 'Plasmodiophorid' nach BRASELTON (1995) verwendet. WORONIN (1878) vermutete eine Zugehörigkeit der Gattung *Plasmodiophora* zu den Protisten und sah sie als einfachste Gruppe der Myxomyceten an. Obgleich die Plasmodiophoriden somit bis vor wenigen Jahren zu den echten Pilzen gezählt wurden, zeigen neue molekularbiologische Untersuchungen, dass sie wahrscheinlich dem neu abgegrenzten Stamm der Cercozoa angehören (CAVALIER-SMITH 1998). Bei den Cercozoa, einer der acht Hauptgruppen der Eukaryoten (BALDAUF 2003), handelt es sich um eine morphologisch sehr heterogene Gruppe der Protozoa (CAVALIER-SMITH & CHAO 2003), welche den Foraminiferen nahe steht (ARCHIBALD & KEELING 2004). Die Eingliederung der Plasmodiophoriden zu den Cercozoa wurde in der Folge bestätigt (BULMAN et al. 2001, CAVALIER-SMITH & CHAO 2003, ARCHIBALD & KEELING 2004).

Plasmodiophoriden sind obligate Endobionten von Pflanzen (z.B. Blütenpflanzen und Grünalgen) und Stramenopilen (z.B. Braunalgen, Kieselalgen, Oomyceten) und kommen sowohl im Boden als auch in Frisch- und Salzwasser vor. Aufgrund ihrer Lebensweise folgt ihre Verbreitung denen ihres/ihrer Wirtes/Wirte. Kein Plasmodiophorid kann einen vollständigen Lebenszyklus in Abwesenheit seines Wirtes durchlaufen (DYLEWSKI 1990, BRASELTON 2001).

4.3.1 Morphologie

Der generalisierte Lebenszyklus der Plasmodiophoriden ist durch zwei verschiedene Entwicklungsphasen gekennzeichnet: In der sporogenen Phase teilen sich reife vielkernige Plasmodien in den Wirtszellen in einkernige Zellen, welche sich zu dickwandigen, vermutlich haploiden Dauersporen entwickeln. Gattungsabhängig kommen die Dauersporen einzeln oder zusammengelagert zu Aggregaten, den so genannten Sporosori vor. Nach der Keimung entlässt die Dauerspore eine einzelne biflagellate, freischwimmende primäre Zoospore (KOLE & GIELINK 1962, MACFARLANE 1970, Terminologie nach BRASELTON 2001). Bei Kontakt mit einer potentiellen Wirtszelle enzystiert sich die Zoospore, zieht ihre Flagellen ein und injiziert ihren Protoplast in das Zytoplasma ihres Wirtes (eine ausführliche Beschreibung dieses komplexen Vorgangs erfolgt in KESKIN & FUCHS (1969) und AIST & WILLIAMS (1971). In der Folge leiten das Wachstum des Protoplasten und eine kreuzförmige Kernteilung die sporangiale Phase ein, welche mit der Bildung dünnwandiger Zoosporangien mit jeweils vier oder mehr

sekundären Zoosporen endet. Freigesetzte sekundäre Zoosporen befallen neue Wirtszellen in derselben Weise wie primäre Zoosporen und schließen damit den Lebenszyklus.

Zwei der geschilderten Stadien im Lebenszyklus von Plasmodiophoriden konnten gesichert auch bei der neuen Art *S. viticola* beobachtet werden: Dauersporen bzw. Sporosori und primäre Zoosporen. Die Unterscheidung der einzelnen Gattungen der Plasmodiophoriden basiert vor allem auf der Morphologie der Dauersporen bzw. Sporosori (BRASELTON 2001). SCHRÖTER (1889) beschreibt die Dauersporen der Gattung *Sorosphaera* als elliptisch-keilförmig, zusammengelagert zu Hohlkugeln. Zusätzlich beschreibt der Autor eine 'Hülle', welche die Sporosori umgibt. Dieses Charakteristikum wurde von COOK (1933) in die Gattungsbeschreibung mit einbezogen. Die Existenz einer derartigen, die Sporosori umgebenden Hülle konnte bei Untersuchungen der Dauersporen von *S. veronicae* in der Folge nicht bestätigt werden (MILLER 1958). Auch bei den eigenen Untersuchungen im Rahmen des Erstbelegs für *S. veronicae* in Österreich (NEUHAUSER et al. 2005) konnte keine derartige 'Hülle' beobachtet werden. Gleiches gilt auch für *S. viticola*. Weder bei licht- noch bei rasterelektronen- oder transmissionselektronemikroskopischen Untersuchungen konnte ein Hinweis auf eine die Sporosori umgebende 'Hülle' festgestellt werden.

Der Gattung *Sorosphaera* wurden bislang eine (*S. veronicae*; DYLEWSKI 1990) oder zwei (*S. veronicae* und *S. radicalis*; COOK 1933, KARLING 1968, DICK 2001) Arten zugeordnet. Von diesen Arten unterscheidet sich *S. viticola* in zweierlei Hinsicht. Zum ersten unterscheiden sich die Arten in ihren Wirtspflanzen. *S. veronicae* infiziert verschiedene Ehrenpreis-Arten und *S. radicalis* die Wurzelhaare verschiedener Spezies aus der Familie Poaceae. *S. viticola* hingegen befällt Wurzeln verschiedener Arten der Gattung *Vitis*. Zum zweiten bestehen, wie Vergleichsuntersuchungen zeigten (KIRCHMAIR et al. 2005a), deutliche Unterschiede in der Morphologie der Dauersporen. Das Längen/Breitenverhältnis der Dauersporen ist bei den drei Arten sehr unterschiedlich.

Ende des 19. Jahrhunderts wurden zwei, den Plasmodiophoriden zugehörige Organismen an *Vitis* beschrieben. *Plasmodiophora vitis* Viala & Sauvageau (VIALA & SAUVAGEAU 1882a) wurde als Verursacher der so genannten 'Brunissure', einer frühzeitigen Braunfärbung der Blätter bei *Vitis* beschrieben. Die von VIALA & SAUVAGEAU (1882a) hierbei in den Zellen der Blättern befallener Rebstöcke beschriebenen Plasmodien und Amöben wurden 1893 von MASSEE als Tanninvesikel identifiziert. Diese Ansicht wurde in der Folge von DUCOMET (1903, 1907) und RAVAZ (1904) bestätigt. Erneute licht- und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen der 1892 von BRIOSI & CAVARA untersuchten Exemplare von *Plasmodiophora vitis* aus Italien (Herbarmaterial) im Rahmen der Erstbeschreibung der Art *S. viticola* lieferten ebenfalls keinen

Hinweis auf das Vorkommen eines Plasmodiophoriden oder eines anderen Organismus in den untersuchten Proben (KIRCHMAIR et al. 2005a). *Plasmodiophora californicae* Viala & Sauvageau (VIALA & SAUVAGEAU 1882b) wurde als Verursacher der so genannten 'Maladie de Californie' beschrieben. Diese Blattverfärbungen und Blattfall hervorrufende Erkrankung ist heutzutage als Pierce'sche Krankheit bekannt. Als Erreger wurde das gramnegative Bakterium *Xylella fastidiosa* Wells et al. identifiziert (WELLS et al. 1987). Bei den von VIALA & SAUVAGEAU (1882b) beschriebenen Strukturen könnte es sich entweder um dieses Bakterium oder um Tanninvesikel (MASSEE 1893) gehandelt haben. Sowohl *Plasmodiophora vitis* als auch *P. californicae* wurden von COOK (1933), KARLING (1968) und DICK (2001) als zweifelhafte Arten aus der Gruppe der Plasmodiophoriden ausgeschlossen.

Die untersuchten Populationen von *S. viticola* aus Deutschland und Kanada wiesen teilweise signifikante Unterschiede in den Dauersporendurchmessern auf. Dennoch liegen alle ermittelten Mittelwerte innerhalb der für den Holotypus (IB 2003 0001) ermittelten Grenzen von 4,4 +/- 0,3 µm. Unter Berücksichtigung der rasterelektronenmikroskopischen Befunde des Gesamthabitus der Dauersporen und der Sporosori ist somit nicht von morphologischen Unterschieden zwischen verschiedenen Populationen von *S. viticola* auszugehen. Ein möglicher Grund für Unterschiede im Dauersporendurchmesser ist die auf die unterschiedlichen Wirte zurückzuführende Nährstoffmenge oder -zusammensetzung. Art- bzw. kreuzungsbedingte Unterschiede kommen hierbei jedoch nicht in Frage, da sich beispielsweise auch die von *V. riparia* stammenden Populationen in ihrem Dauersporendurchmesser teilweise signifikant unterscheiden. Wenn ein Zusammenhang zwischen der Größe der Dauersporen und der Wirtspflanze bestehen sollte, müsste dies eher auf den Ernährungs- und Gesundheitszustand der individuellen Wirtspflanze zurückgeführt werden. Diese Annahme erscheint allerdings nicht sehr wahrscheinlich. Vielmehr scheint es sich bei den unterschiedlichen Durchmessern um natürliche Schwankungen zu handeln welche, betrachtet man die Minima und Maxima der einzelnen Population, auch innerhalb einer Population erheblich sein können. Diese natürlichen Größenunterschiede wurden wahrscheinlich auch durch unterschiedliche Reifezustände der untersuchten Dauersporen zum Zeitpunkt der Entnahme der Wurzelproben verstärkt. Wie in Tafel 3-8 dargestellt, verändern die Dauersporen während des mehrtägigen Keimungsvorgangs ihre Form erheblich.

Ähnlich wie die Unterschiede in der Größe der Dauersporen, so ist auch das unterschiedliche beobachtete Autofluoreszenzverhalten wahrscheinlich auf einen Entwicklungs- bzw. Reifeprozess der Dauersporen zurückzuführen. Eine Autofluoreszenz wurde für die Dauersporen von *Spongospora subterranea* (Wallr.) Lagerh. (WALSH et

al. 1996) und *Sorosphaera veronicae* J. Schroet. (NEUHAUSER 2005) beschrieben. Im Rahmen von Voruntersuchungen wurde dieses Autofluoreszenzverhalten auch für die Dauersporen von *S. viticola* beobachtet und wird bereits seit 2001 zur Detektion von *S. viticola* in Wurzeln von *Vitis* sp. eingesetzt. Wie sich im Laufe der Untersuchungen gezeigt hat, weisen die Dauersporen nicht aller Infektionsbereiche die gleiche Strahlungsintensität auf bzw. fluoreszieren überhaupt nicht. Dies gilt sowohl für Exemplare deutscher als auch kanadischer Herkunft. Ähnliche Beobachtungen konnten auch für die Dauersporen von *S. veronicae* in Sprossgallen von *Veronica persica* gemacht werden (untersuchtes Material: IB 2005/0100 leg. S. Neuhauser). Hierbei konnten allerdings Unterschiede im Fluoreszenzverhalten der Dauersporen derselben Sprossgalle festgestellt werden, während bei *S. viticola* Unterschiede zwischen verschiedenen Infektionsstellen beobachtet wurden. Durchgeführte fluoreszenzmikroskopische Untersuchungen an *S. viticola* haben gezeigt, dass die Fluoreszenz von einer der drei Wandschichten der Dauersporen und nicht von der die Dauersporen eines Sporosorus vernetzenden 'Membranen' ausgeht. Der Abbau von Proteinen der Sporenwände scheint bei Plasmodiophoriden mit der Förderung des Reifungsprozess der Dauersporen in Zusammenhang zu stehen (MOXHAM et al. 1983). Somit könnte der schrittweise Verlust der Autofluoreszenz auf den Ab- bzw. Umbau von Zellwandproteinen zurückzuführen sein.

Die aus Zuchtversuchen stammenden und rasterelektronenmikroskopisch untersuchten Zoosporen stimmen in vielen Merkmalen mit den Zoosporen anderer Plasmodiophoriden überein. Insbesondere die Flagellen sind hierbei von Bedeutung, da sie eine Abgrenzung der Plasmodiophoriden zu anderen Zoosporen-bildenden Pilzen erlauben (BARR 1987, FULLER & JAWORSKI 1987). Die von Plasmodiophoriden gebildeten Zoosporen sind biflagellat heterokont, wobei eine der Flagellen vom 'Whiplash-Typ' ist (WATERHOUSE 1973, BRASELTON 1995). Nach WATERHOUSE (1973) beträgt der Durchmesser der Zoosporen 1,5 µm bis 7 µm, in den meisten Fällen aber 3 µm - 5 µm. Die Flagellen sind nicht ornamentiert und das Verhältnis der Flagellenlängen beträgt 1 : 3 bis 2 : 3 (DICK 2001). Über Unterschiede der Flagellen bei primären und sekundären Zoosporen wird berichtet (ELLISON 1945, MILLER 1958, KOLE & GIELINK 1962, TALLEY et al. 1978, MERZ 1997). Bei den Untersuchungen der Dauersporen von *S. viticola* wurden verschiedene Zoosporentypen vorgefunden, was auf Kontaminationen des verwendeten Zuchtmaterials zurückgeführt werden kann. Über Kontaminationen im Rahmen von Zoosporenuntersuchungen bei Plasmodiophoriden berichten auch AIST & WILLIAMS (1971) und MERZ (1992). Ein Zoosporentyp war aber deutlich häufiger als andere. Nach MACFARLANE (1970) können Kontaminationen bereits aufgrund einer entsprechend guten Keimung der Dauersporen des zu untersuchenden Plasmodiophoriden abgegrenzt werden. Eine sehr gute Keimfähigkeit konnte sowohl durch die hohe

Anzahl gleicher Zoosporen bei den Zuchtversuchen als auch durch die Beobachtung zahlreicher geöffneter Dauersporen in raster- und transmissionselektronenmikroskopischen Präparaten (Tafeln 3-7, 3-8) festgestellt werden. Auch die morphologischen Untersuchungen zeigten eine deutliche Übereinstimmung der aus den Zuchtversuchen in überwiegender Mehrzahl hervorgegangenen Zoosporen und den in der Literatur beschriebenen primären Zoosporen anderer Plasmodiophoriden. Die Zoosporen wiesen eine Größe von 4,0 - 5,2 µm x 2,7 - 3,3 µm auf und waren biflagellat heterokont. Die Flagellen waren nicht ornamentiert und wiesen ein Längenverhältnis von 2 : 3 auf, wobei die eine Flagelle stumpf endete (Truncate-Typ) und die andere am Ende verjüngt war (Whiplash-Typ). Aufgrund dieser Befunde kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass es sich bei den untersuchten Zoosporen um die primären Zoosporen von *S. viticola* handelt. Somit konnten im Rahmen dieser Arbeit zwei Lebensstadien von *S. viticola*, die Dauersporen bzw. Sporosori und die primären Zoosporen identifiziert werden.

4.3.2 Ökologie

Die meisten Plasmodiophoridenarten sind weltweit verbreitet, variieren aber erheblich in ihrer Abundanz (KARLING 1968). Im Rahmen dieser Arbeit wurden drei Aspekte der Verbreitung von *S. viticola* untersucht: Die Verbreitung in a. deutschen Weinanbaugebieten, b. außerhalb Deutschlands und c. innerhalb eines Rebbestandes in kommerziell genutzten Rebanlagen. Hierbei wurden Wurzelproben auf die Anwesenheit von Dauersporen fluoreszenzmikroskopisch begutachtet. Die sich nach einer Infektion bildenden Dauersporen ermöglichen einerseits das Langzeitüberleben (LITTLEFIELD et al. 1998, ROCHON et al. 2004) des Plasmodiophoriden. Für die Dauersporen von *S. viticola* konnte festgestellt werden, dass getrocknete, bei Raumtemperatur gelagerte Exemplare mindestens vier Jahre lang keimfähig bleiben. Andererseits tragen sie auch zur Verbreitung des Plasmodiophoriden bei. Hierbei spielt sowohl die Verbreitung infizierten Wurzelmaterials als auch die Verbreitung von bereits durch Verrottung des Wirtsgewebes freigesetzten (WORONIN 1878, BLOMFIELD & SCHWARTZ 1910) Dauersporen eine Rolle. Wie die Untersuchungen zur Verbreitung von *S. viticola* in kommerziell genutzten Rebanlagen im Anbaugebiet Rheingau gezeigt haben, kann die Befallshäufigkeit mit über 40 % innerhalb eines Bestandes sehr hoch sein und in einzelnen Rebzeilen sogar annähernd 100 % erreichen. In beiden untersuchten Rebanlagen konnte eine Aus- bzw. Verbreitung vor allem entlang der Rebzeilen beobachtet werden. Hieraus kann geschlossen werden, dass eine Ausbreitung in kommerziell genutzten Rebanlagen vor allem durch die Verschleppung infizierten Wurzelmaterials und kontaminierten Bodens durch landwirtschaftliches Gerät stattfindet. Eine Verbreitung durch

landwirtschaftliches Gerät wurde auch für andere Plasmodiophoriden wie z.B. *Polymyxa betae* Keskin festgestellt (SCHLÖSSER 1987). Sporen können aber auch durch Bodentiere, sowohl durch Anhaftung an deren Körperoberfläche als auch durch Aufnahme in deren Verdauungstrackt verbreitet werden (HEISLER et al. 1996). Im Falle der Kulturpflanze *Vitis* und ihrem Parasit *S. viticola* ist anzunehmen, dass sowohl eine so geartete Verbreitung als auch die zufällig gerichtete Verbreitung der Zoosporen durch die Bodenverdichtungen im Bereich der Fahrspuren eingeschränkt wird und eine Ausbreitung auch bei diesen Verbreitungsarten vorwiegend entlang der Rebzeilen stattfindet.

Die bei den in kommerziellen Rebanlagen durchgeführten Untersuchungen eingesetzte Probengewinnungs- und Untersuchungsmethode ist mit einigen Unzulänglichkeiten behaftet, welche einerseits aus den natürlichen Standortbedingungen und andererseits aus den arbeitstechnischen und -zeitlichen Erfordernissen erwachsen. Betrachtet man zunächst die Standortbedingungen, so ist vor allem der eingeschränkte Probenumfang zu nennen. Bei den Probenahmen musste stets darauf geachtet werden, dass unter Gewährleistung einer für die Untersuchungen notwendigen Probemenge die durch die Entnahme des Wurzelmaterials entstehenden Schäden am Wurzelsystem der einzelnen Rebstöcke dennoch möglichst gering gehalten wurden. Dies gilt vor allem für die Beschädigung der Wurzelstangen und der Altwurzeln. Weiterhin sind die Wurzeln von Reben im Boden sehr inhomogen verteilt (STEINBERG 1968, RICHARDS 1983). Die hier angewendete Probennahmemethode nach PORTEN & HUBER (2003a) gewährleistet zwar sehr hohe Fundraten - in allen entnommenen Bodenproben konnten Rebwurzeln gefunden werden - erfasst aber nur einen Teil des Wurzelsystems. Außerdem bleibt die Entnahmetiefe auf die oberen 25 cm Boden beschränkt. Aus arbeitstechnischen Gründen wurden jeweils 3 ml des entnommenen Gesamtwurzelvolumens je Probe untersucht. Wie durch eine Validierung der Methode an 18 als negativ getesteten Wurzelproben festgestellt werden konnte, wurden bei der Untersuchung von 3 ml je Einzelprobe nicht alle *S. viticola*-Infektionen erfasst. Bei 12 aus infizierten Bereichen der Versuchsflächen stammenden als negativ getesteten Proben konnten bei Nachuntersuchung des Gesamtwurzelvolumens in weiteren 6 Infektionen festgestellt werden. In den 6 aus nichtinfizierten Bereichen stammenden Wurzelproben wurden keine weiteren Infektionen beobachtet. Diese Ergebnisse implizieren zum einen, dass bei ausreichendem Stichprobenumfang Infektionen in kommerziellen Rebanlagen mit dieser Methode nachgewiesen werden können. Es zeigte sich aber auch, dass mit der angewendeten Probenahme- und Untersuchungsmethode die Befallshäufigkeit stark unterschätzt wird. Dies und der größere Abstand der Probennahmeorte

führte zu einem eher fleckenhaften Verteilungsmuster der *S. viticola*-Infektionen auf der Versuchsfläche O/R.

Ein weiterer möglicher Einfluss auf die Aus- und Verbreitung von *S. viticola* geht von der Bodenbeschaffenheit bzw. dem Bodenzustand aus. Nach MACFARLANE (1970) ist die Keimung der Dauersporen von *Plasmodiophora brassicae* Woronin von der Zusammensetzung des umgebenden Mediums abhängig. Im Fall von *Ligniera junci* (Schwartz) Maire & A. Tison scheinen der Eisengehalt und die Acidität des Bodens das Vorkommen zu beeinflussen (COOK 1927). Eine auf die Verbreitung Einfluss nehmende Änderung der Bodenbedingungen kann durch Düngemaßnahmen bewirkt werden. REINMUTH & BOCHOW (1960) stellten einen Einfluss von Kompostdüngung auf den Infektionsverlauf bei *P. brassicae* fest. In Anbetracht des Verteilungsmusters von *S. viticola* auf der Versuchsfläche o/R könnte von einer Hemmung des Plasmodiophoriden durch Stallmistdüngung ausgegangen werden. Im Bereich der geringen Befallshäufigkeiten (Rebzeilen 6 bis 10) von 11 % erfolgte im Jahr vor der Untersuchung eine Düngung mit Stallmist. Im Vergleich zu dem mit Volldünger behandelten Bereich (Rebzeile 1 bis 5) war die Befallshäufigkeit hier um 43 Prozentpunkte geringer. Ein Einfluss der Stallmistdüngung auf die Verbreitung von *S. viticola* ist dennoch aus mehreren Gründen als eher unwahrscheinlich anzusehen. Erstens wiesen bereits 50 % der untersuchten Reben der mit Stallmist behandelten Rebzeile 6 eine *S. viticola*-Infektion auf und auch in der folgenden Rebzeile 7 konnten Infektionen festgestellt werden. Zweitens wurden auch auf der seit vielen Jahren mit Stallmist behandelten Versuchsfäche O/R Befallshäufigkeiten von bis zu 41 % je Zeile beobachtet. Auf dieser Fläche ist die Anwesenheit von *S. viticola* seit dem Jahr 2000 belegt. Vielmehr ist anzunehmen, dass sich *S. viticola* bis zum Zeitpunkt der Untersuchung noch nicht über die ganze Rebfläche verbreitet hatte. Ob und wenn ja welche Einflüsse Düngemaßnahmen auf Keimung der Dauersporen, Zoosporen oder die Verbreitung von *S. viticola* unter Freilandbedingungen haben, muss in weiteren Arbeiten untersucht werden. Dieser direkte Einfluss von Bodeneigenschaften bzw. Düngemaßnahmen auf *S. viticola* muss getrennt von einem indirekten Einfluss über den Wirt betrachtet werden. So sind gesunde, nicht durch andere Stressfaktoren prädisponierte Pflanzen im Allgemeinen besser gegenüber Schaderregern geschützt. Dies kann unter anderem auch auf eine ausgeglichene Nährstoffzufuhr dieser Pflanzen zurückgeführt werden (SCHLÖSSER 1997). Derartige Effekte sind auch für Plasmodiophoriden nachgewiesen. So haben Boden-Mikronährstoffe einen Einfluss auf die Anfälligkeit von *Brassica*-Wurzeln gegenüber *P. brassicae* (WEBSTER & DIXON 1991). Inwiefern im Falle von *S. viticola* der Gesundheitszustand von Reben einen Einfluss auf einen Befall ausübt, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht werden. Allerdings lassen die bisherigen Ergebnisse

vermuten, dass ein derartiger Einfluss als gering anzusehen ist, da eine Infektion sowohl an kümmerwüchsigen Reben als auch an solchen mit sehr gutem Wuchs festgestellt werden konnte. Hierbei ist wiederum zu berücksichtigen, dass eine Infektion der Wurzeln mit *S. viticola* nicht mit dem Gesundheitszustand bzw. einer durch *S. viticola* verursachten Schadsymptomatik an befallenen Rebstöcken gleichgesetzt werden darf. Die oben getroffene Aussage zur Anfälligkeit von unterschiedlich mit Nährstoff versorgten Reben gegenüber einer Infektion mit *S. viticola* gilt nicht für die eventuell an infizierten Rebstöcken auftretenden Schadsymptome. Der Wuchs der Rebstöcke auf den beiden untersuchten Ertragsrebanlagen war sehr unterschiedlich. Auf der Fläche o/R konnte ein statistisch signifikanter ($p < 0,01$) Zusammenhang zwischen Rebwuchs und *S. viticola*-Befall der Rebstöcke festgestellt werden. Eine ähnliche statistisch signifikante Korrelation konnte aber auch zwischen Rebwuchs und den angewandten Düngemaßnahmen hergestellt werden. In dem mit Stallmist behandelten Bereich der Versuchsfläche konnte ein deutlich besserer Wuchs der Rebstöcke beobachtet werden. Auf der Fläche O/R war kein Zusammenhang ($p > 0,05$) zwischen Rebwuchs und Infektionen mit *S. viticola* nachzuweisen. Der Rebwuchs auf dieser Fläche war generell wesentlich besser als auf der Fläche o/R. Aufgrund der bisherigen Ergebnisse kann angenommen werden, dass eine Infektion der Wurzeln durch *S. viticola* bei unter suboptimalen Bedingungen wachsenden Rebstöcken als ein zusätzlicher Stressfaktor angesehen werden kann. Unter relativ stressfreien Bedingungen (z.B. ohne Wasser- oder Nährstoffstress) bzw. ohne eine Prädisposition der Rebstöcke durch andere Pathogene oder Parasiten ist der Einfluss des auf *S. viticola* zurückzuführenden Frischwurzelverlustes auf den Gesundheits- und Wuchszustand befallener Reben nach dem derzeitien Kenntnisstand als gering anzusehen. Bei sehr hohen Befallsintensitäten eines Wurzelsystems kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass der andauernde Frischwurzelverlust vor allem in Kombination mit weiteren Stressoren zu Kümmerwuchs oder einem Absterben der Rebstöcke führen kann. Auf der untersuchten Fläche o/R mit starken Wuchsdepressionen und abgestorbenen Reben konnten am Wurzelsystem der Rebstöcke auch andere Schädlinge wie *D. vitifoliae*, *F. oxysporum* oder *R. subterranea* nachgewiesen werden. Somit kann auch aus diesen Gründen kein direkter Zusammenhang zwischen Rebwuchs und *S. viticola*-Infektionen hergestellt werden. Bislang konnten auch keine anderen auf einen *S. viticola*-Befall zurückzuführenden Schadsymptome wie beispielsweise Blattverfärbungen beobachtet werden. Für andere Plasmodiophoriden wie *P. brassicae* hingegen konnte ein Zusammenhang zwischen Schadsymptomatik und biotischen Faktoren hergestellt werden (MURAKAMI et al. 2000). Inwiefern derartige Interaktionen mit abiotischen und/oder biotischen Umweltfaktoren im Falle der Schadwirkung von *S. viticola* eine Rolle spielen, kann derzeit nicht beant-

wortet werden. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass bislang ausschließlich Frischwurzelsysteme von Rebstöcken auf den Befall mit Dauersporen von *S. viticola* untersucht wurden. Sollten beispielsweise auch Altwurzeln anfällig für Infektionen sein und durch die parasitische Aktivität des Plasmodiophoriden zum Absterben gebracht werden, wäre der Wurzelverlust unvergleichbar größer. Unter diesen Bedingungen wäre ein deutlicher Einfluss auf den Gesundheitszustand der Rebstöcke zu erwarten wie dies beispielsweise beim unterschiedlichen Alt- und Frischwurzelbefall von Europäer- und Amerikanerreben durch *D. vitifoliae* zu verzeichnen ist (siehe hierzu auch Kap. 3.1 und 4.1). Die Untersuchung dieser Fragestellung sowie die eines möglichen Befalls anderer Pflanzenteile bzw. des Gefäßsystems der Rebstöcke durch verschiedene Stadien von *S. viticola* ist Gegenstand derzeitiger Untersuchungen. Aufgrund der vielfältigen Möglichkeiten sollen hierzu in Zukunft aber vor allem molekularbiologische Methoden zum Nachweis von *S. viticola* in verschiedenen *Vitis*-Organen und -Geweben verwendet werden. In diesem Kontext muss auch in Betracht gezogen werden, dass die verschiedenen *Vitis*-Arten möglicherweise unterschiedlich auf einen Angriff durch *S. viticola* reagieren. Unterschiedliches Resistenz- bzw. Toleranzverhalten verschiedener *Vitis*-Arten gegenüber Pathogenen oder Parasiten ist bekannt (siehe hierzu auch Kap. 3.1 und 4.1). Derartige Fragestellungen sind ebenfalls Gegenstand zukünftiger Forschungsvorhaben. Allerdings konnten im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit ein *S. viticola*-Befall an den *Vitis*-Arten *V. riparia*, *V. vinifera* und verschiedenen Kreuzungen der Arten *V. berlandieri* und *V. riparia* nachgewiesen werden. Aufgrund der Infektion sowohl der Amerikaner- als auch der Europäerrebe kann davon ausgegangen werden, dass die meisten, wenn nicht sogar alle Arten der Gattung *Vitis* geeignete Wirtspflanzen für *S. viticola* darstellen. Aber nicht nur geeignete Wirtspflanzen - obgleich unabdingbar - sind für das Bestehen und die Ausbreitung eines obligaten Pflanzenparasiten von Bedeutung. Ebenso müssen die Umweltbedingungen eine Besiedlung neuen Wirtsgewebes bzw. neuer Wirte erlauben. So wird beispielsweise die Keimung der Dauersporen und somit die Bildung der primären Zoosporen durch verschiedene Faktoren beeinflusst. In feuchter und kalter Erde gelagerte Dauersporen von *Polymyxa graminis* Ledingham keimen schneller als bei Raumtemperatur und Trockenheit gelagerte (LEGRÉVE et al. 1999). Ungeachtet derartiger Einflussfaktoren ist im Falle Zoosporen-bildender Organismen das Vorhandensein von Wasser unerlässlich. Dies gilt sowohl für den Keimungsvorgang (SCHLÖSSER 1997) als auch für die aktive Fortbewegung der Zoosporen im Boden. Auf allen untersuchten Standorten in Deutschland und Kanada auf denen *S. viticola* nachgewiesen wurde, weisen die Böden hohe Wasserhaltekapazitäten teilweise mit geringer Wasserdurchlässigkeit auf. Durch hohe Grundwasserspiegel, Staunässe oder Überflutungen sind die Böden dieser

Standorte somit über lange Perioden sehr feucht. Diese Bedingungen sind sowohl für die Keimung als auch für die Verbreitung der Zoosporen ideal. Es kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei dem natürlichen Lebensraum von *S. viticola* um Lokalitäten mit feuchten oder sogar sumpfigen Böden handelt. Dies schließt die Ausbreitung an trockeneren Standorten nicht aus. Angaben von LEGRÉVE et al. (2005) zur Folge beansprucht bei *Polymyxa betae* die Verbreitung und Infektion eines neuen Wirtes nur sehr wenig Zeit. Wie die Beobachtungen an *S. viticola* zeigen, entlassen die Dauersporen innerhalb weniger Tage nach Zugabe von Wasser die Zoosporen. Hinzu kommt, dass die Überlebenszeit der Zoosporen begrenzt ist, da ihnen lediglich die eigenen Energiequellen zur Verfügung stehen. Im Falle von *Polymyxa graminis* konnte eine Zoosporenbeweglichkeit von bis zu 24 h beobachtet werden (ADAMS & SWABY 1988). Wie lange die Zoosporen von *S. viticola* unter natürlichen Bedingungen überleben bzw. beweglich bleiben ist nicht bekannt. Unter Laborbedingungen konnte eine maximale Lebensdauer von 36 h festgestellt werden, wobei die Zoosporen aber über lange Zeiträume ohne sich fortzubewegen an einer Stelle verharrten. Der eigentliche Infektionsprozess erfolgt bei Plasmodiophoriden innerhalb sehr kurzer Zeit. Im Falle von *S. viticola* bedeutet dies, dass die Böden für eine Neuinfektion nur für wenige Tage ausreichende Feuchtigkeitsbedingungen aufweisen müssen. Diese Bedingungen erfüllen nahezu alle Standorte, an welchen Reben angebaut werden können.

Unter Berücksichtigung aller im Rahmen dieser Arbeit gemachten Ergebnisse zum Vorkommen und der Verbreitung kann mit großer Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass es sich beim natürlichen Standort von *S. viticola* um Nordamerika handelt. Die Ausbreitung in andere Weinanbaugebiete wie Europa erfolgte wahrscheinlich im Zuge der aufgrund der Reblausepidemie Ende des 19. Jahrhunderts notwendig gewordenen Einführung des Pfropfrebenbaus. Diese Annahme wird durch die Tatsache bestärkt, dass *S. viticola* an Wildreben der Art *V. riparia* in einem Gebiet in Kanada gefunden wurde, in welchem kein Anbau der Kulturpflanze Rebe bzw. Agrarwirtschaft erfolgt oder erfolgte, da es zu einem Naturschutzgebiet gehört (Standort Woodend Conservation Area). Angaben zur weltweiten Verbreitung von *S. viticola* können derzeit nur im Rahmen des oben ausgeführten getroffen werden. Die notwendigen Untersuchungen zur Klärung dieser Frage sind derzeit in Bearbeitung. Sollte es sich bei *S. viticola* wirklich um einen in Nordamerika heimischen Plasmodiophoriden handeln, welcher mit kontaminiertem Zuchtmaterial nach Deutschland eingeschleppt wurde, ist allerdings davon auszugehen, dass er auch in vielen bzw. allen anderen Ländern zu finden sein wird, in welche in der Vergangenheit nordamerikanisches Zuchtmaterial importiert wurde. Im Rahmen der hierzu angestellten Untersuchungen liegt ein Fokus auf

der molekularen Charakterisierung von *S. viticola* und der Entwicklung spezifischer Primer zur Detektion von *S. viticola* in Boden und Pflanzengewebe.

Verbesserte und einfachere Nachweisverfahren für alle Stadien im Lebenszyklus von *S. viticola* würden nicht nur die Beantwortung der oben angeführten Fragen erleichtern. Derartige Methoden würden auch die Untersuchungen einer weiteren bislang unbearbeiteten Fragestellung erleichtern. Besondere Bedeutung für zukünftige Forschungsvorhaben mit *S. viticola* ist die Eigenschaft vieler Plasmodiophoriden, verschiedene Pflanzenviren zu übertragen (ADAMS 1991). Unter diesen Viren befinden sich einige der bedeutendsten Getreideviren. So werden Viren wie der SBMW-Virus (Soil-Borne Wheat Mosaic Virus) oder der OM-Virus (Oat Mosaic Virus) von *Polymyxa graminis* Ledingham übertragen. Die Bedeutung dieses Potentials zur Virenübertragung wird verstärkt durch die Tatsache, dass Rebstöcke an einer Vielzahl von Virosen erkranken können, in vielen Fällen die Vektoren dieser Viren aber nicht bekannt sind (BOVEY et al. 1980, FRISON & IKIN 1991). Einige der von Plasmodiophoriden übertragenen Pflanzenviren zeigen physikalische und biolochemische Eigenschaften ähnlich den bei Reben vorkommenden Chlosteroviren. Der durch *Spongospora narsturtii* M.W. Dick übertragene WYS-Virus (Watercress Yellow Spot Virus) gehört wahrscheinlich der gleichen Familie (Tombusviridae) an wie die an Reben Erkrankungen verursachenden Viren GAL (Grapevine Algerian Latent Virus) und PeAM (Petunia Asteroid Mosaic Virus) (KANYUKA et al. 2003, ROCHON et al. 2004).

.

4.4 Biologische Kontrolle von *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch durch den entomopathogenen Pilz *Metarhizium anisopliae*

Biologische Kontrollmethoden (Biological control oder Biocontrol) stellen neben anderen Schädlingskontrollmethoden wie Wirtsresistenz, Kontrolle durch Bewirtschaftungsmaßnahmen oder konventionelle Pestizide einen Bestandteil des IPM dar. Hierbei können zwischen biologischen Kontrollmethoden und anderen im Rahmen des IPM stehenden Maßnahmen Parallelen bestehen (NORDLUND 1996). So im Fall der Kontrolle durch Bewirtschaftungsmaßnahmen (Cultural control), also ackerbaulichen Maßnahmen, welche den Schadorganismus selbst zum Ziel haben und der so genannten Conservation Biological Control (ackerbauliche Maßnahmen, welche die natürlichen Feinde des Schadorganismus zum Ziel haben) (EILENBERG et al. 2001). Während sich die in den Kapiteln 3.2 und 4.2 vorgestellten Untersuchungen unter anderem mit den Aspekten der Cultural Control und der Conservation Biological Control der Reblauspopulationen beschäftigen, stehen die in dem hier vorliegenden Kapitel beschriebenen Arbeiten im Kontext der Inoculation Biological Control. Nach der Definition von EILENBERG et al. (2001) ist unter Biocontrol der 'Einsatz lebender Organismen zur Suppression der Populationsdichte oder des Einflusses eines spezifischen Schadorganismus, welcher dazu führt, dass der Schadorganismus weniger abundant oder weniger schädlich wird als es ohne die angewandte Maßnahme der Fall wäre' zu verstehen. Dieselben Autoren definieren die hier zur Reblauskontrolle eingesetzte Inoculation Biological control als 'die vorsätzliche Freisetzung eines lebenden Organismus als biologisches Kontrollmittel mit der Erwartung, dass er sich vermehrt und den Schädling für eine längere Zeit, aber nicht dauerhaft kontrolliert'. Im Gegensatz zu den mit 'klassischer Bio-Control' bezeichneten Strategien ist hierbei für eine dauerhafte Kontrolle die wiederholte Freisetzung des Kontrollorganismus notwendig (eine Übersicht der verschiedenen Biocontrolstrategien ist beispielsweise NORDLUND 1996, EILENBERG et al. 2001 oder EILENBERG 2006 zu entnehmen).

Dass biologische Kontrollmaßnahmen auch im Weinbau erfolgreich angewendet werden können, zeigt die jahrelange erfolgreiche Bekämpfung verschiedener Milben, vor allem *Pananychus ulmi* Koch durch Raubmilben wie *Typhlodromus pyri* Scheuten (MARSHALL & LESTER 2001, PRISCHMANN et al. 2002, MOHR 2005). Aber auch andere Weinbauschädlinge können effektiv durch biologische Kontrollorganismen kontrolliert werden. Hierzu zählt beispielsweise die Kontrolle des Graufäuleerregers *Botrytis cinerea* Pers. durch Antagonisten wie *Trichoderma harzianum* Rifai (HARMAN et al. 1996, WILSON 1997a), *Gliocladium roseum* (SUTTON et al. 1999, LI et al. 2002a) und Bakterien (PAUL et al. 1998), des Echten Mehltaus (*Erysiphe necator* Schwein) durch Milben wie *Tydeus lambi* Baker (ENGLISH-LOEB et al. 1999) oder anderen antagonisti-

schen Mikroorganismen (reviewed in KISS 2003) und des Verursachers der Eutypiose *Eutypa lata* (Pers.) Tul. & C. Tul. durch Bakterien wie *Bacillus subtilis* oder *Erwinia herbicola* (SCHMIDT et al. 2001a, b). Aber auch die natürlich an Weintrauben vorkommenden Hefen bieten Möglichkeiten zur Kontrolle dieser pilzlichen Schaderreger (SUZZI et al. 1995). Im Falle der biologischen Kontrolle des Echten Mehltaus durch Milben scheinen in kommerziell genutzten Rebanlagen ähnliche Problematiken zu bestehen wie bei der Kontrolle von *Pananychus ulmi* durch Raubmilben. Wie ENGLISH-LOEB et al. (1999b) feststellten, ist *T. lambi* nur auf wilden Reben häufig anzutreffen, während in kommerziell genutzten Rebanlagen diese Milbe durch den Einsatz von Pestiziden wie Schwefel und Mancozeb suppressiert wird.

Die Entwicklung wirksamer, die ökologischen und ökonomischen Voraussetzungen erfüllender BCAs ist mit einer Vielzahl von Schwierigkeiten verbunden (BUTT et al. 2001). So liegen bereits eine Reihe von Untersuchungen vor, in welchen die Wirksamkeit verschiedener Hyphomyceten zur biologischen Kontrolle von Schadinsekten aufgezeigt wurde. Allerdings konnte in manchen Fällen keine konstante Kontrollwirkung erzielt werden, was auf die komplexen Wechselwirkungen Pathogen - Wirt - Umwelt - Zeit zurückgeführt werden kann (INGLIS et al. 2001). Einer der am besten untersuchten entomopathogenen Hyphomyceten ist *M. anisopliae*, wobei sich einzelne Varietäten oder Stämme in ihren Eigenschaften stark unterscheiden können (VEY et al. 2001). Dies betrifft beispielsweise die von *M. anisopliae* gebildeten Toxine (Übersicht zur Toxinbildung von entomogenen Pilzen in VEY et al. (2001). So konnten AMIR-BESHELI et al. (2000) zeigen, dass Stämme von *M. anisopliae* var. *anisopliae* sowohl unterschiedliche Mengen desselben Isotops als auch unterschiedliche Isotope des Toxins Destruxin produzieren. Auch variiert den Autoren zufolge die Menge der gebildeten Destruxine mit der Zeit; stammabhängige Abnahme und Zunahme der Quantität konnte festgestellt werden. Destruxine gehören zu den wichtigsten von *M. anisopliae* gebildeten Toxinen und haben unterschiedliche, z.B. paralytische oder immunosuppressive Wirkung. Auch die Breite des Wirtsspektrums schwankt bei verschiedenen Pilzarten sehr stark, wobei die Art *M. anisopliae* ein sehr breites Spektrum aufweist. Allerdings zeigen Untersuchungen, dass es sich auch bei der - durch morphologische Merkmale charakterisierten - Art *M. anisopliae* um eine Vielzahl verschiedener Genotypen handelt. Demzufolge ist es wahrscheinlicher, dass es sich bei *M. anisopliae* um einen Artenkomplex handelt, in welchem unterschiedliche Isolate sehr unterschiedliche Pathogenitätswirkungen bzw. Wirtsspektren aufweisen (INGLIS et al. 2001).

M. anisopliae ist ein sehr häufig vorkommender Bodenpilz, der viele Jahre in konstanten Dichten im Boden bestehen kann (VESTERGAARD et al. 1995). So konnten beispielsweise KELLER et al. (2003) bei einem Bodencsreening von 82 über nahezu die

ganze Schweiz verteilten Flächen in 96 % der Fälle *M. anisopliae* nachweisen. Hierbei zeigt der Pilz langjährig hohe Persistenzen sowohl in sandigen als auch in lehmigen Böden (VÄNNINEN et al. 2000). Im Rahmen der biologischen Schädlingskontrolle wurde *M. anisopliae* von seinem Erstbeschreiber Metschnikoff erstmals 1879 zur Beämpfung des Blatthornkäfers (*Anisoplia austriaca*) eingesetzt (BIDOCHKA 2001). Auch Tests zur Kontrolle von Weinbauschädlingen mit *M. anisopliae* wurden bereits durchgeführt. So haben MOORHOUSE et al. (1994) verschiedene Stämme von *M. anisopliae* auf ihre Effizienz zur biologischen Kontrolle des Dickmaulrüsslers (*Otiorhynchus sulcatus* F.) getestet. Die Autoren stellten aber temperaturabhängig starke Unterschiede in den Infektions- und Sporulationsraten fest. Von einem ähnlichen Versuch wird auch von HERMANN (2002) berichtet. Der Autor konnte in Topfversuchen mit dem auf *M. anisopliae* basierenden Präparat Bio 1020 Mortalitätsraten bis zu 100 % bei *O. sulcatus* beobachten. Weiterführende Untersuchungen zur Pilzdichte, Persistenz etc. nennt der Autor nicht. Auch die durch ihre Eigenschaft als Vektor für Phytoplasmosen aus weinbaulicher Sicht als Schädling zu betrachtende Zikade *Hyalesthes obsoletus* Signoret wurde in Bioassayversuchen durch *M. anisopliae* in hohen Raten infiziert und abgetötet (LANGER et al. 2005).

Wie eine Vielzahl anderer Insekten so werden auch Aphiden von verschiedenen Pathogenen befallen. So befällt beispielsweise *Alternaria alternata* verschiedene Entwicklungsstadien von 26 Aphidenarten und tötet diese in teilweise sehr hohen Quantitäten ab (CHRISTIAS et al. 2001). Auch wurden bereits Versuche zur Kontrolle bodenlebender Aphiden durch *M. anisopliae* durchgeführt (CHANDLER 1997). Im Falle der an den Wurzeln lebenden Reblauspopulationen stehen wirksame Bekämpfungsmaßnahmen trotz langjähriger Forschung bis dato nicht zur Verfügung. Sowohl der Einsatz von systemischen Insektiziden wie z.B. Thiamethoxam (GRANETT et al. 2001) als auch von entomopathogenen Nematoden (ENGLISH-LOEB et al. 1999a) führten bislang nicht zu einer ausreichenden Dezimierung der Reblauspopulationen in konventionell bewirtschafteten Anlagen. Das z.B. in Kalifornien zur Reblauskontrolle eingesetzte Insektizid Carbofuran wurde aufgrund seiner toxischen Wirkung auf Vögel im Jahr 1992 verboten. Langjährige Feldversuche mit dem Pestizid Enzone (Tetrathiocarbonat), welches im Boden zu Carbondisulfid abgebaut wird, zeigten keine nachhaltige Verbesserung der Pflanzengesundheit reblausbefallener Rebstöcke (WEBER et al. 1996). Die Verwendung von Schwefelkohlenstoff (CS_2) zur Bekämpfung der Reblaus ist in mehrfacher Hinsicht als äußerst bedenklich anzusehen. Hier sind sowohl die gesundheitlichen Gefahren für den Anwender als auch mögliche Umweltgefährdungen (z.B. Wassergefährdungsklasse 2) zu nennen (§ 20 GefStoffV). Aus diesem Grunde ist die Anwendung von Schwefelkohlenstoff in Deutschland derzeit verboten. Des Weiteren ist durch

Schwefelkohlenstoff aufgrund seiner Wirkweise in der Gasphase und der daraus resultierenden mangelnden Bodendurchdringung keine nachhaltige Bekämpfung der Reblaus möglich. GRANETT et al. (2001) weisen auf die Möglichkeiten der biologischen Kontrolle durch *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. hin, welche auch für den ökologischen Weinbau geeignet wäre, allerdings ohne Angabe einer weiterführenden Datenanalyse. Im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit wurden in den Jahren 2001 und 2002 Bioassay- und Gewächshausversuche zur biologischen Kontrolle der Reblaus durch *M. anisopliae* durchgeführt. Da diese Bioassay- und Gewächshausversuche als Vorversuche zu den Freilandversuchen zu betrachten sind, wird über diese Untersuchungen an dieser Stelle nicht ausführlich berichtet. Eine ausführliche Darstellung erfolgt in KIRCHMAIR et al. (2004d). Eine Übersicht der Ergebnisse dieser Versuche gibt Tab. 7-27. Wie hieraus zu entnehmen, waren bereits 32 Tage nach Zugabe des *Metarhizium*-Inokulates (Stamm Ma500) keine lebenden Rebläuse an den Wurzeln von Topfpflanzen mehr festzustellen (Versuchsvariante R/MA), während an den Wurzeln der nicht mit *Metarhizium* behandelten Rebstöcke (Versuchsvariante R/ma) zum gleichen Zeitpunkt eine durchschnittliche Befallsstärke der Klasse 5, also Nodositäten mit mehrfachem Reblausbesatz zu beobachten waren. Auch war die Pilzdichte der Versuchsvariante mit Reblaus deutlich erhöht. Ein negativer Effekt von *M. anisopliae* auf den Gesundheitszustand der Reben konnte nicht festgestellt werden.

4.4.1 Wirksamkeitstests Freiland

Aufgrund der im Rahmen der Bioassay und Gewächshausversuche gemachten Beobachtungen wurde im Jahr 2003 der weltweit erste Freilandversuch zur biologischen Reblauskontrolle eingerichtet. Im ersten Versuchsjahr konnte bei den monatlichen Bonituren in den Monaten Juni und Juli keine signifikante Reduktion der Reblauspopulationen auf den mit *M. anisopliae* behandelten Versuchsparzellen festgestellt werden. In den darauf folgenden Monaten konnten die Reblausbonituren aufgrund der Witterungsbedingungen nicht durchgeführt werden. Durch die lang anhaltende Trocken- und Hitzeperiode in der Vegetationsperiode 2003 (Abb. 2-5 bis 2-7) war das Wurzelsystem der Reben derartig geschädigt, dass mit dem verwendeten Probennahmesystem keine Rebläuse und nur vereinzelt funktionsfähige Frischwurzeln festgestellt werden konnten.

Da erwartet wurde, dass die besonderen Witterungsbedingungen in der Vegetationsperiode 2003 auch negative Auswirkungen auf die Etablierung des Entomopathogens nach sich ziehen würden, wurden 2004 erneut Versuchparzellen mit diesmal zwei unterschiedlichen Stämmen von *M. anisopliae* behandelt. Wie bereits nach den Reblausbonituren in den Monaten Juni und Juli 2004 vermutet wurde, so zeigte sich

auch bei der Reblausbonitur im August eindeutig, dass die bis zu diesem Zeitpunkt eingesetzte Boniturmethode nach PORTEN & HUBER (2003a) für vergleichende Untersuchung zur Wirkung von entomopathogenen Pilzen auf Populationen von wurzelbesiedelnden Rebläusen nicht angewendet werden kann. Die Ursache hierfür liegt darin begründet, dass diese Boniturmethode so konzipiert wurde, dass zum einen die Inhomogenität der Rebwurzelverteilung im Boden und zum anderen die Inhomogenität der Reblausverteilung an den Wurzeln berücksichtigt wird (PORTEN & HUBER 2003a). Diese Effekte werden durch die vergleichsweise hohe Stichprobenzahl und die Auswahl der Probennahmepunkte ausgeglichen. Auch die von HOFMANN (1957a) und BALBIANI (1874a) beschriebenen lokalen Unterschiede im Zusammenhang mit Reblausbefall im Wurzelsystem ein und derselben Pflanze können dadurch nivelliert werden. Im Falle der Einwirkung eines Entomopathogens kommen zwei weitere Faktoren, nämlich die inhomogene Verteilung des Entomopathogens und die zeitlich inhomogene Wirkung auf die Reblauspopulationen hinzu. Derartige Effekte sind mit dem Bonitursystem nach PORTEN & HUBER (2003a) nicht zu erfassen. Dies wird durch die Ergebnisse der Laborzählungen im Jahr 2004 (Abb. 3-27) verdeutlicht. Bei dieser Untersuchung wurden die Ergebnisse, wie bei Verwendung des Reblausbonitursystems nach PORTEN & HUBER (2003a), nicht auf einen Rebstock bzw. eine Fläche bezogen, sondern basieren auf der Auszählung aller in einer Bodenprobe enthaltenen Nodositäten. Es wird ersichtlich, dass sich hierbei sowohl die Gesamtzahl an Nodositäten zwischen den Versuchsvarianten erheblich unterscheidet als auch die Anzahl der mit lebenden Rebläusen besetzten Nodositäten. Dass aber auch diese Bewertungsmethode nicht ausreichend ist, zeigt sich beispielsweise daran, dass sich die Zahl der mehrfach mit Rebläusen und Reblauseiern besetzten Nodositäten (Befallsklasse 9) auf der Versuchsvariante MA2003 und der Kontrolle zwar kaum unterscheidet, die Gesamtzahl der gefundenen Nodositäten auf der Versuchsvariante MA2003 aber nur nahezu ein Drittel der Nodositäten auf der Kontrolle beträgt. Die Ergebnisse werden durch Untersuchungen auf anderen Versuchsflächen (Abb. 7-4 und 7-5) im Anbaugebiet Mosel-Saar-Ruwer bestätigt. Die Untersuchungsergebnisse der Augustbeprobung des Jahres 2005 (Abb. 3-28) zeigen ähnliche Verhältnisse. Im Jahr 2005 konnte allerdings zum ersten Mal beobachtet werden, dass auch bei den auf der Untersuchung von Rebstöcken und Nodositäten basierenden Ergebnissen Unterschiede festzustellen sind. So waren 20 % der 2005 auf der Versuchsvariante MA2005 untersuchten Rebstöcke vollständig reblausfrei. Zusätzlich konnten insgesamt nur an circa 20 % der untersuchten Nodositäten Rebläuse festgestellt werden. Im Vergleich hierzu lagen die Befallshäufigkeiten auf den anderen Versuchsvarianten bei 100 % bezogen auf die Gesamtzahl der untersuchten Rebstöcke und bei circa 60 % bezogen auf die Gesamtzahl der untersuchten Nodositäten.

Unterschiede in der Befallsstärke konnten dabei nur in geringem Umfang festgestellt werden. Es wurde nun versucht, die Anzahl an Nodositäten, Rebläusen und Reblauseiern und das Gesamtvolumen der untersuchten Wurzeln mit in die Ergebnisauswertung einzubeziehen. Wie aus Abb. 3-30 ersichtlich, konnten dabei große Unterschiede zwischen dem Untersuchungsbereich Fahrgasse und dem Unterstockbereich festgestellt werden. Dies liegt zum einen in der unterschiedlichen *Metarhizium*-Applikation in den Jahren 2003 und 2004, zum anderen in dem sehr unterschiedlichen Wurzelvorkommen in diesen Bereichen begründet. Wie aus der Abbildung ersichtlich, waren auf allen mit *Metarhizium* behandelten Varianten im Unterstockbereich sowohl die Anzahl an Nodositäten mit Reblaus und Reblauseiern als auch die Anzahl der Rebläuse auf der Variante MA2003 je Gramm Wurzeltrockenmasse im Vergleich zur Kontrolle reduziert. Die hohen Standardabweichungen weisen aber auf eine sehr hohe Inhomogenität in den Verteilungen hin.

Es ist an dieser Stelle festzuhalten, dass, obgleich eine Reduktion der Reblauspopulationen durch *M. anisopliae*, Stämme MA500 und Bipesco5 unter Freilandbedingungen stattfindet, der Wirkungsgrad mit den eingesetzten Methoden nicht festgestellt werden konnte. Es stellt sich nun die Frage, welche Anforderungen eine Methode erfüllen muss, um die Darstellung einer durch Entomopathogene hervorgerufene Reduktion von Wurzelreblauspopulationen unabhängig vom Beprobungszeitpunkt zu ermöglichen. Zur Beantwortung dieser Frage müssen zunächst einige weitere Sachverhalte angeführt werden. Neben der Tatsache, dass durch die durchgeführten rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen zweifelsfrei gezeigt werden konnte, dass Rebläuse unter Freilandbedingungen durch *M. anisopliae* infiziert und abgetötet werden und der Pilz auf abgetöteten Individuen Konidien ausbildet (Tafel 3-10 Teil C), wurde durch diese Untersuchungen ebenfalls festgestellt, dass die Zahl abgetöteter Individuen unter keinen Umständen quantitativ erfasst werden kann (Tafeln 3-10 Teil A +B). Dies wird durch stereo- und lichtmikroskopische Untersuchungen bestätigt. Des Weiteren ist für die Entwicklung einer Boniturmethode die vielfach gemachte Beobachtung von Bedeutung, dass es, auch unter Verwendung von Kühleinrichtungen, nicht möglich ist, Rebwurzeln ohne Vorbehandlung in nativem Zustand ins Labor zu überführen und dort auf Reblausbefall zu untersuchen. In Fällen trockener Freilandbedingungen kommt es bereits nach sehr kurzer Zeit zu Vertrocknungen und Verfärbungen der Frischwurzeln einerseits als auch zu einem Abwandern von Rebläusen von den Wurzeln andererseits. Dies war bereits bei der Entwicklung des Reblausbonitursystems nach PORTEN & HUBER (2003a) einer der Hauptgründe, warum dieses System auf einer Vorort-Analyse des Reblausbestandes basiert.

Somit sind folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen: a. die inhomogene Verteilung der Wurzeln eines Rebstockes im Boden bzw. das unterschiedlich ausgebildete Wurzelsystem der Rebstöcke (Tafel 7-5 A); b. Der durch äußere Faktoren bedingte unterschiedliche Entwicklungszustand der Reblauspopulationen (Tafel 7-5 B); c. Die unterschiedlichen Befallsbilder bzw. die inhomogene Verteilung von Reblaus an den Wurzeln (Tafel 7-5 C); d. Die inhomogene Verteilung von *M. anisopliae* im Boden, bzw. unterschiedliche Aktivitäten und Wirkungen (Tafel 7-5 D; in dieser Abbildungen enthalten beide Ausschnitte dieselbe Anzahl und Verteilung von Nodositäten, nur der Reblaus- und Reblauseibesatz unterscheidet sich; mit den bisher verwendeten Boniturmethoden würde die Probe dieselbe Befallsklasse erhalten). Zur Verdeutlichung dieses Sachverhaltes sei folgendes Beispiel genannt. Mit der Bildung neuer Frischwurzeln entstehen auch neue Nahrungsquellen für die Reblaus in bislang unbesiedelten Bodenkompartimenten. Dorthin einwandernde Rebläuse besiedeln die Wurzeln, induzieren Nodositäten und pflanzen sich fort. *M. anisopliae* besiedelt dasselbe Bodenkompartiment in ausreichenden Dichten erst zeitverzögert, wenn sein Wirt (Reblaus) sich bereits etabliert hat. Dies hat zur Folge, dass an verschiedenen Stellen des Wurzelsystems eines Rebstockes zu verschiedenen Zeiten, d.h. vor der Besiedlung durch *M. anisopliae* ein Reblausbefall an diesen Stellen festzustellen sein wird, welcher sich nicht von dem an einer unbehandelten Kontrollpflanze unterscheidet. Somit wird mit der bisher eingesetzten Methode kein Unterschied detektiert. Dieser Fall könnte nur ausgeschlossen werden, wenn eine Zuwanderung von Rebläusen ausgeschlossen werden könnte, was unter Freilandbedingungen unmöglich ist; e. die durch die Reblausaktivität oder andere Ursachen hervorgerufenen Veränderungen im Wurzelsystem bzw. den Frisch- und Altwurzelanteilen einer Einzelprobe (Tafel 7-5 E+F; neben Verunreinigungen sind die Unterschiede im Anteil an Frisch- und Altwurzeln einer der Hauptfehlerquellen bei Berechnungen basierend auf dem Wurzelgewicht).

Das Ziel derzeitiger Untersuchungen ist es, das Reblausbonitursystem nach PORTEN & HUBER (2003a) durch die Einführung quantitativer Aspekte sowohl den Reblausbefall an Nodositäten als auch das Wurzelsystems eines Rebstockes betreffend so zu modifizieren, dass es den oben geschilderten Anforderungen genügt. Hierfür werden seit Beginn der Vegetationsperiode 2006 Untersuchungen zur Validierung eines solchen Systems durchgeführt. Die Hauptpunkte hierbei sind: a. die Erfassung des Wurzelsystems und der Reblauspopulationen in einem definierten Bodenvolumen durch die Entnahme von Bodenproben unter Verwendung eines Bodenstechbohreres; b. die Erfassung der Befallsstärke jeder in diesen Bodenproben vorkommenden Nodositäten und c. die Bewertung der in einer Bodenprobe enthaltenen Gesamtwurzellänge verschiedener Wurzelklassen durch digitale Erfassung des Wurzelsystems.

Im Rahmen dieser Versuche werden auch weitere Aspekte untersucht, welche im Rahmen der biologischen Kontrolle der Reblaus eine Rolle spielen könnten. So ist bekannt, dass auch physiologische und morphologische Faktoren des Wirtes seine Anfälligkeit gegenüber dem Entomopathogen beeinflussen können. Hierbei sind verschiedene Faktoren wie das Entwicklungsstadium, das Verhalten, die Populationsdichte oder die Stresssituation des Wirtes zu nennen (INGLIS et al. 2001). STEINHAUS (1958) konnte zeigen, dass eine auf Overcrowding zurückzuführende Stressbelastung bei Insekten zu einer Prädisposition gegenüber Entomopathogenen wie Viren, Bakterien oder Protozoen führen kann. Hierbei sind dem Autor zu Folge verschiedene Mechanismen involviert. So können beispielsweise sowohl die Abwehrmechanismen verringert als auch die Übertragungsraten des Entomopathogens durch häufigere und engere Kontakte zwischen den Individuen erhöht werden. Zusätzlich kann sich in Overcrowding-Situationen auch die Dichte des von infizierten Wirten freigesetzten Entomopathogens erhöhen. Diese Faktoren könnten aufgrund der Lebensweise der Reblaus eine bedeutende Rolle spielen, bedenkt man beispielsweise die jährliche Populationsentwicklung (PORTEN & HUBER 2003a) oder die bevorzugte Besiedlung bereits entwickelter Saugstellen (OMER et al. 1995). Somit kann im Falle der Reblaus auch ein Einfluss entomopathogener Pilze auf die Induktion der sexuellen Fortpflanzung, bzw. der Bildung von alaten Morphen (vergleiche Kap. 3.1) nicht ausgeschlossen werden, sollten Overcrowding-Effekte unter Feldbedingungen eine Rolle bei der Entwicklung dieser spielen (siehe hierzu Kap. 3.1). Untersuchungen hierzu sind Gegenstand derzeitiger Arbeiten (z.B. MICHAELIS in Bearbeitung). Ein weiterer, durch die Lebensweise, d.h. durch die Ernährungsweise der Reblaus bedingter Einflussfaktor ist die Wirkung von mit der Nahrung aufgenommenen fungitoxischen Substanzen (INGLIS et al. 2001). So konnten beispielsweise EKESI et al. (2000) zeigen, dass die Anfälligkeit von *Megalurothrips sjostedti* Trybom gegenüber *M. anisopliae* durch von der Wirtspflanze gebildete antifungal wirkende Stoffe reduziert wird. Fungitoxisch oder fungistatisch wirkende Stoffe wie beispilesweise Resveratrol werden auch von verschiedenen *Vitis*-Arten gebildet (COUTOS-THÉVENOT et al. 2001). Zudem enthält auch die Kutikula vieler Inseken fungistatische Substanzen, welche eine Infektion mit Entomopathogenen verhindern können. Aber auch das Exoskelett scheint aktiv an der Ausbildung humoraler Immunreaktionen beteiligt zu sein (GILLESPIE et al. 2000). In diesem Kontext könnten auch endophytische Pilze im Gefäßsystem von *Vitis* eine Rolle spielen. So konnten TIEDEMANN et al. (1988) im Gefäßsytem von Unterlagsreben verschiedene endophytisch lebende Pilzarten nachweisen. Einige der isolierten Arten sind in der Lage, fungitoxisch bzw. fungistatisch wirkende Substanzen zu bilden. Im Falle der Reblaus könnten aus dem Wirt aufgenommene antifungale Stoffe die Wirkung von entomopathogenen Pilzen

aber nicht nur am infizierten Individuum beeinflussen. Wie GERSCH (1953) zeigen konnte, werden Exkretionsprodukte bei der Reblaus - in Ermangelung eines funktionsfähigen Enddarms - nicht nur im Fettkörper gespeichert, sondern auch bei der Eiablage mit ausgeschieden. Eine biochemische Aktivität dieser Ausscheidungsprodukte konnte von CLEVER (1959a, b) und ANDERS (1957a) aufgezeigt werden. Aber nicht nur Endobionten der Wirtspflanze der Reblaus müssen in diesem Zusammenhang Berücksichtigung finden, sondern auch endobiontisch in der Reblaus vorkommende Organismen könnten einen Einflussfaktor darstellen. Endobiontisch in den Speicheldrüsen von Rebläusen lebende Bakterien konnten bereits nachgewiesen werden (VORWERK 2002). Das von VORWERK (2002) aus den Speicheldrüsen und Eiern von Rebläusen isolierte *Pantoea-agglomerans*-related-bacterium (PARB) zeigt antimikrobiell wirkende Eigenschaften (LEE 2005, HOFFMANN 2005). Wie Untersuchungen von STACEY et al. (2003) zeigen, können bei Aphiden auch genotypbedingte Unterschiede in der Anfälligkeit gegenüber entomopathogenen Pilzen bestehen. Im Falle der Aphide *Acyrthosiphon pisum* Harris und dem Entomopathogen *Pandora neoaphidis* (Remaud. & Hennebert) Humber wird die genotypenabhängige Anfälligkeit zusätzlich durch den abiotischen Faktor Temperatur beeinflusst. Aber nicht nur die Eigenschaften des Wirtes und des Pathogens sind für eine effektive biologische Schädlingskontrolle von Bedeutung. Auch spielen verschiedene Umweltfaktoren eine große Rolle, wobei die Temperatur als einer der entscheidenden, die Effektivität von Entomopathogenen beeinflussenden Faktoren angesehen werden kann (INGLIS et al. 2001). Wie weitreichend derartige Wechselwirkungen sein können, zeigt das Beispiel des Einflusses der Thermoregulation des Wirtes. Wie ELLIOT et al. (2002) zeigten, können zur Erhöhung der Körpertemperatur befähigte Wüstenheuschrecken auch nach einer Infektion durch *M. anisopliae* entwicklungsfähige Nachkommen hervorbringen. Individuen, welche an der Thermoregulierung gehindert werden, produzieren hingegen keine Nachkommen. Die Optimaltemperatur für eine Infektion von *Frankliniella occidentalis* Pergande durch *M. anisopliae* liegt bei rund 23° C (VESTERGAARD et al. 1995). Dies scheint *M. ansiopliae* für eine biologische Kontrolle von Reblauspopulationen als sehr geeignet erscheinen, da bei dieser Temperatur auch die Entwicklung verschiedener Reblauspopulationen am stärksten ist (GRANETT & TIMPER 1987, FISHER & ALBRECHT 2003, PORTEN & HUBER 2003a). Im Rahmen dieser Arbeit kann nur ein kleiner Teil der möglichen eine biologische Kontrolle von Reblauspopulationen durch entomopathogene Pilze beeinflussenden Faktoren erörtert werden. Ausführliche Darstellungen der unterschiedlichen Infektionsprozesse und Abwehrrekationen finden sich beispielsweise bei GILLESPIE et al. (2000) und SHAH & PELL (2003).

4.4.2 Begleituntersuchungen Freiland

Einer der Hauptaspekte zukünftiger Biocontrolforschung ist die Etablierung des Entomopathogens unter natürlichen Bedingungen, eine Frage, welche auch entscheidend für den kommerziellen Einsatz von BCAs allgemein ist (MAGAN 2001). Aus diesem Grund wurden zusätzlich zu den Wirksamkeitstests und den Untersuchungen zur Entwicklung einer Boniturmethode weitere Begleituntersuchungen durchgeführt und unter anderem die Dichte von *M. anisopliae* im Boden bestimmt. Ein Teil dieser Ergebnisse ist in Abb. 7-8 dargestellt. Es zeigt sich dabei, dass sich *M. anisopliae* auch trotz der ungewöhnlich heißen und trockenen Monate in der Vegetationsperiode 2003 vor allem in den oberen Bodenschichten gut im Boden etabliert hat und auch nach zwei Jahren noch relativ hohe Dichten aufweist. Zwar ist eine bestimmte Dichte des Pathogens für eine biologische Kontrollwirkung notwendig, dieser Schwellenwert ist aber nicht statisch, sondern unterliegt vielfältigen Einflüssen. So wird beispielsweise die mittlere lethale Dosis (LD_{50}) sowohl von der Virulenz eines Isolates, als auch von Umwelteinflüssen bestimmt. Zusätzlich hängt die Wirkung des sekundären, also aus infizierten Individuen innerhalb einer Population hervorgehenden Inokulums, auch von der Verbreitung der infizierten Wirtsindividuen ab (INGLIS et al. 2001). CHANDLER (1997) gibt als LD_{50} zur Kontrolle von *Pemphigus bursarius* in Bioassay-Versuchen eine *Metarhizium*-Dichte von 2.45 X 10^6 Konidien ml^{-1} an. Genauere Erkenntnisse beispielsweise zu den mittleren lethalen Dosen für eine Kontrolle von Reblauspopulationen bei unterschiedlichen Feldbedingungen existieren derzeit noch nicht, doch kann bei den auf der Versuchsfläche R/5C festgestellten *Metarhizium*-Dichten von einer für eine Kontrollwirkung ausreichenden Dichte ausgegangen werden (2,5 x 10^3 bis 1,0 x 10^4 CFU g TM Boden). Ähnliche Dichten wurden auch auf den Versuchsflächen im Anbaugebiet Mosel-Saar-Ruwer und Pfalz festgestellt (nicht dargestellt). In diesem Zusammenhang muss erwähnt werden, dass bei ersten Dichteuntersuchungen im Mai 2006 ein erheblicher Unterschied in den *Metarhizium*-Dichten der Versuchsvariante MA2003 der Fläche R/5C in wurzelnahem und wurzelfernen Boden festgestellt wurde (Kirchmair et al. 2006). HU & ST. LEGER (2002) konnten zeigen, dass die Dichten von *M. anisopliae* in der Rhizosphäre von Kohlpflanzen im Vergleich zu wurzelfreiem Boden über eine längere Zeit stabil bleiben. So konnten die Autoren in Rhizosphärenboden nach mehreren Monaten Dichten von 10^5 CFU / g feststellen, während die Dichten mit zunehmendem Abstand von den Wurzeln auf 10^3 CFU / g absanken. Auch waren von Beginn des Versuchs stets höhere Dichten in den Bereichen nahe der Wurzel festzustellen. Die Autoren folgern, dass die Rhizosphäre eine Art Reservoir für *M. anisopliae* darstellen könnte. Dies steht im Einklang mit den im Frühjahr 2006 bei der Untersuchung der *Metarhizium*-Dichte auf der Variante MA2003 gemachten Untersuchungen. Hier war

die Dichte im wurzelnahen Bereich um das 7,5-fache im Vergleich zum wurzelfernen Bereich erhöht (HUBER & KIRCHMAIR unveröffentlicht). Bis zu dieser Untersuchung wurden im Rahmen dieser Arbeit stets Mischproben aus beiden Bodenmikrokompartimenten untersucht. Dies könnte bedeuten, dass die in Abb. 7-8 dargestellten Pilzdichten die Werte am eigentlichen Lebensort der Reblaus, dem Rhizosphärenbereich, stark unterschätzen. Die Tatsache dieser von HU & ST. LEGER (2002) als Rhizosphärenkompetenz bezeichneten Eigenschaft von *M. anisopliae* wäre im Fall der biologischen Reblauskontrolle von erheblicher Bedeutung und wird zukünftig mit besonderer Aufmerksamkeit untersucht werden.

Ebenso von Bedeutung ist die Auswirkung von *M. anisopliae* auf Non-Target-Organismen wie Insekten oder den standorttypischen Pilzen in Weinbergsböden. Die Untersuchungen von HU & ST. LEGER (2002) lieferten keinen Hinweis auf eine Übertragung von *M. anisopliae* auf Non-Target-Insekten oder negative Auswirkungen auf standorttypische Bodenpilze. Auch bei anderen Versuchen, wie beim Einsatz von *M. anisopliae* var. *acridum* zur Heuschreckenbekämpfung in Afrika zeigten sich trotz Absterberaten von 70 - 90 % beim Zielorganismus keine negativen Einflüsse auf Non-Target-Organismen. Der Einsatz dieses Pilzes wird seither von der 'Food and Agriculture Organization of the United Nations' zur Heuschreckenbekämpfung empfohlen (LOMER et al. 2001). Verschiedene Autoren sehen den Einsatz von entomopathogenen Pilzen im Rahmen des IPM als sicherer im Vergleich zum Einsatz chemische Insektizide an (GOETTEL & HAJEK 2000, PELL et al. 2001, SHAH & PELL 2003). Auch bei den im Rahmen der biologischen Reblauskontrolle durchgeführten Untersuchungen des Edaphons konnten im Jahr 2003 keine negativen Auswirkungen festgestellt werden (Abb. 3-31, 7-6). Um dieses auch in den Folgejahren zu gewährleisten, sollen in den kommenden Jahren die Untersuchungen der Non-Target-Effekte weitergeführt werden. Des Weiteren konnten auch in keinem Fall negative Auswirkungen auf die gesondert untersuchten Collembolazönosen festgestellt werden (Abb. 7-7). In einzelnen Fällen konnte sogar eine Erhöhung der Abundanzen auf der mit *Metarhizium* behandelten Variante festgestellt werden (z.B. *Mesaphorura krausbaueri*). Diese Ergebnisse stehen in Einklang mit denen von DROMPH & VESTERGAARD (2002) und DROMPH (2003). Die Untersuchungen dieser Autoren haben gezeigt, dass zur Biocontrol verwendete entomopathogene Hyphomyceten wie *M. anisopliae* nur eine sehr geringe Virulenz gegenüber euedaphisch lebenden Collembolaarten zeigen (DROMPH & VESTERGAARD 2002); vielmehr können sie als Vektoren entomopathogener Pilze angesehen werden (DROMPH 2003).

Wie bei den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen keine negativen Auswirkungen auf Non-Target-Organismen beobachtet werden konnten, so

wurden auch keine Beeinträchtigungen der Leistungs- und Ertragsparameter der Rebstöcke festgestellt.

Diese ersten Freilanduntersuchungen zur biologischen Reblauskontrolle durch den entomopathogenen Pilz *M. anisopliae* können als sehr viel versprechend angesehen werden. In zukünftigen Untersuchungen gilt es nun, nicht nur die bereits diskutierten Fragestellungen zu bearbeiten, sondern die Versuche über mehrere Jahre weiter zu betreuen und auszubauen. Erste Schritte hierzu wurden bereits unternommen. So wurden zur Untersuchung zum Einfluss von Boden- und Standortfaktoren weitere Versuchsflächen mit unterschiedlichen Versuchskonzepten in anderen Weinanbaugebieten eingerichtet. Auch wurde im Frühjahr 2006 auf der Versuchsfläche R/5C eine weitere Versuchsvariante etabliert, um den Einfluss verschiedener Inokulumdichten untersuchen zu können. Im Falle der Reblaus sind, wie in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt, nicht nur Reblauspopulationen, sondern auch andere Organismen an der Degeneration des Wurzelsystems beteiligt. Somit ist nicht nur die absolute Reblausdichte für die Entstehung von Kümmerwuchs und Absterbeerscheinungen an Rebstöcken von Bedeutung. Vielmehr muss eine Gesamtanalyse des Gesundheitszustandes des Rebwurzelsystems durchgeführt werden. Dies soll in der Zukunft durch digitale Erfassung des Wurzelsystems und anschließender Analyse unter Verwendung der Software WinRhizo (Régent Instruments Inc.) untersucht werden. Zusätzlich wird derzeit eine Methode erarbeitet, Pathogene und Schadstellen im Wurzelsystem von *Vitis* unter Verwendung modifizierter Flachbettscanner zu analysieren (HUBER unpubliziert). Die im Rahmen der biologischen Reblauskontrolle bereits erzielten und noch zu erzielenden Untersuchungsergebnisse in Rebanlagen können auch für die biologische Kontrolle anderer Weinbauschädlinge genutzt werden.

Der zukünftige Einsatz von biologischen Schädlingskontrollmaßnahmen im Weinbau beispielsweise zur Reblauskontrolle wird aber auch maßgeblich von verschiedenen anderen Faktoren bestimmt. So spielen bei einer Diskussion über den Einsatz biologischer Kontrollmaßnahmen neben den betriebswirtschaftlichen auch sozioökonomische Erwägungen eine Rolle. Hierzu zählen unter anderem die durch den Einsatz von chemischen Pestiziden entstehenden negativen Auswirkungen auf die Gesundheit von Mensch und Tier sowie auf die Biodiversität und Stabilität von Ökosystemen (MENZLER-HOKKANEN 2006). Umgekehrt sind natürlich auch die Auswirkungen eines BCA-Einsatztes auf die menschliche Gesundheit dabei von großer Bedeutung. Bislang liegen für *M. anisopliae* trotz zahlreicher Untersuchungen keine Hinweise auf eine erhöhte Infektiosität oder Toxizität bei Säugetieren vor. *M. anisopliae* ist deshalb in einigen Ländern zur Anwendung zugelassen (SHAH & GOETTEL 1999, GOETTEL et al. 2001). Es wurde aber sowohl über allergische Reaktionen bei Mäusen (WARD et al.

1998) als auch in vier Fällen über Infektionen bei Menschen (DEGARCIA et al. 1997, BURGNER et al. 1998, REVENKAR et al. 1999) und in einem Fall bei einer Katze (MUIR et al. 1998) berichtet. Mit Ausnahme zweier Fälle waren die Infektionen auf den Bereich der äußeren Atemwege beschränkt. Die sehr geringe Infektionsgefahr liegt unter anderem darin begründet, dass das Wachstum der meisten entomopathogenen Hyphomyceten in Temperaturbereichen, welche der Körpertemperatur von Säugetieren entsprechen, eingeschränkt ist oder überhaupt kein Wachstum mehr stattfindet (INGLIS et al. 2001). Über mögliche Gesundheitsrisiken für Menschen durch den Einsatz von BCAs und die Auswirkungen auf die Zulassungsverfahren wird vielfach diskutiert. Einen Überblick geben beispielsweise GOETTEL et al. (2001) und STRASSER & KIRCHMAIR (2006).

4.5 Vorkommen und Verbreitung von *Roesleria subterranea* (Weinm.) Redhead

Berichte über Rückgangs- und Absterbeerscheinungen in Weinbergen liegen bereits seit mehr als 200 Jahren vor, doch nimmt die Zahl derartiger Beobachtungen seit Ende des 20. Jahrhunderts zu (z.B. BRENDEL & HANFF 1984, HÖFER 1993). Insbesondere den bodenbürtigen Ursachen dieser Rückgangserscheinungen - wie dem Komplex der Wurzelschimmelerkrankungen - wird in der Öffentlichkeit dabei meist wenig Beachtung geschenkt. Dies hat seine Ursachen zum einen sicherlich in der verborgenen Lebensweise der Bodenorganismen, die eine direkte Beobachtung dieser Schädlinge nur sehr selten erlaubt. Zum anderen sind diese Schaderreger bis dato noch nicht als Auslöser einer weit verbreiteten Krankheit in Erscheinung getreten wie es bei der Reblaus, dem Mehltau oder neuerdings der Schwarzfäule oder der Esca-Krankheit der Fall ist. Die bislang beobachteten, durch Wurzelschimmelerreger verursachten, teilweise erheblichen Ausfälle von über 70 % in Reben- und Obstbaumbeständen blieben bislang stark lokal beschränkt (VÉGHELYI 1989). Dies sowie die komplexen Gegebenheiten des Mediums Boden mögen auch ein Grund dafür sein, warum sich vergleichsweise wenig Forschungsvorhaben dem Wurzelsystem der Rebe, seinen Schädlingen sowie deren Bekämpfung widmen (RICHARDS 1983, WHITELAW-WECKERT 2004b). Dabei sind einige der Erreger aus dem Komplex der Wurzelschimmelerkrankungen der Rebe vergleichsweise gut untersucht. Vor allem zur Lebensweise und Schadwirkung von *Rosellinia necatrix* (Hart.) Berl. liegen zahlreiche Untersuchungen auch neueren Datums vor. Gründe hierfür sind sowohl die nahezu weltweite Verbreitung dieses Pilzes als auch sein breites Wirtspflanzenspektrum und seine Bedeutung vor allem als Obstbaumschädling (HANFF 1987). Im Gegensatz hierzu liegen zur Lebensweise und Schadwirkung des Wurzelschimmelerregers *R. subterranea* (Weinm.) Redhead (= *R. hypogaea* Thüm. & Pass.) nur sehr wenige, meist auf Labor- und Gewächshausversuche beschränkte, Erkenntnisse vor. Hinweise auf Pflanzenschutz- oder Bekämpfungsmaßnahmen existieren bislang nicht. Aus weinbaulicher Sicht sind in diesem Zusammenhang fast ausschließlich die Untersuchungen von HÖFER (1993) und, in begrenzter Form, HANFF (1987) zu nennen. In Ermangelung weiterer aus weinbaulicher Sicht relevanter Arbeiten über diesen Schaderreger wird im Folgenden hauptsächlich auf diese Arbeiten zurückgegriffen. *R. subterranea* wurde erstmals 1868 bei Mühlheim im Breisgau von L. Roesler an absterbenden *Vitis vinifera*-Reben entdeckt. Die Artbeschreibung erfolgte als *R. hypogaea* Thüm. & Pass durch Thümen und Passerini (THÜMEN 1877a). In der Folge wurden für diese Art eine große Anzahl synonymer Artnamen verwendet (BECKWITH 1924, HÖFER 1993). Trotz verschiedener taxonomischer Bearbeitungen der Gattung bzw. der Art *R. subterranea* (BECKWITH 1924,

REDHEAD 1984, YAO & SPOONER (1999) deuten neue molekularbiologische und morphologische Untersuchungen auf eine bislang falsche taxonomische Einordung des Pilzes hin (KIRCHMAIR et al. 2007), worauf an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden soll. Die Befunde dieser Untersuchungen zeigen, dass *R. subterranea* nicht wie bisher angenommen den Caliceales nahe steht, sondern weitläufig mit Hymenoscyphus (Helotiales) verwandt ist. Berichte über das Vorkommen dieses Wurzelschimmelerregers liegen aus Europa (THÜMEN 1877b, HÖFER 1993) und Nordamerika (GÄRTEL 1994) vor, wobei er auf kühlere Klimate beschränkt zu sein scheint. Bei *R. subterranea* handelt es sich um einen fakultativen Parasiten an einer Reihe von Wirtspflanzen der Gattungen *Vitis*, *Malus*, *Pyrus*, *Cydonia*, *Prunus*, *Salix*, *Tilia*, *Rosa* und *Paliurus* (BECKWITH 1924). Lange Zeit war unklar, ob es sich bei diesem Pilz um einen Sekundärparasiten handelt oder ob *R. subterranea* auch in der Lage ist, Wirtspflanzen ohne vorherige Schädigungen zu infizieren (Literaturübersicht in BECKWITH 1924). HÖFER (1993) hat durch ihre Arbeiten zweifelsfrei gezeigt, dass *R. subterranea* in der Lage ist, gesundes und völlig intaktes Wurzelgewebe zu besiedeln. Dabei werden nicht nur die äußeren Bereiche der Wurzel befallen, sondern die Hyphen dringen nach und nach bis in die Gefäße der Wurzeln vor und besiedeln diese. Abhängig von den äußeren Bedingungen stirbt die befallene Wurzel mehr oder minder schnell ab. In der Art und Weise dieses Befalls liegen auch die oberirdisch zu beobachtenden Symptome begründet. Der Befall des Wurzelgewebes führt zu einem Verschluss der Leitungsbahnen und somit zu einer Unterbrechung der Wasser- und Nährstoffversorgung der Pflanze. Im weiteren Verlauf der Krankheit sterben die Wurzeln vollständig ab. Dies führt zu Welkeerscheinungen, Kümmerwuchs und schließlich zum Absterben des Rebstocks. Die Symptome ähneln dabei sehr denen eines Befalls durch Reblaus, worauf bereits THÜMEN (1878) hinweist. Derselbe stellt dabei bereits die Vermutung an, dass diese beiden Schadursachen häufig miteinander verwechselt werden was zu Fehleinschätzungen der Verbreitung und des Schadpotentials führen kann. Die Dauer zwischen Erstinfektion und Absterben des Rebstocks variiert, je nach den äußeren Umständen, zwischen zwei und mehreren Jahren; in der Regel sterben befallene Rebstöcke nach zwei bis drei Jahren ab (BRENDEL 1983, HÖFER 1993, VÉGHELYI 1989). Weiterführende Angaben zu Befalls- oder Absterberaten in Rebschulen oder Ertragsrebanlagen liegen nicht vor. Bei Freilanduntersuchungen an Birnbäumen mit Quitten-Unterlage in Ungarn starben bereits im ersten Jahr 46 % der frisch gepflanzten und infizierten Pflanzen ab. Die Absterberate erhöhte sich innerhalb der ersten drei Jahre auf 60 %. Bei Neupflanzung nach Rodung des alten Bestandes waren nach zwei Jahren bereits 20 % der untersuchten Stöcke abgestorben, 20 % waren annähernd abgestorben und 60 % zeigten Kümmerwuchs (VÉGHELYI 1989). Berichte, dass infizierte

Pflanzen sich von einem Befall wieder erholen, liegen nicht vor. HÖFER (1993) hat bei der Untersuchung des Infektionsvorganges zwar starke Abwehrreaktionen beispielsweise durch Bildung und Einlagerung von phenolischen Substanzen im Wirtsgewebe feststellen können, doch konnten diese die Besiedlung der Gewebe lediglich verlangsamen, nicht aber begrenzen oder stoppen.

Im Gegensatz zu anderen Wurzelschimmelerregern wie z.B. *Rosellinia necatrix* Berl. ex Prill sind die Hyphen von *R. subterranea* sehr dünn, lagern sich nicht zu einem dichteren Geflecht zusammen oder bilden Rhizomorphen. Das sich zwischen Rinde und Holz ausgebildete Myzel ist kaum sichtbar. Das einzig sichere Anzeichen einer *Roesleria*-Infektion sind die charakteristischen vom Pilz gebildeten Fruchtstände auf lebendem oder totem Holz. Diese Apothezien sind in reifem Zustand bis zu 2 cm lang und bestehen aus einem Stiel und einem flachen scheibenförmigen bis kugeligem Köpfchen. Ausgereift erscheinen die Köpfchen grau und staubig. Bei diesem 'Staub' handelt es sich um reife Ascosporen. Diese fallen bei Berührung oder bei Luftzug ab. Amerikanischen Angaben zufolge werden diese Fruchtkörper vom Frühjahr bis zum Herbst gebildet (GÄRTEL 1994). Nach eigenen Beobachtungen treten die Fruchtkörper vermehrt im Spätsommer und Herbst auf, kommen aber auch im Winter vor. HÖFER 1993 weist allerdings darauf hin, dass *R. subterranea*-Stämme verschiedener Herkünfte und bei verschiedenen Lebensbedingungen eine sehr unterschiedliche Zahl bzw. gar keine Fruchtkörper bilden. Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen verminderter Fruchtkörperbildung und einer Abnahme der Aggressivität gegenüber der Wirtspflanze oder verminderter Schadwirkung bestehen allerdings nicht. Auch über die eine Fruchtkörperbildung auslösenden Faktoren bestehen nur sehr wenige Erkenntnisse. Offenbar erfolgt die Fruchtkörperbildung aber nur unter bestimmten Bedingungen, vor allem unter kühlen (15 °C) und trockenen (10 % maximale Bodenwasserhaltekapazität) Umweltbedingungen. Bei Erhöhung der Wasserhaltekapazität ist eine Abnahme der Fruchtkörperbildung, aber eine Zunahme des Wachstums der Hyphen zu beobachten. Dies lässt vermuten, dass der Pilz auf trockene Bedingungen oder allgemeine Verschlechterungen der Lebensbedingungen wie Nahrungsknappheit mit der Bildung von Fruchtkörpern und Sporen reagiert, um so diese Phase zu überdauern. Die Sporen sind im Boden mehrere Jahre überlebensfähig. Feuchte Bedingungen hingegen durchlebt der Pilz mit seinen Hyphen.

Nicht nur gegen Trockenheit und Nässe ist der Pilz sehr tolerant sondern auch gegenüber Hitze und Kälte. So zeigt *R. subterranea* in einem Temperaturbereich von -3 bis 35 °C Wachstum. Während der Pilz bei Temperaturen über 35 °C abstirbt, ist bei -3 °C die Lebensgrenze noch nicht erreicht (HÖFER 1993). Lediglich das Wachstum wird eingestellt, wird aber nach Temperaturerhöhung wieder fortgesetzt. Dies wird

auch durch eigene Beobachtungen im Weinanbaugebiet Rheingau bestätigt. So konnten im Jahr 2006 noch im Februar in Bodentiefen über 25 cm frische Fruchtkörper verschiedener Reifezustände beobachtet weden. Der Grund dafür, dass Beschreibungen über das Vorkommen von *R. subterranea* vor allem aus nördlichen Weinanbaugebieten vorliegen, ist darin zu sehen, dass das Temperaturoptimum für sein Wachstum bei 15 bis 20 °C liegt. Im Gegensatz hierzu liegt das Optimum für *Rosellinia necatrix* bei 20 bis 25 °C, weshalb sie überwiegend in wärmeren Anbaugebieten anzutreffen ist. Auch die Keimungsrate der Sporen von *R. subterranea* hat ihr Optimum bei 15 bis 20 °C, findet aber in einem sehr breiten Temperaturbereich von 0 bis 30°C statt.

Hinsichtlich des pH-Wertes des Bodens stellt *R. subterranea* ebenfalls keine besonderen Ansprüche, sondern ist in einem breiten Bereich von pH 2,5 bis 8,5 lebensfähig.

Bei allen genannten Eigenschaften zeigen Isolate verschiedener Herkünfte eine große Variabilität. So auch in der Agressivität und der Schadwirkung gegenüber ihren Wirtspflanzen. Besonders erwähnenswert ist hierbei, dass die Isolate, die am längsten auf künstlichen Nährböden gezüchtet wurden, einerseits ihre Pathogenität gegenüber Reben behalten und sich andererseits bei Neuinfektion am aggressivsten gegenüber ihrem Wirt verhalten (HÖFER 1993).

Bei der Durchführung von Freilanduntersuchungen zur Beteiligung pflanzenschädigender Mikroorganismen im Zusammenhang mit Absterbeerscheinungen in reblausbefallenen Rebanlagen (Kap. 3.2 und 4.2) ist *R. subterranea* erstmals 2001 auf einer Fläche im Rheingau (o/R) beobachtet worden. Dabei war ein Befall nur vereinzelt an sehr dünnen, peripheren Wurzeln kümmerwüchsiger Stöcke zu beobachten. 2002 konnte der Pilz auf dieser Fläche nicht festgestellt werden. Im Herbst 2003 und 2004 hingegen war ein massenhaftes Auftreten von Fruchtkörpern an den Rebstöcken zu beobachten ohne erkennbaren Bezug zum Wuchszustand der infizierten Rebe. Ein Befall des Wurzelstamms konnte allerdings nur bei bereits abgestorbenen bzw. nahezu abgestorbenen Reben beobachtet werden. Aufgrund der aus der Literatur zu entnehmenden Sachverhalte, wie oben geschildert, wurde nicht von einer weiträumigeren Verbreitung des Pilzes ausgegangen. Auch aufgrund der neueren weinbaulichen Fachliteratur war nicht auf ein verbreitetes Vorkommen oder erhöhte Absterbeerscheinungen verursacht durch *R. subterranea* zu schließen (z.B. MOHR 2005). Die seit 2003 in Kooperation mit dem Institut für Mikrobiologie der Leopold-Franzens-Universität, Innsbruck durchgeführten Untersuchungen beschränkten sich deshalb vorwiegend auf die mykologische Grundlagenforschung (HOFFMANN 2005, KIRCHMAIR et al. 2007). Außer den eigenen Beobachtungen lag nur ein Bericht neueren Datums über das Vorkommen von *R. subterranea* auf einer Fläche im Anbaugebiet Mosel-Saar-Ruwer vor. Es han-

delte sich dabei um den Befall einer Fläche mit leichten Rückgangserscheinungen bei Neumagen-Drohn, festgestellt durch Herrn Dr. C. Hoffmann von der Biologischen Bundesanstalt in Bernkastl-Kues. Für Österreich wird ein Auftreten des Pilzes in neuerer Zeit durch BERGER & ANDERT (2003) beschrieben.

Anlass für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen zur Verbreitung von *R. subterranea* in deutschen Weinanbaugebieten gaben die Ergebnisse der auf Anregung des Weinbauamts Eltville durchgeführten Begutachtung einer kommerziell genutzten Rebfläche in der Gemarkung Kiedrich im Juli 2005. Schon bei der ersten Begutachtung wurde an den kümmerwüchsigen Rebstöcken ein Befall des Wurzelhalses mit *R. subterranea* festgestellt. Allerdings hatte die Fruchtkörperbildung erst begonnen und es konnten nur vereinzelt unreife Fruchtkörper von circa 0,5 bis 1 mm Länge festgestellt werden. Im Rahmen zweier intensiver Untersuchungen der Fläche im Oktober 2005 konnte der in Kap. 3.5 dargestellte Befall festgestellt werden. Auf dieser erst 1991 bepflanzten Anlage waren zum Zeitpunkt der Untersuchungen 8 % der 1565 Rebstöcke bereits abgestorben. Eine Vielzahl weiterer Stöcke wies Wuchsdepressionen und Kümmerwuchs auf. Von den insgesamt 148 untersuchten Rebstöcke waren 89 % an Altwurzeln, Wurzelstangen oder am Wurzelhals mit *R. subterranea* befallen. Übertragen auf die Gesamtstockzahl dieser Anlage bedeutet dies einen Befall von circa 1390 Stock. Aufgrund des starken Befalls und der erheblichen Absterbeerscheinungen auf dieser Fläche wurde die weitere Nutzung vom Eigentümer zu Beginn des Jahres 2006 eingestellt.

Aufgrund der oben dargestellten Befunde wurden nachfolgend in Zusammenarbeit mit dem Dienstleistungszentrum ländlicher Raum Mosel sowie verschiedenen Winzerbetrieben mehrere Rebflächen ohne und mit Rückgangserscheinungen in den Anbaugebieten Rheingau sowie Mosel-Saar-Ruwer einer Begutachtung unterzogen. Im Rheingau wurden Flächen in den Gemeinden Hochheim, Hattenheim, Kiedrich und Geisenheim untersucht. Auf allen der untersuchten fünf Flächen wurde ein Befall mit *R. subterranea* festgestellt, wobei auf drei Flächen starke Rückgangserscheinungen sowie abgestorbene Reben zu beobachten waren. Auf einer Fläche (O/R) wurden bis auf eine Ausnahme keinerlei Schäden beobachtet, obgleich auch auf dieser Fläche *R. subterranea* bereits 2003 erstmals nachgewiesen wurde. Auf der verbleibenden Fläche waren aufgrund der fortgeschrittenen Vegetationsperiode keine Beobachtungen über den Wuchszustand der Reben möglich, Fehlstöcke konnten nicht festgestellt werden. Im Anbaugebiet Mosel-Saar-Ruwer wurden ebenfalls fünf Flächen (Wehlen, Wiltingen, Konz-Krettnach) untersucht, wobei auf allen Flächen *R. subterranea* nachgewiesen werden konnte. Zwei der Flächen wiesen Schadherde mit abgestorbenen und kümmerwüchsigen Reben auf. Zwei Flächen zeigten ebenfalls herdförmig Welkeerschei-

nungen der Reben aber keine Wuchsdepressionen und eine Fläche wies lediglich an einzelnen Reben leichte frühzeitige Welkeerscheinungen bis an die Laubwandobergrenze auf.

Aus Sicht der weinbaulichen Praxis ergeben sich durch die Lebensweise der Wurzelschimmelerreger im allgemeinen und von *R. subterranea* im besonderen verschiedene Problemstellungen. Eines der Hauptprobleme liegt dabei im Nachweis des Erregers in Rebanlagen bzw. der eindeutigen Zuordnung der oberirdisch zu beobachtenden Schadsymptome. Ebenso wie der Zeitrahmen von der Infektion bis zum Absterben eines Rebstocks in einem sehr breiten Bereich variieren kann, so ist auch der Übergang zwischen den zu beobachtenden Symptomen fließend. Dabei können Symptome wie chlorotische, sich einrollende Blätter, Welkeerscheinungen oder Wachstumshemmungen einzeln oder in Kombination auftreten. Insbesondere bei einer Mischinfektion mit mehreren Wurzelschimmelerregern besteht eine Vielzahl von Verwechslungsmöglichkeiten mit anderen Rebkrankheiten so z.B. mechanischen Verletzungen, Reblausbefall, Staunässe, Esca, Virenbefall oder Eutypiose. Wie THÜMEN (1878) oder HÖFER (1993) bereits für den Fall von Reblausschäden festgestellt haben, ist es sehr wahrscheinlich, dass auch andere Rückgangs- oder Absterbeerscheinungen in Rebanlagen fälschlicherweise eine der oben genannten Rebkrankheiten zugeordnet wurden. Dies gilt wahrscheinlich auch für den Fall der so genannten Bodenmüdigkeit in Rebschulen. Nach GAERTEL (1994) ist *R. subterranea* ein Mitverursacher von Absterbeerscheinungen in neugepflanzten Rebanlagen (replant disease) in Nordamerika. Diese Vermutung wird auch durch einen zweiten in der Lebensweise des Pilzes begründeten Umstand verstärkt. Dabei handelt es sich um die von *R. subterranea* bevorzugten Bodentiefen. Nach Beobachtungen von VÉGHELYI (1989) kommt der Pilz in Obstplantagen in einer Tiefe von 5 bis 25 cm vor. HÖFER (1993) schließt aus Versuchen mit vergrabenen Wurzelstücken auf eine verminderte Lebensfähigkeit des Pilzes in Tiefen über 50 cm. Die Verbreitungs- und Überlebensraten wurden dabei aber nur anhand der Fruchtkörper ermittelt. Es ist fraglich, ob der verringerte Befall in 50 cm Bodentiefe nicht nur auf die sicherlich verlangsamte Verbreitung in dieser Bodentiefe, durch die von den oberen Bodenschichten abweichenden Bodenbedingungen sowie die ausschließliche Verwendung toter Wurzeln zurückgeführt werden muss. Diesen Beobachtungen stehen die Beschreibungen von THÜMEN und ROESLER (THÜMEN 1878) sowie eigene Beobachtungen aus dem Jahr 2005 entgegen. Nach THÜMEN (1878) liegt die vertikale Verbreitung des Pilzes in Bodentiefen von 30 bis über 150 cm Tiefe. Den Untersuchungen aus dem Jahr 2005 zufolge unterscheidet sich die Verbreitung des Pilzes in den Bodentiefen erheblich in den unterschiedlichen Flächen. So konnten auf verschiedenen Flächen in Hattenheim (Rheingau) und Wiltingen (Mosel-Saar-Ruwer) Fruchtkörper bereits in

einer Tiefe von 2 cm festgestellt werden. Auf einer anderen Fläche im Rheingau war ein Befall vor allem in Tiefen zwischen 30 bis 50 cm festzustellen, wobei auch Fruchtkörper in 90 cm (entsprechend der maximal untersuchten Bodentiefe) beobachtet wurden. Der Hauptbefall der Flächen im Anbaugebiet Mosel lag im Bereich von 20 bis 40 cm. Hinweise auf die Tiefenverteilung des Pilzes bei saprophytischer Lebensweise bzw. die Verbreitung der Pilzhyphen ohne Fruchtkörperbildung liegen nicht vor. Dies ist zum einen in der geringen Zahl der bislang durchgeführten Untersuchungen begründet. Zum anderen lässt sich *R. subterranea* mit herkömmlichen bodenmikrobiologischen Methoden nicht oder nur sehr selten aus Boden- bzw. Wurzelproben isolieren. Dies bedeutet, dass für eine unter den gegebenen Bedingungen möglichst sichere Diagnose zu mehreren Zeitpunkten im Jahr Rebstöcke zumindest bis in eine Tiefe von einem Meter entnommen und auf Fruchtkörperbildung untersucht werden müssten. Damit können aber lediglich *R. subterranea*-Stämme nachgewiesen werden, welche Fruchtkörper bilden. Unter welchen Umständen dies unter Freilandbedingungen geschieht bzw. unterbleibt ist bislang unklar. Aufgrund der bisherigen Beobachtungen unter Einbeziehung der historischen Daten scheint das Auftreten bzw. die Bildung von Fruchtkörpern dieses Wurzelschimmelerregers mit trockenen, warmen Witterungsbedingungen in Zusammenhang zu stehen (z.B. HÖFER 1993). Dieser Umstand verdient vor allem aus zwei Gründen besondere Beachtung. Zum einen könnte dies vor dem Hintergrund veränderter Klimabedingungen (z.B. LÖPMEIER 2004) eine verstärkte Aus- und Verbreitung sowie vermehrte Schäden durch diesen Schädling bedeuten. Modellrechnungen weisen darauf hin, dass Witterungsbedingungen ähnlich denen des Jahres 2003 bis zum Ende dieses Jahrhunderts gehäuft, d.h. etwa jedes zweite Jahr auftreten könnten (SCHÄR et al. 2004). Im umgekehrten Fall ist anzunehmen, dass bei kühlen und feuchten Bedingungen eine Verbreitung des Schädlings verlangsamt wird. Dies liegt in der Tatsache begründet, dass die Hyphen des Pilzes nur sehr langsam wachsen und die Ausbreitung dieser Form somit stark beschränkt ist. Als eigentliche Verbreitungseinheiten sind vielmehr die Sporen anzusehen, welche im Boden durch Regenwasser oder Bodentiere, vornehmlich mykophage Nematoden und Milben (GÄRTEL 1984, GÄRTEL 1994) verfrachtet werden. Dieser Aspekt erscheint den Beobachtungen im Jahr 2005 zur Folge vor allem im Hinblick auf den vertikal gerichteten Transport der Sporen an die Bodenoberfläche von Interesse. So wurden mehrfach Fraßaktivitäten von Regenwürmen an den Fruchtkörpern von *R. subterranea* beobachtet. Bodenpilze stellen im Allgemeinen eine bedeutende Nahrungsquelle für Regenwürmer dar (BONKOWSKI et al. 2000). Auch ist bekannt, dass die Sporen verschiedener Pilze die Darmpassage überleben und wieder ausgeschieden werden. So könnten Sporen von *R. subterranea* vor allem durch tiefgrabende Formen der Regenwürmer auch aus tiefe-

ren Bodenschichten an die Oberfläche gelangen und vor allem bei trockenen Bedingungen durch den Wind verfrachtet werden. Bei einer vermehrten Bildung der Fruchtstände unter trockenen Klimabedingungen könnte dies eine erhebliche Quelle für Neuinfekionen bisher nicht infizierter Rebanlagen darstellen. Andererseits können derartige Veränderungen der Klimabedingungen auch die Stressbelastung der Rebstöcke erhöhen. Zwar handelt es sich bei *R. subterranea* um einen Parasiten, welcher auch gesundes und intaktes Gewebe besiedeln kann, doch spielt der allgemeine Gesundheitszustand bzw. die Stressbelastung bei Parasitenbefall von Pflanzen eine bedeutende Rolle. Zum einen sind geschwächte bzw. prädisponierte Pflanzen im Allgemeinen anfälliger gegenüber Schädlingsbefall, zum anderen liegen Hinweise darauf hin vor, dass sich, bei gleichzeitigem Befall einer Pflanze durch verschiedene Schadorganismen, die organismenspezifischen Abwehrmechanismen gegenseitig blockieren (KARBAN & BALDWIN 1997).

Eine Kontrolle der durch *R. subterranea* verursachten Schäden wird derzeit durch mehrere Faktoren erschwert. Zum einen liegt dies in der äußerst begrenzten Kenntnis der Lebensweise und des Vorkommens des Erregers begründet. So besteht z.B. durchaus die Möglichkeit, dass bei für den Parasiten ungünstigen Klimabedingungen in kommenden Vegetationsperioden sowohl seine Verbreitung verlangsamt wird als auch die Schadwirkungen lokal begrenzt bleiben. In Anbetracht der zunehmenden Berichte über Schäden durch Wurzelschimmelerreger sowie der Vielzahl diesbezüglich negativer Klimaprognosen ist dies allerdings nicht sehr wahrscheinlich. Zum zweiten lassen die mangelnden Diagnose- und Nachweismöglichkeiten derzeit nur eine sehr begrenzte Untersuchung der Gegebenheiten zu. Um die Nachweismöglichkeiten zu verbessern und weiterführende Untersuchungen zu ermöglichen, wird in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. M. Kirchmair (Fa. Mykon), Österreich ein molekularbiologisches Nachweisverfahren zur Analyse von Wurzel- und Bodenproben entwickelt. Erste Ergebnisse dieser Arbeiten liegen vor, wobei es bei verschiedenen Wurzelproben gelang, *R. subterranea* nachzuweisen ohne auf die Fruchtkörperbildung oder die Lebendisolation der Stämme angewiesen zu sein (unpubl.). Zum dritten stehen direkte Bekämpfungsmaßnamen derzeit nicht zur Verfügung. Auch über die Effektivität verschiedener präventiver Maßnahmen liegen nur sehr begrenzte Angaben vor.

Zu einer möglichen Bekämpfung des Erregers ist anzuführen, dass selbst potentiell wirksame Fungizide aufgrund der begrenzten Durchdringung des Bodens wahrscheinlich keine effektive Bekämpfung erlauben würden. Somit sind Bekämpfungsmaßnahmen derzeit auf den Einsatz von Biological Control Agents (BCA) beschränkt, die durch aktives Wachstum ebenfalls bis in die notwendigen Bodentiefen vordringen könnten. Im Rahmen von Untersuchungen der Arbeitsgruppe Bodenökologie an der

Universität Mainz und dem Institut für Mikrobiologie der Universität Innsbruck im Jahr 2005 konnten erste Hinweise auf antagonistische, d.h. *R. subterranea* hemmende Eigenschaften verschiedener Bodenpilze gewonnen werden (z.B. HOFFMANN 2005, KIRCHMAIR et al. unpubl., HUBER et al. unpubl.). Weiterführende diesbezügliche Arbeiten sowie die Prüfung anderer Wirkstoffe und Produkte werden derzeit durchgeführt.

Aus derzeitiger Sicht stehen also nur präventive Maßnahmen insbesondere bei der Neupflanzung von Rebanlagen zur Verfügung, um ein Absterben von Rebstöcken in *R. subterranea*-infizierten Anlagen zu verhindern. Hierfür wird in der Literatur immer wieder auf die besondere Bedeutung einer möglichst vollständigen Entnahme alter infizierter Wurzeln und Holzes hingewiesen (GÄRTEL 1984, 1994, HÖFER 1993, BERGER & ANDERT 2003). Dies ist unter dem Aspekt einer Verringerung der Dichte infektionsfähiger Einheiten von *R. subterranea* sicherlich eine mögliche Maßnahme, wobei die Effektivität hierbei sicher als fraglich anzusehen ist. Erstens existiert keine praxistaugliche Methode, infiziertes Pflanzenmaterial auch nur annähernd vollständig aus dem Boden zu entfernen, berücksichtigt man die vertikale Ausbreitung des Wurzelschimmelerregers. Dass diese Maßnahme so oft in der Literatur diskutiert wird, liegt sicherlich auch in den Ergebnissen der Untersuchungen an anderen Wurzelschimmelerregern oder liegt in der vornehmlichen Verbreitung des Pilzes in Obstplantagen (vergl. VÉGHELYI 1989) begründet. Der zweite zu berücksichtigende Aspekt ist, dass eine Entfernung der eigentlichen Verbreitungseinheiten des Pilzes, den Sporen, ausgeschlossen ist. Da diese Sporen auch über mehrere Jahre lebens- und infektionsfähig bleiben, wäre eine Reduktion der Dichte nur durch eine mehrjährige Brache zu erreichen. Für *Rosellinia necatrix* muss nach BRENDEL & HANFF (1984) mit einer mindestens neunjährigen Brachezeit gerechnet werden.

Der derzeit sicherlich wichtigste Aspekt bei der Vermeidung von durch Wurzelschimmelerreger verursachten Schädigungen ist die Reduktion der Stressbelastung der Reben insbesondere im Hinblick auf Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen. So sollte die Belastung der Reben durch z.B. Nährstoff- oder Wasserstress weitestgehend vermieden werden. Besondere Bedeutung kommt hierbei auch der durch Verdichtungen verursachten mangelnden Durchlüftung des Bodens zu (GÄRTEL 1984). Durch eine zu geringe oder vollständig blockierte Sauerstoffversorgung der Wurzeln kann es zu schwerwiegenden Schädigungen des Wurzelsystems kommen, welche pflanzenschädigenden Mikroorganismen wie *R. subterranea* den Befall der Wurzeln erleichtern (RICHARDS 1983). Viele Bodenmikroorganismen reagieren auf Sauerstoffmangel mit einer vermehrten Produktion von Ethylen, was das Wurzelsystem direkt schädigen bzw. pathogene Bodenmikroorganismen fördern kann (CONSIDINE et al. 1977). Hinzu kommt, dass bei gestressten Reben das Wurzelsystem reduziert ist, sodass eine zusätzliche

Schädigung durch Pathogene besonders schwer wiegt. Eine Vielzahl dieser sich negativ auswirkenden Bodenbedingungen können durch eine integrierte und organische Bodenbewirtschaftung vermindert werden. Doch im Zusammenhang mit Wurzelschimmelerregern ist die Zufuhr organischer Substanz Literaturangaben zur Folge eine fragliche Maßnahme, da fakultativen Parasiten vor allem dadurch gefährlich werden, da sie sich bis zur Neuinfektion einer Wirtspflanze saprophytisch ernähren (PHILIPP 1988, HÖFER 1993). Demzufolge wäre von einer Zufuhr organischer Substanz beispielsweise in Form von Rindenmulch abzuraten, da dies ein mögliches Nährsubstrat für *R. subterranea* darstellt. Die gegenteilige Hypothese hierzu ist, dass *R. subterranea* bei ausreichender Verfügbarkeit von toter organischer Substanz im Boden die saprophytische Ernährungsweise beibehält und nicht zu einer parasitischen Lebensweise übergeht. Erkenntnisse, dass phytopathogene Pilze bei Zugabe organischer Substanz von der vergleichsweise sehr energieaufwendigen phytoparasitären Lebensweise abgehalten werden können und weiterhin saprophytisch den Boden besiedeln stammen beispielsweise von REINMUTH (1963). Dies ist einer der Hauptaspekte derzeitiger Untersuchungen im Rahmen der Erforschung des Wurzelschimmelkomplexes bei Reben. Ein weiterer Fokus des Interesses liegt in diesem Kontext auf schädlingshemmenden bzw. -fördernden Bodeneigenschaften. Hierbei ist hervorzuheben, dass es sich - im Gegensatz zu der weitverbreiteten Meinung auch in Fachkreisen - dabei nicht unbedingt um eine Verringerung der Masse oder Dichte des entsprechenden Schädlings in diesen Böden handelt. Im Sinne von ALABOUVETTE et al. (1982) sind diese Bodeneigenschaften maßgeblich dadurch definiert, wie sich die Anwesenheit eines Pflanzenschädlings auf die potentiellen Wirtspflanzen auswirkt, unabhängig von dessen Dichte im Boden. In konduktiven Böden ist bereits eine geringe Dichte des Schädlings ausreichend, um Krankheitssymptome an der Wirtspflanze zu verursachen während in suppressiven Böden auch bei einer hohen Schädlingsbelastung keine Krankheitssymptome auftreten müssen (Kap. 4.2). Zu untersuchen sind hierbei vor allem unterschiedliche Bewirtschaftungsformen, welche einen maßgeblichen Einfluss auf diese natürlichen Schädlingskontrollmechanismen haben. Auch in Bezug auf diese schädlingshemmenden Bodeneigenschaften ist eine nachhaltige organische Bodenbewirtschaftung in vielen Fällen von besonderer Bedeutung.

Langfristig müssen diese Untersuchungsergebnisse auch in den langwierigen und kostenintensiven Prozess der Züchtung neuer Unterlagsrebsorten einfließen. Hierzu lagen aber bislang zu wenige Erkenntnisse über die das Wurzelsystem von Reben schädigende Bodenmikroorganismen vor. Hierzu konnten im Verlauf der letzten Jahre eine Reihe neuer Erkenntnisse gewonnen werden, welche nun in Zukunft für die Züchtung auch Mikroorganismen-toleranter Unterlagssorten genutzt werden können. Hin-

weise auf unterschiedliche Toleranz von Unterlagssorten gegenüber pflanzenschädigenden Bodenmikroorganismen stammen bereits aus dem vorletzten und letzten Jahrhundert. Eine der ersten diesbezüglichen zusammenfassenden Darstellungen erfolgte durch MÜLLER (1918). Hierbei dürfen nicht nur aktive Abwehrmechanismen der Unterlagssorten berücksichtigt werden. Vielmehr Bedeutung könnte der Frage zukommen, ob sich die Sorten nicht auch in ihrer Eignung unterscheiden, den jeweiligen Parasit zu ernähren, da bei parasitischer Ernährungsweise alle Stoffe die über die weitere Entwicklung des Parasits entscheiden, von seinem Wirt stammen. Somit könnte durch eine gezielte Selektion ein Pathogenbefall sowie seine Aus- und Verbreitung erheblich verlangsamt werden. Voraussetzung für all diese Arbeiten ist jedoch eine genaue Kenntnis des Parasiten, der Physiologie seines Wirtes sowie der beeinflussenden Umweltfaktoren.

4.6 Ökologische und sozioökonomische Betrachtungen zum Auftreten und zur Kontrolle bodenbürtiger Phytopathogene im Weinbau und deren Kontrolle im Rahmen des IPM

Die Ergebnisse der ursprünglich im Rahmen dieser Arbeit vorgesehenen Untersuchungen, namentlich zu den bei der Entstehung von Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen in reblausbefallenen Propfrebenbeständen mit reblaustoleranten Unterlagssorten der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia*, wiesen im Laufe der Durchführung der Feldversuche immer mehr Diskrepanzen mit den in Teilen der weinbaulichen Fachliteratur beschriebenen Sachverhalten auf. Dies schließt auch beispielsweise die entomologischen Untersuchungen zu *D. vitifoliae* oder das Vorkommen bodenbürtiger mikrobieller Schädlinge ein. Dahingegen zeigten verschiedene Befunde Parallelen zu Ergebnissen, welche in der Literatur aus Untersuchungen an anderen Kulturpflanzen, Aphidenarten oder Bodenverhältnissen gegeben waren. Um diese Sachverhalte weiter zu eruieren, wurde eine Reihe von Untersuchungen und Literaturrecherchen durchgeführt, welche teilweise bereits in die voran stehenden Kapitel eingeflossen sind. Andererseits wurden aber auch Untersuchungen durchgeführt, welche im Rahmen dieser Arbeit nicht ausführlich dargestellt werden konnten oder noch nicht vollständig abgeschlossen sind, für die Bewertung der beschriebenen Untersuchungsergebnisse aber von Relevanz sind. Ähnlich verhält es sich beispielsweise auch mit dem Fund der bis dahin unbekannten Plasmodiophoridenart *S. viticola*. Da dieser obligate *Vitis*-Parasit erstmals in den für die bodenbiologischen Untersuchungen genutzten Versuchsflächen nachgewiesen wurde, war es ein Anliegen seine potentielle Beteiligung am Absterben der Reben zu untersuchen. Es zeigte sich, dass die zunächst als mehr oder minder isoliert zu betrachtenden Untersuchungsgegenstände - bodenbiologische Untersuchungen zum Absterben reblaustoleranter Unterlagsreben, Auftreten und Verbreitung von *S. viticola*, Versuche zur biologischen Reblauskontrolle oder Untersuchungen zum Vorkommen des Wurzelschimmelerregers *R. subterranea* - auf unterschiedliche Art und Weise miteinander vernetzt sind. Vor allem im Hinblick auf die Entwicklung von IPM-Strategien können die zu den genannten Untersuchungsgegenständen gewonnenen Erkenntnisse sowohl aus der Grundlagen- als auch der angewandten Forschung verknüpft werden. Dies bezieht sich nicht nur, wie zunächst zu vermuten, auf bodenbürtige Schädlinge und ihre Wirkung auf Reben, sondern auch auf die, die oberirdischen Reborgane infizierenden Schadorganismen. Um diese Zusammenhänge näher zu beleuchten, wurde das vorliegende Kapitel mit in die Arbeit aufgenommen. Da einer der Hauptaspekte sowohl der bodenbiologischen Untersuchungen zur Entwicklung von IPM-Strategien zur Kontrolle der Schäden in reblausbefallenen Propfrebenbeständen mit reblaustoleranten Unterlagssorten als auch der Versuche zu

Möglichkeiten der biologischen Kontrolle der Reblaus durch den entomopathogenen Pilz *M. anisopliae* die ökonomische Eignung dieser Strategien dargestellt hat, sollen in diesem Kapitel auch die ökonomischen und sozioökonomischen Gesichtspunkte des IPM betrachtet werden.

Im Folgenden kann allerdings nur ein Teil der Aspekte Berücksichtigung finden, da die Interaktionen zu vielfältig sind, um sie in Gänze zu besprechen. Teilweise sind diese Aspekte bereits in den die spezifischen Untersuchungsgegenstände behandelten Kapiteln diskutiert. Ein Beispiel hierfür ist der Einflussfaktor Klima bzw. die in den letzten Jahren stark diskutierten Klimaänderungen. Die klimatischen Gegebenheiten wirken sich naturgegeben auf einen wesentlichen Teil der einzelnen Faktoren der Wechselwirkungsketten aus, wobei sowohl fördernde als auch hemmende, negative sowie positive Einflüsse zu berücksichtigen wären. Aus diesem Grund kann dieser Faktor hier nur in Einzelfällen berücksichtigt werden. Dies soll auch durch die Darstellungsweise der Interaktionspfeile in Abb. 4-1 impliziert werden. Die entsprechenden Interaktionspfeile führen dabei beispielsweise zum Boden als Gesamtheit, obgleich die klimatischen Einflüsse auf jeden der dargestellten Bodenparameter natürlich unterschiedlich einwirken. Es sei ferner darauf hingewiesen, dass die bereits an anderer Stelle zur Diskussion der Ergebnisse verwendete Literatur in diesem Kapitel nicht nochmals aufgeführt wird.

Um die allgemeingültigen aus den Einzelkapiteln abzuleitenden Aspekte besprechen zu können, seien die Hauptaspekte zunächst nochmals kurz stichwortartig aufgeführt.

Aus den Kapiteln zur Biologie der Reblaus (Kap. 3.1, 4.1) lässt sich ableiten, dass:

- der Lebenszyklus der Reblaus komplexer als bisher allgemein angenommen ist
- die Reblaus aufgrund des Besitzes von Hamuli an den Flügeln über bessere Flugeigenschaften verfügt als bisher allgemein angenommen
- die Reblaus über weitere antennale Sinnesorgane verfügt als den in der Literatur beschriebenen und dadurch die Sinneswahrnehmung, beispielsweise bezüglich der Orientierung im Flug, der Wahrnehmung von Sexualpheromonen oder der Wahrnehmung und Unterscheidung von Nahrungsquellen (PARK & HARDIE 2004) vermutlich sehr viel besser ist als allgemein angenommen
- die Reblaus an reblaustoleranten Unterlagssorten der Kreuzung *V. berlandieri* x. *V. riparia* unter entsprechenden Bedingungen, wie sie beispielsweise bei einem multiplen Schädlingsbefall der Reben gegeben sind, auch Tuberositäten in höherer Zahl an diesen verursachen kann (Tafel 7-2)

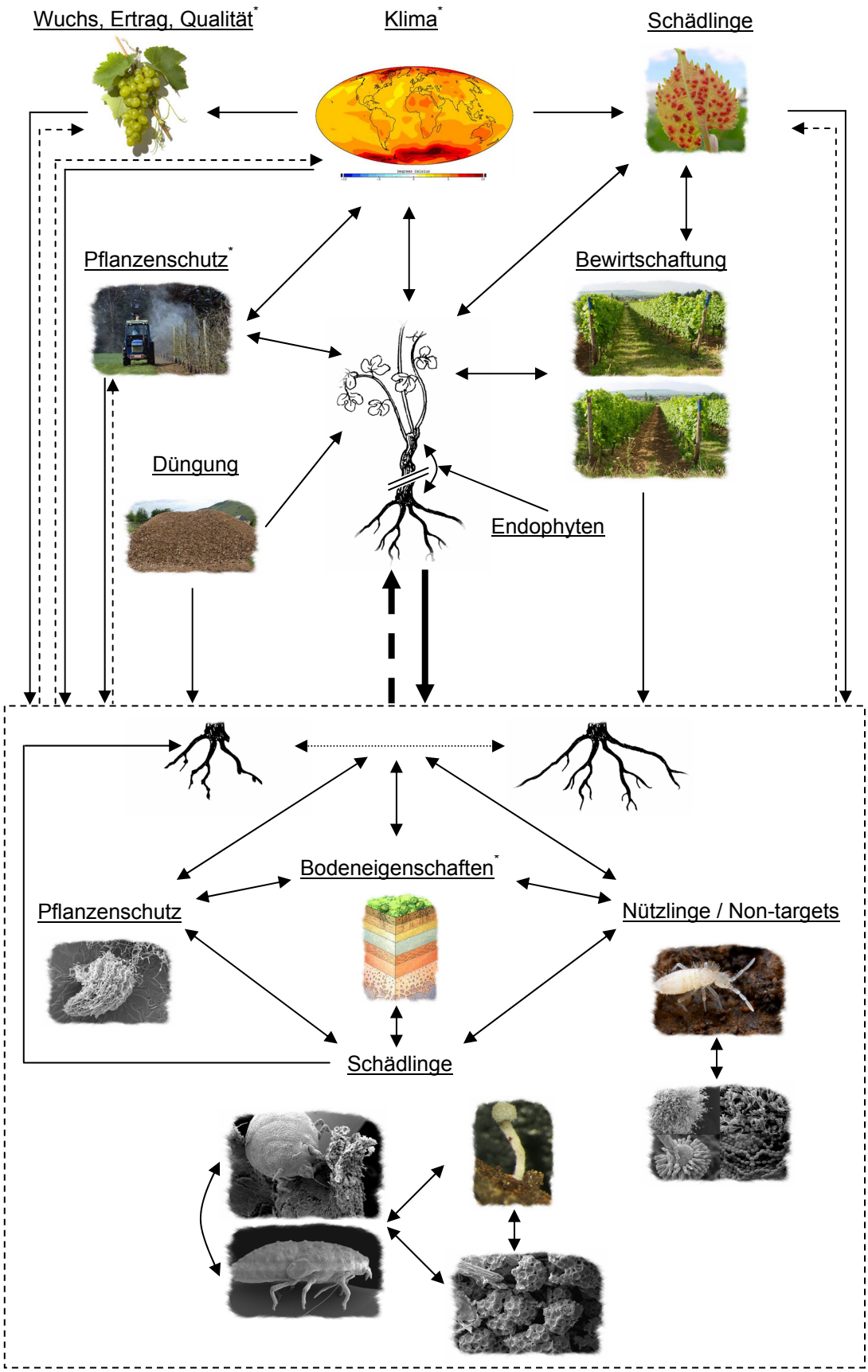


Abb. 4-1: IPM-relevante Interaktionen (vereinfachte Darstellung) im Kontext von Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen in Rebanlagen.

* Bildquellen: www.nasa.gov, www.wien-vienna.at, www.chipr.sunysb.edu, www.adbio.com, www.myrmecos.net

- die Reblaus auch unter Freilandbedingungen unter entsprechenden Bedingungen an der Unterlagsrebsorte Börner Nodositäten erzeugen und sich an diesen ernähren kann.

Den in den Kap. 3.2 und 4.2 dargestellten Ergebnissen der bodenökologischen Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten in Rebanlagen mit Reblausbefall ist zu entnehmen, dass:

- Bodenmikroorganismen einen entscheidenden Einfluss auf die vegetative und generative Leistung reblausinfizierter Pfropfreben mit reblaustoleranten Unterlagsrebsorten haben und unter bestimmten Bedingungen das Absterben der Reben verursachen können. Dabei sind die Arten *Fusarium oxysporum*, *Fusarium equiseti* und *Cylindrocarpon destructans* als Pilze mit einer eindeutig pathogenen Wirkung auf das Wurzelsystem der Reben anzusehen. Nach NEDOV (1985) handelt es sich bei den Arten *F. oxysporum* und *C. destructans* dabei um Primärpathogene, welche auch nicht durch die Einwirkung von Stressfaktoren prädisponierte Rebstöcke infizieren können. Als schwache Pathogene bzw. Parasiten auch an lebendem Gewebe müssen die Arten *Aspergillus ustus*, *Cladosporium cladosporiodes*, *Fusarium sacchari*, *Fusarium sambuccinum* und *Fusarium solani* betrachtet werden. *Acremonium furcatum*, *Alternaria alternata*, *Cylindrocarpon magnusianum*, *Cylindrocarpon lichenicola*, *Mucor hiemalis* und *Schizophyllum commune* stellen saprophytische Pilzarten dar
- aus dem Nodositätengewebe Pilzarten zu isolieren sind, welche endophytisch im Gefäßssytem von Reben vorkommen. Es sind dies die Arten *Cladosporium cladosporiodes*, *Gliocladium catenulatum*, *Gliocladium roseum*, *Penicillium citrinum* und *Trichoderma koningii*, wobei die Arten *Cladosporium cladosporiodes*, *Gliocladium catenulatum* und *Gliocladium roseum* als Endophyten mit parasitischem Potential anzusehen sind, welche je nach den äußeren Umständen ein neutrales Verhalten zeigen oder pathogen auf die Wirtspflanze wirken. Die Art *Trichoderma koningii* hingegen könnte das Potential besitzten gestresste bzw. reblausbefallene Reben vor einer Infektion mit Sekundärparasiten zu schützten. Eine ähnliche Wirkung endophytischer Bakterien im Gefäßsystem von Reben beschreiben auch AIT BARKA et al. (2000, 2002) und COMPANT et al. (2005) im Rahmen der Kontrolle von *Botrytis cinerea*
- angenommen werden kann, dass weitere Pilzarten als bislang bekannt als Endophyten im Gefäßsystem von *Vitis* vorkommen. Ein Beispiel hierfür könnte *Nectria inventa* darstellen. Diese Annahme wird durch die hohe Zahl der von BELL et al. (1995) aus dem Gefäßsystem von Reben isolierten Bakterienstämme bestärkt
- sich die Mikroorganismenzönosen in den Böden von Pfropfrebenanlagen mit und ohne Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen der Reben sowohl hinsichtlich der Masse, ihrer Zusammensetzung, ihrer Aus- und Verbreitung als auch der Aktivität un-

terscheiden, wobei eindeutige Hinweise auf verschiedene pathogen- bzw.- krankheitssuppressive Eigenschaften der Böden vorliegen

- die Pathogen- bzw. Krankheitssuppressivität und somit das Ausmaß und der Verlauf der Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen durch geeignete Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen namentlich der Versorgung der Böden mit organischer Substanz im Rahmen des IPM beeinflusst werden kann
- die seit circa 1980 weltweit auftretenden Schäden bei *Vitis* spp. nicht per se auf die Ausbreitung der Reblaus, Änderungen im Resistenzverhalten der Reben oder klimatische Einflüsse, sondern primär auf veränderte Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen, namentlich die ungenügende oder vollständig reduzierte Versorgung der Böden mit organischer Substanz, bzw. auf die damit einhergehende Veränderung der Mikroorganismenzönosen zurückzuführen sind.

Aus den Untersuchungen zur Morphologie und Ökologie von *S. viticola* (Kap. 3.3, 4.3) geht hervor, dass:

- *S. viticola* ein breites Wirtsspektrum innerhalb der Gattung *Vitis* besitzt und vermutlich die Mehrzahl oder alle Arten dieser Gattung befällt
- im Wurzelsystem von *Vitis* spp. obligate Parasiten auch mit weiträumiger Verbreitung vorkommen welche noch nicht bekannt sind
- *S. viticola* durch seine parasitische Aktivität die befallenen Wurzeln zwar vollständig zerstört, jedoch bislang keine Hinweise auf eine Beeinträchtigung der vegetativen oder generativen Leistung der Gesamtpflanze vorliegen, allerdings angenommen wird, dass *S. viticola* als Virenüberträger angesehen werden muss.

Die Untersuchungen zur biologischen Kontrolle der Reblaus (Kap. 3.4, 4.4) durch den entomopathogenen Pilz *M. anisopliae* haben gezeigt, dass:

- die die Wurzeln besiedelnden Populationen der Reblaus mit biologischen Methoden im Freiland reduziert werden können
- sich *M. anisopliae* gut in Weinbergsböden etabliert, wobei ein Rhizosphäreneffekt festgestellt werden konnte
- im Freiland keine negativen Effekte auf Non-target-Organismen bzw. Nützlinge oder die standorttypischen Pilzzönosen (zusätzlich zu den eigenen Untersuchungen: LÄNGLE et al. 2004) von *M. anisopliae* ausgeht
- die Dichte von *M. anisopliae* zwei Jahre nach Applikation auf das Ausgangsniveau absinkt (KIRCHMAIR et al. 2006).

Aus den Untersuchungen zu Vorkommen und Verbreitung von *R. subterranea* (Kap. 3.5, 4.5) lässt sich ableiten, dass:

- dieser seit langem als Wurzelschimmelerreger bekannte Schädling in neuer Zeit eine wesentlich weitere Verbreitung in deutschen Weinanbaugebieten hat als bisher angenommen
- *R. subterranea* ein sehr breites Wirtsspektrum innerhalb der Gattung *Vitis* besitzt und vermutlich alle Arten der Gattung befällt
- der Pilz in wesentlich tieferen Bodenschichten vorkommt als Untersuchungen in den 1990er Jahren vermuten ließen
- *R. subterranea* bei entsprechenden Bedingungen zu einem großflächigen Absterben von Rebstöcken in Rebanlagen führen kann
- der Pilz möglicherweise durch biologische Maßnahmen kontrolliert werden kann
- die systematische Stellung von *R. subterranea* bislang falsch eingeschätzt wurde (KIRCHMAIR et al. 2007).

Wie aus der Vielzahl der angeführten Punkte abgeleitet werden kann und bereits mehrfach im Rahmen dieser Arbeit betont wurde, bestehen sowohl hinsichtlich der durch bodenbürtige *Vitis*-Pathogene verursachten Schäden, dem Wurzelsystem und den Pathogenabwehrmechanismen von *Vitis* als auch den sich daraus ergebenden Interaktionsmöglichkeiten ein nach wie vor ungemein hoher Forschungsbedarf. Wenn das von diesen bodenbürtigen Schädlingen ausgehende Gefahrenpotential so hoch ist wie in den vorhergehenden Abschnitten geschildert, stellen sich, vor allem aus Sicht der Praxis, nun in erster Linie zwei Fragen: 1. Warum treten durch bodenbürtige Schädlinge verursachte Schäden bislang nur relativ selten in Erscheinung und 2. warum bestehen nicht wesentlich mehr Erkenntnisse zu den unterirdischen Vorgängen in Rebanlagen, dem Wurzelsystem von Reben und seinen Schädlingen?

Um die erste Frage zu beantworten, muss nur am Rande auf Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen zurückgegriffen werden. Vielmehr ergeben sich die entsprechenden Antworten aus einfachen Überlegungen unter Einbeziehung von Erfahrungswerten und historischen Gegebenheiten. Zum einen ist festzustellen, dass die von bodenbürtigen Schädlingen ausgehenden Schäden im Weinbau auch in der Vergangenheit große Verluste verursacht haben, wie der in den letzten Jahren erneut in den Fokus des Interesses gelangte Parasit an Rebwurzeln, die Reblaus, beweist. Dies scheint allerdings in den letzten Jahrzehnten weitgehend in Vergessenheit geraten, bzw. durch das Auftreten von Schädlingen wie beispielsweise *Plasmopara viticola*, *Botrytis cinerea* oder in neuerer Zeit der Esca-Erkrankung oder der Schwarzfäule in den Hintergrund gedrängt worden zu sein. Hierbei bleibt aber oft unberücksichtigt, dass viele dieser Organismen, beispielsweise auch *P. viticola* oder *B. cinerea* ein Teil ihres Lebenszyklusses im Boden verbringen und von dort aus die oberirdischen Organe der Reben befallen. Der Einfluss von Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen auf die Überle-

bensfähigkeit dieser Organismen in Böden ist Gegenstand derzeitiger und zukünftiger Forschung im Rahmen der interdisziplinären Forschungsinitiative BISGRAM (Biological Soilborne Grapepest Management), welcher unter anderem das Fachgebiet Rebenzüchtung und Rebenveredlung der Forschungsanstalt Geisenheim, die Arbeitsgruppe Bodenökologie der Universität Mainz, das Institut für Mikrobiologie der Universität Innsbruck und das Technische Büro für Biologie und Mykologie Mykon angehören. Hinweise auf eine Reduktion der Befallsintensität von Reben auf organisch bewirtschafteten Rebflächen der genannten an den oberirdischen Rebsorganen in Erscheinung tretenden Organismen stammen von Beobachtungen in der Praxis sowohl im Anbaugebiet Rheingau (eigene Beobachtungen) als auch im Anbaugebiet Mosel-Saar-Ruwer (mündl. Mitt. PORTEN). Ein weiterer Grund ist, dass Ausfälle in Rebanlagen in vielen Fällen nicht auf bodenbürtige Schadorganismen zurückgeführt werden, was auch im Falle der Reblaus zutrifft. Dies liegt auch in der Tatsache begründet, dass es, wie die Erfahrungen zeigen, unter Freilandbedingungen nur sehr wenigen Fachleuten gelingt, beispielsweise einen Wurzelreblausbefall festzustellen, bzw. die Populationsgröße zu bewerten. Aus diesem Grund stellt beispielsweise auch die in §1 der Bundesreblausverordnung vom 27. Juli 1988 (BGBl. I S. 1203) sowie in §1 der Pflanzenbeschauverordnung und ihrer Änderungen vom 26. November 2003 (BGBl. I Nr. 57 S. 2438) in Verbindung mit der Richtlinie 2000/29/EG geregelte Anzeigepflicht eines Reblausbefalls eine erhebliche Rechtsunsicherheit für die Winzer dar. Um diese Anzeigepflicht erfüllen zu können, müssten den in §1 genannten Verfügungsberechtigten oder Besitzer von Reben allgemein verfügbare Quellen oder Fortbildungsmaßnahmen zugänglich gemacht werden, was in der Praxis nicht der Fall ist oder aus Kostengründen von der Offizialberatung nicht zu leisten ist. Ein weiterer Grund für das bislang eher mäßige Auftreten von durch bodenbürtige Pathogene verursachte Schäden ist darin zu sehen, dass derartige Schäden in vielen Fällen nur zu einer Reduktion der vegetativen Leistung und nicht zum schnellen Absterben der Reben führen. So verursacht meist erst der jahrelange akkumulierte Verlust vorwiegend von Frischwurzeln und die damit einhergehende gestörte Nährstoffaufnahme, Phytohormonbildung und Reservestoffspeicherung zu starken Wuchsdepressionen oder dem Absterben der Reben. Somit können die aufgrund der Schädlingswirkung eintretenden Ertragsverluste oft lange Zeit durch einen erhöhten Mineraldüngereinsatz, die in den letzten Jahrzehnten stark verbesserten Bewirtschaftungsmethoden und die auf die oberirdischen Organe der Reben ausgerichteten Pflanzenschutzmaßnahmen ausgeglichen werden (DORAN et al. 1992). Dies bezieht sich auch auf die Bodenbewirtschaftungsmethoden. Als Beispiel hierfür können die Wurzelmassen- und damit einhergehenden Ertragssteigerungen um 10-30 % Prozent je Stock durch nicht wendende Bodenbearbeitungsmethoden und seltenere

Tiefenlockerungsmaßnahmen genannt werden (NATSVLISHVILLI 1973, CHKHARTISHVILI & BEKAURI 1980). Trotzdem zeigen sowohl die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen als auch angeführte Literaturquellen, dass in den letzten Jahrzehnten die durch bodenbürtige Pathogene verursachten Schäden zugenommen haben. Dies zeigen auch die langjährigen Bonituren verschiedener Kulturpflanzen durch die Pflanzenschutzdienste (TIEDEMANN 2002). Nach Schätzungen belaufen sich die Verluste durch Pflanzenschädlinge auf circa 12 % der Gesamtproduktion (JAMES et al. 1991). Auch ein Einfluss der veränderten Klimabedingungen kann wie bereits dargestellt nicht ausgeschlossen werden. Dabei ist vor allem im Hinblick auf die zukünftigen Entwicklungen zu berücksichtigen, dass sich die seit dem späten 20. Jahrhundert zu beobachtende Erwärmung in fundamentalen Punkten von früheren Wärmeperioden unterscheidet. Die früheren vorindustriellen Wärmeperioden, welche genauso warm oder sogar wärmer waren, waren zum einen nicht auf der gesamten Hemisphäre ausgebreitet, sondern regional begrenzt und zum anderen zeitlich gestreut (LUTERBACHER et al. 2004). Im Bezug auf die Bodentemperaturen zeigt sich, dass im Bundesland Hessen 76 % der wärmsten Monate auf die Jahre ab 1990 fallen (Vergleichszeitraum 1962 - 2003; LÖPMEIER 2004). Im Jahr 2005 lagen die Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe ganzjährig mit Ausnahme der Monate Februar und August 2,5 °C über dem langjährigen Mittel (LÖPMEIER 2006). Bei Untersuchungen zum Gefährdungspotential verschiedener europäischer und deutscher geographischer Regionen gegenüber zukünftig zu erwartenden Klimaerwärmungen von SCHRÖTER et al. (2006) hat sich gezeigt, dass die höchste Anfälligkeit gegenüber Klimaveränderungen im Südwesten Deutschlands im Gebiet des oberen Rheingrabens besteht. Den Modellrechnungen zur Folge wird sich dieses Gebiet in den kommenden Jahren am stärksten erwärmen und ist als hochanfällig gegenüber klimatischen Veränderungen anzusehen. Während für die meisten Gebiete nur eine mäßige allgemeine Anfälligkeit besteht ist das Gebiet des oberen Rheingrabens hoch anfällig. Aber auch die Weinanbaugebiete anderer Zonen liegen in gefährdeten Regionen. Es müssen aber auch die eventuell positiven Auswirkungen einer möglichen Klimaerwärmung betrachtet werden. So hat KHMELEVSKII (1972) für den Wuchs der Wurzeln der Unterlagskreuzung *V. riparia* x *V. rupestris* ein Temperaturoptmimum von 28.31 °C ermittelt wobei das Wachstum der Reben bei 6 °C beginnt und die Wurzeln der Reben in einem Temperaturbereich von -12 bis +46 °C überleben. In den Versuchsjahren 1998 bis 2005 beispielsweise sind die optimalen Temperaturen nur im nur im Sommer 2003 erreicht worden (Abb. 2-6). Es stellt sich aber die Frage, ob ein bei höheren Temperaturen vermehrtes Wurzelwachstum nicht auch über die sich insgesamt verschlechternden Bedingungen hinwegtäuschen würde. Diese Annahme ist umso wahrscheinlicher, da die Untersuchungen von WOODHAM & ALEXAN-

DER (1966) zeigen, dass bei konstanter Lufttemperatur der Wuchs von Wurzeln, Trieben und Influoreszenzen mit steigender Boden-/Wurzeltemperatur zunimmt. Das höchste Sproß-/ Wurzelverhältnis wurde bei den Untersuchungen der Autoren bei 30 °C erreicht, wobei bei 30 °C Wurzeltemperatur mehr als doppelt so viele Blütenansätze gebildet wurden als bei 20 °C. Ein entscheidender Faktor im Kontext der Frage warum nicht wesentlich mehr Erkenntnisse zu den unterirdischen Vorgängen in Rebanlagen, dem Wurzelsystem von Reben und seinen Schädlingen bestehen, ergeben sich aus den systemimmanenten Eigenschaften des Bodens und den sich daraus ergebenden Problemstellungen sowohl hinsichtlich der wissenschaftlichen Erforschung als auch hinsichtlich der Stellung des Bodens aus Sicht der Öffentlichkeit. Die Hintergründe und Aspekte sind zu vielfältig, um sie an dieser Stelle auch nur annähernd diskutieren zu können. Es ist aber umso bedeutender, da Böden neben ihrer - aus menschlicher Sicht meist primären - Funktion als Nährsubstrat für Kulturpflanzen und somit als Lieferant von Nährstoffen für Mensch und Tier auch zur Verbesserung der Wasser- und Luftqualität sowie zur Förderung der menschlichen und tierischen Gesundheit beitragen. Stellvertretend sollen zwei Zitate angeführt werden, welche einen Einblick in die bodenökologische Sicht andeuten. DORAN et al. (1996) fasst die besondere Bedeutung des Bodens zusammen und schreibt: 'The thin layer of soil covering the surface of the earth represents the difference between survival and extinction for most land-based life. Like water, soil is a vital natural reserve essential to civilization but, unlike water soil is nonrenewable on a human time scale'. YAALON (2000) schreibt: 'To paraphrase Leonardo da Vinci: why do we know more about distant celestial objects than we do about the ground beneath our feet?' Diese Frage ist umso bedeutender, da die im Boden lebenden Organismen einen großen Teil der weltweiten Diversität ausmachen, großteils aber noch nicht einmal beschrieben sind (HOOPER et al. 2000). Der ausschlaggebende Faktor im Hinblick auf die Beantwortung der beiden eingangsgestellten Fragen ist aber, dass die Böden - in für Böden geltenden Zeiträumen - bis vor kurzer Zeit in ausreichendem Maß mit organischer Substanz versorgt waren. Seit dem Rückgang des Einsatzes organischer Düngestoffe wurde die im Boden vorhandene organische Bodensubstanz mineralisiert und die Bodenstruktur verfiel. In der Folge konnte sich eine Vielzahl von Phytopathogenen ungehindert ausbreiten und sich zu Epidemien entwickeln (HOITINK & BÖHM 1999). Diese Hypothese steht in vollständigem Einklang zu den im Rahmen der vorliegenden Arbeit gewonnenen Ergebnissen zum Vorkommen, der Wirkung und der Bedeutung bodenbürtiger *Vitis*-Pathogene und eröffnet Möglichkeiten zu deren Kontrolle im Rahmen des Integrated Pest Management.

Obgleich die Antworten auf die eingangs gestellten Fragen aus Sicht der wissenschaftlichen Grundlagenforschung die Basis für die Kontrolle der bestehenden,

durch bodenbürtige Pathogene verursachte Schäden darstellen, bestehen eine Vielzahl von Problemen bei der Implementierung geeigneter Maßnahmen in die Praxis. Vor allem die ökonomischen und ökologischen Voraussetzungen für den derzeitigen und zukünftigen Einsatz von BCAs im Rahmen des IPM wurde und wird dabei viel diskutiert (LACEY et al. 2001). Ob und wann BCAs in Zukunft erfolgreich eingesetzt werden können ist nicht nur eine Frage der biologischen und ökologischen Anforderungen und Voraussetzungen, sondern wird auch maßgeblich durch sozioökonomische Aspekte beeinflusst (FOKKEMA 1996). Gründe für das Interesse der Verbraucher an einer biologischen Schädlingskontrolle sind vielfältig und beinhalten sowohl den Wunsch nach gesunden Lebensmitteln oder einer Lebensmittelproduktion ohne hohen Pestizidaufwand. Aus Sicht der Landwirte sind vor allem die Pestizidresistenz der Pathogene und Parasiten, Pestizidverbote, oder die Nichtverfügbarkeit von Pestiziden zur Bekämpfung spezifischer Pathogene und Parasiten wie Reblaus oder *R. subterranea* Gründe für das Interesse. Obgleich die Kosten für eine Registrierung von Biocontrolprodukten in den meisten Fällen geringer sind als bei chemischen Produkten werden vergleichsweise sehr wenig Mittel in die Entwicklung von BCAs investiert. Einer der Hauptgründe hierfür sind die in vielen Ländern nur unvollständigen und ständigen Änderungen unterlegenen gesetzlichen Richtlinien (VANACCI & GULLINO 2000). So auch im Falle der Zulassung des Produkts GranMet® der Firma Agrifutur (KIRCHMAIR et al. 2006) zur biologischen Reblauskontrolle. Eine europaweite Zulassung dieses Produkts wird derzeit noch durch die fehlenden Verordnungen, welche aller Voraussicht nach erst im Jahr 2008 zur Verfügung stehen werden, verhindert. Seitens der Anwender ist ein Grund für die Zurückhaltung bei der Anwendung von BCAs oftmals, dass einer Kosteneinsparung beim verringerten Einsatz von Pestiziden von 10 % oder weniger die Gefahr eines 100 %igen Ernteverlusts gegenüber steht sofern für den entsprechenden Schädling geeignete konventionelle Pestizide zur Verfügung stehen. Wie sich in den vergangenen Jahren gezeigt hat, wurden auch gesetzliche Vorschriften zur Einführung von Biocontrol- bzw. IPM-Maßnahmen beispielsweise aus Umweltschutzgründen von den Anwendern oftmals nicht gut aufgenommen. Die nahezu einzige Möglichkeit für eine breitere Akzeptanz von IPM bei den Anwendern liegt im wirtschaftlichen Vergleich konventioneller Bewirtschaftung und IPM-Maßnahmen durch Teilkostenrechnung und steigende Nettoeinkommen bei der Umstellung auf IPM (TRUMBLE 1998). Aus sozioökonomischer Sicht sprechen vor allem der seit vielen Jahren in der Landwirtschaft festzustellende erhebliche Rückgang der Nutzfläche und der Betriebszahlen einhergehend mit Arbeitsplatzverlusten für eine verstärkte Nutzung des IPM. So gab es beispielsweise 1999 in Deutschland circa 34000 Weinbaubetriebe, was einen Rückgang um 25 % seit 1989 bedeutet. Die Nutzfläche nahm, nach starken Rückgängen in der Vergangenheit im

Weinbau seit 1989 wieder um 2 % auf circa 104000 ha zu. Die aus betriebswirtschaftlicher Sicht notwendige und durch die fortschreitende Mechanisierung möglich gewordene Reduktion des Arbeitskräfteeinsatzes je Hektar Rebfläche von 3,3 Arbeitsstunden im Jahr 1989 auf 1,6 Arbeitsstunden im Jahr 1999 führte im gleichen Zeitraum zu einem Abbau von fast 155000 der ursprünglich circa 320000 Arbeitsplätze auf nur noch 164000, wobei der Anteil an den Arbeitskräften in der Landwirtschaft insgesamt rund 11 % betrug. Obgleich nur 2 % der Weinbaubetriebe der EU-15 ihren Sitz in Deutschland haben, besitzt der Weinbau in Deutschland nach wie vor eine erhebliche Finanzkraft. Allein die Weinexporte beliefen sich im Jahr 1999 auf circa 335 Mio. Euro (2.1 Mio. hl), wobei der Anteil der Exporte nur circa 17,4 % der deutschen Gesamtproduktion betrug (Quelle Statistisches Bundesamt, OIV). Verglichen mit der weltweiten Traubenproduktion entspricht die Deutsche Anbaufläche aber nur circa 1,3 % der Gesamtanbaufläche von circa 8 Mio. ha wobei berücksichtigt werden muss, dass in anderen Ländern ein erheblicher Teil der angebauten Trauben nicht zur Wein- sondern Tafeltrauben- oder Rosinenproduktion genutzt wird. Im Jahr 2003 wurden weltweit 627 Mio. dz Trauben produziert, wobei circa 408 Mio. dz gekeltert wurden. Die mit dem Rückgang der Gewinnspannen und Arbeitsplatzverlusten einhergehenden vielfältigen Strukturprobleme des ländlichen Raums werden durch das Zusammenspiel verschiedener ökonomischer, ökologischer und soziokultureller Faktoren beeinflusst und haben tief greifende Folgen sowohl für die regionalen als auch für die nationalen und internationalen Wertschöpfungsquoten. Besonders auch die ökologischen Folgen der Intensivlandwirtschaft rückten in den letzten Jahren durch den Verlust vieler Biotope und die starke Veränderung der Kulturlandschaft immer stärker in den Vordergrund. Sowohl auf regionaler als auch auf nationaler und internationaler Ebene bemühen sich Vertreter aus Politik, Wirtschaft, Naturschutzverbänden und den Interessensverbänden der Landwirte verstärkt um Konzepte und Verfahren, wie beispielsweise die Agenda 21, um diesen Entwicklungen entgegenzuwirken.

Aus der Sicht wissenschaftlicher Forschung bietet der integrierte Pflanzenschutz die Möglichkeit, in einer flexiblen und bedarfsgerechten Kombination verschiedener Verfahren die gesellschaftspolitischen Anforderungen an eine moderne Landwirtschaft mit den Erfordernissen des Naturschutzes zu verbinden. Die im integrierten Pflanzenschutz angewandten Grundlagen und Arbeitskonzepte berücksichtigen verstärkt gesamtökologische Zusammenhänge, welche erst seit wenigen Jahren tiefer gehend erforscht und besser verstanden werden. Die Notwendigkeit zur Reform des Agrarsektors ist sowohl hinsichtlich der Strukturprobleme des ländlichen Raums als auch des Bedarfs an Naturschutzmaßnahmen evident und entspricht den weltweit anerkannten Prinzipien moderner Agrar- und Gesellschaftspolitik. Eine der bedeutends-

ten daraus resultierenden Herausforderung ist - auch aus Sicht der wissenschaftlichen Forschung - die Neudefinition des Verhältnisses von Naturschutz und Landwirtschaft. Allerdings treten an diesem Punkt die Diskrepanzen zwischen wissenschaftlichen und öffentlich-politischen Ansprüchen am deutlichsten hervor. Aus Sicht der Öffentlichkeit werden die Ansprüche an Naturschutz, Erhaltung der Ressourcen, Gesellschaft und Landwirtschaft unter den Bergriffen 'nachhaltige Entwicklung' oder 'Nachhaltigkeit' vereint. Obgleich diese Begrifflichkeiten bereits seit langer Zeit in der Forstwirtschaft verwendet werden, wird in heutiger Zeit im allgemeinen mit 'nachhaltiger Entwicklung' die im Jahr 1987 im Rahmen des so genannten Brundland-Berichts (World Comission on Environment and Development 1987) veröffentlichte Definition verbunden. Demnach ist unter nachhaltiger Entwicklung eine Entwicklung zu verstehen, welche den Anforderungen der Gegenwart gerecht wird, ohne die Möglichkeiten zukünftiger Generationen zu gefährden, ihre Bedürfnisse befriedigen zu können. Der Rat für nachhaltige Entwicklung der Bundesregierung Deutschland (www.bundesregierung.de) definiert: 'Nachhaltige Entwicklung heißt, Umweltgesichtspunkte gleichberechtigt mit sozialen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu berücksichtigen. Zukunftsfähig wirtschaften bedeutet also: Wir müssen unseren Kindern und Enkelkindern ein intaktes ökologisches Gefüge hinterlassen.' Wie beispielsweise KÜSTER (2005) hierbei aber einwendet, 'ist die Formulierung nachhaltiger Ziele durch die naturwissenschaftliche Argumentation unmöglich gemacht, denn Natur ist nicht nachhaltig, und Nachhaltigkeit ist keine naturwissenschaftliche Größe'. Für den Naturschutz folgert KÜSTER, dass sich Natur nur schützen lässt, wenn man sie aus biologischer Sicht betrachtet und die ihr innewohnende Dynamik beachtet und zulässt. Die sich mit dem Wandel der Natur und damit auch den Lebewesen beschäftigende Wissenschaft, die Ökologie, steht damit im eigentlichen Widerspruch zu dem Begriff der nachhaltigen Entwicklung. Wie KÜSTER weiterhin formuliert 'wünscht die Öffentlichkeit sich von der Ökologie aber vor allem Konzepte für eine immer weitergehende Stabilisierung der Lebensverhältnisse und eine Vorhersagbarkeit künftiger Entwicklungen. Im Zentrum des öffentlichen Interesses steht daher die Simulation von Ökosystemen. Ökologisches Wissen hat seine Grundlagen aber vor allem in der Biologie. Immer mehr Experten der Biologie machen den Errechnern der Welt Platz, die Modelle für die Zukunft zu entwickeln. Aber wohlgemerkt: Modelle müssen richtig verstanden werden. Prognosen beeinflussen das Handeln und sind notwendig, die Wahrscheinlichkeit jedoch, dass sie ohne Modifikationen zur Realität werden, ist gering. Nur Klone haben identische Eigenschaften: man könnte die bissige Folgerung ziehen, dass die Mathematisierung der Ökologie die Lebewesen schon längst geklont hat, bevor dies in der Realität geschehen ist'. Daraus folgt, dass der wissenschaftliche Begriff der Ökologie einerseits und der Öffentlichkeit andererseits in Wider-

spruch stehen, die wissenschaftlich ökologische Forschung aber unabdingbar ist, um einer der Forderungen der nachhaltigen Entwicklung, dem Naturschutz, nachkommen zu können. Auch COOK et al. (1995) betonen, dass für die Weiterentwicklung nachhaltiger Landwirtschaft eine genaue Kenntnis insbesondere der Pflanzenkrankheiten und ihrer Erreger Voraussetzung ist für deren Erforschung in den meisten Ländern aber immer weniger Finanzmittel zur Verfügung stehen. Und auch MCSORLEY & PORAZINSKA (2001) betonen, dass der der Ökologie innewohnende Zeitfaktor fundamental für das Konzept der Nachhaltigkeit ist. Die Autoren sehen Systeme als nicht nachhaltig an, wenn eine Ressource verbraucht, ein unakzeptables Maß an Verschmutzung oder anderen Umweltproblemen erreicht ist oder wenn die Methoden zur Aufrechterhaltung der Systeme nicht länger ökonomisch oder sozial vertretbar sind. Dabei liegen beispielsweise die Belastungen durch eine steigende Weltbevölkerung nicht nur in einem vermehrten Nahrungsmittebedarf sondern auch in einem höheren Energiebedarf, was zu einem schnelleren Verbrauch der fossilen Brennstoffe bzw. zu deren Verteuerung führt. Die Folgen sind eine Verteuerung bzw. letzten Endes eine frühere Nichtverfügbarkeit der auf Erdöl bzw. auf der Energiegewinnung aus Erdöl basierenden Düngestoffe und Pflanzenschutzmittel. In diesem und ähnlichen Beispielen sehen die Autoren andererseits die große Bedeutung ökonomischer Faktoren im Kontext der Nachhaltigkeit.

Die Relevanz ökonomischer Faktoren im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung liegt aber nicht nur in den volkswirtschaftlichen Aspekten begründet. Vor allen Dingen erschwert wird die Einführung geeigneter IPM-Maßnahmen durch betriebswirtschaftliche Aspekte. Vor allem die bei der Umstellung von konventioneller zu einer ökologischen bzw. integrierten Produktion entstehenden Mehrkosten verhindern in vielen Fällen diesen Wechsel (PORTEN & HUBER 2003b, 2004b,c, PORTEN et al. 2004). Direkte Lösungsansätze bieten beispielsweise die im Rahmen der Agenda 2000 vorgesehenen und durch den Midterm Review bestätigten Cross-Compliance-Zahlungen. Eine aus ökonomischer Sicht nachhaltige und dem wissenschaftlichen Verständnis des Begriffs zu vereinbarende - aber ungleich komplexere - Möglichkeit besteht in der Nutzung der systemimmanenten Vorteile einer nachhaltigen Landwirtschaft und den damit für den ländlichen Raum verbundenen Zukunftschancen. Hierfür müssen die beispielsweise im §1 des Bundesnaturschutzgesetztes festgesetzten Ziele des Natur- und Landschaftsschutzes und der Landschaftspflege wie die Sicherung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts, die Erhaltung der Regenerationsfähigkeit und nachhaltige Nutzungsfähigkeit der Naturgüter, der Schutz der Tier- und Pflanzenwelt einschließlich ihrer Lebensstätten und Lebensräume sowie die Bewahrung der Vielfalt, Eigenart und Schönheit sowie dem Erholungswert von Natur und Landschaft verfolgt und als Impulse für eine sozial und wirtschaftlich nachhaltige Regionalentwicklung genutzt werden.

Hierbei ist es auch aus ökonomischer Sicht von großer Bedeutung, die bislang stark produktorientierte landwirtschaftliche Produktion um die Sekundärprodukte des Naturschutzes und der nachhaltigen Landwirtschaft wie den Aufbau und Erhalt einer ästhetischen Landschaft, Ausgleichsleistungen für Nutzökosysteme, der Erhaltung der Mitwelt, der Produktion hochwertiger, gesunder Nahrungsmittel und nachwachsender Rohstoffe sowie Naturschutz als Imageträger und Attraktionsfaktor zu erweitern und diese stärker zu fördern. Dies gilt insbesondere für die die Kulturlandschaft sehr prägende und traditionsreiche Sonderkultur Wein. So ist beispielsweise die Erhebung des Mittelrheintales zur UNESCO-Welterbestätte maßgeblich auf den landschaftsprägenden Weinbau in Steil-, Steilst- und Terrassenlagen zurückzuführen. Diese besondere Form des Anbaus trägt in hohem Maße zum weltweiten Renommee des deutschen Weinbaus und der Kulturlandschaft bei. Aus diesen Gründen kommt dem Schutz und Erhalt dieser sehr arbeits- und kostenintensiven Anbauform besondere Bedeutung zu. Diese Art der integrierten Regionalentwicklung sichert durch Regionalvermarktung Arbeitsplätze in der Landwirtschaft, trägt durch standortangepasste Landbewirtschaftung und die damit verbundene Sicherung der Kulturlandschaft zum Erhalt der wirtschaftlichen Chancen durch Tourismus bei und sichert Einkommen durch die Schließung regionaler Kreisläufe und die Vernetzung von Landwirtschaft und Gewerbe. Somit ist der Naturschutz als Motor regionaler wirtschaftlicher Entwicklung ein entscheidender Faktor für die zukünftige Entwicklung des ländlichen Raums.

Die im integrierten Pflanzenschutz angewandten Verfahren ermöglichen die Implementierung dieser oben genannten Voraussetzungen für einen nachhaltigen Naturschutz und die damit einhergehenden Möglichkeiten für eine nachhaltige Entwicklung des ländlichen Raums. Darüber hinaus sind mit der Einführung integrierter Pflanzenschutzmaßnahmen weitere direkte und indirekte Vorteile und Möglichkeiten sowohl für den Anwender selbst als auch für die Gesellschaft und die Umwelt verbunden. Dies spiegelt sich in der Definition des integrierten Pflanzenschutzes (Kap. 1) wieder. In diesem Zusammenhang sind vor allem zwei Aspekte zu nennen, die direkt zu einer Reduzierung der variablen Kosten der landwirtschaftlichen Betriebe beitragen. Erstens die Nutzung der natürlich vorhandenen Ressourcen ohne zusätzlichen Mittelaufwand und zweitens die Förderung natürlich vorkommender, langfristig wirkender und sich eigenständig reproduzierender Organismen im Rahmen der biologischen Schädlingskontrolle, wie sie beispielsweise im Rahmen der pathogen- und krankheitssuppressiven Eigenschaften von Böden gegeben sind. Aufgrund der Komplexität stellt diese Art des Pflanzenschutzes den potenziellen Anwender aber vor erhebliche Anforderungen und erschwert somit die Implementierung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts. Auch die Anwendung der Biocontrol-Strategien stellt dabei keine Ausnahme

dar. Die Kontrolle einer Pflanzenkrankheit mit einem natürlichen biologischen Prozess oder dem Produkt eines natürlichen biologischen Prozesses, wie WILSON (1997b) Biocontrol definiert, stellt dabei nicht nur den Anwender vor gewisse Probleme, sondern auch die Offizialberatung und die Forschung. Werden bei den Untersuchungen, Erprobungen und Einführungen von Biocontrolverfahren die Komplexität und die Einzigartigkeit jeder individuellen Biocontrolmaßnahme nicht berücksichtigt und den Anwendern und Verbrauchern nicht näher gebracht, werden biologische Kontrollverfahren in Zukunft keinen wesentlichen Fortschritt erfahren (HEADRICK & GOEDEN 2001). Aus diesem Grunde ist es auch von großer Bedeutung, die durch die wissenschaftlichen Forschung gewonnenen Erkenntnisse nicht nur im Rahmen von Fachpublikationen zu veröffentlichen, sondern auch einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Dabei sollten alle für die Anwender relevanten IPM-Aspekte wie beispielsweise das Vorkommen und die Biologie der Schädlinge (HUBER & PORTEN 2003, HUBER et al. 2006a-d), die Möglichkeiten zu deren Kontrolle (HUBER et al. 2000, 2003, 2004b), Bewirtschaftungsmaßnahmen (PORTEN & HUBER 2004a, d, 2005a, 2007) aber auch die ökonomischen Aspekte zur Einführung von IPM-Strategien (PORTEN & HUBER 2004b, c, 2005b) in entsprechender Form berücksichtigt werden. Vor allem die letztgenannten Gesichtspunkte, die betriebswirtschaftlichen Gegebenheiten, müssen schon während der Erforschung und Entwicklung von IPM-Strategien erwogen werden. Hierbei dürfen aber nicht nur die finanziellen Aspekte Berücksichtigung finden. So ist es beispielsweise unbedingt erforderlich, die beim Anbau der entsprechenden Kulturpflanze auftretenden Arbeitszeitspitzen zu berücksichtigen, um eine Durchführbarkeit zu ermöglichen. So wurden im Rahmen der Versuche zur biologischen Kontrolle der Reblaus durch den entomopathogenen Pilz *M. anisopliae* nicht nur die Ansprüche des Parasits und des Wirts, sowie die bei einem Einsatz für den Anwender entstehenden Kosten, sondern auch mögliche Applikationszeiträume berücksichtigt. Aus diesem Grunde wurde bislang von der Erprobung einer Applikation in den Monaten kurz vor, während und nach der Traubenlese abgesehen, obgleich dieser Zeitraum aus Sicht der Wirkungseffizienz von Bedeutung sein könnte.

Da aufgrund den derzeitigen Bedingungen im Weinbau, der Forschung und Offizialberatung in Deutschland nicht zu erwarten ist, dass die für die Durchführung von Präventivmaßnahmen, bzw. den breiten Einsatz eines IPM zur Kontrolle bodenbürtiger Schädlinge notwendigen Grundlagen, Voraussetzungen und Konzepte zeitnah und interdisziplinär erarbeitet werden, sollen die aus den im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Ergebnisse und den sich daraus ableitenden Implikationen für die in Zukunft zu erwartenden Problemstellungen im Folgenden kurz erläutert werden. Aufgrund der Entwicklungen der letzten Jahrzehnte ist zu erwarten, dass die Erwärmung des Klimas

auch in den kommenden Jahren anhalten wird (IPVV 2007). Es ist deshalb davon auszugehen, dass sich die Reblaus auch weiterhin ausbreiten wird, wobei aufgrund der höheren Temperaturen mit erhöhten Fortpflanzungsraten und einer Zunahme der Generationen je Vegetationsperiode gerechnet werden muss. Hierfür sprechen auch die Ergebnisse der Untersuchungen auf der Versuchsfläche O/R im Jahr 2006 (HUBER et al. unpubl., MICHAELIS in Bearb.), bei denen Ende November im Unterstockbereich (1/5 ha) noch annähernd 3 Mio. aktive Rebläuse vor allem die des sehr gut überwinterungsfähigen ersten Larvenstadiums nachgewiesen wurden. Sollte sich die Temperaturentwicklung im Winter 2006/2007 so fortsetzen wie in der ersten Januarhälfte 2007, so ist mit einer sehr geringen Mortalität und einem erheblichen Befallsdruck zu Beginn der Vegetationsperiode 2007 zu rechnen. Dies zeigen auch die Ergebnisse eines ersten Screenings im Januar 2007, bei welchem immer noch aktive Rebläuse und nur wenige Wochen alte Nodositäten vorgefunden wurden. Von der zukünftigen Entwicklung des Klimas wird auch der zukünftige Befall der Blätter sowohl der Amerikaner- als auch der Europäerreben abhängen. Wie die letzten Jahre gezeigt haben, scheinen die klimatischen Bedingungen dieser Jahre einen Blattbefall zu fördern. Andererseits könnte dies auch bei anderen klimatischen Bedingungen stattfinden, sofern der Befall in erster Linie durch den Gesundheitszustand der Reben bestimmt wird. Aussagen über das Auftreten einer sexuellen Reproduktion in europäischen Anbaugebieten sind schwer zu treffen, da fast keine Erkenntnisse zu den bestimmenden Faktoren vorliegen (HUBER & FORNECK 2007). Da bei warmen Bedingungen, eine sexuelle Reproduktion allerdings häufiger beobachtet wurde und auch die Überwinterungsbedingungen der Wintereier vorteilhafter sein dürften, ist es nicht ausgeschlossen, dass es bei einer weiteren Klimaerwärmung auch in Deutschland zu sexueller Reproduktion kommt. Dies ist umso wahrscheinlicher, da nicht zu erkennen ist, dass Drieschen und Brachen sowohl mit Europäer- als auch Amerikanerreben effektiv geräumt werden und somit alle Bedingungen für einen Holozyklus gegeben sind. Aus Sicht der Grundlagenforschung stehen vor allem zwei weitere Aspekte im Fokus des Interesses. Erstens die Frage, ob sich die in der Literatur beschriebenen, in neuerer Zeit aber nicht mehr beobachteten Reblausmorphen Sexupara aptera an den Wurzeln und Virginopara alata im Freiland oder in Zuchtversuchen nachweisen lassen. Die zweite Frage ist die der morphologischen Differenzierung von Geno- oder Biotypen anhand antennaler Strukturen. Dieser, sich aus den im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit durchgeführten rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen abzuleitenden, Arbeitshypothese gilt das besondere Interesse zukünftiger Forschung. Aus Sicht der angewandten Forschung und vor allem der Praxis wird eine besondere Bedeutung der Frage zukommen, unter welchen Freilandbedingungen sich die Reblaus soweit an die Unterlagssorte Börner oder anderen bis-

lang als 'resistent' angesehenen Unterlagskreuzungen adaptieren kann, dass sich Populationen auf Dauer an den Wurzeln dieser Reben entwickeln. Sicherlich gilt das Interesse der Forschung auch den einer Toleranz zugrunde liegenden Abwehrmechanismen, allerdings ist die Frage, ob derartige Untersuchungen nicht unter anderen Bedingungen als bislang durchgeführt werden müssten, wie die Ergebnisse beispielsweise von OMER et al. (1999b) und GRANETT et al. (2001) vermuten lassen. Die Ergebnisse der Untersuchungen dieser Autoren legen die Vermutung nahe, dass es sich bei der Reblausresistenz amerikanischer *Vitis*-Arten um durch Pilzbefall hervorgerufenen Stress selektionierte Eigenschaften handelt und die Reblausresistenz somit als eine Kreuzresistenz anzusehen wäre. Wie sowohl die Erfahrungen der Rebenzüchtung als auch neue genetische Untersuchungen zeigen, handelt es sich bei den der Reblaustoleranz zugrunde liegenden Mechanismen um polyklonale Vorgänge, welche nur sehr schwer oder überhaupt nicht beeinflusst oder kontrolliert werden können. Neben diesen praktischen Aspekten stehen der genetischen Veränderung der Reben die allgemeinen und viel diskutierten Sachverhalte gegenüber. Gleichzeitig zeigt sich dadurch auch die große derzeitige und zukünftige Bedeutung der Rebenzüchtung. Aufgrund der bestehenden und in Zukunft zu erwartenden natürlichen und anthropogen beeinflussten Umweltveränderungen müssen für die Sicherung eines nachhaltigen Weinbaus neue, an andere Umweltbedingungen angepasste und in Feldversuchen mit unterschiedlichen Standortbedingungen (HOFMANN 1957a,b) erprobte Unterlagsrebsorten entwickelt werden, bei deren Züchtung und Selektion nicht nur die bislang im Vordergrund stehenden Faktoren wie Reblaustoleranz oder Veredlungsaffinität berücksichtigt werden, sondern auch die sich aufgrund neuerer Untersuchungen ergebenden Aspekte wie beispielsweise zum Einfluss bodenbürtiger mikrobieller Pathogene, Endophyten, Bodenbedingungen oder klimatischer Veränderungen berücksichtigt werden. Im Bezug auf die genannte Anpassung der Reblaus an neue Wirte müssen aber auch verstärkt die ökologischen Bedingungen mitberücksichtigt werden. So hat beispielsweise schon STEVENSON (1964) darauf hingewiesen, dass sich die verschiedenen Entwicklungsstadien der Reblaus über die Jahre ändern und mit dem Entwicklungszustand der Wirtspflanze korrellieren. Auch die Veränderungen der Aminosäuregehalte und -zusammensetzung in den Wurzeln von Reben müssen dabei berücksichtigt werden, da sie starken Schwankungen während einer Vegetationsperiode unterliegen (KLIEWER 1967). Aber nicht nur die Aspekte eines zeitlichen Wandels müssen durch ökologische Untersuchungen erfasst werden. Auch die sich durch die Wechselwirkungen mit anderen Organismen ergebenden Einflüsse (Abb. 4-1; SCHEU et al. 1999), welche bei der phytomedizinischen und züchterischen Betrachtung der Sachverhalte bislang nahezu unberücksichtigt blieben (CHIARAPPA & BUDDENHAGEN 1994), müssen verstärkt untersucht

werden. Zusätzlich zu den direkten Einflüssen müssen indirekte, beispielsweise durch den Wirt vermittelte Interaktionen untersucht werden. Beispiele hierfür sind die Auswirkungen eines Rebschnitts oder einer Entblätterung (BUTTROSE 1966, KLIEWER & FULLER 1973) oder der Reduktion der Wurzelmasse durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen (BUTTROSE & MULLINS 1968). Im Falle von Pfropfreben darf auch die Pfropfkombination nicht unberücksichtigt bleiben, da wie ERLENWEIN (1965) formuliert 'bei Pfropfreben alle [genannten] (z.B. Stickstoffversorgung, Tageslänge) Umweltfaktoren auf die Lebensgemeinschaft zweier Einzelindividuen mit spezifischen Ansprüchen an die Umwelt einwirken'. Wie bereits angeführt können auch die durch die über die Wirtspflanze vermittelten Interaktionen von Bedeutung sein, wie eine Vielzahl neuerer Untersuchungen zeigen (reviewed in BARDGETT et al. 1998).

Viele dieser Interaktionen treffen natürlich auch auf eine Infektion durch Mikroorganismen bzw. auf den kombinatorischen Befall durch verschiedene Schädlinge insbesondere deren gegenseitige Förderung oder Hemmung zu. In diesem Kontext ist das beobachtete starke Auftreten von Nodositäten an mit *R. subterranea* befallenen Reben der Unterlagssorte Börner in den Jahren 2005 und 2006 zu sehen. Hinweise auf derartige Interaktionen bestehen sowohl bei Reben als auch anderen Pflanzen (BOSTOCK 1999, FELTON et al 1999). Diese Interaktionen sind ebenso wie die Beteiligung der endophytisch im Gefäßsystem von Reben vorkommenden Mikroorganismen Gegenstand derzeitiger Forschungsbemühungen im Rahmen der Forschungsinitiative BISGRAM, da sie unter dem Gesichtspunkt eines verstärkten Auftretens von mikrobiellen bodenbürtigen Pathogenen wie Pilzen oder *S. viticola* eine besondere Bedeutung haben. Hierbei stehen natürlich ebenfalls wiederum Bewirtschaftungsmaßnahmen im Fokus des Interesses, da beispielsweise die chemische Zusammensetzung der Xylemflüssigkeit von Reben in unterschiedlichen Böden in erster Linie durch die Stickstoffdüngung, nicht durch den Bodentyp beeinflusst wird (PEUKE 2000), was naturgegeben beispielsweise auf Endophyten bedeutende Auswirkungen haben kann.

Hinsichtlich des zukünftigen Auftretens bodenbürtiger mikrobieller, vor allem pilzlicher Schaderreger ist von einem vermehrt starken Auftreten der von ihnen verursachten Schäden auszugehen. Dies hat mehrere Gründe. Der Hauptaspekt ist aber, dass, vor allem bei höheren Temperaturen, die Humusvorräte der Böden noch schneller abgebaut werden, was, wie ausführlich dargestellt und diskutiert, letzten Endes zu einer Zunahme der Pathogene führt. Die Kontrolle dieser durch verschiedene Faktoren beeinflussten Zunahme ist eine der großen Herausforderungen derzeitiger und zukünftiger Forschungsbemühungen. Hierfür ist aber in erster Linie eine genaue Kenntnis der Biologie der Pathogene und ihrer Interaktionen mit Umweltfaktoren und möglichen BCAs von entscheidender Bedeutung (PAULITZ 2000). Dass dies bezüglich bodenbürti-

ger Rebpathogene in keinster Weise gegeben ist, ist den voranstehenden Ausführungen zur Folge evident.

Gleichzeitig wird in diesem Kontext natürlich auch die biologische Kontrolle tierischer Schädlinge beeinflusst. So haben beispielsweise Untersuchungen von STACEY et al. (2003) gezeigt, dass die Anfälligkeit von Aphiden gegenüber entomopathogenen Pilzen durch Außenfaktoren wie Temperatur beeinflusst wird. Dies kann sich unter anderem auch auf die Bewertung der Wirksamkeit von biologischen Kontrollorganismen auswirken. Die Autoren heben daher die Notwendigkeit und Bedeutsamkeit von Untersuchungen mit einem möglichst weit gefächerten Umfang hervor, welche die verschiedenen Schädlingsgenotypen und Umweltfaktoren berücksichtigen. Auch hier wird die Bewirtschaftung der Rebflächen wiederum von Bedeutung sein, da viele Biocontrol-Strategien von einer gemeinsamen Anwendung bzw. einem gemeinsamen Einsatz mit anderen Bewirtschaftungsmethoden im Rahmen eines IPM profitieren. Andererseits muss vor allem bei der Anwendung von Biocontrol-Maßnahmen in konventionell bewirtschafteten Rebflächen mit negativen Effekten beispielsweise durch einen Herbizideinsatz (WHITELAW-WECKERT 2004b) oder einem Einfluss der Stickstoffdüngung (HOGERVORST et al. 2003) gerechnet werden.

Es zeigt sich also, dass das aufgrund von unzureichender Bodenpflege ausgehende Gefährdungspotential als sehr hoch eingeschätzt werden muss. Die vielfältigen Interaktionen in Böden machen dabei einerseits die Erforschung der Wechselwirkungen zu einem besonderen Problem und erschweren sowohl die Aufklärung der Landwirte und Winzer und die Implementierung des wissenschaftlichen-technischen Fortschritts in der Praxis, andererseits erhöhen sie die Möglichkeiten einer Schädlingskontrolle.

Trotz aller methodischer, arbeitstechnischer, finanzieller und personeller Problemstellungen die die ökologische Forschung mit sich bringt, ist als Hauptproblem, welches auch einem integrierten Pflanzenschutz entgegensteht, die mehr als mangelhafte Aufklärung der Anwender sowie der unbefriedigende Wissenstransfer von der Wissenschaft in die Praxis. Sollten diesen beiden Probleme nicht verstärkt angegangen und gelöst werden, wird ein IPM in der Praxis niemals einen breiten Einsatz finden.

5 ZUSAMMENFASSUNG/SUMMARY

Zusammenfassung:

Ziel der Untersuchungen war es, das Vorkommen, die Wirkungen und die Interaktionen bodenbürtiger *Vitis*-Pathogene in Pfropfrebenbeständen mit reblaustoleranten Unterlagsreben der Kreuzung *V. berlandieri* x *V. riparia* zu untersuchen und die Möglichkeiten ihrer Kontrolle im Rahmen des Integrated Pest Managements zu eruieren. Ein Schwerpunkt lag dabei bei den in Zusammenhang mit einem Befall der Rebstöcke durch *D. vitifoliae* stehenden Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen. So wurden einerseits bodenmikrobiologische Untersuchungen der Mikroorganismenzönosen in verschiedenen Mikrokompartimenten des Bodens und den Wurzeln der Rebstöcke durchgeführt, um die so gewonnenen Ergebnisse mit den Messergebnissen verschiedener abiotischer und biotischer Bodenparameter zu vergleichen. Hintergrund dieser Untersuchungen war die Hypothese, dass sich die Böden von Rebanlagen mit und ohne Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen der Reben aufgrund ihrer pathogen- bzw. krankheitssuppressiven Eigenschaften unterscheiden. Andererseits wurde untersucht, ob die die Wurzeln besiedelnde Reblaus selbst durch den entomopathogenen Pilz *M. anisopliae* biologisch kontrolliert werden kann. Im Verlauf dieser Untersuchungen wurde im Wurzelsystem der Reben ein bis dahin unbekannter obligater Parasit aus der Gruppe der Plasmodiophorales identifiziert, der der Gattung *Sorosphaera* zugewiesen werden konnte. Dies gab Anlass zur morphologischen und ökologischen Untersuchung dieses neuen Organismus, der dann in der Folge als *Sorosphaera viticola* Kirchmair, Neuhauser, Huber beschrieben wurde, wobei das Epitheton der Art auf die Wirtsgattung (lat.*: viticolus*, den Weinstock bewohnend) verweist. Die Untersuchungen wurden von Frühjahr 2000 bis Herbst 2006 im Rahmen verschiedener von der DFG, dem FDW, der BLE und dem Hessischen Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten geförderten Projekten auf unterschiedlichen Versuchsflächen in deutschen Weinanbaugebieten durchgeführt. Das Untersuchungsmaterial für mikroskopische Untersuchungen von *S. viticola* und *D. vitifoliae* stammte aus Deutschland, Kanada, Frankreich, Australien, USA und Jordanien.

Zur Untersuchung der Beteiligung von phytopathogenen Mikroorganismen am Absterbeprozess von reblaustoleranten Unterlagsrebsorten wurden auf zwei wirtschaftlich genutzten Versuchsflächen mit Reblausbefall und einer reblausfreien Vergleichsfläche in regelmäßigen Abständen Proben entnommen. Auf den reblausbefallenen Versuchsflächen wurden bereits im Jahre 1998 vom Fachgebiet Rebezüchtung und Rebenveredlung der Forschungsanstalt Geisenheim Düngemittelversuche zum Einfluss von organischen und mineralischen Düngern auf die vegetative und generative Leistung reblausbefallener Rebstöcke angelegt. Die entnommenen Boden- und Wur-

zelproben wurden mit bodenbiologischen Methoden untersucht, wobei vor allem die qualitativen und quantitativen Aspekte der Mikroorganismenzönosen und deren Aktivität untersucht wurden. Additiv wurden verschiedene weitere Parameter wie beispielsweise der Rebwuchs oder die Reblauspopulationen erhoben sowie Gewächshausversuche durchgeführt. Für die Untersuchungen zur biologischen Reblauskontrolle wurden in den Jahren 2003 bis 2006 auf verschiedenen Versuchsflächen in Deutschland *Metarhizium*-Präparate ausgebracht und die Wirkung des Pilzes auf die Reblauspopulationen sowie auf Non-target-Organismen untersucht. Für die Erstbeschreibung des Plasmodiophoriden *S. viticola* wurden licht-, raster- und transmissionselektronenmikroskopische Untersuchungen durchgeführt. Seine Verbreitung wurde anhand von Wurzelproben aus verschiedenen Weinanbaugebieten in Deutschland, Österreich und Kanada untersucht. Die Ausbreitung des Plasmodiophoriden in Ertragsrebanlagen wurde durch die Entnahme von Wurzelproben von je 200 Rebstöcken aus zwei Versuchsfeldern und deren fluoreszenzmikroskopische Untersuchung festgestellt. Die Ergebnisse der unterschiedlichen Untersuchungen auch im Kontext eines weiteren untersuchten Wurzelpathogens (*R. subterranea*) zeigten, dass bodenbürtige obligate und fakultative Parasiten der Rebe weit verbreitet sind und in verschiedenem Ausmaß die Fähigkeit besitzen, Rebstöcke zu schädigen. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass sich die Böden geschädigter und ungeschädigter Flächen in einer Vielzahl von Eigenschaften wie im Vorkommen von Pilzarten, ihrer mikrobiellen Biomasse, der mikrobiellen Aktivität sowie abiotischen Parametern wie dem Boden pH-Wert deutlich unterscheiden. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die krankzheits- bzw. pathogenkonduktiven und -suppressiven Eigenschaften der Böden dafür verantwortlich sind, ob es in einer Rebanlage zu Ausfallerscheinungen kommt oder nicht, wobei ein direkter Zusammenhang mit der Bewirtschaftung der Flächen, namentlich der Versorgung der Böden mit organischer Substanz hergestellt werden konnte. Bezüglich der Reblaus selbst hat sich gezeigt, dass diese Aphide über mehr antennale Sinnesorgane verfügt als bislang angenommen, was sie vermutlich zu einer sehr guten Sinneswahrnehmung sowohl pflanzlicher Duftstoffe als auch von Sexuallockstoffen befähigt. Die Untersuchungen zur biologischen Reblauskontrolle haben gezeigt, dass die Reblaus durch den Pilz *M. anisopliae* im Freiland reduziert werden kann, wobei keine negativen Einflüsse des Pilzes auf andere Organismen festgestellt wurde. Hierfür musste zunächst eine neue Methode zur Bewertung der Wirkungseffizienz entwickelt werden. Die Untersuchung von *S. viticola* zeigte unter anderem, dass dieser Plasmodiophorid unterschiedliche Arten der Gattung *Vitis* befällt und nicht nur in Europa, sondern auch in Nordamerika vorkommt.

Summary

Soilborne pathogens of *Vitis* spp. - occurrence, interactions and impact - and strategies for their control in the scope of Integrated Pest Management (IPM)

The aim of this study was to investigate the occurrence, the impact and the interactions of soilborne pathogens in vineyards planted with phylloxera tolerant rootstocks and the possibilities to control them. The trials focussed on the relationship between an infestation of rootstock roots with grape phylloxera and growth damages of vines. Microbial community structures and activities in different compartments of soils and roots of vines were investigated and correlated with different abiotic and biotic parameters of soils. The background for the investigations was the hypothesis that the soils of vineyards with and without growth damages of vines are different regarding their suppressiveness against plant pathogens. On the other hand it was tested if populations of root dwelling grape phylloxera can be controlled using the entomopathogenic fungus *M. anisopliae*. In the context of these studies a so far unknown obligate parasite of grapevine roots was detected. Morphological and ecological studies were carried out. It could be shown that this parasite is a member of the plasmodiophorales. Subsequently the parasite was described as *Sososphaera viticola* Kirchmair, Neuhauser, Huber, the species epithet referring to the host genus (lat.: *viticolus,* vine-inhabiting). The investigations, financially supported by DFG, FDW, BLE and the Hessian ministry for environment, agriculture and forestry were carried out from spring 2000 until august 2006 on different trial sites in Germany, specimen of *S. viticola* and *D. vitivoliae* for microscopic analysis also originating from Canada, USA, France, Australia and Jordan.

The trials to investigate the impact of soilborne pathogens on grapevine growth were carried out on two phylloxera infested trial sites of the Department for Grapevine Breeding and Grafting of the Geisenheim Research Centre. These trial sites were established in 1998 to investigate the influence of mineral and organic fertilizers on health of grapevines. Sites were compared to another trial site not infected with grape phylloxera. Qualitative and quantitative aspects of microbial communities and their composition of soil and root samples of these trial sites were analysed using different methods. In addition other parameters like growth of vines or infestation intensity and frequency of grapevine roots with grape phylloxera were examined. To investigate the possibilities for the biological control of grape phylloxera, *M. anisopliae* colonised barley grains were applied to different vineyards in Germany in the years 2003 to 2006. The efficacy of the fungus as well as its persistence in soil and its impact on non-target-organisms was investigated. For species description of the grapevine plasmodiophorid *S. viticola* specimen from different countries were examined using light-, fluorescence-,

scanning- and transmission electron microscopy. Distribution of the plasmodiophorid in commercial vineyards was investigated by examining roots of vines from two commercial vineyards in Germany. Additionally the distribution and abundance of the grapevine parasite *R. subterranea* was investigated in various vineyards in Germany in 2006. The results of these studies have shown that obligate and facultative parasites of grapevine roots are very common and are able to damage or kill vines. Furthermore the soils of sites with and without damages of vines differ in various aspects like community structure of soil fungi, microbial biomass, activities of microorganisms or soil-pH. This implies, that the suppressiveness or conductiveness of vineyard soils with phylloxera infestations determine if vines will be damaged or not. Suppressiveness of vineyard soil could be correlated to soil management strategies whereas application of organic matter increased suppressiveness. Microscopic examinations of *D. vitifoliae* specimen have shown so far undescribed antennal sensilla which implies, that grape phylloxera is probably able of sensory perception of a great variety of scents like pheromones or scents produced by its host. Biological control studies of grape phylloxera have shown, that the aphid is invested by *M. anisopliae* and populations of *D. vitifoliae* can be reduced under field conditions with this fungus. To enable these investigations a new method for quantification of population size of grape phylloxera had to be established. The investigations on *S. viticola* have shown that this parasite infects different species of *Vitis* and that it is abundant not only in Europe but also in North America.

6. LITERATUR *

6.1 Eigene Literatur (verwendet)

FORNECK, A. & L. HUBER (2007): Asexual and sexual reproduction in grape phylloxera (*Daktulosphaira vitifoliae* Fitch) - a review.- Submitted to: Invertebrate Biology.

HUBER, L. (1999): Bodenbiologische Untersuchungen auf unterschiedlich bewirtschafteten Rebflächen mit Reblausbefall (*Daktulosphaira vitifoliae* Fitch - Homoptera: Phylloxeridae) im Rheingau.- Diplomarbeit Universität Mainz.

HUBER, L., EISENBEIS, G., RÜHL, E.H. & M. PORTEN (2000): Mit Kalksticksoff gegen die Reblaus?- Das Deutsche Weinmagazin 8: 21-25.

HUBER, L., PORTEN, M., EISENBEIS, G. & E.H. RÜHL (2003): The influence of organically managed vineyard-soils on the phylloxera-populations and the vigour of grapevines.- Acta Hoticulturae 617: 55-59.

HUBER, L., EISENBEIS, G., HAMMES, M., PORTEN, M., RAINER, J., KIRCHMAIR, M., STRASSER, H. & E.H. RÜHL (2003): Biologische Kontrolle von Reblauspopulationen - Hilft ein Pilz gegen die Reblaus?- Das Deutsche Weinmagazin 12: 16-18.

HUBER, L. & M. PORTEN (2003): Bewertungssystem für Wurzelreblauspopulationen: 1, 2 oder 3 Rebläuse.- Das Deutsche Weinmagazin. 18: 52-54.

HUBER, L., HAMMES, M., EISEBEIS, G., PÖDER, R. & M. KIRCHMAIR (2004a): First record of a plasmodiophorid parasite in grapevine.- Vitis 43(4): 187-189.

HUBER, L., KIRCHMAIR, M., PORTEN, M. & E.H. RÜHL (2004b): Biologische Reblausbekämpfung - eine Utopie?- Die Winzer-Zeitschrift 2: 32-33.

HUBER, L., KIRCHMAIR, M. & M. PORTEN (2004c): Biological Control of grape phylloxera using the entomogenous fungus *Metarhizium anisopliae*.- Proc. Intervitis Interfructa, May 12. + 13.2004, Stuttgart, Germany: 12-23.

HUBER, L., SCHOLZ, C., EISENBEIS, G., RÜHL, E.H., NEUHAUSER, S. & M. KIRCHMAIR (2006): Field distribution of *Sorosphaera viticola* in commercial vineyards in Germany.- FEMS Microbiological Letters 260: 63-68.

HUBER, L. & M. KIRCHMAIR (2007): Evaluation of efficacy of entomopathogenic fungi against small-scale grape-damaging insects in soil - experiences with grape phylloxera.- Acta Horticulturae 733: 167- 171.

HUBER, L., EISENBEIS, G., HOFFMANN, M., RÜHL, E.H., NEUHAUSER, S. & M. PORTEN (2006a): Wurzelschimmelerreger *Roesleria subterranea* (Weinm.) Redhead: Absterbeerscheinungen und Kümmerwuchs - Gefahr im Verborgenen.- Das Deutsche Weinmagazin 6: 25-31.

HUBER, L., EISENBEIS, G., HOFFMANN, M., NEUHAUSER, S., PORTEN, M. & E.H. RÜHL (2006b): Wurzelschimmel - verborgene Gefahr im Untergrund.- Die Winzer-Zeitschrift 4: 34-35.

HUBER, L., EISENBEIS, G., HOFFMANN, M., NEUHAUSER, S., PORTEN, M. & E.H. RÜHL (2006c): Die Bekämpfung des Wurzelschimmels.- Die Winzer-Zeitschrift 5: 36-37.

* Das Kap. 6 ist, abweichend von den anderen Kapiteln, aus Platzgründen in einer kleineren Schriftgröße abgefaßt.*

HUBER, L., EISENBEIS, G., KIRCHMAIR, M., NEUHAUSER, S., PORTEN, M., RÜHL, E.H. & A. FORNECK (2006d): Rebensterben durch Wurzelschimmel.- Der Winzer 5: 22-24

HUBER, L., EISENBEIS, G., RÜHL, E.H., PAGAY, V. & M. KIRCHMAIR (2007): Distribution and host range of the grape vine plasmodiophorid *Sorosphaera viticola*.- Vitis 46(1): 23-25.

HUBER, L., E.H. RÜHL. & M. KIRCHMAIR (2007): Biologische Reblausbekämpfung - Stand der Untersuchungen.- Proc. 50. Rheingauer Weinbauwoche, Sektion Pflanzenschutz: 59-69.

KIRCHMAIR, M. & L. HUBER (2003). A Plasmodiophorid from grapevine. XIV Congress of European Mycologists. 22. - 27. September 2003, Yalta (Ukraine).

KIRCHMAIR M. & L. HUBER (2004a) Ein neuer Parasit der Weinrebe: *Sorosphaera viticola* nom. prov.- Mikrobiologisches Colloquium des Instituts für Allgemeine Mikrobiologie und Mikrobengenetik. 28. May 2004, Jena, Germany.

KIRCHMAIR, M. & L. HUBER (2004b): Ein neuer Endoparasit in Wurzeln von Weinreben: *Sorosphaera viticola* nom. prov. (Plasmodiophoromycota).- 23. Congress of the German Society for Protozoology. 3. - 6. March 2004, Innsbruck, Austria.

KIRCHMAIR, M., HUBER, L. & H. STRASSER (2004a): The use of *Metarhizium anisopliae* as BCA against grape phylloxra.- Mikrobiologisches Colloquium des Instituts für Allgemeine Mikrobiologie und Mikrobengenetik. 28. May 2004, Jena, Germany.

KIRCHMAIR, M., HUBER, L. & H. STRASSER (2004b): The impact of the fungal BCA *Metarhizium anisopliae* on soil fungi and animals.- Fourth meeting of the *Melolontha* subgroup of the IOBC/WPRS working group “Entomopathogens and entomoparasitic nematodes”. 11. - 13. October 2004, Innsbruck, Austria.

KIRCHMAIR, M., HUBER, L. & H. STRASSER (2004c): The use of *Metarhizium anisopliae* against grape phylloxera.- Integration 2004. Meeting of the WGs: Management of plant diseases and arthropod pests by BCAs and their integration in agricultural systems. 9. - 13. June 2004, S. Michele all’Adige, Trentino, Italy.

KIRCHMAIR, M., HUBER, L., PORTEN, M., RAINER, J. & H. STRASSER (2004d): *Metarhizium anisopliae*, a potential agent for the control of grape phylloxera.- BioControl 49: 295-303.

KIRCHMAIR, M., NEUHAUSER, S. & L. HUBER (2005a): *Sorosphaera viticola* spec. nov. (Plasmodiophorids), an intracellular parasite in roots of grape vine.- Sydowia 57(2): 223-232.

KIRCHMAIR, M., NEUHAUSER, S., SCHOLZ, C. & L. HUBER (2005b): *Sorosphaera viticola* nom. prov., newly discovered plasmodiophorid, a potential vector for grape vine viruses?.- 6th IWGPVFV (International Working Group on Plant Viruses with Fungal Vectors), 5.-7.September 2005, Bologna, Italy: 34 (Abstract).

KIRCHMAIR, M., HOFFMANN, M., NEUHAUSER, S. & L. HUBER (2006): Persistence of GranMet®, a *Metarhizium anisopliae* based product, in grape phylloxera-infested vineyards.- Fifth meeting of the IOBC/WPRS working group "Entomopathogens and entomoparasitic nematodes": Sub-group "Soil Insect Pests" (previously sub-group "*Melolontha*"), 16 - 18. October 2006, Laimburg, Bozen, Italy.

KIRCHMAIR, M., NEUHAUSER, S., BUZINA, W. & L. HUBER (2007): The taxonomic position of *Roesleria subterranea* (Weinm.) Redhead.- Submitted to: Mycological Research.

LANGER, M., MAIXNER, M., KIRCHMAIR, M. & L. HUBER (2005): Efficacy of *Metarhizium anisopliae* against *Hyalesthes obsoletus* (Auchenorrhyncha: Cixiidae).- Vitis 44(2): 99-100.

NEUHAUSER, S., HUBER, L. & M. KIRCHMAIR (2005): *Sorosphaera veronicae*, neu für Österreich.- Österr. Z. Pilzk. 14: 303-307.

PETERSON, K., HUBER, L., EISENBEIS, G., PORTEN, L. & E.H. RÜHL (2003): Nematode communities in soils from three different vineyards infested with *Daktulosphaira vitifoliae*.- Acta Horticulturae 617: 135-137.

PORTEN, M. & L. HUBER (2003a): An assessment method for the quantification of *Daktulosphaira vitifoliae* (Fitch) (Hem., Phylloxeridae) populations in the field.- J. Appl. Ent. 127: 157-162.

PORTEN, M. & L. HUBER (2003b): Ökologischer Weinbau in Deutschland - Eine realistische Prognose.- Das Deutsche Weinmagazin 26: 26-30.

PORTEN, M. & L. HUBER (2003c): Weiße Burgundersorten und ihre Klone.- Das Deutsche Weinmagazin 13: 22-27.

PORTEN, M. & L. HUBER (2004a): Der Scheibenpflug: Die optimale Lösung für die Unterstockbodenpflege?- Die Winzerbörse 8: 10-12.

PORTEN, M. & L. HUBER (2004b): Ökonomie der Umstellung auf den ökologischen Weinbau - Was kostet die Umstellung?- Das Deutsche Weinmagazin 20: 24-29.

PORTEN, M. & L. HUBER (2004c): Hat ökologischer Weinbau eine Zukunft?- Die Winzer Zeitschrift 8: 28-29.

PORTEN, M. & L. HUBER (2004d): Bodenbearbeitung: Die Wunderscheibe.- Das Deutsche Weinmagazin 9/10: 62-63.

PORTEN, M., HUBER, L. & B. FADER (2004): Economic assessment of the conversion phase by means of contribution margin accounting considering as example a wine-growing estate in the wine-region 'Rheinhessen'.- Intervitis Interfructa, 12. - 13. May 2004, Stuttgart, Germany: 112 - 122.

PORTEN, M. & L. HUBER (2005a): Der Scheibenpflug: Eine Innovation in der Unterstockbodenpflege.- Die Winzer-Zeitschrift 20: 38-39.

PORTEN, M. & L. HUBER (2005b): Ökologische Perspektiven.- Das Deutsche Weinmagazin 11: 28.

PORTEN, M. & L. HUBER (2007): Chemisches Stockausbrechen - neue Möglichkeiten durch abgeschirmte Unterstockabspritzgeräte mit Überzeilenrahmen - ein neuer Trend?- Der Deutsche Weinbau (in press).

SCHMID, J., MANTY, F., HUBER, L., PORTEN, M. & E.H. RÜHL (2005): Experience with rootstock varieties in Germany.- Proc. of the conference: Grapevine Rootstocks: Current use, research, and application, 5. February 2005, Osage Beach, USA: 14-24.

6.2 Recherchierte Literatur

ABBAS, H.K. & R.T. RILEY (1996): The presence and phytotoxicity of fumonisins and AAL-toxin in *Alternaria alternata*.- Toxicon 34(1): 133-136.

ABRUNHOSA, L., PATERSON, R.R.M., KOZAKIEWICZ, Z., LIMA, N. & A. VENANCIO (2001): Mycotoxin production from fungi isolated from grapes.- Letters in Applied Microbiology 32(4): 240-242.

ACHENBACH, L.A., PATRICK, J. & L. GRAY (1996): Use of RAPD markers as a diagnostic tool for the identification of *Fusarium solani* isolates that cause soybean sudden death syndrome.- Plant Disease 80(11): 1228-1232.

ADAMS, M.J. (1991): Transmission of plant viruses by fungi.- Ann. Appl. Biol. 118: 479-492.

ADAMS, M.J. & A.G. SWABY (1988): Factors affecting the production and motility of zoospores of *Polymyxa graminis* and their transmission of barley yellow mosaic virus (BaYMV).- Ann. Appl. Biol. 112: 69-78.

AHRENS, K. (1972): Columella - Über Landwirtschaft.- Akademie-Verlag, Berlin.

AIST, J.R. & P.H. WILLIAMS (1971): The cytology and kinetics of cabbage root hair penetration by *Plasmodiophora brassicae* Wor.- Canad. J. Bot. 49: 2023-2034.

AIT BARKA, E., BELARBI, A., HACHET, C., NOWAK, J. & J.-C. AUDRAN (2000): Enhancement of *in vitro* growth and resistance to gray mould of *Vitis vinifera* co-cultured with plant growth-promoting rhizobacteria.- FEMS Microbiology Letters 186: 91-95.

AIT BARKA, E., GOGNIES, S., NOWAK, J., AUDRAN, J.-C. & A. BELARBI (2002): Inhibitory effect of endophyte bacteria on *Botrytis cinerea* and its influence to promote the grapevine growth.- Biological control 24: 135-142.

AK, O., BAKIR, U. & T. GURAY (1998): Production, purification and characterization of chitosanase from *Penicillium spinulosum*.- Biochemical Archives 14(4): 221-225.

AKAMATSU, H., ITOH, Y., KODAMA, M., OTANI, H. & K. KOHMOTO (1997): AAL-toxin-deficient mutants of *Alternaria alternata* tomato pathotype by restriction enzyme-mediated integration.- Phytopathology 87(9): 967-972.

ALABOUVETTE, C. & C. STEINBERG (2006): The soil as a reservoir for antagonists to plant diseases.- In: EILENBERG, J. & H.M.T. HOKKANEN (Eds.): An Ecological and societal approach to biological control.- Springer, Dordrecht: 123-144.

ALABOUVETTE, C., COUTEAUDIER, Y. & J. LOUVET (1982): Comparaison de la réceptivité de différents sols et substrats de culture aux fusarioses vasculaires.- Agronomie 2(1): 1-6.

ALABOUVETTE, C., COUTEAUDIER, Y. & J. LOUVET (1985): Soils suppressive to *Fusarium* wilt: mechanisms and management of suppressiveness.- In: PARKER, C.A., ROVIRA, A.D., MOORE, K.J., WONG, P.T.W. & J.F. KOLLMORGEN (Eds.): Ecology and management of soilborne plant pathogens.- American Phytopathological Society, St. Paul: 101-106.

ALBRECHT, A., HEISER, I., BAKER, R., NEMEC, S., ELSTNER, E.F. & W. OSSWALD (1998): Effects of the *Fusarium solani* toxin dihydrofusarubin on tobacco leaves and spinach chloroplasts.- Journal of Plant Physiology 153(3-4): 462-468.

ALEF, K. (1991): Methodenhandbuch Mikrobiologie.- Ecomed, Landsberg/Lech.

WOLLUM, A.G. (1982): Cultural methods for soil microorganisms.- In: PAGE, A.L., MILLER, R.H. & D.R. KEENEY (Eds.): Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.- Agronomy, Madison: 781-802.

WOODHAM, R.C. & D. MCE. ALEXANDER (1966): The effect of root temperatur on development of small fruiting sultana vines.- Vitis 5: 345 - 350.

WORASATIT, N., SIVASITHAMPARAM, K., GHISALBERTI, E.L. & C. ROWLAND (1994): Variation in pyrone production, lytic enzymes and control of *Rhizoctonia* root-rot of wheat among single-spore isolates of *Trichoderma koningii*.- Mycological Research 98(12): 1357-1363.

WORLD COMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (1987): On our future.- Official records of the General Assemply 42.

WORONIN, M. (1878): *Plasmodiophora brassicae*. Urheber der Kohlpflanzen Hernie.- Jahrbuch für Wissenschaftliche Botanik 11: 548-574.

WOSTEN, H.A.B., VAN WETTER, M.A., LUGONES, L.G., VAN DER MEI, H.C., BUSSCHER, H.J. & J.G.H. WESSELS (1999): How a fungus escapes the water to grow into the air.- Current Biology 9(2): 85-88.

WÜRZNER, O. (1928): Die Düngung der Reben.- Paul Parey, Berlin.

YAALON, D.H. (2000): Down to earth: Why soil - and soil science - matters.- Nature 407: 301.

YACHEVSKIY, A.A. (1906): Vine dieseases [russ.].- Shtiintsa, St. Petersburg.

YANG, D.Q. & L. ROSSIGNOL (1999): Evaluation of *Gliocladium roseum* against wood-degrading fungi *in vitro* and on major Canadian wood species.- Biocontrol Science and Technology 9(3): 409-420.

YAO, C.L., CONWAY, W.S. & C.E. SAMS (1996): Purification and characterization of a polygalacturonase produced by *Penicillium expansum* in apple fruit.- Phytopathology 86(11): 1160-1166.

YAO, Y.J. & B.M. SPOONER (1999): Roesleriaceae, a new family of Ascomycota, and a new species of *Roeslerina*.- Kew Bulletin 54: 683-693.

YEATES, G.W.(1996): Diversity of nematode faunae under three vegetation types on a pallic soil in Otago, New Zealand.- New Zealand Journal of Zoology 23: 401-407.

YEATES, G.W. & T. BONGERS (1999): Nematode diversity in agroecosystems.- Agriculture Ecosystems & Environment 74: 113-135.

YEATES, G.W., BONGERS, T., DE GOEDE, R.G.M., FRECKMAN, D.W. & S.S.GEORGIEVA (1993): Feeding habits in soil nematode families and genera – an outline for soil ecologist.- J. Nematol. 25: 315-331.

YORK, C.A. & P.M. Canaway (2000): Water repellent soils as they occur on UK golf greens.- Journal of Hydrology 231: 126-133.

YU, H. & J.C. SUTTON (1997): Morphological development and interactions of *Gliocladium roseum* and *Botrytis cinerea* in raspberry.- Canadian Journal of Plant Pathology 19(3): 237-246.

YUKAWA, Y. & S. TANAKA (1979): Scanning electron microscope observations on resting sporangia of *Plasmodiophora brassicae* in clubroot tissues after alcohol cracking.- Canadian Journal of Botany 57: 2528-2532.

YVON, M. & F. LECLANT (1999): Une particularité peu connue du cylce biologique du Phylloxéra de la vigne, *Daktulosphaira vitifoliae* (Fitch) (Hemiptera, Phylloxeridae).- Revue Francaise d'Entomologie 21(3): 109-114.

ZARNOWSKI, R., LEWICKA T. & S.J. PIETR (2000): Production and secretion of 5-n-alkyl-resorcinols by *Fusarium culmorum*.- Journal of Biosciences 55(9-10): 846-848.

ZERA, A.J. & R.F. DENNO (1997): Physiology and ecology of dispersal polymorphism in insects.- Annu. Rev. Entomol. 42: 207-231.

ZIELINSKA, M. & M. MICHNIEWICZ (2001): The effect of calcium on the production of ethylene and abscisic acid by fungus *Fusarium culmorum* and by wheat seedlings infected with that pathogen.- Acta Physiologiae Plantarum 23(1): 79-85.

ZWEIGELT, F. (1916): Zur Frage der Reblausfestigkeit amerikanischer Reben.- Allgemeine Wein-Zeitung 50: 403-406.

ZWEIGELT, F. (1940): Die Gallenbildung im Lichte der Spezialisation und Immunität.- Biologia generalis 16: 573-592.

7 ANHANG

7.1 Abbildungen

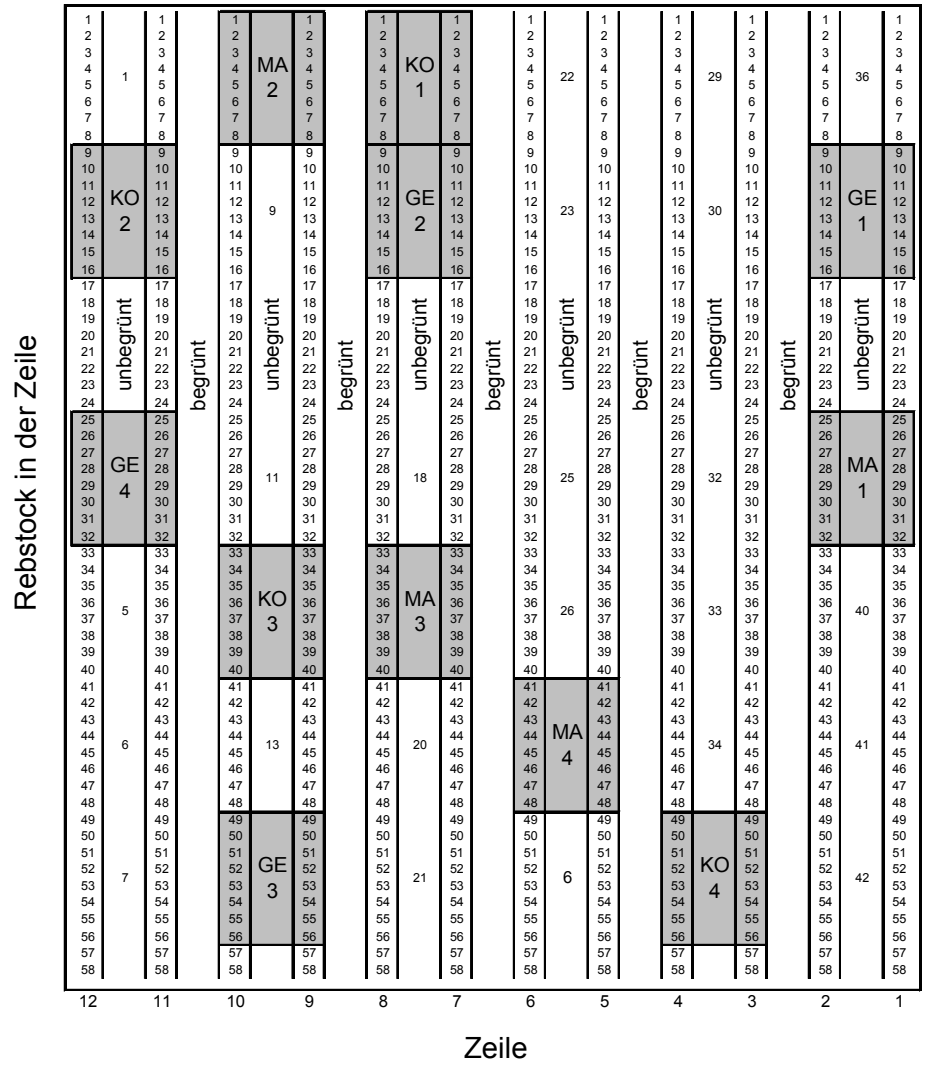


Abb. 7-1: Lage der Versuchsvarianten (grau) im Rahmen der Untersuchungen zur biologischen Kontrolle von *D. vitifoliae* auf der Versuchsfläche R/5C im Jahr 2003. Versuchsvarianten: GE = Gerste, KO = Kontrolle, MA = Präparat *Metarhizium* Ma500, 1 bis 4 = Wiederholungen; 1-42 Parzelleneinteilung für die Zufallsauswahl der Versuchsparzellen. Begrünte und unbegrünte Fahrgassen alternierend.

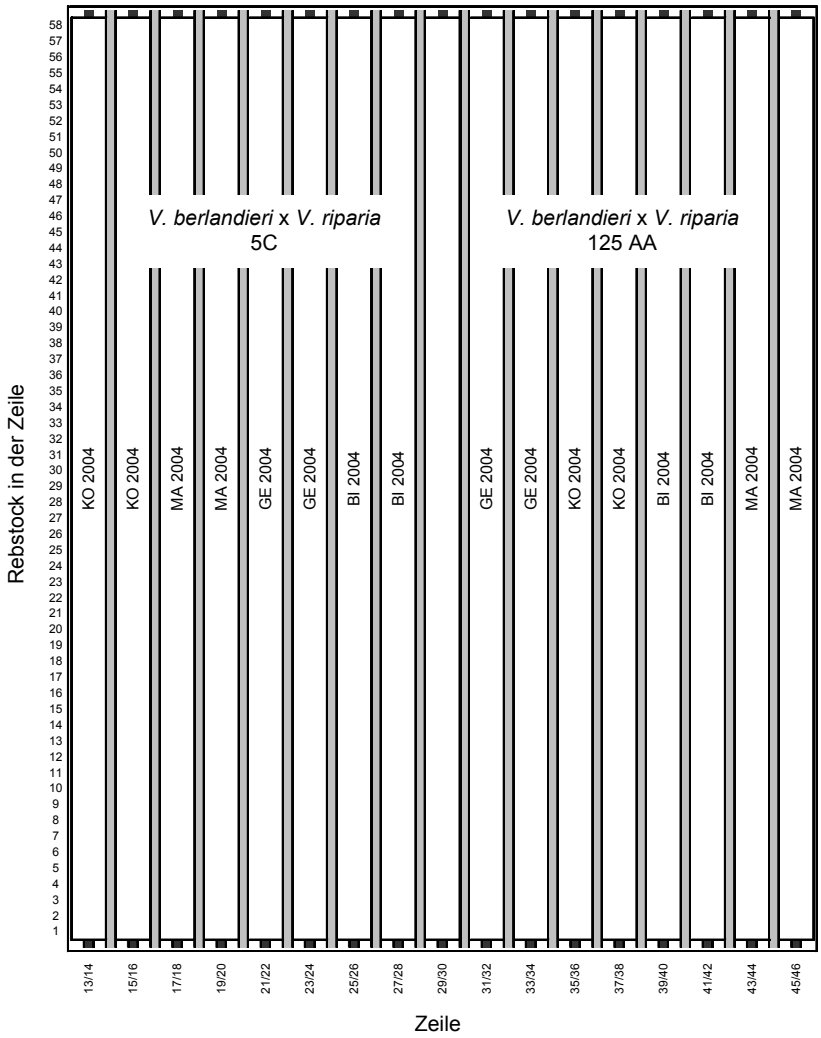


Abb. 7-2: Lage der Versuchsvarianten im Rahmen der Untersuchungen zur biologischen Kontrolle von *D. vitifoliae* auf der Versuchsfläche R/5C im Jahr 2004. Versuchsvarianten: GE = Gerste, KO = Kontrolle, MA = Präparat *Metarhizium* Ma500, BI = Präparat *Metarhizium* Bipesco 5. Begrünte (grau) und unbegrünte (schwarz) Fahrgassen alternierend. Zeilen 13 bis 28: Unterlagssorte 5C, Zeilen 31 bis 46: Unterlagssorte 125 AA.

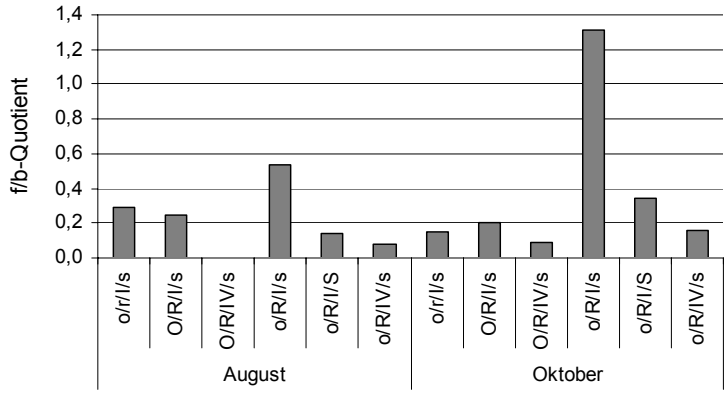


Abb. 7-3: Verhältnis der fungivoren (f) und bakterivoren (b) Nematoda basierend auf ihrer Abundanz [Individuen / 100 g TM Boden] auf den Versuchsflächen o/r, O/R und o/R, Düngevariante I, sowie der Düngevariante IV der Versuchsflächen o/R und O/R in den Monaten August und Oktober 2000.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

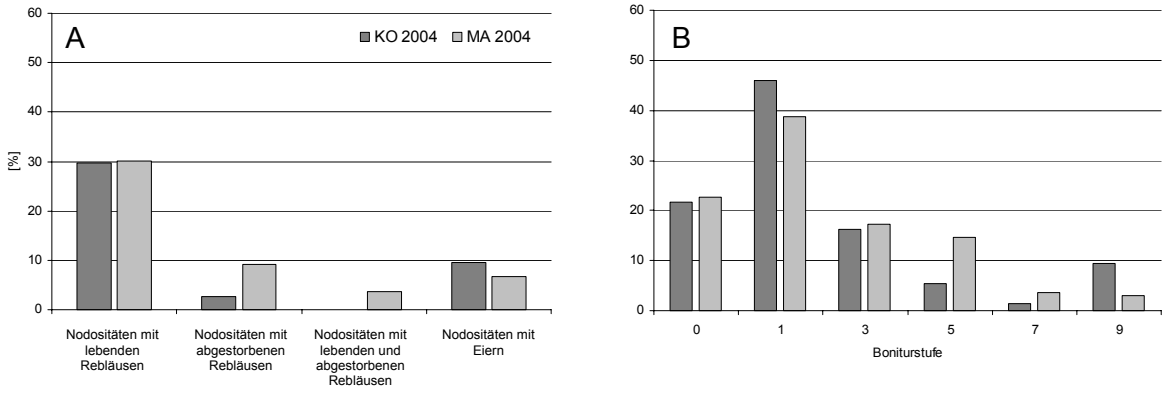


Abb. 7-4: Befall der Rebwurzeln mit Reblaus der Versuchsvarianten der Fläche M/Riesling im August 2004 (Laborzählung).
A: Anteil [%] der mit lebenden und toten Rebläusen (alle Stadien) und Reblauseiern besetzten Nodositäten an der Gesamtzahl untersuchter Nodositäten; stark verbraunte (alte) und verschimmelte Nodositäten wurden nicht berücksichtigt.
B: Anteil [%] der Nodositäten je Boniturstufe (siehe Tab. 2-1; in Anlehnung an PORTEN & HUBER 2003) an der Gesamtzahl untersuchter Nodositäten.
n(KO2004) = 74, n(MA2004) = 163.
Abkürzungen siehe Tab. 2-6.

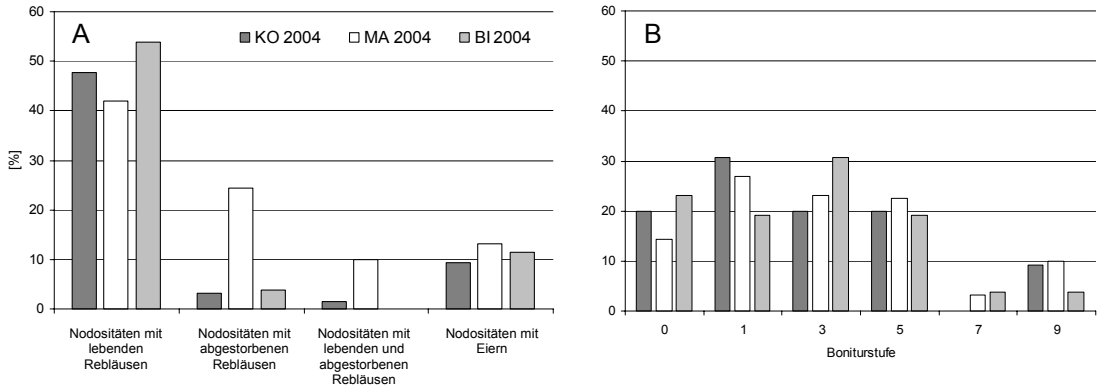
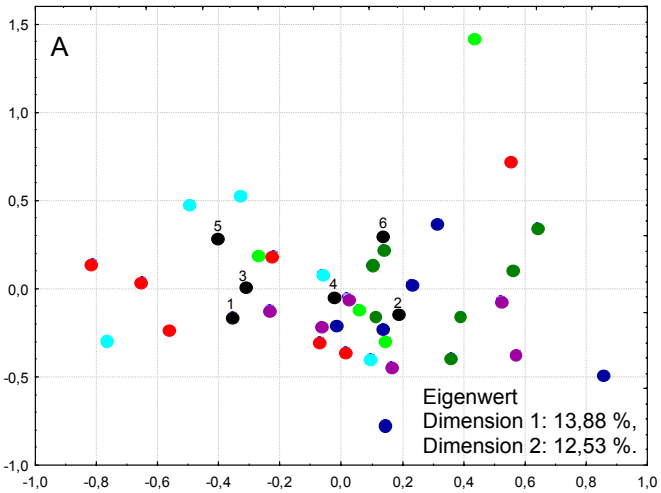
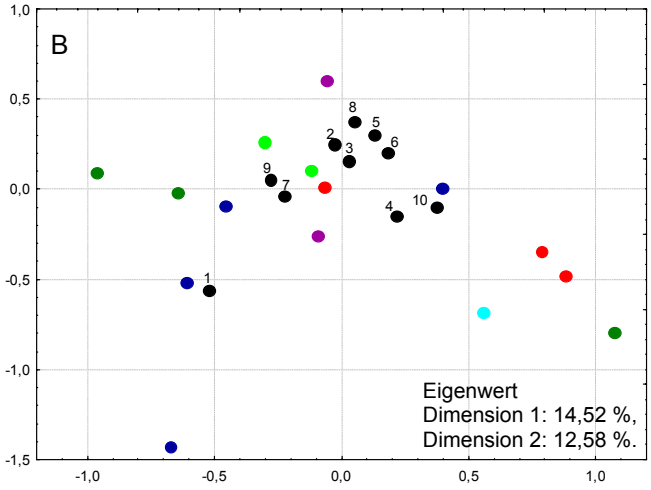


Abb. 7-5: Befall der Rebwurzeln mit Reblaus der Versuchsvarianten der Fläche M/26G im August 2004 (Laborzählung).
A: Anteil [%] der mit lebenden und toten Rebläusen (alle Stadien) und Reblauseiern besetzten Nodositäten an der Gesamtzahl untersuchter Nodositäten; verbraunte und verschimmelte Nodositäten wurden nicht berücksichtigt. B: Anteil [%] der Nodositäten je Boniturstufe (siehe Tab. 2-1; in Anlehnung an PORTEN & HUBER 2003) an der Gesamtzahl untersuchter Nodositäten.
n(KO2004) = 65, n(MA2004) = 26, n(BI 2004) = 160.
Abkürzungen siehe Tab. 2-6.





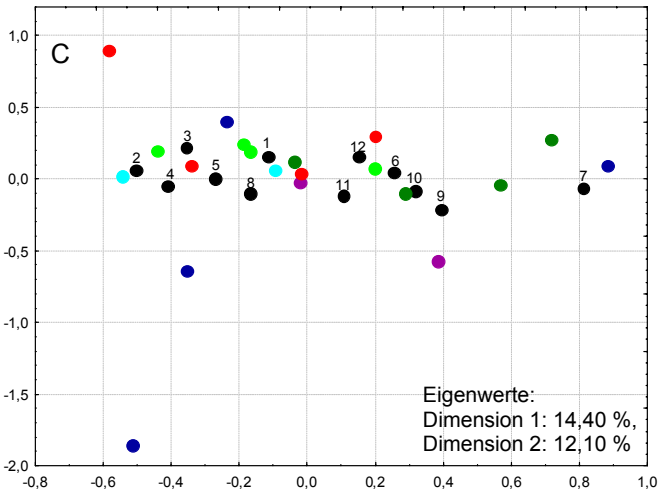


Abb. 7-6: Ergebnisse der Korrespondenzanalyse der Faunazönosen auf den Versuchsvarianten KO, GE und MA der Versuchsfläche R/5C im Jahr 2003.
A: 08.07.; B: 02.09.; C: 06.10.
Es sind nur die Tiergruppen der Gruppe 'Rest' (vergleiche Abb. 3-31; ohne Acari und Collembola) berücksichtigt, die nicht über alle Beprobungstermine oder auf allen Versuchsvarianten vorkamen.
Zahlen bezeichnen Punkte, die durch Datenpunkte mehrerer Parzellen gebildet werden, aus graphischen Gründen aber nicht aufgelöst werden können:
A (1: KO1; 2: KO2; 3: GE1, MA1; 4: GE2; 5: MA1; 6: MA1, MA2).
B (1: KO2; 2: KO2; 3: KO1, GE1, GE2, MA2; 4: KO1, MA1; 5: KO1, MA2; 6: KO1, GE1, MA1; 7: KO1, GE2; 8: GE2, MA1; 9: GE2, MA1; 10: MA1
C (1: KO1, MA1; 2: KO1, GE2; 3: KO1, GE1; 4: KO1; 5: KO1, GE1, GE2; 6: KO2, MA2; 7: KO2, MA2; 8: KO2, GE1, MA1; 9: KO2, GE2; 10: GE2; 11: GE2, MA2; 12: MA1.
Buchstaben hinter den Zahlen bezeichnen die Bodentiefen (1 = 0-10 cm; 2 = 10-20 cm).

- KO 0-10 cm
- KO 10-20 cm
- GE 0-10 cm
- GE 10-20 cm
- MA 0-10 cm
- MA 10-20 cm
- diverse, s.o.

Daten aus HUBER et al. 2004

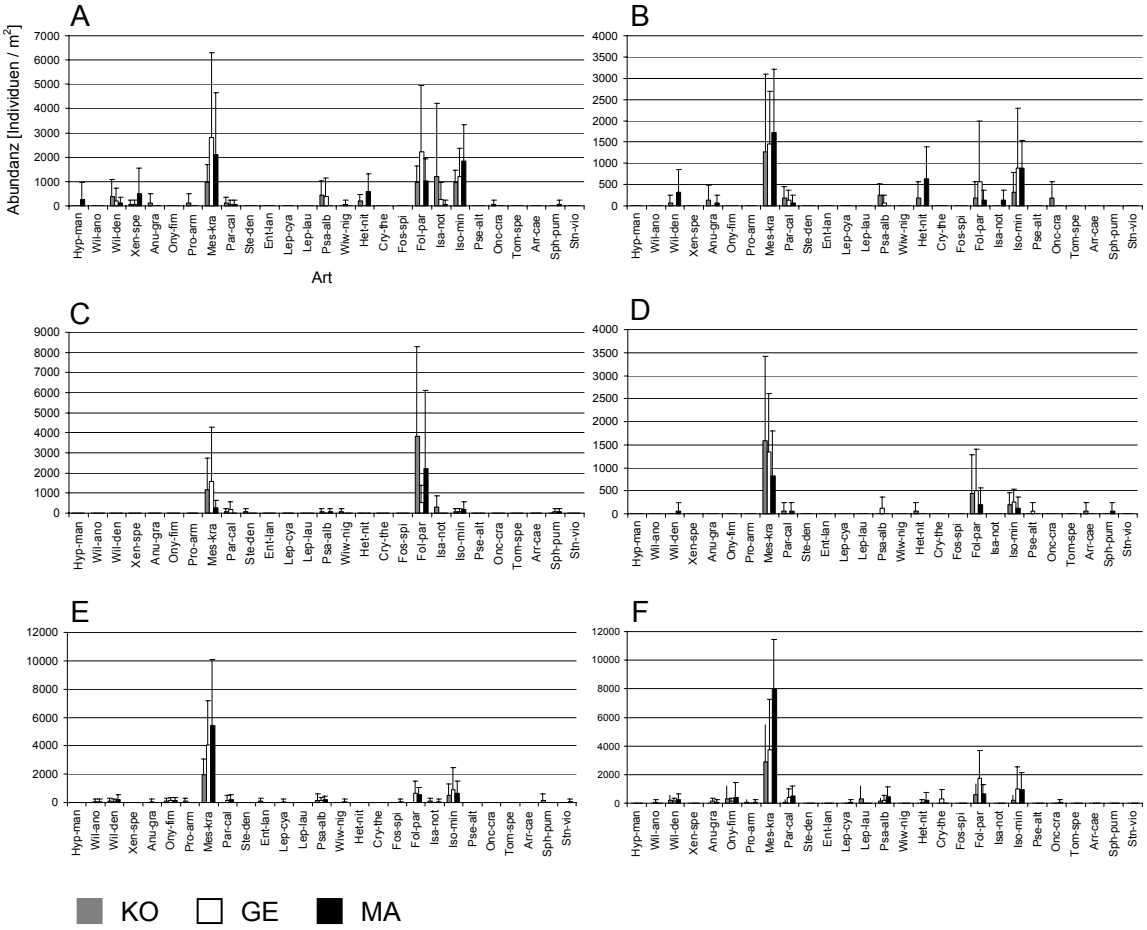


Abb. 7-7: Abundanz [Individuen / m^2] der Collembola im Jahr 2003 der Versuchsvarianten GE, KO und MA der Versuchsfläche R/5C.
A: 1. PN (08.07.) 0-10 cm; B: 1. PN (08.07.) 10-20 cm; C: 2. PN (02.09.) 0-10 cm; D: 2. PN (02.09.) 10-20 cm; E: 3. PN (06.10.) 0-10 cm; F: 3. PN (06.10.) 10-20 cm.
Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-32.
Abkürzungen siehe Tab. 2-6. PN = Probennahme.
Entomobryidae: Ent-lan *Entomobrya lanuginosa* (Nicolet 1841), Het-nit *Heteromurus nitidus* (Templeton 1835), Lep-cya *Lepidocyrtus cyaneus* (Tullberg, 1871), Lep-lau *Lepidocyrtus lanuginosus* (Gmelin 1788), Psa-alb *Pseudosinella alba* (Packard 1873), Wiw-nig *Willowsia nigromaculata* (Lubbock 1873); Hypogastruridae: Hyp-man *Hypogastrura manubrialis* (Tullberg 1869), Wil-ano *Willemia anolphthalma* (Börner 1901), Wil-den *Willemia denisi* (Mills 1932), Xen-spe *Xenylla spec*. (Tullberg 1869); Isotomidae: Cry-the *Cryptopygos thermophilus* (Axelson, 1900), Fos-spi *Folsomia spinosa* (Kseneman 1936), Fol-par *Folsomides parvulus* (Stach 1922), Isa-not *Isotoma notabilis* (Schäffer 1896), Iso-min *Isotomiella minor* (Schäffer 1896), Pse-alt *Pseudanurophorus alticolus* (Bagnall 1949); Neanuridae: Anu-gra *Anurida granaria* (Nicolet 1847); Oncopoduridae: Onc-cra *Oncopodura crassicornis* (Shoebotham 1911); Onychiuridae: Mes-kra *Mesaphorura krausbaueri* (Börner 1901), Ony-fim *Onychiurus fimetarius* (Linnaeus 1767), Par-cal *Paratullbergia callipygos* (Börner 1902), Pro-arm *Protaphorura armata* (Tullberg 1896), Ste-den *Stenaphorura denisi* (Bagnall 1935); Sminthuridae: Arr-cae *Arrhopalites caecus* (Tullberg 1871), Sph-pum *Sphaeridia pumilis* (Krausbauer 1898), Stn-vio *Stenacidia violacea* (Teuter, 1881); Tomoceridae: Tom-spe *Tomocerus spec*. (Nicolet 1841)
Daten aus HUBER et al. 2004.

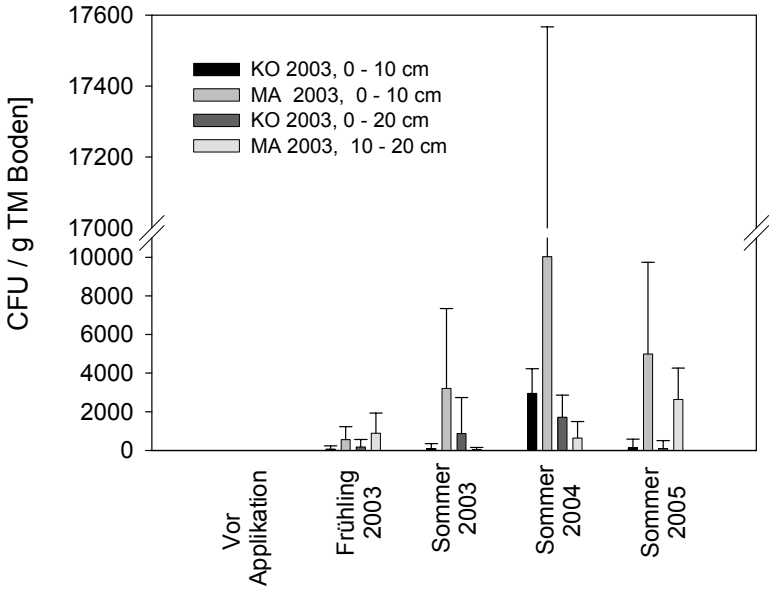


Abb. 7-8: Dichte (CFU/ g TM Boden) von *M. anisopliae* im Boden der Versuchsfläche R/5C in den Jahren 2003 bis 2005
Daten aus HUBER & KIRCHMAIR 2005.
Abkürzungen siehe Tab. 2-6.

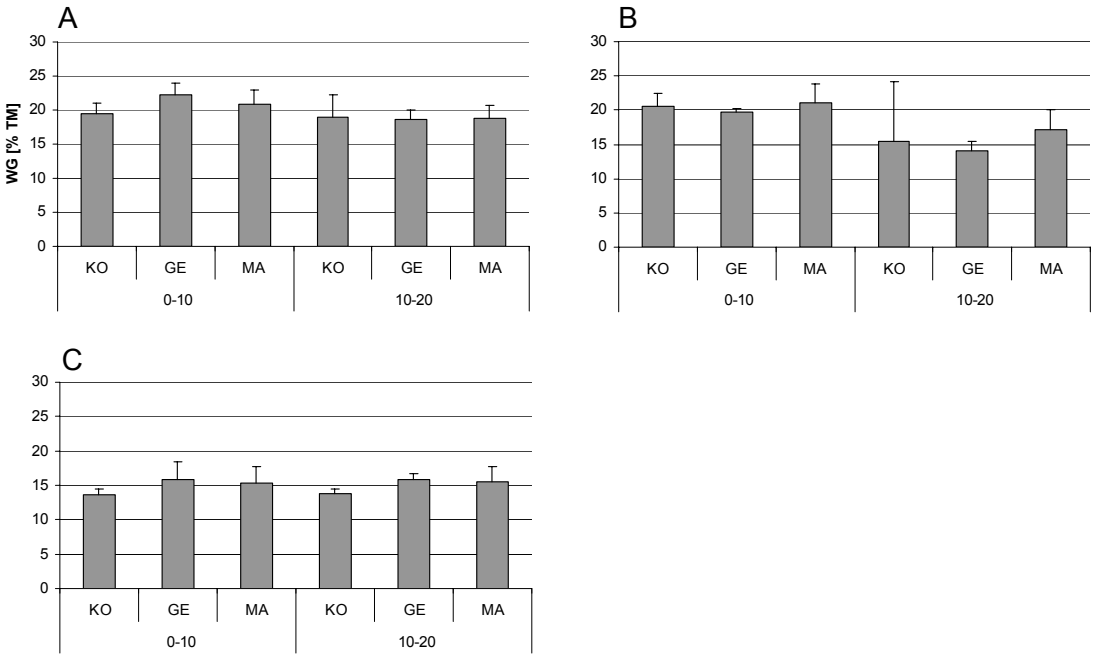


Abb. 7-9: Wassergehalt [% TM] (Mittelwert und Standardabweichung) der Bodenproben der Versuchsvarianten GE, KO und MA der Versuchsfläche R/5C in den Tiefenstufen 0-10 cm und 10-20 cm im Jahr 2003.
A: 08.07., B: 02.09., C: 06.10.
Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-34.
Abkürzungen siehe Tab. 2-6.

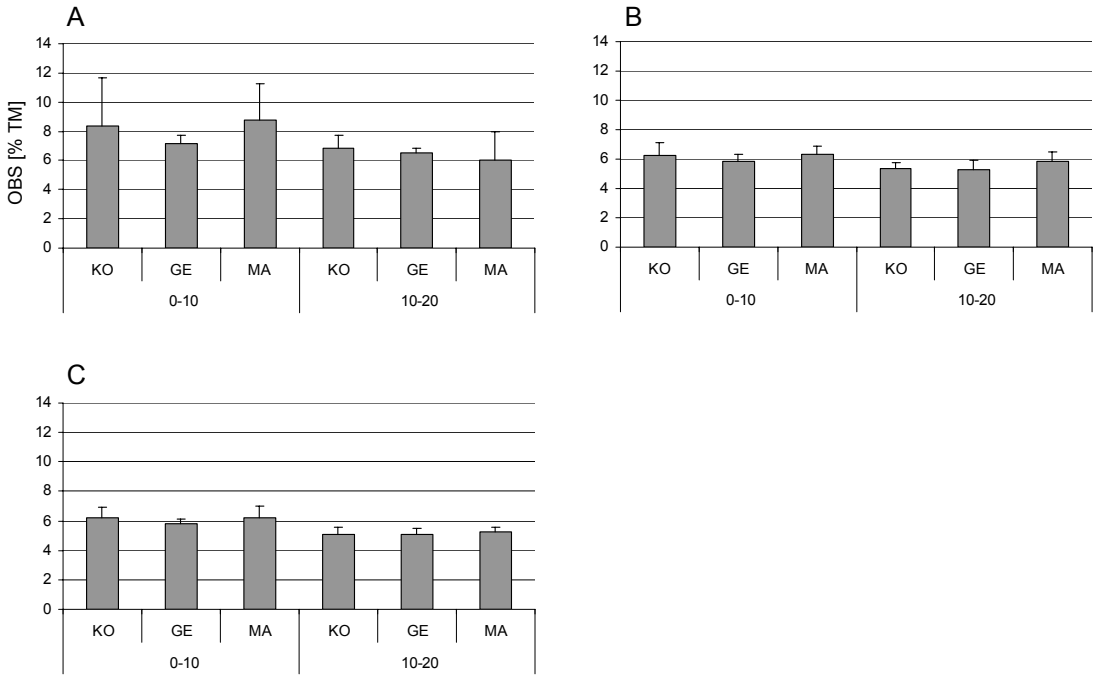


Abb. 7-10: Organische Bodensubstanz (OBS) [% TM] (Mittelwert und Standardabweichung) der Bodenproben der Versuchsvarianten GE, KO und MA der Versuchsfläche R/5C in den Tiefenstufen 0-10 cm und 10-20 cm im Jahr 2003.
A: 08.07., B: 02.09., C: 06.10.
Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-34.
Abkürzungen siehe Tab. 2-6.

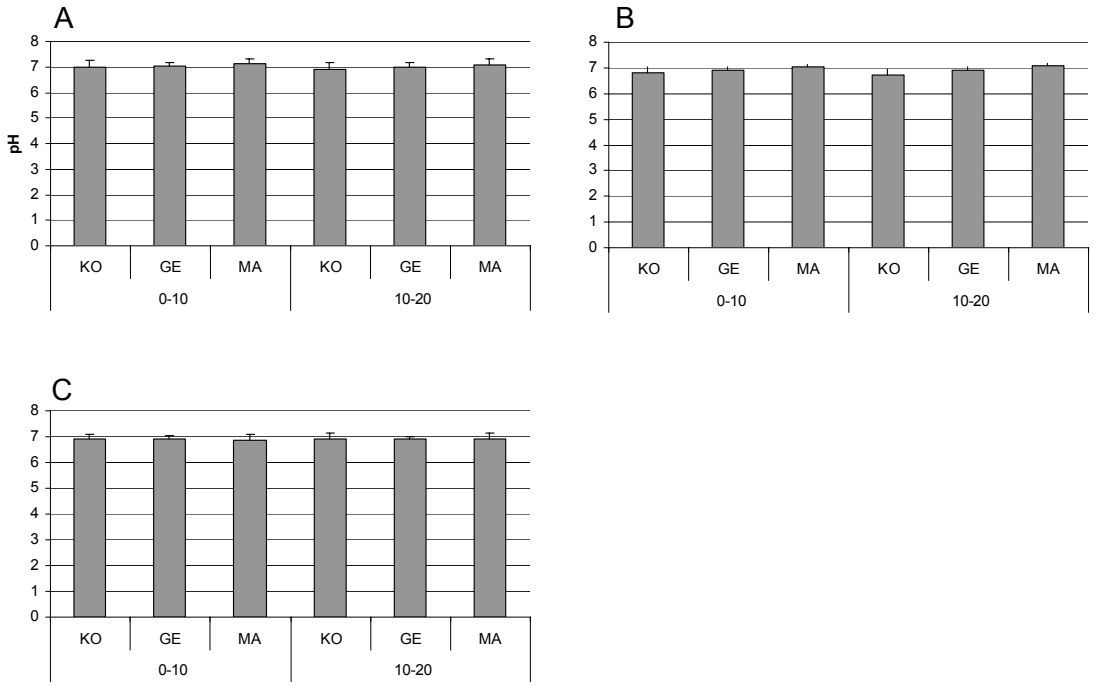


Abb. 7-11: pH-Wert (Mittelwert und Standardabweichung) der Bodenproben der Versuchsvarianten GE, KO und MA der Versuchsfläche R/5C in den Tiefenstufen 0-10 cm und 10-20 cm im Jahr 2003.
A: 08.07., B: 02.09., C: 06.10.
Signifikanzwerte und Stichprobenumfang siehe Tab. 7-34.
Abkürzungen siehe Tab. 2-6.

7.2 Tabellen

Tab. 7-1: Verzeichnis der auf der Versuchsfläche O/R (Bodenbiologische Untersuchungen) bzw. R/5C (Biologische Kontrolle Reblaus) in den Jahren 2000 bis 2004 eingesetzten Pflanzenschutzmittel (Fungizide, Herbizide und Insektizide).
* Zulassung vom Bundesministerium für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit zum 10. Sep. 2003 widerrufen.
** Zulassung endete am 31.12.2004.
*** hier aufgrund der fungiziden Wirkung (Echter Mehltau) nicht zur Blattdüngung eingesetzt.

Datum	Handelsname	Art	Wirkstoffname	Wasser-aufwand [ltr. / ha]	Mittel-aufwand [kg / ha] od. [ltr. / ha]	Anteil Wirkstoff im Mittel [%]
			Jahr 2000			
26. Apr	Roundup Ultra	H	Glyphosat	180	2	36
17. Mai	Polyram WG	F	Metiram	240	1,6	70
17. Mai	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	240	5	80
17. Mai	ME 605 *	I	Parathion-Methyl	240	0,2	40
30. Mai	Polyram WG	F	Metiram	240	1,6	70
30. Mai	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	240	6	80
13. Jun	Ridomil Gold Combi	F	Metalaxyl-M	360	1,8	4,9
		F	Folpet			40
13. Jun	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	360	5	80
27. Jun	Ridomil Gold Combi	F	Metalaxyl-M	420	2,4	4,9
		F	Folpet			40
27. Jun	Prosper	F	Spiroxamine	420	0,6	50
01. Jul	Roundup Ultra	H	Glyphosat	180	2	36
11. Jul	Aktuan **	F	Dithianon	420	1,5	25
		F	Cymoxanil			10
11. Jul	Prosper	F	Spiroxamine	420	0,6	50
11. Jul	ME 605 *	I	Parathion-Methyl	420	0,8	40
			Jahr 2001			
03. Mai	Roundup Ultra	H	Glyphosat	180	1,6	36
21. Mai	Dithane-Ultra WP	F	Mancozeb	240	1,6	80
21. Mai	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	240	6	80
05. Jun	Dithane-Ultra WP	F	Mancozeb	240	1,6	80
05. Jun	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	240	8	80
05. Jun	ME 605 *	I	Parathion-Methyl	240	0,2	40
16. Jun	Ridomil Gold Combi	F	Metalaxyl-M	360	1,8	4,9
		F	Folpet			40
16. Jun	Prosper	F	Spiroxamine	360	0,6	50
26. Jun	Roundup Ultra	H	Glyphosat	180	2	36
29. Jun	Aktuan **	F	Dithianon	420	1,5	25
		F	Cymoxanil			10
29. Jun	Topas	F	Penconazol	420	0,24	10
29. Jun	ME 605 *	I	Parathion-Methyl	420	0,8	40
13. Jul	Aktuan **	F	Dithianon	420	1,5	25
		F	Cymoxanil			10
13. Jul	Quadris	F	Azoxystrobin	420	1,2	25
27. Jul	Funguran	F	Kupferoxychlorid	420	5	75,6
27. Jul	Topas	F	Penconazol	420	0,24	10
27. Jul	ME 605 *	F	Parathion-Methyl	420	0,8	40
11. Aug	Funguran	F	Kupferoxychlorid	420	6	75,6
11. Aug	Prosper	F	Spiroxamine	420	0,6	50
11. Aug	Bittersalz ***	F	MgO	420	4	16

Tab. 7-1 Fortsetzung

Datum	Handelsname	Art	Wirkstoffname	Wasser-aufwand [ltr. / ha]	Mittel-aufwand [kg / ha] od. [ltr. / ha]	Anteil Wirkstoff im Mittel [%]
			Jahr 2002			
29. Apr	Roundup Ultra	H	Glyphosat	180	1,6	36
20. Mai	Polyram WG	F	Metiram	240	1,6	70
20. Mai	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	240	8	80
26. Mai	Polyram WG	F	Metiram	240	1,6	70
26. Mai	Castellan	F	Fluquinconazol	240	0,16	25
09. Jun	Aktuan **	F	Dithianon	360	1,5	25
			Cymoxanil			10
09. Jun	Scala	F	Pyrimethanil	360	1,5	40
09. Jun	Prosper	F	Spiroxamine	360	0,6	50
24. Jun	Melody Combi	F	Folpet	420	3,2	56,3
		F	Iprovalicarb			9
24. Jun	Vento	F	Quinoxyfen	420	0,4	19,6
		F	Fenarimol			6
07. Jul	Roundup Ultra	H	Glyphosat	180	1,6	36
08. Jul	Polyram WG	F	Metiram	420	3,2	70
08. Jul	Prosper	F	Spiroxamine	420	0,8	50
08. Jul	Switch	F	Cyprodinil	420	0,96	37,5
			Fludioxonil			25
08. Jul	Bittersalz ***	F	MgO	420	4	16
06. Aug	Aktuan **	F	Dithianon	420	2	25
		F	Cymoxanil			10
06. Aug	Vento	F	Quinoxyfen	420	0,4	19,6
		F	Fenarimol			6
06. Aug	Bittersalz ***	F	MgO	420	4	16
			Jahr 2003			
25. Apr	Roundup Ultra	H	Glyphosat	180	1,6	36
12. Mai	Polyram WG	F	Metiram	240	1,6	70
12. Mai	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	240	8	80
26. Mai	Polyram WG	F	Metiram	240	1,6	70
26. Mai	Castellan	F	Fluquinconazol	240	0,16	25
09. Jun	Aktuan **	F	Dithianon	360	1,5	25
			Cymoxanil			10
09. Jun	Scala	F	Pyrimethanil	360	1,5	40
09. Jun	Prosper	F	Spiroxamine	360	0,6	50
24. Jun	Melody Combi	F	Folpet	420	3,2	56,3
		F	Iprovalicarb			9
24. Jun	Vento	F	Quinoxyfen	420	0,4	19,6
		F	Fenarimol			6
07. Jul	Roundup Ultra	H	Glyphosat	180	1,6	36
08. Jul	Polyram WG	F	Metiram	420	3,2	70
08. Jul	Prosper	F	Spiroxamine	420	0,8	50
08. Jul	Switch	F	Cyprodinil	420	0,96	37,5
			Fludioxonil			25
08. Jul	Bittersalz ***	F	MgO	420	4	16
06. Aug	Aktuan **	F	Dithianon	420	2	25
		F	Cymoxanil			10
06. Aug	Vento	F	Quinoxyfen	420	0,4	19,6
		F	Fenarimol			6
06. Aug	Bittersalz ***	F	MgO	420	4	16

Tab. 7-1 Fortsetzung

Datum	Handelsname	Art	Wirkstoffname	Wasser-aufwand [ltr. / ha]	Mittel-aufwand [kg / ha] od. [ltr. / ha]	Anteil Wirkstoff im Mittel [%]
			Jahr 2004			
18. Mai	Roundup Ultra	H	Glyphosat	180	1,6	36
24. Mai	Polyram WG	F	Metiram	240	1,6	70
24. Mai	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	240	6	80
07. Jun	Polyram WG	F	Metiram	240	1,6	70
07. Jun	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	240	8	80
21. Jun	Ridomil Gold Combi	F	Metalaxyl-M	360	1,8	4,9
		F	Folpet			40
21. Jun	Prosper	F	Spiroxamine	360	0,6	50
08. Jul	Topas	F	Penconazol	420	0,24	10
08. Jul	Folpan 80 WDG	F	Folpet	420	1,6	80
21. Jul	Roundup Ultra	H	Glyphosat	180	1,6	36
22. Jul	Folpan 80 WDG	F	Folpet	420	1,6	80
22. Jul	Prosper	F	Spiroxamine	420	0,8	50
05. Aug	Systhane 20 EW	F	Myclobutanil	420	0,24	20
05. Aug	Funguran	F	Kupferoxychlorid	420	4	75,6
05. Aug	Bittersalz ***	F	MgO	420	4	16
05. Aug	Systhane 20 EW	F	Myclobutanil	420	0,24	20
05. Aug	Funguran	F	Kupferoxychlorid	420	4	75,6
05. Aug	Bittersalz ***	F	MgO	420	4	16
06. Aug	Scala	F	Pyrimethanil	420	2	40

Tab. 7-2: Stockarbeiten und Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf der Versuchsfläche O/R (Bodenökologische Untersuchungen) bzw. R/5C (Biologische Kontrolle Reblaus) in den Jahren 2000 bis 2004.
Bearbeitungsmaßnahmen zur Anlage von Feldversuchen sind nicht berücksichtigt, siehe hierzu Kap. 2.2 und 2.4.

Bearbeitungsart	Datum				
	2000	2001	2002	2003	2004
Stockarbeiten					
Ausbrechen	15. Mai	22. Mai	28. Mai	08. Mai	07. Jun
Heften	23. Mai.	29. Mai	04. Jun	14. Mai	11. Jun
	23. Jun.	28. Jun	26. Jun	18. Jun	29. Jun
Laubschnitt	27. Jun	02. Jul	29. Jun	24. Jun	02. Jul
	25. Jul	27. Jul	23. Jul	30. Jul	27. Jul
	27. Aug	23. Aug	16. Aug		12. Aug
Bodenbearbeitung					
Fräsen (Umbruch grüne Gasse)		05. Mai		02. Mai	
Lockerung mit Schwergruber (jede zw eite Gasse)	24. Mai	27. Mai	30. Mai	20. Mai	28. Mai
Mulchen (jede zw eite Gasse)	09. Jun	14. Jun	07. Jun	02. Jun	10. Jun
	27. Jun	02. Jul	29. Jun	24. Jun	02. Jul
	25. Jul	27. Jul	23. Jul	30. Jul	27. Jul
	27. Aug	23. Aug	16. Aug		12. Aug
Grubbern (jede zw eite Gasse)	10. Jun	08. Jun	11. Jun	09. Jun	14. Jun
	07. Jul	05. Jul	08. Jul	30. Jun	12. Jul
	14. Aug	25. Jul	31. Jul	24. Jul	03. Aug
	30. Aug	16. Aug	22. Aug	19. Aug	26. Aug

Tab. 7-3: Verzeichnis der auf der Versuchsfläche o/R (Bodenökologische Untersuchungen) in den Jahren 2000 bis 2004 eingesetzten Pflanzenschutzmittel (Fungizide, Herbizide und Insektizide).
* Zulassung vom Bundesministerium für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit zum 10. Sep. 2003 widerrufen.
** hier aufgrund der fungiziden Wirkung (Echter Mehltau) nicht zur Blattdüngung eingesetzt.

Datum	Handelsname	Art	Wirkstoffname	Wasser-aufwand [ltr. / ha]	Mittel-aufwand [kg / ha] od. [ltr. / ha]	Anteil Wirkstoff im Mittel [%]
			Jahr 2000			
28. Apr	Roundup Ultra	H	Glyphosat	180	3	36
29. Mai	Ridomil Gold Combi	F	Metalaxyl-M	200	2,4	4,9
		F	Folpet			40
29. Mai	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	200	4,8	80
29. Mai	ME 605 *	I	Parathion-Methyl	200	0,8	40
08. Jun	Polyram WG	F	Metiram	200	3,2	70
08. Jun	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	200	2	80
19. Jun	Ridomil Gold Combi	F	Metalaxyl-M	300	2,4	4,9
19. Jun	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	300	1	80
19. Jun	Vento	F	Quinoxyfen	300	0,4	19,6
		F	Fenarimol	300		6
06. Jul	ME 605 *	I	Parathion-Methyl	300	0,8	40
06. Jul	Folicur EM	F	Tebuconazol	300	3	10
		F	Tolylfluanid			40
10. Jul	Roundup Ultra	H	Glyphosat	180	3	36
19. Jul	ME 605 *	I	Parathion-Methyl	400	0,8	40
19. Jul	Folicur EM	F	Tebuconazol	400	4	10
		F	Tolylfluanid			40
			Jahr 2001			
15. Mai	Roundup Ultra	H	Glyphosat	240	3	36
25. Mai	Polyram WG	F	Metiram	200	3,2	70
25. Mai	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	200	3	80
05. Jun	Ridomil Gold Combi	F	Metalaxyl-M	200	2,4	4,9
05. Jun	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	200	3	80
05. Jun	ME 605 *	I	Parathion-Methyl	300	0,8	40
17. Jun	Ridomil Gold Combi	F	Metalaxyl-M	300	2,4	4,9
17. Jun	Topas	F	Penconazol	300	0,18	10
02. Jul	ME 605 *	I	Parathion-Methyl	400	0,8	40
02. Jul	Quadris	F	Azoxystrobin	400	1,2	25
02. Jul	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	400	8	80
08. Jul	Roundup Ultra	H	Glyphosat	180	3	36
16. Jul	Folicur EM	F	Tebuconazol	400	4	10
		F	Tolylfluanid			40
30. Jul	Folicur EM	F	Tebuconazol	400	4	10
		F	Tolylfluanid			40
			Jahr 2002			
24. Apr	Roundup Ultra	H	Glyphosat	180	3	36
03. Jun	Kumulus WG	F	elementarer Schwefel	200	4,8	80
03. Jun	Polyram WG	F	Metiram	200	3,2	70
03. Jun	Bittersalz **	F	MgO	200	6	16
17. Jun	Topas	F	Penconazol	300	0,18	10

Tab. 7-3 Fortsetzung

Datum	Handelsname	Art	Wirkstoffname	Wasser-aufwand [ltr. / ha]	Mittel-aufwand [kg / ha] od. [ltr. / ha]	Anteil Wirkstoff im Mittel [%]
			Jahr 2002 Fortsetzung			
17. Jun	Folpan 500 SC	F	Folpet	300	1,8	50
17. Jun	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	300	6	80
17. Jun	Bittersalz **	F	MgO	300	6	16
01. Jul	Quadris	F	Azoxystrobin	300	1,2	25
01. Jul	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	300	6	80
01. Jul	Bittersalz **	F	MgO	300	9	16
06. Jul	Durano	H	Glyphosat	180	3	36
		H	Isopropylamin-Salz			48,7
15. Jul	Quadris	F	Azoxystrobin	400	1,6	25
15. Jul	Scala	F	Pyrimethanil	400	2	40
15. Jul	Steward	I	Indoxacarb	400	0,2	30
15. Jul	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	400	8	80
15. Jul	Bittersalz **	F	MgO	400	9	16
27. Jul	Prosper	F	Spiroxamine	400	0,8	50
27. Jul	Ridomil Gold Combi	F	Metalaxyl-M	400	2,4	4,9
		F	Folpet			40
27. Jul	Steward	I	Indoxacarb	400	0,2	30
27. Jul	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	400	8	80
27. Jul	Bittersalz **	F	MgO	400	9	16
			Jahr 2003			
05. Mai	Durano	H	Glyphosat	60	3	36
		H	Isopropylamin-Salz			48,7
03. Jun	ME 605 *	I	Parathion-Methyl	200	0,8	40
03. Jun	Ridomil Gold Combi	F	Metalaxyl-M	200	2,4	4,9
		F	Folpet	200		40
03. Jun	Vento	F	Quinoxyfen	200	0,4	19,6
		F	Fenarimol	200		6
03. Jun	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	200	12	80
03. Jun	Bittersalz **	F	MgO	200	12	16
14. Jun	Ridomil Gold Combi	F	Metalaxyl-M	300	2,4	4,9
		F	Folpet	300		40
14. Jun	Vento	F	Quinoxyfen	300	0,4	19,6
		F	Fenarimol	300		6
14. Jun	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	300	12	80
14. Jun	Bittersalz **	F	MgO	300	12	16
28. Jun	Melody Combi	F	Folpet	400	3,2	56,3
		F	Iprovalicarb	400		9
28. Jun	Vento	F	Quinoxyfen	400	0,4	19,6
		F	Fenarimol	400		6
28. Jun	Scala	F	Pyrimethanil	400	2	40
28. Jun	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	400	12	80
28. Jun	Bittersalz **	F	MgO	400	12	16
12. Jul	Folpan 500 SC	F	Folpet	400	1,6	50
12. Jul	Castellan	F	Fluquinconazol	400	0,32	25
12. Jul	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	400	12	80
12. Jul	Bittersalz **	F	MgO	400	12	16
12. Jul	Durano	H	Glyphosat	180	3	36
		H	Isopropylamin-Salz			48,7
25. Jul	Folpan 500 SC	F	Folpet	400	1,6	50
25. Jul	Castellan	F	Fluquinconazol	400	0,32	25
25. Jul	Scala	F	Pyrimethanil	400	2	40

Tab. 7-3 Fortsetzung

Datum	Handelsname	Art	Wirkstoffname	Wasser-aufwand [ltr. / ha]	Mittel-aufwand [kg / ha] od. [ltr. / ha]	Anteil Wirkstoff im Mittel [%]
			Jahr 2003 Fortsetzung			
25. Jul	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	400	12	80
25. Jul	Bittersalz **	F	MgO	400	12	16
09. Aug	Folicur EM	F	Tebuconazol	400	4	10
		F	Tolylfluanid			40
09. Aug	Bittersalz **	F	MgO	400	12	16
			Jahr 2004			
29. Apr	Roundup Ultra	H	Glyphosat	180	3	36
05. Jun	Castellan	F	Fluquinconazol	200	0,32	25
05. Jun	Polyram WG	F	Metiram	200	3,2	70
05. Jun	Steward	I	Indoxacarb	200	0,1	30
05. Jun	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	200	6	80
22. Jun	Collis	F	Boscalid	300	0,64	20
		F	Kresoxim-methyl			10
22. Jun	Folpan 500 SC	F	Folpet	300	1,6	50
22. Jun	Scala	F	Pyrimethanil	300	2	40
22. Jun	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	300	6	80
22. Jun	Bittersalz **	F	MgO	300	6	16
06. Jul	Collis	F	Boscalid	400	0,64	20
		F	Kresoxim-methyl			10
06. Jul	Folpan 500 SC	F	Folpet	400	1,6	50
06. Jul	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	400	12	80
06. Jul	Bittersalz **	F	MgO	400	12	16
20. Jul	Ridomil Gold Combi	F	Metalaxyl-M	400	2,4	4,9
		F	Folpet	400		40
20. Jul	Vento	F	Quinoxyfen	400	0,4	19,6
		F	Fenarimol	400		6
20. Jul	Cantus	F	Boscalid	400	1,2	50
20. Jul	Mimic	I	Tebufenozid	400	0,8	24
20. Jul	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	400	12	80
20. Jul	Bittersalz **	F	MgO	400	12	16
05. Aug	Electis	F	Zoxamide	400	2,9	8,3
		F	Mancozeb	400		66,7
05. Aug	Prosper	F	Spiroxamine	400	0,8	50
05. Aug	Cantus	F	Boscalid	400	1,2	50
05. Aug	Steward	I	Indoxacarb	400	0,2	30
05. Aug	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	400	12	80
05. Aug	Bittersalz **	F	MgO	400	12	16
19. Aug	Electis	F	Zoxamide	400	2,9	8,3
		F	Mancozeb	400		66,7
19. Aug	Prosper	F	Spiroxamine	400	0,8	50
19. Aug	Netzschwefel WG	F	elementarer Schwefel	400	12	80
19. Aug	Bittersalz **	F	MgO	400	12	16

Tab. 7-4: Stockarbeiten und Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf der Versuchsfläche o/R in den Jahren 2000 bis 2004.
Bearbeitungsmaßnahmen zur Anlage von Feldversuchen sind nicht berücksichtigt, siehe hierzu Kap. 2.2.

Bearbeitungsart	Datum				
	2000	2001	2002	2003	2004
Stockarbeiten					
Ausbrechen	12. Mai	19. Mai	25. Mai	10. Mai	03. Jun
Heften	20. Mai	26. Mai	01. Jun	17. Mai	08. Jun
	06. Jul	30. Jun	22. Jun	14. Jun	26. Jun
Laubschnitt	07. Jul	14. Jul	20. Jul	28. Jun	14. Jul
	30. Aug	04. Aug	10. Aug	26. Jul	17. Aug
Bodenbearbeitung					
Fräsen (jede zweite Gasse)	21. Apr	27. Apr		23. Apr	
Tiefenlockerung			06. Apr		16. Apr
Mulchen (jede zweite Gasse)	28. Apr	21. Apr	26. Apr	09. Aug	21. Aug
	07. Jul	20. Jun	16. Aug		
	01. Aug				
Grubbern (jede zweite Gasse)	10. Jun	14. Jul	20. Jul	28. Jun	12. Jun
	07. Jul	04. Aug	10. Aug	26. Jul	14. Jul
	14. Aug		31. Aug		17. Aug
	30. Aug				04. Sep

Tab. 7-5: Ergebnisse der bodenchemischen Analysen der Versuchsflächen o/R/I und O/R/I im Jahr 2000.
Die Analysen wurden vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Abteilung Bodenkunde und Abteilung Bodenforschung vorgenommen.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Meßgröße	Einheit	Versuchsfläche o/R/I	Versuchsfläche O/R/I
As	mg / kg	10,70	8,54
Cd	mg / kg	0,699	0,709
Cr	mg / kg	44,5	45,9
Cu	mg / kg	18,8	45
Ni	mg / kg	28,2	29,2
V	mg / kg	58,2	56,3
Zn	mg / kg	84,5	95,8
Pb	mg / kg	21,9	22,5
Ca^{2+}	mmol(eq) / kg	152,29	161,48
Mg^{2+}	mmol(eq) / kg	16,49	25,52
Na^{+}	mmol(eq) / kg	0,22	0,34
K^{+}	mmol(eq) / kg	7,33	15,14
Al^{3+}	mmol(eq) / kg	0,18	0,18
Mn^{2+}	mmol(eq) / kg	0,12	0,13
Fe^{2+}	mmol(eq) / kg	0,04	0,43
$Fe_{oxalatlösl.}$	mg / 100 g	160,99	129,68
$Fe_{dithionitlösl.}$	mg / 100 g	647	747
$Mn_{oxalatlösl.}$	mg / 100 g	60,6	54,74
$Mn_{dithionitlösl.}$	mg / 100 g	46,3	26,7
$Al_{oxalatlösl.}$	mg / 100 g	77,77	75,35
$Al_{dithionitlösl.}$	mg / 100 g	133	81,5
pH ($CaCl_2$)		6,91	6,47
pH (H_2O)		7,08	6,79
C_{org}	%	1,381	1,378
Humus	%	2,762	2,756
N_{gesamt}	%	0,154	0,156
C/N-Verhältnis		8,968	8,833

Tab. 7-6: Ergebnisse der Einzelstockbonituren (Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum) des Wuchses der Rebstöcke der Versuchsfläche O/R, Düngevarianten I bis IV, in den Jahren 1997 bis 2004 sowie Signifikanzniveaus (Mann-Whitney U-Test) des Variantenvergleichs der Einzeljahre.
Der verringerte Stichprobenumfang ab dem Jahr 2003 ist auf die in diesem Jahr beginnende Nutzung dieser Anlage als Versuchsfläche für Untersuchungen zur biologischen Reblauskontrolle zurückzuführen. Reben der hierfür genutzten Versuchsparzellen gingen nicht in die unten dargestellten Berechnungen ein.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

		n	MW	Stabw	Min	Max	p (Mann-Whitney U-Test) Versuchsvarianten II	III	IV
Jahr 1997									
Versuchsvarianten	I	140	7,91	1,00	7	9	0,538166	0,042931	0,682112
	II	150	7,99	1,00	7	9	x	0,149295	0,844831
	III	150	8,15	1,02	5	9		x	0,109035
	IV	137	7,96	1,00	7	9			x
Jahr 1998									
Versuchsvarianten	I	140	7,94	1,03	5	9	0,930442	0,000000	0,000000
	II	150	7,96	1,00	7	9	x	0,000000	0,000000
	III	150	8,64	0,87	3	9		x	0,869024
	IV	137	8,65	0,76	7	9			x
Jahr 1999									
Versuchsvarianten	I	140	8,66	0,79	5	9	0,069134	0,000476	0,001050
	II	150	8,49	0,87	7	9	x	0,000000	0,000001
	III	150	8,88	0,74	1	9		x	0,882461
	IV	137	8,91	0,41	7	9			x
Jahr 2000									
Versuchsvarianten	I	140	8,41	1,03	5	9	0,787898	0,526397	0,000003
	II	150	8,43	0,91	7	9	x	0,348939	0,000000
	III	150	8,49	0,96	5	9		x	0,000031
	IV	137	8,88	0,47	7	9			x
Jahr 2001									
Versuchsvarianten	I	140	7,94	1,26	5	9	0,000864	0,000853	0,000000
	II	150	8,43	0,91	7	9	x	0,956533	0,000384
	III	150	8,41	0,97	5	9		x	0,000534
	IV	137	8,77	0,64	7	9			x
Jahr 2002									
Versuchsvarianten	I	140	8,29	1,02	5	9	0,898310	0,001348	0,000005
	II	150	8,27	1,12	5	9	x	0,002295	0,000012
	III	150	8,64	0,77	7	9		x	0,104928
	IV	137	8,75	0,75	5	9			x
Jahr 2003									
Versuchsvarianten	I	116	7,49	1,24	3	9	0,263362	0,070475	0,353968
	II	134	7,39	1,15	5	9	x	0,002575	0,036043
	III	138	7,83	1,23	3	9		x	0,372019
	IV	125	7,66	1,19	3	9			x
Jahr 2004									
Versuchsvarianten	I	116	8,51	0,99	3	9	0,001811	0,495391	0,310925
	II	134	8,11	1,32	1	9	x	0,010184	0,027064
	III	138	8,44	1,23	1	9		x	0,725035
	IV	125	8,42	1,09	1	9			x

Tab. 7-7: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Jahresvergleiches des Rebwuchses der Versuchsfläche O/R, Düngevarianten I bis IV, in den Jahren 1997 bis 2004.
Stichprobenumfang siehe Tab. 7-6. Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Jahr	Jahr						
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
				O/R/I			
1997	0,769387	0,000000	0,000008	0,440502	0,440502	0,021193	0,000000
1998	x	0,000000	0,000033	0,618635	0,003560	0,011167	0,000000
1999		x	0,036814	0,000000	0,000626	0,000000	0,463264
2000			x	0,000640	0,189484	0,000000	0,210992
2001				x	0,025998	0,005456	0,000011
2002					x	0,000000	0,012306
2003						x	0,000000
				O/R/II			
1997	0,817597	0,000006	0,000101	0,000101	0,005397	0,000026	0,062372
1998	x	0,000002	0,000039	0,000039	0,002716	0,000061	0,037739
1999		x	0,516246	0,516246	0,113120	0,000000	0,014956
2000			x	1,000000	0,336535	0,000000	0,068310
2001				x	0,336535	0,000000	0,068310
2002					x	0,000000	0,392462
2003						x	0,000000
				O/R/III			
1997	0,000002	0,000000	0,000951	0,013755	0,000005	0,020505	0,001476
1998	x	0,000355	0,140424	0,018522	0,781755	0,000000	0,146435
1999		x	0,000001	0,000000	0,000126	0,000000	0,000002
2000			x	0,383153	0,224692	0,000000	0,982302
2001				x	0,035578	0,000004	0,408642
2002					x	0,000000	0,231940
2003						x	0,000000
				O/R/IV			
1997	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,087498	0,000021
1998	x	0,000509	0,002664	0,171858	0,135705	0,000000	0,105760
1999		x	0,583883	0,026483	0,039457	0,000000	0,000001
2000			x	0,087924	0,121828	0,000000	0,000009
2001				x	0,884048	0,000000	0,003476
2002					x	0,000000	0,002527
2003						x	0,000000

Tab. 7-8: Ergebnisse der Einzelstockbonituren (Stichprobenumfang, Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum) des Wuchses der Rebstöcke der Versuchsfläche o/R, Düngevarianten I bis IV, in den Jahren 1997 bis 2004 sowie Signifikanzniveaus (Mann-Whitney U-Test) des Variantenvergleichs der Einzeljahre. Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

		n	MW	Stabw	Min	Max	p (Mann-Whitney U-Test) Versuchsvarianten II	III	IV
Jahr 1997									
Versuchsvarianten	I	277	4,78	1,55	0	7	0,000000	0,000000	0,000000
	II	275	3,63	1,79	0	7	x	0,890108	0,308597
	III	280	3,64	1,79	0	7		x	0,375982
	IV	275	3,53	1,82	0	9			x
Jahr 1998									
Versuchsvarianten	I	277	4,81	1,84	0	9	0,075234	0,637040	0,000001
	II	275	4,87	2,29	0	9	x	0,196515	0,009146
	III	280	4,80	2,00	0	9		x	0,000016
	IV	275	5,36	2,17	0	9			x
Jahr 1999									
Versuchsvarianten	I	277	4,41	2,36	0	9	0,000000	0,000000	0,000000
	II	275	6,64	2,58	0	9	x	0,000181	0,000084
	III	280	6,10	2,32	0	9		x	0,000000
	IV	275	7,27	2,66	0	9			x
Jahr 2000									
Versuchsvarianten	I	277	3,46	2,11	0	9	0,000000	0,000000	0,000000
	II	275	5,85	2,46	0	9	x	0,000718	0,000000
	III	280	5,21	2,30	0	9		x	0,000000
	IV	275	7,05	2,63	0	9			x
Jahr 2001									
Versuchsvarianten	I	277	2,78	1,93	0	7	0,000000	0,000000	0,000000
	II	275	5,26	2,18	0	9	x	0,000013	0,000000
	III	280	4,48	2,26	0	9		x	0,000000
	IV	275	6,59	2,44	0	9			x
Jahr 2002									
Versuchsvarianten	I	277	3,00	2,19	0	7	0,000000	0,000000	0,000000
	II	275	4,59	2,34	0	9	x	0,942174	0,000000
	III	280	4,54	2,36	0	9		x	0,000000
	IV	275	6,59	2,40	0	9			x
Jahr 2003									
Versuchsvarianten	I	276	2,69	2,03	0	7	0,000000	0,000000	0,000000
	II	275	6,12	2,44	0	9	x	0,000661	0,893435
	III	280	5,49	2,45	0	9		x	0,000117
	IV	275	6,15	2,36	0	9			x
Jahr 2004									
Versuchsvarianten	I	277	4,66	3,03	0	9	0,000000	0,000000	0,000000
	II	275	7,16	2,47	0	9	x	0,254334	0,001513
	III	281	7,16	2,85	0	9		x	0,000011
	IV	275	6,65	2,55	0	9			x

Tab. 7-9: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Test des Jahresvergleiches des Rebwuchses der Versuchsfläche o/R, Düngevarianten I bis IV, in den Jahren 1997 bis 2004.
Stichprobenumfang siehe Tab. 7-8. Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Jahr	Jahr						
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
				o/R/I			
1997	0,846674	0,031548	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,039190
1998	x	0,031976	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,163195
1999		x	0,000002	0,000000	0,000000	0,000000	0,058484
2000			x	0,000173	0,014067	0,000047	0,000000
2001				x	0,842585	0,083537	0,000000
2002					x	0,144219	0,000000
2003						x	0,000000
				o/R/II			
1997	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
1998	x	0,000000	0,000001	0,079678	0,065267	0,000000	0,000000
1999		x	0,000010	0,000000	0,000000	0,001129	0,005836
2000			x	0,001019	0,000000	0,135440	0,000000
2001				x	0,000271	0,000000	0,000000
2002					x	0,000000	0,000000
2003						x	0,000000
				o/R/III			
1997	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
1998	x	0,000000	0,005377	0,083034	0,228210	0,000001	0,000000
1999		x	0,000000	0,000000	0,000000	0,000780	0,000000
2000			x	0,000047	0,000345	0,053086	0,000000
2001				x	0,679268	0,000000	0,000000
2002					x	0,000000	0,000000
2003						x	0,000000
				o/R/IV			
1997	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
1998	x	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
1999		x	0,077278	0,000000	0,000000	0,000000	0,000005
2000			x	0,000110	0,000068	0,000000	0,003273
2001				x	0,921810	0,001843	0,479778
2002					x	0,002344	0,424947
2003						x	0,000322

Tab. 7-10: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Varianten- und Jahresvergleiches des Reblausbefalls (Befallsintensität) der Rebstöcke der Versuchsfläche O/R, Düngeversuchvarianten I bis IV, in den Jahren 2000 bis 2002.
Die Ergebnisse der Vorjahre (1997-1999) sind Gegenstand der Dissertation PORTEN (in Bearbeitung).
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

		n	Versuchsvariante II	III	IV	n	Versuchsvariante II	III	IV
			Alle Jahre				Jahr 2000		
Versuchsvariante	I	57	0,983088	0,204169	0,755468	19	0,933999	0,220702	0,590182
	II	50	x	0,163244	0,694135	17	x	0,256147	0,680038
	III	60		x	0,268289	20		x	0,378976
	IV	55			x	18			x
			Jahr 2001				Jahr 2002		
Versuchsvariante	I	19	0,363593	0,185820	0,658124	19	0,231140	0,596361	0,622298
	II	19	x	0,493223	0,691854	19	x	0,508784	0,461006
	III	20		x	0,297051	20		x	0,964795
	IV	18			x	19			x

		n	Jahr 2001	2002	n	Jahr 2001	2002
			O/R/I-IV			O/R/I	
Jahr	2000	74	0,669861	0,501322	19	0,938989	0,176000
	2001	76	x	0,867492	19	x	0,193541
	2002	77		x	19		x
			O/R/II			O/R/III	
Jahr	2000	17	0,418893	0,855493	20	0,888666	0,575057
	2001	19	x	0,461006	20	x	0,458111
	2002	19		x	20		x
			O/R/IV				
Jahr	2000	18	0,986828	0,666320			
	2001	18	x	0,691854			
	2002	19		x			

Tab. 7-11: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Varianten- und Jahresvergleiches des Reblausbefalls (Befallsintensität) der Rebstöcke der Versuchsfläche o/R, Düngeversuchvarianten I bis IV, in den Jahren 2000 bis 2004.
Die Ergebnisse der Vorjahre (1997-1999) sind Gegenstand der Dissertation PORTEN (in Bearbeitung). Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

		n	Versuchsvariante			n	Versuchsvariante		
			II	III	IV		II	III	IV
		Alle Jahre				Jahr 2000			
Versuchsvariante	I	79	0,010944	0,045341	0,020545	19	0,587806	0,508040	0,844216
	II	81	x	0,564942	0,742361	17	x	0,932054	0,768030
	III	77		x	0,790733	18		x	0,706351
	IV	80			x	19			x
		Jahr 2001				Jahr 2002			
Versuchsvariante	I	17	0,243356	0,198311	0,099442	19	0,542393	0,449694	0,346226
	II	16	x	0,925432	0,827926	18	x	0,889959	0,808003
	III	17		x	0,851048	17		x	0,898319
	IV	16			x	17			x
		Jahr 2003				Jahr 2004			
Versuchsvariante	I	4	0,177531	0,259797	0,353309	20	0,037094	0,288066	0,135330
	II	11	x	0,661416	0,477590	19	x	0,263482	0,382744
	III	7		x	0,792230	18		x	0,766242
	IV	10			x	18			x

		n	Jahr			
			2001	2002	2003	2004
		o/R/I-IV				
Jahr	2000	73	0,228790	0,094566	0,000000	0,629510
	2001	66	x	0,535267	0,000000	0,078447
	2002	71		x	0,000000	0,023563
	2003	32			x	0,000000
	2004	75				x
		o/R/I				
Jahr	2000	19	0,166146	0,264500	0,004412	0,548168
	2001	17	x	0,876877	0,001116	0,589061
	2002	19		x	0,006312	0,602774
	2003	4			x	0,006182
	2004	20				x
		o/R/II				
Jahr	2000	17	0,576096	0,337766	0,012008	0,315750
	2001	16	x	0,692540	0,002694	0,000961
	2002	18		x	0,115280	0,043958
	2003	11			x	0,072542
	2004	19				x
		o/R/III				
Jahr	2000	18	0,560389	0,363776	0,011639	0,882783
	2001	17	x	0,703627	0,004542	0,631189
	2002	17		x	0,003686	0,410536
	2003	7			x	0,006161
	2004	18				x
		o/R/IV				
Jahr	2000	19	0,945310	0,716335	0,004805	0,549804
	2001	16	x	0,583995	0,000727	0,525366
	2002	17		x	0,000672	0,209661
	2003	10			x	0,002655
	2004	18				x

Tab. 7-12: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs der Pilzdichten (CFU) Bodenmikrokompartimente 'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000. BMK = Bodenmikrokompartiment. Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Datum	Versuchs-variante	BMK	n	Versuchsvariante			
				O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S	o/R/IV
27.06.2000	o/r/I/s	rp	12	0,930443	0,520161	0,219552	-
	O/R/I/s	rp	12	x	0,598851	0,242404	-
	o/R/I/s	rp	12		x	0,517630	-
	o/R/I/S	rp	12			x	-
27.06.2000	o/r/I/s	wn	9	0,006992	0,288284	0,020537	-
	O/R/I/s	wn	9	x	0,085731	0,435455	-
	o/R/I/s	wn	10		x	0,098480	-
	o/R/I/S	wn	8			x	-
27.06.2000	o/r/I/s	wf	9	0,507367	0,170445	0,170445	-
	O/R/I/s	wf	9	x	0,595485	0,756549	-
	o/R/I/s	wf	9		x	0,894246	-
	o/R/I/S	wf	9			x	-
01.08.2000	o/r/I/s	rp	9	0,202569	0,388039	0,228727	0,560564
	O/R/I/s	rp	9	x	0,671295	0,969268	0,422088
	o/R/I/s	rp	10		x	0,617931	0,862869
	o/R/I/S	rp	11			x	0,509039
	o/R/IV	rp	9				x
01.08.2000	o/r/I/s	wn	6	0,085621	0,004498	0,025022	0,019621
	O/R/I/s	wn	7	x	0,259264	0,957667	0,016375
	o/R/I/s	wn	9		x	0,214003	0,011945
	o/R/I/S	wn	9			x	0,509039
	o/R/IV	wn	3				x
01.08.2000	o/r/I/s	wf	6	0,155590	0,004644	0,020006	0,422528
	O/R/I/s	wf	8	x	0,228487	0,399430	0,560413
	o/R/I/s	wf	9		x	0,772152	0,067011
	o/R/I/S	wf	8			x	0,153304
	o/R/IV	wf	3				x
04.09.2000	o/r/I/s	rp	9	0,625240	0,505157	0,266466	-
	O/R/I/s	rp	9	x	0,307126	0,398612	-
	o/R/I/s	rp	9		x	0,119775	-
	o/R/I/S	rp	9			x	-
04.09.2000	o/r/I/s	wn	9	0,790661	0,049703	0,929528	-
	O/R/I/s	wn	9	x	0,022664	0,929565	-
	o/R/I/s	wn	7		x	0,038873	-
	o/R/I/S	wn	9			x	-
04.09.2000	o/r/I/s	wf	6	0,001436	0,009747	0,004607	-
	O/R/I/s	wf	9	x	0,961533	0,399841	-
	o/R/I/s	wf	8		x	0,499004	-
	o/R/I/S	wf	9			x	-
30.10.2000	o/r/I/s	rp	12	0,144508	1,000000	0,387599	-
	O/R/I/s	rp	9	x	0,046045	0,035916	-
	o/R/I/s	rp	12		x	0,458293	-
	o/R/I/S	rp	11			x	-
30.10.2000	o/r/I/s	wn	9	0,231789	0,452217	0,964711	-
	O/R/I/s	wn	9	x	0,424140	0,199024	-
	o/R/I/s	wn	9		x	0,565394	-
	o/R/I/S	wn	9			x	-
30.10.2000	o/r/I/s	wf	9	0,020416	0,080280	0,806331	-
	O/R/I/s	wf	12	x	0,002286	0,003661	-
	o/R/I/s	wf	7		x	0,240998	-
	o/R/I/S	wf	10			x	-

Tab. 7-13: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs der Bakteriendichten (CFU), Bodenmikrokompartimente 'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3. BMK = Bodenmikrokompartiment.

Versuchs-variante	BMK	n	Versuchsvariante O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S	n	Versuchsvariante O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S
			27.06.2000				01.08.2000		
o/r/I/s	rp	6	0,022088	0,044744	0,002163	3	0,032314	0,021126	0,013650
O/R/I/s	rp	7	x	0,367909	0,063970	4	x	0,454817	0,060818
o/R/I/s	rp	9		x	0,232990	5		x	0,139927
o/R/I/S	rp	9			x	8			x
o/r/I/s	wn	6	0,262333	0,109316	0,078170	8	0,170271	0,916175	0,907704
O/R/I/s	wn	6	x	0,006486	0,037374	8	x	0,527090	0,201401
o/R/I/s	wn	6		x	0,630954	8		x	0,643133
o/R/I/S	wn	6			x	7			x
o/r/I/s	wf	6	0,335823	0,148830	0,199398	9	0,490794	0,008620	1,000000
O/R/I/s	wf	6	x	0,336669	0,200186	7	x	0,013803	0,390715
o/R/I/s	wf	6		x	0,054665	4		x	0,010516
o/R/I/S	wf	6			x	6			x
			04.09.2000				30.10.2000		
o/r/I/s	rp	6	0,199398	0,003948	0,003948	8	0,131427	0,042925	0,004421
O/R/I/s	rp	6	x	0,003885	0,003885	7	x	0,022658	0,002664
o/R/I/s	rp	6		x	0,003948	9		x	0,637051
o/R/I/S	rp	6			x	6			x
o/r/I/s	wn	6	0,149542	0,199398	0,521110	6	0,037042	0,093291	0,070702
O/R/I/s	wn	6	x	1,000000	0,630356	6	x	0,002954	0,020001
o/R/I/s	wn	6		x	0,260659	8		x	0,833635
o/R/I/S	wn	6			x	8			x
o/r/I/s	wf	6	0,630356	0,006393	0,422528	8	0,003827	0,001902	0,437570
O/R/I/s	wf	6	x	0,016310	0,872780	9	x	0,001449	0,059120
o/R/I/s	wf	6		x	0,016310	6		x	0,016310
o/R/I/S	wf	6			x	6			x

Tab. 7-14: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs der Actinomycetendichten (CFU), Bodenmikrokompartimente 'rp', 'wn' und 'wf' der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3. BMK = Bodenmikrokompartiment.

Versuchs-variante	BMK	n	Versuchsvariante O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S	n	Versuchsvariante O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S
			27.06.2000				01.08.2000		
o/r/I/s	rp	9	0,036966	0,017564	0,017602	7	0,025566	0,107969	0,520724
O/R/I/s	rp	12	x	0,141164	0,141254	9	x	0,005502	0,062051
o/R/I/s	rp	12		x	0,479997	9		x	0,238041
o/R/I/S	rp	12			x	9			x
o/r/I/s	wn	9	0,964359	0,044974	0,063600	9	0,309631	0,016080	0,056859
O/R/I/s	wn	9	x	0,235248	0,316446	9	x	0,016145	0,101460
o/R/I/s	wn	12		x	0,601668	8		x	0,699434
o/R/I/S	wn	12			x	9			x
o/r/I/s	wf	12	0,241976	0,953096	0,061425	8	0,176601	0,440858	0,210403
O/R/I/s	wf	12	x	0,380190	0,232584	9	x	0,101460	0,964693
o/R/I/s	wf	12		x	0,128581	9		x	0,057374
o/R/I/S	wf	12			x	9			x
			04.09.2000				30.10.2000		
o/r/I/s	rp	6	0,006393	0,015752	0,332407	9	0,061351	0,061351	0,503138
O/R/I/s	rp	6	x	0,747921	0,003885	12	x	0,723914	0,468795
o/R/I/s	rp	6		x	0,003761	12		x	0,468795
o/R/I/S	rp	6			x	9			x
o/r/I/s	wn	6	0,078170	0,016123	0,149542	9	0,062647	0,062647	0,568918
O/R/I/s	wn	6	x	0,199398	0,630954	12	x	0,662447	0,007122
o/R/I/s	wn	6		x	0,054242	12		x	0,013909
o/R/I/S	wn	6			x	12			x
o/r/I/s	wf	6	0,010406	0,003948	0,003948	12	0,906354	0,906354	0,001636
O/R/I/s	wf	6	x	0,024975	0,109316	12	x	0,637960	0,001636
o/R/I/s	wf	6		x	0,109316	12		x	0,001636
o/R/I/S	wf	6			x	9			x

Tab. 7-15: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs der Bodenwassergehalte der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Mai, Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000. Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Versuchs-varianten	n	Versuchsvarianten O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S	o/R/IV/s	n	Versuchsvarianten O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S
			16.05.2000					27.06.2000	
o/r/I/s	10	-	-	-	-	10	0,000670	0,004072	0,008151
O/R/I/s	10	X	0,000150	0,000150	-	10	X	0,000157	0,000381
o/R/I/s	10		X	0,255406	-	10		X	0,596702
o/R/I/S	10			X	-	10			X
			01.08.2000					04.09.2000	
o/r/I/s	9	0,014306	0,000815	0,001091	0,001451	10	0,000157	0,000157	0,000239
O/R/I/s	10	X	0,325752	0,130571	0,364347	10	X	0,000157	0,000239
o/R/I/s	10		X	1,000000	0,762369	10		X	0,000239
o/R/I/S	10			X	0,939743	9			X
o/R/IV/s	10				X				
			30.10.2000						
o/r/I/s	10	0,000157	0,000234	0,000149	-				
O/R/I/s	10	X	0,101567	0,000149	-				
o/R/I/s	9		X	0,000655	-				
o/R/I/S	10			X	-				

Tab. 7-16: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs der Organischen Bodensubstanz der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Mai, Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000. Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Versuchs-varianten	n	Versuchsvarianten O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S	n	Versuchsvarianten O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S
		16.05.2000				27.06.2000		
o/r/I/s	0	-	-	-	12	0,000032	0,000568	0,000049
O/R/I/s	12	x	0,000082	0,000282	12	x	0,000049	0,000049
o/R/I/s	11		x	0,139553	11		x	0,006429
o/R/I/S	11			x	11			x
		01.08.2000				04.09.2000		
o/r/I/s	11	0,000049	0,084839	0,000358	11	0,000049	0,000160	0,094042
O/R/I/s	12	x	0,000053	0,000139	12	x	0,000568	0,000082
o/R/I/s	12		x	0,032664	11		x	0,016541
o/R/I/S	12			x	11			x
		30.10.2000						
o/r/I/s	12	0,000032	0,000222	0,001823				
O/R/I/s	12	x	0,000049	0,002214				
o/R/I/s	11		x	0,000049				
o/R/I/S	12			x				

Tab. 7-17: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs der Boden-pH-Werte (Mischprobe der Mikrokompartimente 'wn' und 'wf') der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Mai, Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Versuchs-varianten	n	Versuchsvarianten O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S	o/R/IV/s	n	Versuchsvarianten O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S
			16.05.2000					27.06.2000	
o/r/I/s		-	-	-	-	10	0,374611	0,000221	0,000154
O/R/I/s	10	X	0,000151	0,000154	-	10	X	0,000210	0,000147
o/R/I/s	10		X	0,000153	-	9		X	0,007584
o/R/I/S	10			X	-	10			X
			01.08.2000					04.09.2000	
o/r/I/s	10	0,000341	0,000208	0,000137	0,000133	10	0,000225	0,000150	0,000142
O/R/I/s	9	X	0,000315	0,000215	0,000207	9	X	0,000222	0,000210
o/R/I/s	9		X	0,000236	0,000227	10		X	0,000141
o/R/I/S	10			X	0,000148	10			X
o/R/IV/s	10				X				
			30.10.2000						
o/r/I/s	10	0,044510	0,000151	0,000230	-				
O/R/I/s	10	X	0,000155	0,000237	-				
o/R/I/s	10		X	0,000234	-				
o/R/I/S	9			X					

Tab. 7-18: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Vergleichs der pH-Werte der Bodenmikrokompartimente 'wf' und 'wn' (n = 10) der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Versuchsvariante	27.06.2000	01.08.2000	04.09.2000	30.10.2000
o/r/I/s	0,000143	0,158965	0,000127	0,000155
O/R/I/s	0,649038	0,147536	0,008418	0,002386
o/R/I/s	0,000154	0,000157	0,000202	0,000147
o/R/I/S	0,000155	0,000375	0,000150	0,000151
o/R/IV/s	-	0,000152	-	-

Tab. 7-19: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs des löslichen organischen Kohlenstoffs (DOC, Desolved Organic Carbon) der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Mai, Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Versuchs-varianten	n	Versuchsvarianten O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S	n	Versuchsvarianten O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S
		16.05.2000				27.06.2000		
o/r/I/s	0	-	-	-	10	0,112412	0,000237	0,000156
O/R/I/s	10	x	0,000156	0,000157	10	x	0,000237	0,000156
o/R/I/s	10		x	0,034227	9		x	0,288065
o/R/I/S	10			x	10			x
		01.08.2000				04.09.2000		
o/r/I/s	10	0,000154	0,000155	0,000154	10	0,003186	0,000155	0,000379
O/R/I/s	10	x	0,000155	0,000154	10	x	0,000156	0,002497
o/R/I/s	10		x	0,004058	10		x	0,000211
o/R/I/S	10			x	10			x
		30.10.2000						
o/r/I/s	10	0,545350	0,000239	0,000212				
O/R/I/s	10	x	0,000239	0,002497				
o/R/I/s	9		x	0,001918				
o/R/I/S	10			x				

Tab. 7-20: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs des mikrobiellen Kohlenstoffs (C_{mic}) der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Mai, Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Versuchs-varianten	n	Versuchsvarianten O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S	n	Versuchsvarianten O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S
		16.05.2000				27.06.2000		
o/r/I/s	0	-	-	-	10	0,462433	0,041251	0,041228
O/R/I/s	10	X	0,000157	0,000157	9	X	0,327188	0,309880
o/R/I/s	10		X	0,449692	10		X	0,288488
o/R/I/S	10			X	9			X
		01.08.2000				04.09.2000		
o/r/I/s	10	0,256840	0,939743	0,000636	10	0,002497	0,000157	0,000239
O/R/I/s	10	X	0,173618	0,000636	10	X	0,006502	0,022244
o/R/I/s	10		X	0,000636	10		X	0,683092
o/R/I/S	7			X	9			X
		30.10.2000						
o/r/I/s	10	0,253000	0,002519	0,010166				
O/R/I/s	9	X	0,000349	0,000239				
o/R/I/s	9		X	0,000605				
o/R/I/S	10			X				

Tab. 7-21: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs der Basisrespiration der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten Mai, Juni, August, September und Oktober im Jahr 2000.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Versuchs-varianten	n	Versuchsvarianten			n	Versuchsvarianten		
		O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S		O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S
		16.05.2000				27.06.2000		
o/r/I/s	0	-	-	-	10	0,037421	0,161658	0,000379
O/R/I/s	10	x	0,011084	0,015255	10	x	0,344342	0,044752
o/R/I/s	9		x	0,085308	10		x	0,011299
o/R/I/S	10			x	10			x
		01.08.2000				04.09.2000		
o/r/I/s	10	0,363624	0,010080	0,069433	9	0,006188	0,462237	0,009118
O/R/I/s	10	x	0,004233	0,019020	10	x	0,033957	0,743537
o/R/I/s	9		x	0,623902	10		x	0,017742
o/R/I/S	10			x	9			x
		30.10.2000						
o/r/I/s	9	0,030083	0,062324	0,682300				
O/R/I/s	9	x	0,000458	0,307010				
o/R/I/s	9		x	0,065243				
o/R/I/S	10			x				

Tab. 7-22: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs der substratinduzierten Respiration mit Glucose als Kohlenstoffquelle (SIR_C) der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten August, September und Oktober im Jahr 2000.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Versuchs-varianten	n	Versuchsvarianten			n	Versuchsvarianten		
		O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S		O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S
		01.08.2000				04.09.2000		
o/r/I/s	10	0,058593	0,004830	0,705140	10	0,093301	0,705457	0,909688
O/R/I/s	10	x	0,001253	0,011269	9	x	0,072199	0,012568
o/R/I/s	9		x	0,093879	10		x	0,909688
o/R/I/S	10			x	10			x
		30.10.2000						
o/r/I/s	10	0,000179	0,000153	0,000155				
O/R/I/s	10	x	0,849547	0,111736				
o/R/I/s	10		x	0,088253				
o/R/I/S	10			x				

Tab. 7-23: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsflächen- und Variantenvergleichs der substratinduzierten Respiration mit Sojamehl als Stickstoffquelle (SIR_N) der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten August, September und Oktober im Jahr 2000.
Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Versuchs-varianten	n	Versuchsvarianten			n	Versuchsvarianten		
		O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S		O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S
		01.08.2000				04.09.2000		
o/r/I/s	10	0,001894	0,001074	0,000179	10	0,325570	0,130282	0,008104
O/R/I/s	10	x	0,806163	0,013912	10	x	0,010137	0,069538
o/R/I/s	9		x	0,033608	10		x	0,000285
o/R/I/S	10			x	10			x
		30.10.2000						
o/r/I/s	10	0,384495	0,006442	0,000212				
O/R/I/s	10	x	0,006482	0,000245				
o/R/I/s	10		x	0,012479				
o/R/I/S	10			x				

Tab. 7-24: Vorkommen der Nematodenfamilien (prozentualer Anteil einer Familie an der Gesamtabundanz) auf den Versuchsvarianten der Versuchsflächen o/r, O/R und o/R in den Monaten August und Oktober im Jahr 2000 gruppiert nach der Familienzugehörigkeit zu einer trophischen Gruppe.
BAK: Bakterivore; ECT: Ektoparasiten; END: Endoparsiten; EPI: Epidermis- und Wurzelhaarfresser; FUN: Fungivore; OMN: Omnivore; PRA: Praedatoren; SEM: Semiendoparasiten.
Abkürzungen siehe Tab. 2.3.

Familie		Versuchsvarianten										
		o/r/I/s	O/R/I/s	o/R/I/s	o/R/I/S	o/R/IV/s	o/r/I/s	O/R/I/s	O/R/IV/s	o/R/I/s	o/R/I/S	o/R/IV/s
		August					Oktober					
Achromadoridae	BAC	1,0	0,0	1,1	0,3	0,4	1,4	1,3	0,3	2,3	0,5	0,6
Alaimidae	BAC	2,9	7,0	14,7	10,6	12,1	15,5	16,1	17,6	2,6	9,0	11,5
Aulolaimidae	BAC	1,2	1,5	1,7	0,0	1,6	0,3	4,3	1,6	0,6	0,7	1,4
Bastianidae	BAC	0,4	0,3	0,7	0,6	0,0	1,0	0,9	0,0	0,7	2,7	0,4
Cephalobidae	BAC	2,3	1,7	4,4	3,4	6,9	8,7	6,1	12,7	3,8	2,2	6,5
Diplopeltidae	BAC	0,0	0,0	0,4	0,0	1,6	0,7	0,0	0,0	0,0	0,7	3,6
Monhysteridae	BAC	0,2	0,0	0,4	0,3	0,8	0,3	0,9	1,0	0,6	0,2	0,4
Panagrolaimidae	BAC	0,2	0,3	0,0	0,6	1,2	1,7	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0
Plectidae	BAC	0,7	2,1	0,4	0,3	2,4	0,0	1,3	1,0	0,5	1,2	1,2
Prismatolaimidae	BAC	0,0	1,2	0,8	2,1	1,2	1,0	2,2	0,0	0,0	0,7	0,0
Rhabditidae	BAC	1,5	5,0	4,3	3,4	13,1	4,9	5,3	5,8	1,6	1,5	4,2
Criconematidae	ECT	0,4	9,4	5,1	2,7	8,9	2,2	2,2	2,5	0,6	11,6	3,6
Dolichodoridae	ECT	13,7	56,5	12,4	17,9	23,7	16,6	10,0	6,5	16,2	29,7	6,7
Longidoridae	ECT	0,0	0,0	0,4	0,0	2,4	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Nordiidae	ECT	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	1,5	0,0	0,0	0,4
Paratylenchidae	ECT	63,6	1,2	17,5	3,8	4,7	0,7	23,2	0,0	37,8	0,2	2,4
Pratylenchidae	END	0,2	0,0	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0
Tylenchidae	EPI	3,5	4,1	6,5	47,8	11,5	36,1	5,3	37,5	5,5	24,0	46,6
Anguinidae	FUN	0,4	0,3	4,0	0,3	0,8	0,0	0,0	1,3	6,5	0,8	1,2
Aphelenchidae	FUN	1,1	3,5	4,4	1,6	0,0	4,5	2,6	0,3	4,9	2,9	2,8
Aphelenchoididae	FUN	0,7	0,6	5,2	1,3	2,4	0,3	4,8	2,2	4,8	1,7	0,6
Diphtherophoridae	FUN	0,8	0,3	1,9	0,0	0,0	0,3	0,4	0,0	0,6	1,2	0,2
Leptonchidae	FUN	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Qudsianematidae	OMN	1,6	0,0	1,1	0,3	1,6	1,3	0,9	4,7	4,6	0,2	2,0
Aporcelaimidae	PRE	0,2	0,0	0,4	0,3	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Mononchidae	PRE	1,2	1,2	1,9	0,9	1,2	1,0	0,4	1,3	2,6	1,5	2,0
Nygolaimidae	PRE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tripylidae	PRE	0,2	1,2	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	1,8	1,3	0,0
Hoplolaimidae	SEM	2,1	2,6	10,0	0,9	1,6	1,4	7,9	0,3	1,4	5,3	1,6

Tab. 7-25: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsvariantenvergleichs (Versuchsvarianten I bis IV) der Leistungs- und Ertragsdaten der Rebstöcke der Versuchsflächen O/R (Jahr 2000) und o/R (Jahre 2000-2001 und 2003-2004). Abkürzungen siehe Tab. 2-3.

Versuchsvarianten	n	Versuchsvariante II	Versuchsvariante III	Versuchsvariante IV	n	Versuchsvariante II	Versuchsvariante III	Versuchsvariante IV
Versuchsfläche O/R Jahr 2000								
		Stockertrag [kg]				100-Beerengewicht [g]		
I	20	0,978404	0,297201	0,818049	20	0,989208	0,881725	0,935316
II	20	x	0,171850	0,735149	20	x	0,871069	0,597846
III	20		x	0,110366	20		x	0,903112
IV	20			x	20			x
		°Oechsle				pH-Wert		
I	20	0,266287	0,027244	0,304536	20	0,282922	0,006332	0,586800
II	20	x	0,101087	0,002642	20	x	0,006332	0,559467
III	20		x	0,000077	20		x	0,005689
IV	20			x	20			x
		Brix						
I	20	0,147087	0,019863	0,473003				
II	20	x	0,162786	0,002016				
III	20		x	0,000077				
IV	20			x				
Versuchsfläche o/R Jahr 2000								
		Stockertrag [kg]				100-Beerengewicht [g]		
I	20	0,361080	0,892389	0,261573	20	0,079057	0,006550	0,000104
II	19	x	0,332265	0,921653	19	x	0,910505	0,069928
III	20		x	0,316808	20		x	0,049832
IV	20			x	20			x
		°Oechsle				pH-Wert		
I	20	0,735847	0,213066	0,560705	20	0,517017	0,000053	0,356077
II	19	x	0,297812	0,899319	19	x	0,000144	0,683051
III	20		x	0,408740	20		x	0,002174
IV	20			x	20			x
		Brix						
I	20	0,789380	0,213066	0,560705				
II	19	x	0,205378	0,811107				
III	20		x	0,408740				
IV	20			x				
Versuchsfläche o/R Jahr 2001								
		Stockertrag [kg]				100-Beerengewicht [g]		
I	19	0,285629	0,006978	0,003172	19	0,160058	0,009739	0,006421
II	20	x	0,184960	0,051397	20	x	0,316853	0,379266
III	20		x	0,516090	20		x	0,776380
IV	20			x	20			x
		°Oechsle				pH-Wert		
I	19	0,050483	0,029283	0,000270	19	0,524391	0,640722	0,777686
II	20	x	0,765651	0,139937	20	x	0,945845	0,231588
III	20		x	0,046422	20		x	0,178775
IV	20			x	20			x
		Brix						
I	19	0,047336	0,029283	0,000230				
II	20	x	0,755432	0,129427				
III	20		x	0,034518				
IV	20			x				

Tab. 7-25 Fortsetzung

Versuchsvarianten	n	Versuchsvariante II	Versuchsvariante III	Versuchsvariante IV	n	Versuchsvariante II	Versuchsvariante III	Versuchsvariante IV
				Versuchsfläche o/R Jahr 2003				
			Stockertrag [kg]			100-Beerengewicht [g]		
I	20	0,285170	0,080947	0,248986	20	0,198814	0,026548	0,086539
II	20	x	0,343607	0,843982	20	x	0,233967	0,800363
III	20		x	0,518016	20		x	0,509045
IV	19			x	19			x
			°Oechsle				pH-Wert	
I	20	0,179841	0,674784	0,120720	20	0,002653	0,090545	0,235787
II	20	x	0,049425	0,803506	20	x	0,255401	0,048183
III	20		x	0,055318	20		x	0,412382
IV	18			x	18			x
			Brix					
I	20	0,179841	0,674784	0,120720				
II	20	x	0,049425	0,803506				
III	20		x	0,055318				
IV	18			x				
				Versuchsfläche o/R Jahr 2004				
			Stockertrag [kg]			100-Beerengewicht [g]		
I	10	0,519895	0,449522	0,058688	10	0,226477	0,650148	0,762369
II	10	x	0,939743	0,150928	10	x	0,879829	0,226477
III	10		x	0,256840	10		x	0,596702
IV	10			x	10			x
			°Oechsle				pH-Wert	
I	10	0,081870	0,272857	0,677242	10	0,494665	0,001118	0,542298
II	10	x	0,495968	0,129992	10	x	0,001420	0,195713
III	10		x	0,623046	10		x	0,012149
IV	10			x	10			x
			Brix					
I	10	0,034092	0,140168	0,404795				
II	10	x	0,495968	0,129992				
III	10		x	0,623046				
IV	10			x				

Tab 7-26: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Wuchses der Gewächshauspflanzen im Rahmen der Versuche zur Pathogenkonduktivität und -suppressivität der Böden der Versuchsflächen.
A. Pflanzerde Einheitserde; B. Pflanzerde O/R; C. Pflanzerde o/R
Abkürzungen siehe Abb. 3-23.

A (n = 6)		Pflanzerde Einheitserde				
		C_I	c_I-O/R	C_I-O/R	c_I-o/R	C_I-o/R
Pflanzerde Einheitserde	c_i	0,17574	0,17574	0,00575	0,00564	0,02594
	C_I	X	0,52282	0,00745	0,00721	0,01826
	c_I-O/R		X	0,00188	0,00227	0,00686
	C_I-O/R			X	0,52329	0,59816
	c_I-o/R				X	0,33592

B (n = 6)		Pflanzerde O/R		
		C_i	c_I-o/R	C_I-o/R
Pflanzerde O/R	c_i	0,60076	0,00689	0,01508
	C_i	X	0,00177	0,00577
	c_I-o/R		X	1,00000

C (n = 6)		Pflanzerde o/R		
		C_i	c_I-O/R	C_I-O/R
Pflanzerde o/R	c_i	0,00227	0,09169	0,00686
	C_i	X	0,00677	0,07479
	c_I-O/R		X	0,07479

Tab. 7-27: Ergebnisse des Gewächshausversuchs zur biologischen Reblauskontrolle durch den entomopathogenen Pilz *M. anisopliae*.
Versuchsvarianten: ma = ohne *M. anisopliae*, MA = mit *M. anisopliae*, r = ohne Reblaus, R = mit Reblaus
Abkürzungen siehe Kap. II. Daten aus KIRCHMAIR et al. 2004.

	DPI	Versuchsvarianten			
		r/ma	R/ma	r/MA	R/MA
Relativer Chlorophyllgehalt [%]	0	35.1 ± 1.9	32.8 ± 1.7	35.0 ± 1.6	34.8 ± 1.8
(MW ± Stabw)	32	25.1 ± 2.0	26.9 ± 2.1	26.9 ± 2.1	25.2 ± 2.3
Rebwuchs	4	3 ± 0.0	4 ± 0.4	4 ± 0.5	4 ± 0.5
(Median ± (Q3-Q1)/2)	32	4 ± 0.4	4 ± 0.4	4 ± 0.5	4 ± 0.5
Befallsstärke [Klasse]	4	0	9 ± 0.0	0	9 ± 0.0
(Median ± (Q3-Q1)/2)	32	0	5 ± 1.0	0	1 ± 0.0
Pilzdichte [CFU / g TM Boden (MW ± Stabw)	32	$1{,}9 \times 10^3 \pm 2{,}8 \times 10^3$	$< 1{,}0 \times 10^2$	$4{,}9 \times 10^4 \pm 2{,}1 \times 10^4$	$7{,}3 \times 10^4 \pm 1{,}4 \times 10^4$

Tab. 7-28: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Versuchsvariantenvergleichs der Reblausbefallsstärke der Rebwurzeln (Einzelprobennahmepunkte und Rebstock) der Versuchsfläche R/5C in den Monaten Mai und Juli im Jahr 2003.
Abkürzungen siehe Tab. 2-6.

Versuchsvarianten	n	Versuchsvarianten GE	Versuchsvarianten MA	n	Versuchsvarianten GE	Versuchsvarianten MA
		30.05.2003 Stock			30.05.2003 A	
KO	18	0,681519	0,954961	10	0,768083	0,236724
GE	19	x	0,635827	15	x	0,333999
MA	19		x	14		x
		30.05.2003 B			30.05.2003 C	
KO	14	0,957372	0,861380	13	0,957372	1,000000
GE	13	x	0,903754	14	x	0,957372
MA	11		x	13		x
		09.07.2003 Stock			09.07.2003 A	
KO	25	0,486653	1,000000	22	0,889796	0,461729
GE	29	x	0,435991	21	x	0,403109
MA	24		x	24		x
		09.07.2003 B			09.07.2003 C	
KO	22	0,955344	0,455140	21	0,692964	0,086412
GE	25	x	0,470434	24	x	0,028255
MA	22		x	7		x

Tab. 7-29: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests der Anzahl der Nodositäten je g Wurzeltrockenmasse in den Boniturklassen 3 bis 9 der untersuchten Rebstöcke der Versuchsvarianten auf der Fläche R/5C im Jahr 2005 basierend auf der beprobten Gesamtwurzelmasse je Rebstock.
Abkürzungen siehe Tab. 2.6.

Versuchsvarianten	n	Versuchsvarianten MA 2003	Versuchsvarianten MA 2004	n	Versuchsvarianten MA 2003	Versuchsvarianten MA 2004	Versuchsvarianten BI 2004
		Fahrgasse			Unterstock		
			Boniturklasse 3				
KO	5	0,754023	0,075801	4	0,141646	0,806496	0,462433
MA 2003	5	x	0,117186	5	x	0,117186	0,075801
MA 2004	5		x	5		x	0,754023
BI 2004	0			5			x
			Boniturklasse 5				
KO	5	0,675174	0,117186	4	0,370551	0,624206	0,462433
MA 2003	5	x	0,174526	5	x	0,112731	0,072255
MA 2004	5		x	5		x	0,754023
BI 2004	0			5			x
			Boniturklasse 7				
KO	5	0,666430	0,401966	4	0,249616	0,806496	0,902117
MA 2003	5	x	0,281199	5	x	0,072255	0,195957
MA 2004	5		x	5		x	0,754023
BI 2004	0			5			x
			Boniturklasse 9				
KO	5	0,459208	0,117186	4	0,249616	1,000000	0,902117
MA 2003	5	x	0,074914	5	x	0,169266	0,195957
MA 2004	5		x	5		x	0,754023
BI 2004	0			5			x

Tab. 7-30: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests der Anzahl der Rebläuse und Reblauseier sowie der Nodositäten mit Reblaus- und/oder Reblauseibesatz je g Wurzeltrockenmasse der untersuchten Rebstöcke der Versuchsvarianten auf der Fläche R/5C im Jahr 2005 basierend auf der beprobten Gesamtwurzelmasse je Rebstock.
Abkürzungen siehe Tab. 2.6.

Versuchsvarianten		n	Versuchsvarianten MA 2003	Versuchsvarianten MA 2004	n	Versuchsvarianten MA 2003	Versuchsvarianten MA 2004	Versuchsvarianten BI 2004
			Fahrgasse			Unterstock		
				Reblaus				
	KO	5	0,601509	0,047203	4	0,141646	0,624206	0,327188
	MA 2003	5	x	0,117186	5	x	0,117186	0,075801
	MA 2004	5		x	5		x	0,916815
	BI 2004	0			5			x
				Reblauseier				
	KO	5	0,834035	0,174526	4	0,249616	0,624206	0,902117
	MA 2003	5	x	0,347208	5	x	0,112731	0,195957
	MA 2004	5		x	5		x	0,601509
	BI 2004	0			5			x
				Nodositäten mit Reblaus und Reblauseiern				
	KO	5	1,000000	0,117186	4	0,249616	0,806496	0,712155
	MA 2003	5	x	0,117186	5	x	0,169266	0,195957
	MA 2004	5		x	5		x	0,464703
	BI 2004	0			5			x

Tab. 7-31: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests der Abundanz [Individuen / m^2] des Edaphons im Jahr 2003 in den Bodentiefen 0-20 cm, 0-10 cm und 10-20 cm. 'Rest' umfasst die Gruppen: Enchytraeidae, Lumbricidae, Pseudoscorpiones, Araneae, Isopoda, Pauropoda, Symphyla, Diplopoda, Chilopoda, Diplura, Psocoptera, Homoptera, Coleoptera (larval und adult), Formicidae, Diptera (larval und adult). Abkürzungen siehe Tab. 2.6.
Daten aus: HUBER et al. 2004.

Versuchsvarianten		n	GE	KO	GE	KO	GE	KO
			08. Jul.		02. Sep.		06. Okt.	
					Acari			
					Bodentiefe 0-20 cm			
	MA	16	0,336437	0,821067	0,636822	0,141133	0,015185	0,038737
	GE	16	x	0,375704	x	0,316809	x	0,752048
	KO	16		x		x		x
					Bodentiefe 0-10 cm			
	MA	8	0,528617	0,752716	0,791999	0,343146	0,028127	0,234499
	GE	8	x	0,752716	x	0,268744	x	0,645377
	KO	8		x		x		x
					Bodentiefe 10-20 cm			
	MA	8	0,293629	0,833636	0,398382	0,205912	0,160528	0,160528
	GE	8	x	0,293629	x	0,752186	x	0,878477
	KO	8		x		x		x
					Collembola			
					Bodentiefe 0-20 cm			
	MA	16	0,520566	0,364750	0,381635	0,043663	0,270326	0,009551
	GE	16	X	0,939732	X	0,306828	X	0,101642
	KO	16		x		x		x
					Bodentiefe 0-10 cm			
	MA	8	0,832171	0,429884	0,957843	0,152594	0,645377	0,130381
	GE	8	X	0,873811	X	0,206248	X	0,234499
	KO	8		x		x		x
					Bodentiefe 10-20 cm			
	MA	8	0,368848	0,268390	0,149203	0,151672	0,382284	0,037918
	GE	8	X	0,673293	X	0,873904	X	0,278632
	KO	8		x		x		x
					Rest			
					Bodentiefe 0-20 cm			
	MA	16	0,634410	0,391273	0,606255	0,798420	0,363784	0,371348
	GE	16	X	0,848329	X	0,594341	X	0,876665
	KO	16		x		x		x
					Bodentiefe 0-10 cm			
	MA	8	0,362698	0,359370	0,827261	0,267119	1,000000	0,436139
	GE	8	X	0,116502	X	0,396980	X	0,512361
	KO	8		x		x		x
					Bodentiefe 10-20 cm			
	MA	8	0,221639	0,873717	0,653098	0,192194	0,284598	0,520534
	GE	8	X	0,222681	X	0,076532	X	0,485720
	KO	8		x		x		x

Tab. 7-31 Fortsetzung:

			Acari			Collembola			Rest		
		n	Bodentiefen								
			10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20
			08. Jul.	02. Sep.	06. Okt.	08. Jul.	02. Sep.	06. Okt.	08. Jul.	02. Sep.	06. Okt.
			Alle Versuchsvarianten								
Bodentiefen	0-10	24	0,24817	0,07577	0,31044	0,01241	0,38890	0,11055	0,01751	0,64306	0,13233
	10-20	24	x	x	x	x	x	x	x	x	x
			Versuchsvariante MA								
	0-10	8	0,49452	0,06529	0,64538	0,24626	0,39161	0,38228	0,02912	0,65633	0,16098
	10-20	8	x	x	x	x	x	x	x	x	x
			Versuchsvariante GE								
	0-10	8	0,83364	0,75130	0,32821	0,24591	0,56151	0,38228	0,59515	0,54063	0,91393
	10-20	8	x	x	x	x	x	x	x	x	x
			Versuchsvariante KO								
	0-10	8	0,22681	0,18862	0,87848	0,05797	0,22372	0,38228	0,01606	0,07182	0,15772
	10-20	8	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tab. 7-32: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests der Abundanz [Individuen / m^2] der Collembola im Jahr 2003 in den Bodentiefen 0-20 cm, 0-10 cm und 10-20 cm (Vergleich der Versuchsvarianten und Bodentiefen). Dargestellt sind die Werte für die Einzelarten *Mesophorura krausbaueri* und *Folsomides parvulus*, die Gruppe 'Rest' umfasst alle anderen in den Proben enthaltenen Arten.
Abkürzungen siehe Tab. 2.6, Verzeichnis der Arten aus der Gruppe 'Rest' siehe Abb. 7-7.
Daten aus: HUBER et al. 2004

Versuchsvarianten		n	GE	KO	GE	KO	GE	KO
			08. Jul.		02. Sep.		06. Okt.	
					Mesaphorura krausbaueri			
					Bodentiefe 0-20 cm			
	MA	16	0,803140	0,337897	0,294388	0,126945	0,408163	0,023985
	GE	16	x	0,147397	x	0,816651	x	0,168435
	KO	16		x		x		x
					Bodentiefe 0-10 cm			
	MA	8	0,669347	0,452452	0,352821	0,193265	0,589155	0,203737
	GE	8	x	0,235931	x	0,868858	x	0,386477
	KO	8		x		x		x
					Bodentiefe 10-20 cm			
	MA	8	0,956868	0,520215	0,554662	0,415761	0,530267	0,042255
	GE	8	x	0,389430	x	0,915171	x	0,213757
	KO	8		x		x		x
					Folsomides parvulus			
					Bodentiefe 0-20 cm			
	MA	16	0,492336	0,825415	0,451893	0,374329	0,317311	0,923391
	GE	16	x	0,535735	x	0,188992	x	0,285050
	KO	16		x		x		x
					Bodentiefe 0-10 cm			
	MA	8	0,309370	0,957299	0,089529	0,202875	0,317311	0,831749
	GE	8	x	0,217435	x	0,027191	x	0,248214
	KO	8		x		x		x
					Bodentiefe 10-20 cm			
	MA	8	0,889708	0,889708	0,522285	0,782597	1,000000	1,000000
	GE	8	x	0,944932	x	0,701674	x	1,000000
	KO	8		x		x		x
					Rest			
					Bodentiefe 0-20 cm			
	MA	16	0,149504	0,506133	0,585009	0,205969	0,113074	0,007714
	GE	16	x	0,505617	x	0,421612	x	0,150929
	KO	16		x		x		x
					Bodentiefe 0-10 cm			
	MA	8	0,342073	0,874460	1,000000	0,162959	0,636006	0,092571
	GE	8	x	0,560924	x	0,162959	x	0,243197
	KO	8		x		x		x
					Bodentiefe 10-20 cm			
	MA	8	0,181376	0,336630	0,493568	0,725137	0,114383	0,027197
	GE	8	x	0,554052	x	0,736044	x	0,371326
	KO	8		x		x		x

Tab. 7-32 Fortsetzung:

		n	*Mesaphorura krausbaueri*			*Folsomides parvulus*			Rest		
			Bodentiefen								
			10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20
			08. Jul.	02. Sep.	06. Okt.	08. Jul.	02. Sep.	06. Okt.	08. Jul.	02. Sep.	06. Okt.
			Alle Versuchsvarianten								
Bodentiefen	0-10	24	0,72915	0,11679	0,08397	0,00007	0,00220	0,13523	0,01653	0,94653	0,10103
	10-20	24	x	x	x	x	x	x	x	x	x
			Versuchsvariante MA								
	0-10	8	0,95759	0,11753	0,19485	0,01771	0,01496	0,31731	0,24239	0,95165	0,17185
	10-20	8	x	x	x	x	x	x	x	x	x
			Versuchsvariante GE								
	0-10	8	0,70455	0,74164	0,26909	0,05549	0,81517	1,00000	0,10001	0,39169	0,39977
	10-20	8	x	x	x	x	x	x	x	x	x
			Versuchsvariante KO								
	0-10	8	0,82740	0,38980	0,38648	0,01488	0,01149	0,24821	0,08857	0,32029	0,30010
	10-20	8	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tab. 7-33: Ergebnisse der ANOVA der Leistungs- und Ertragsdaten der Rebstöcke der Versuchsfläche R/5C, Versuchsvarianten KO, GE und MA im Jahr 2003. Abkürzungen siehe Tab. 2-6.

		n	Versuchsvarianten		n	Versuchsvarianten		n	Versuchsvarianten	
			GE	MA		GE	MA		GE	MA
			Stockertrag [kg]			100-Beerengewicht [g]			Brix	
Versuchsvarianten	KO	19	0,106003	0,423118	19	0,574149	0,943994	19	0,735511	0,200753
	GE	20	x	0,163320	20	x	0,597829	20	x	0,143533
	MA	20		x	20		x	20		x
			°Oechsle			pH-Wert				
	KO	19	0,735511	0,200753	19	0,462789	0,003287			
	GE	20	x	0,143533	20	x	0,000891			
	MA	20		x	20		x			

Tab. 7-34: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests des Bodenwassergehaltes [% TM], der organischen Bodensubstanz [% TM] und des pH-Wertes im Jahr 2003 in den Bodentiefen 0-20 cm, 0-10 cm und 10-20 cm.
Abkürzungen siehe Kap. III, Tab. 2.6.

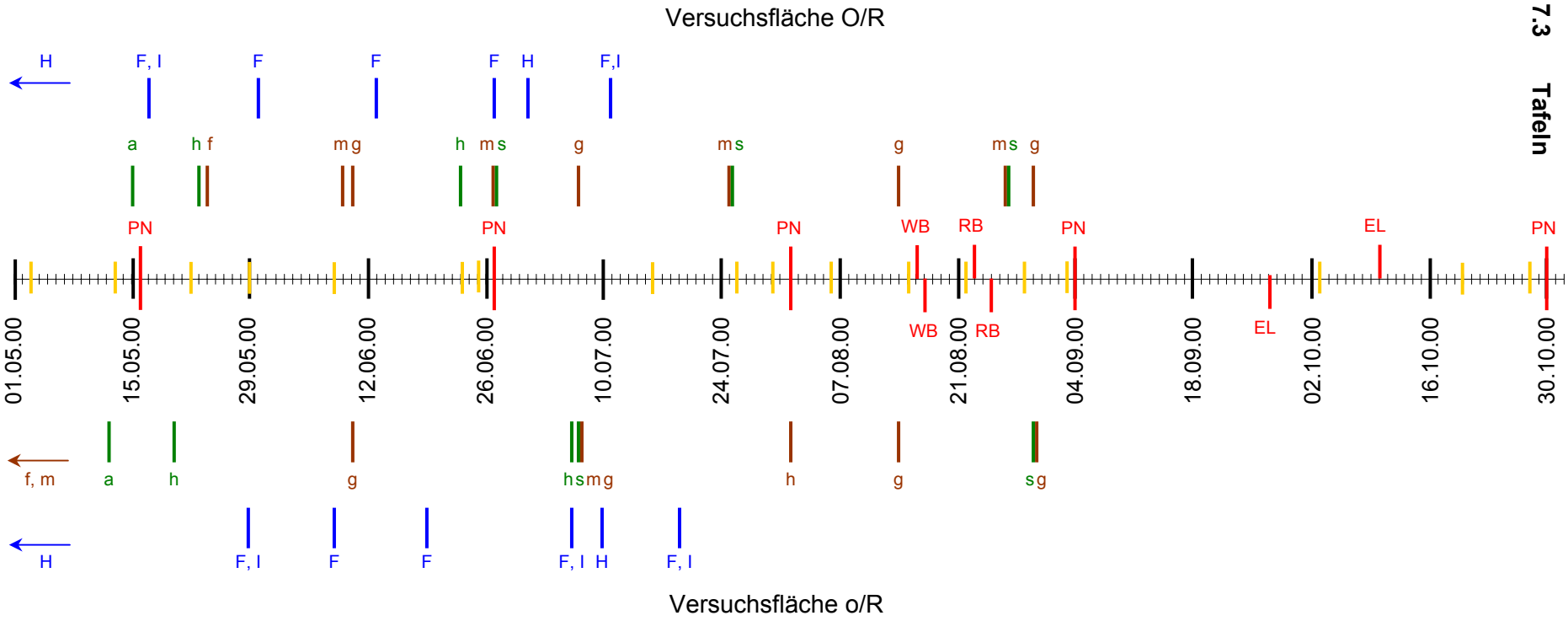
		Versuchsvarianten								
			GE	KO		GE	KO		GE	KO
		n	08. Jul.		n	02. Sep.		n	06. Okt.	
						Bodenwassergehalt (WG)				
						Bodentiefe 0-20 cm				
Versuchsvarianten	MA	16	0,473941	0,407022	16	0,038190	0,205912	16	0,291301	0,004181
	GE	16	x	0,089895	16	x	0,635260	16	x	0,000040
	KO	16		x	16		x	15		x
						Bodentiefe 0-10 cm				
	MA	8	0,092902	0,172177	8	0,011724	0,297629	8	0,462255	0,020869
	GE	8	x	0,003278	8	x	0,297629	8	x	0,011724
	KO	8		x	8		x	7		x
						Bodentiefe 10-20 cm				
	MA	8	0,599514	0,916360	8	0,015720	0,046008	8	0,528617	0,092902
	GE	8	x	0,528617	8	x	0,916360	8	x	0,001133
	KO	8		x	8		x	8		x
						Organische Bodensubstanz (OBS)				
						Bodentiefe 0-20 cm				
Versuchsvarianten	MA	16	0,163179	0,597750	16	0,082983	0,327137	16	0,386033	0,706258
	GE	16	x	0,546498	16	x	0,763027	16	x	0,651080
	KO	16		x	16		x	16		x
						Bodentiefe 0-10 cm				
	MA	8	0,035700	0,462255	8	0,207588	0,833636	8	0,207588	0,674427
	GE	8	x	0,462255	8	x	0,462255	8	x	0,528617
	KO	8		x	8		x	8		x
						Bodentiefe 10-20 cm				
	MA	8	0,916360	0,674427	8	0,172177	0,141492	8	0,248004	0,462255
	GE	8	x	0,916360	8	x	1,000000	8	x	0,674427
	KO	8		x	8		x	8		x
						pH-Wert				
						Bodentiefe 0-20 cm				
Versuchsvarianten	MA	16	0,192906	0,041352	16	0,000901	0,000059	16	0,509116	1,000000
	GE	16	x	0,428550	16	x	0,101001	16	x	0,748523
	KO	16		x	16		x	15		x
						Bodentiefe 0-10 cm				
	MA	8	0,317363	0,269451	8	0,027203	0,011600	8	0,916237	0,833516
	GE	8	x	0,833516	8	x	0,400820	8	x	0,916298
	KO	8		x	8		x	7		x
						Bodentiefe 10-20 cm				
	MA	8	0,562953	0,082000	8	0,015339	0,002646	8	0,293274	0,792599
	GE	8	x	0,293629	8	x	0,141492	8	x	0,916237
	KO	8		x	8		x	8		x

Tab. 7-34 Fortsetzung:

			Wassergehalt			Organische Bodensubstanz			pH-Wert		
		n	Bodentiefen								
			10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20
			08. Jul.	02. Sep.	06. Okt.	08. Jul.	02. Sep.	06. Okt.	08. Jul.	02. Sep.	06. Okt.
			Alle Versuchsvarianten								
Bodentiefen	0-10	24	0,00084	0,00000	0,54986 (n = 23)	0,00012	0,00097	0,00000	0,36382	0,87706	0,77271
	10-20	24	x	x	x	x	x	x	x	x	x
			Versuchsvariante MA								
	0-10	8	0,03570	0,02743	1, 00000	0,00866	0,11519	0,00458	0,31629	0,31557	0,40013
	10-20	8	x	x	x	x	x	x	x	x	x
			Versuchsvariante GE								
	0-10	8	0,00113	0,00078	0,24800	0,02087	0,07421	0,00633	0,79260	0,95803	0,71279
	10-20	8	x	x	x	x	x	x	x	x	x
			Versuchsvariante KO								
	0-10	8	0,40082	0,01509	0,59951 (n = 7)	0,11519	0,02087	0,00328	0,37168	0,52862	1,00000
	10-20	8	x	x	x	x	x	x	x	x	x

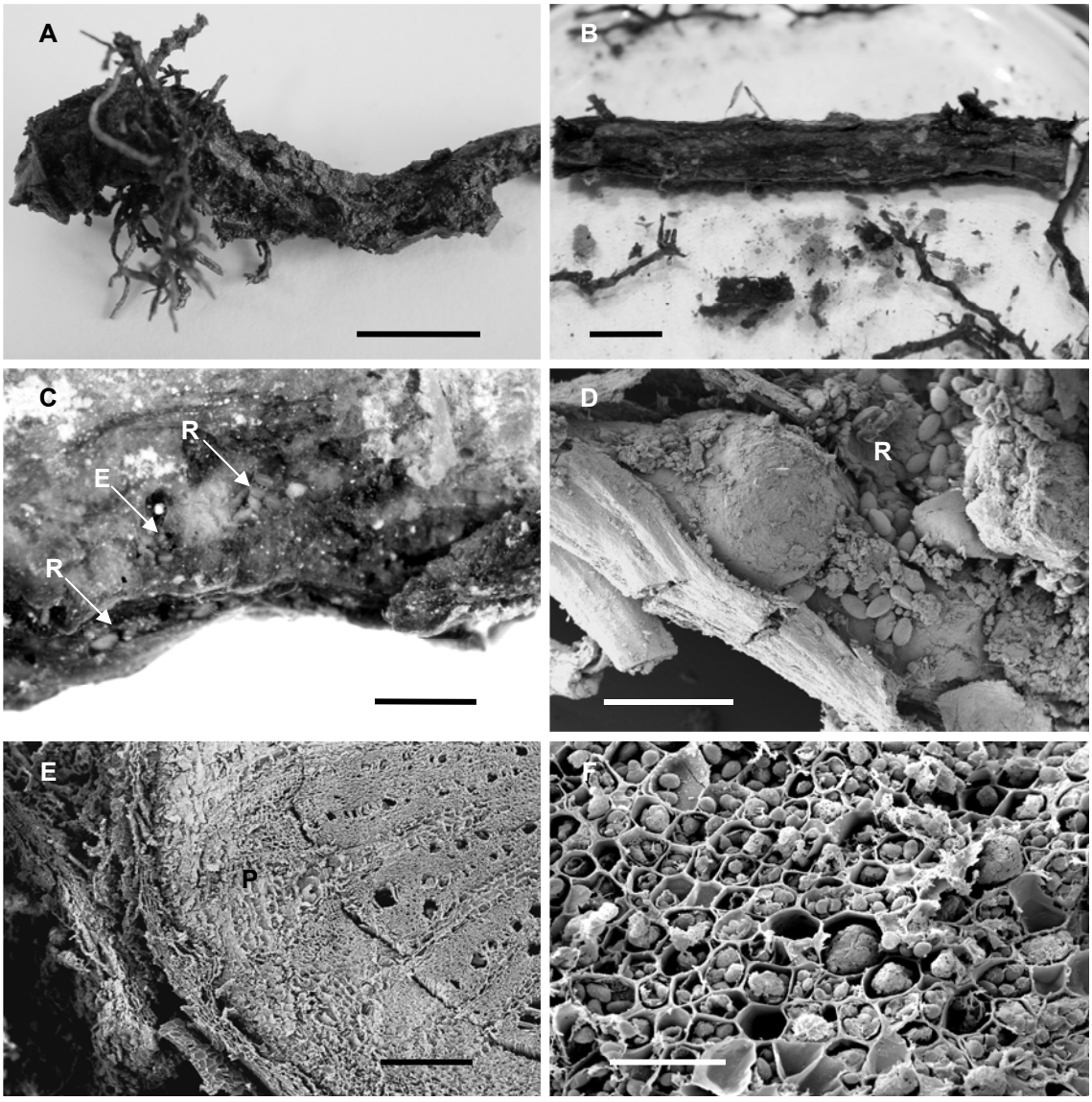
Art	Literaturangaben: Petri 1907	Milko 1962 ng	Milko 1962 tg	Perov et al. 1971	Vannacci et al. 1984	Nedov & Guler 1987	Omer et al. 1995	Granett et al. 1998	Lotter et al. 1999	Eigene Untersuchungen: Versuchsflächen / -varianten: Mikrokompartiment: o/r wf	o/r wn	o/r rp	o/r wg	o/R wf	o/R wn	o/R rp	o/R ng	o/R wg	o/R/IV wf	o/R/IV wn	o/R/IV rp	o/R/IV ng	O/R wf	O/R wn	O/R rp	O/R ng	O/R wg	O/R/IV wf	O/R/IV wn	O/R/IV rp
Acr-fur										x				x	x	x	3					x	x	x						
Alt-alt	S												x			x	1, 3						x	x						
Asp-ust		P												x		x	2, 3													
Cla-cla														x	x	x	1, 3	x												
Cyl-des		P	P		x	**P**								x	x	x	2			x	x	x				x				
Cyl-mag																	1, 2, 3													
Cyl-lic																	3													
Fus-equ		P	**P**		x	P				x	x	x					2	x												
Fus-oxy		P	**P**	**P**		**P**	P	SP	P					x	x	x	1, 2, 3	x												
Fus-sac																	2, 3													
Fus-sam																	1, 2													
Fus-sol		P			x	P											2													
Gli-cat														x	x	x	1, 2	x		x	x	x								
Gli-ros	P				x	P								x	x	x	1, 2	x		x	x	x								
Muc-hie																	2, 3													
Nec-inv						S								x	x		1, 3			x	x	x								
Pen-cit														x	x	x				x	x	x								
Rhi-sto														x	x	x	1, 3													
Sch-com															x	x	3													
Tri-kon									N								2, 3													

Tab. 7-35: Vergleich der aus Nodositäten- und Wurzelgewebe isolierten Pilzarten und deren Vorkommen in verschiedenen Mikrokompartimenten der Versuchsflächenböden sowie deren ökologische Bewertung in kontextbezogener Literatur*.
N = Nützling, ng = Nodositätengewebe, P = Pathogen, rp = Rhizoplane, S = Saprophyt, SP = Sekundärpathogen, tg = Tuberositätengewebe, wf = wurzelfern, wn = wurzelnah; 1,2,3 = Alter der untersuchten Nodosität (Tab. 3-10); Bezeichnung der Versuchsflächen siehe Tab. 2-3; * nach Angaben der Autoren

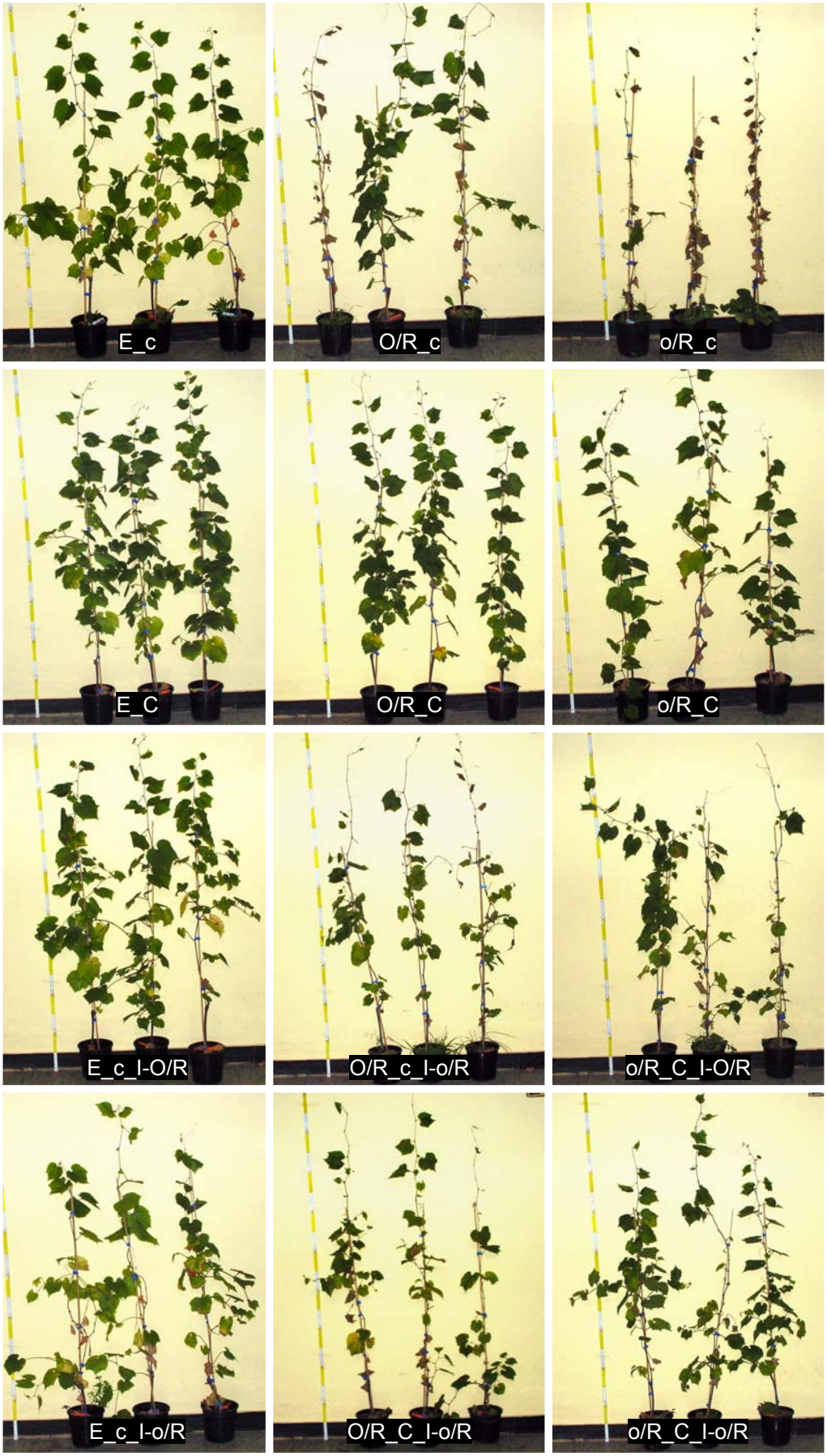


- Bodenbearbeitung: f = Fräsen, g = Grubbern, m = Mulchen
- Pflanzenschutzmaßnahmen: F = Fungizid, H = Herbizid, I = Insektizid
- Stockarbeiten: a = Ausbrechen, h = Heften, s = Laubschnitt
- Flächenbegehungen: Kontrolle, Vorbereitungen Probennahmen, etc.
- EL = Einzelstocklese, PN = Probennahme, RB = Reblausbonitur, WB = Wuchsbonitur Rebstöcke

Tafel 7-1: Zeitlicher Verlauf der im Rahmen der bodenbiologischen Untersuchungen zur Wirkung phytopathogener Bodenpilze und deren Antagonisten in Rebanlagen mit Reblausbefall im Jahr 2000 durchgeführten Arbeiten.
Vergleiche auch Tab. 7-1 bis 7-4.



Tafel 7-2: Tuberositäten bei *Vitis* sp.
A. Tuberosität an *Vitis vinifera* (Riesling, Herkunft: Deutschland). B. Tuberosität an *V. berlandieri* x *V. riparia* (5C, Herkunft: Deutschland). C. Ausschnitt aus B; Rebläuse (R) und Reblauseier (E) in freiliegendem Parenchymgewebe (Wurzelrinde entfernt). D. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Eigeleges und einer abgestorbenen Reblaus (R) an einer Tuberosität. E. Schnitt durch eine Tuberosität mit Gewebsveränderungen vor allem im Parenchymgewebe (P, REM). F. Ansammlung von Stärkekörner in den Zellen des Parenchymgewebes einer Tuberosität (REM).
Größenbalken: A+B. 10 mm, C+D. 1 mm, E. 200 µm, F. 50 µm.

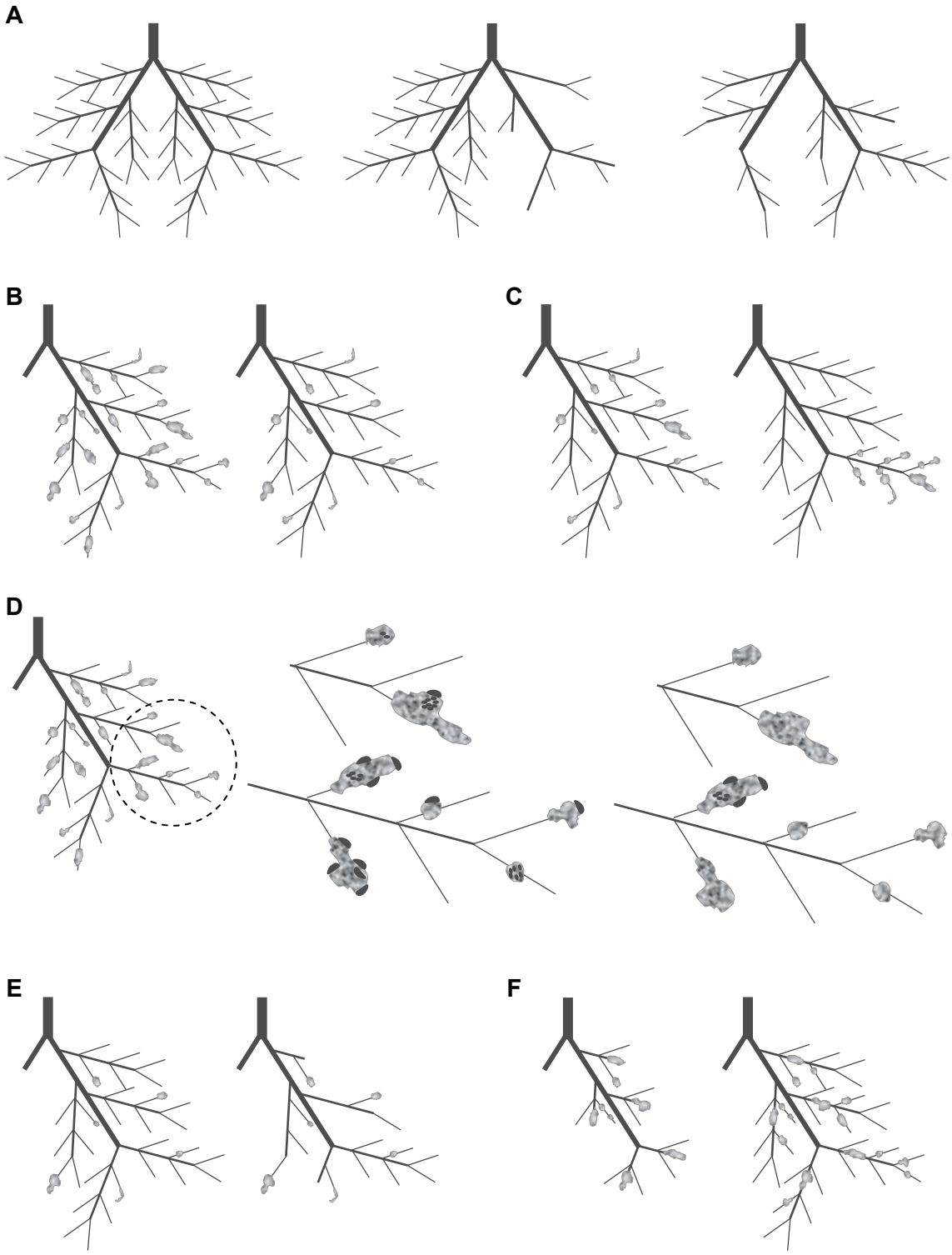


Tafel 7-3: Ergebnis der Endbonitur des Gewächshausversuchs zur Pathogen-

suppressivität und -konduktivität der Böden der Versuchsflächen.
Zeitpunkt der Endbonitur: 14.09.2000.
C: Boden erhitzt; c: Boden nicht erhitzt; E = Einheitserde; I: inokuliert mit Bodensuspension; i: nicht inokuliert mit Bodensuspension; -O/R: Suspension des Bodens der intensiv, primär auf der Zufuhr organischer Substanz basierend bewirtschafteten Versuchsfläche; -o/R: Suspension des Bodens der extensiv, primär auf der Zufuhr von Mineraldüngern basierend bewirtschafteten Versuchsfläche; Pflanzerde O/R: Boden der intensiv, primär auf der Zufuhr organischer Substanz basierend bewirtschafteten Versuchsfläche; o/R: Boden der extensiv, primär auf der Zufuhr von Mineraldüngern basierend bewirtschafteten Versuchsfläche.
Auswertung und Statistik siehe Abb. 3-23 und Tab. 7-26.



Tafel 7-4: Applikation von *M. anisopliae* zur biologischen Reblausbekämpfung.
A+B: Applikation des Gersteninokulats im Bereich der Fahrgasse durch Schmalspurschlepper mit Saatmaschine und Kreiselegge im Heckanbau. C-F: Applikation des Präparats im Unterstockbereich durch Schmalspurschlepper mit Scheibenpflug (Fa. Rust) im Seitenanbau (E+F: vor und nach der Bearbeitung). G: Fahrgassen und Unterstockapplikation durch Schmalspurschlepper mit Saatmaschine und Kreiselegge im Heckanbau und Schmalspurschlepper mit Scheibenpflug im Seitenanbau. H: Nach der Applikation in der Fahrgasse und im Unterstockbereich.



Tafel 7-5: Schematische Darstellung verschiedener Befallsbilder bei Reblausbefall an Unterlagsreben.
Erläuterungen im Text.

7.4 Literaturauswertung der Ökologie der Bodenpilze

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Literaturauswertung zur Ökologie der im Rahmen der bodenbiologischen Untersuchungen isolierten Bodenpilze wiedergegeben. Die Vorgehensweise und der Datenumfang sind in Kap. 2.3 beschrieben. Es wurden nur kontextbezogene Angaben in diese Darstellung aufgenommen. Nicht im Zusammenhang mit den Untersuchungen stehende Angaben, beispielsweise humanmedizinische oder lebensmitteltechnische Befunde wurden nicht aufgenommen. Dargestellt sind Befunde zum Vorkommen, zur Lebensweise und zu Interaktionen mit anorganischen Bodenparametern, Interaktionen mit Pflanzen (einschließlich der Gattung *Vitis*), Bodenfauna und Bodenmikroorganismen. Ebenso wurden solche Untersuchungsergebnisse nicht berücksichtigt, welche keine Art-, sondern nur Gattungsangaben beinhalten.

Acremonium charticola (J. Lindau) W. Gams (1971)
Incertae sedis, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Cephalosporium charticola* J. Lindau
Bodenpilz. Verbreitung durch *Folsomia candida* (THIMM et al. 1998).

Acremonium furcatum Moreau & Moreau ex Gams (1969)
Incertae sedis, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Cephalosporium furcatum* F. & V. Moreau (1941)
Häufiger, ubiquitär auftretender Bodenpilz. Verbreitet in Kulturböden und auf verrottendem Pflanzenmaterial. Baut Zellulose ab.
Antagonistische Wirkung gegenüber verschiedenen pathogenen Bodenpilzen z.B. *Rhizoctonia solani*.

Acremonium kiliense Grütz (1925)
Incertae sedis, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Cephalosporium acremonium* var. *cereum* Sukapure & Thirum., *Cephalosporium candidum* Sukapure & Thirum. (1966), *Cephalosporium incarnatum* Sukapure & Thirum. (1963), *Cephalosporium infestans* Govindu & Thirum. (1962), *Cephalosporium kiliense* (Grütz) E. Hartmann (1926) und andere
Häufiger, weit verbreiteter Bodenpilz auch in Kulturböden. In der Rhizosphäre von *Cassia occidentalis* und Erlen sowie auf den Oberflächen verschiedener Pflanzen. Vermutete antagonistische Wirkung gegenüber *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

Acremonium strictum W. Gams (1971)

Incertae sedis, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota

Synonym: *Cephalosporium acremonium* Corda (1839), *Haplotrichum acremonium* (Corda) Pound & Clem. (1896), *Hyalopus acremonium* (Corda) M.A.J. Barbosa (1941)

Weltweit verbreitet. Häufigste *Acremonium*-Art im Boden. Häufig in Kulturböden. Häufig in der Rhizosphäre z.B. von *Ammophila arenaria* und auf Pflanzenoberflächen verschiedener Pflanzen.

Im Wurzelgewebe von Spargel mit phytopathogener Wirkung (BLOCK & BOLLEN 1995). Verursacht Chlorosen, Nekrosen und Welkeerscheinungen bei Mais (TAGNE et al. 2002). Bildet das Pflanzenwachstum fördernde Substanzen (JUNG et al. 2002).

Parasitiert Eier von *Meloidogyne* spp. (VERDEJO-LUCAS et al. 2002). Nahrungsquelle der Milbe *Pygmephorus mesembrinae*.

Antagonistisch gegenüber *Colleotrichum musae* (RAGAZZI & TURCO 1997). Bildet Bisvertinolon (KONTANI et al. 1994).

An Blättern, Zweigen und Beeren von *Vitis*.

Acrodontium crateriforme de Hoog (1972)

Incertae sedis, Incertae sedis, Incertae sedis, Ascomycetes, Ascomycota

Synonym: *Chloridium crateriforme* J.F.H. Beyma (1933), *Tritirachium crateriforme* (J.F.H. Beyma) Matsush. (1975).

Alternaria alternata (Fr.) Keissl. (1912)

Pleosporaceae, Pleosporales, Dothideomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota

Synonym: *Torula alternata* Fr. (1832), *Alternaria fasciculata* (Cooke & Ellis) L.R. Jones & Grout (1897), *Alternaria mali* Roberts (1924), *Alternaria rugosa* McAlpine (1896), *Alternaria tenuis* Nees (1822), *Macrosporium fasciculatum* Cooke & Ellis (1878)

Teleomorph: *Clathrospora diplospora* Ellis & Everh. (1894), *Clathrospora elynae* Rabenh. (1854), *Leptosphaeria heterospora* (de Not. 1863) Niessl 1972

Sehr häufiger Kosmopolit auf einer Vielzahl von Substraten in einer großen Anzahl verschiedener Bodentypen und auf Pflanzenoberflächen vieler Kulturpflanzen. *A. alternata* trägt zur Stabilisierung von Bodenaggregaten bei.

Verwertet eine Vielzahl verschiedenster Substrate. Nutzt verschiedenste C- und N-Quellen. Baut Stärke und Zellulose ab. Je nach Isolat ist Wachstum in einem sehr breiten pH-Bereich (2,7 - 8,0) möglich. *A. alternata* pv. *citri* bildet sehr schnell eine Resistenz gegen das Fungizid Iprodione, was auf eine Erhöhung der Catalase-Aktivität zurückgeführt wird (SOLEL et al. 1996).

Bedeutender Pflanzenschädling bei einer Vielzahl von Kulturpflanzen. Antagonistisch gegenüber *Amaranthus retroflexus* (LAWRIE et al. 2002a, b), *Lantana camara* (SAXENA & PANDEY 2002) und gilt als möglicher biologischer Kontrollorganismus für *Sphenoclea zeylanica* (MASANGKAY et al. 1999). Bildet eine Reihe von Phytotoxinen, z.B. Maculosin (BOBYLEV et al. 1995) und andere wirtsspezifische Toxine wie AM-, AK- oder AAL-Toxin (AKAMATSU et al. 1997). Manche Stämme werden *in vitro* durch das Phytoalexin Tomatin inhibiert.

Isoliert aus dem Darm von Raupen von *Dendrolimus sibiricus*. Eine Verbreitung erfolgt durch *Musca domestica* (SALES et al. 2002). Nahrungsquelle für den Collembolen *Hypogastrura tulbergi*, verschiedene Milben z.B. *Acarus gracilis*, Käfer (*Acanthoscelides obtectus*) und die Staublaus *Lepinotus reticulatus*.

Zeigt antagonistische Wirkung gegenüber einer Reihe von Pilzen und Bakterien, z.B. *Fusarium culmorum* (LIGGITT et al. 1997) und *Melampsora ciliata* (SHARMA et al. 2002). Bildet Fumonisin (ABBAS & RILEY 1996); von *Fusarium proliferatum* gebildetes Fumonisin suppressiert *Plasmopara viticola in vitro* und ist ein mögliches BCA zur Bekämpfung von Mehltau (FALK et al. 1996). *In vitro* wird *A. alternata* inhibiert durch *Memnoniella echinata* und *Bacillus subtilis*. Wird suppressiert durch von *Fusarium semitectum* gebildete Pyrone (ALTOMARE et al. 2000) und Chitinase (FANTA et al. 2003).

An *Vitis* wurde *A. alternaria* von verschiedenen Pflanzenteilen isoliert (Blätter, Beeren, Triebe, Holz). Verursacht Fruchtfäule und Schimmel bei Rosinen. Saprophyt an absterbenden und toten Geweben reblausbefallener Wurzeln (PETRI 1907).

Aspergillus ustus (Bainier) Thom & Church (1926)

Trichocomaceae, Eurotiales, Eurotiomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota

Synonym: *Sterigmatocystis ustus* Bainier

Ubiquitärer Bodenpilz mit weltweiter Verbreitung. Hauptverbreitungsbereich in den Tropen und Subtropen, wird aber auch aus alpinen und Böden kalter Regionen isoliert. Meist lokal und in geringen Dichten. Vorwiegend in Kulturböden. In Weinbergsböden. In der Rhizosphäre und Rhizoplane verschiedener Pflanzen. In Bodentiefen von 0-20 cm bei einem pH von 6,0-7,5. Abbau von Zellulose. Baut verschiedene Anilin-haltige Herbizide ab.

Kulturfiltrate und Konidien-Suspensionen zeigen toxische Wirkung z.B. gegenüber Baumwollsämlingen. Produziert Polygalacturonase (RAO et al. 2000).

Geringe Empfindlichkeit gegenüber mykostatischen Bodeneigenschaften. Resistenz gegenüber eines von *Stachybotrys chartarum* gebildeten Antibiotikums. Antagonistisch gegenüber *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*, *Stachybotrys chartarum* und

Sclerotinia sclerotiorum. Produziert Cyclosterol mit starker antagonistischer Wirkung gegenüber *Aspergillus fumigatus* (MIZUNO et al. 1995).
Im Wurzelgewebe von *Vitis*. Nach MILKO (1961) schwach am Absterbeprozess von Nodositäten beteiligt.

Botryotrichum piluliferum Sacc. & Marchal (1885)
Chaetomiaceae, Sordariales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Sepedonium albogriseum* Balf.-Browne (1952)
Teleomorph: *Chaetomium piluliferum* J. Daniels (1961)
Weltweit verbreitet in verschiedenen Böden bis in eine Tiefe von 80 cm. Geringe Toleranz gegenüber sauren Bodenbedingungen. Bevorzugt alkalische Böden (Wachstum auch bei pH > 8,8). Kann verschiedene C-Quellen z.B. Stärke, Pektin, Cellulose und Lignin nutzen.
Nahrungsquelle für Milben z.B. *Pygmephorus mesembrinae*.
In vitro anfällig gegenüber Parasitismus durch *Pythium oligandrum*.

Cladosporium cladosporioides (Fresen.) G.A. de Vries (1952)
Mycosphaerellaceae, Mycosphaerellales, Dothideomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Hormodendrum cladosporioides* (Fresen.) Sacc. (1880), *Monilia humicola* Oudem. (1902), *Penicillium cladosporioides* Fresen. (1850)
Neben *C. herbarum* die häufigste *Cladosporium*-Art im Boden und auf Pflanzenmaterial; in einer Vielzahl unterschiedlicher Böden. Meist an organischen Bodenpartikeln. Verstärkte Konidienproduktion bei feuchten Bedingungen. Verschiedene C-Quellen wie Zellobiose, D-Glucose, Stärke und Pektin werden genutzt. Als N-Quellen dienen Nitrite und Nitrate. Der Wuchs der Hyphen wird von der Art und Menge des Stickstoffs im Nährsubstrat beeinflusst, wobei sich bei niedrigen und hohen Stickstoffgehalten der Wuchs reduziert (HOGERVORST et al. 2003).
In der Rhizoplane von *Pinus strobus*, *Larix leptolepis* und Weizen. Saprophyt aber auch Sekundärpathogen bei einer Reihe von Pflanzen.
Nahrungsquelle für verschiedene Organismen wie Milben (z.B. *Acarus gracilis*), Collembolen (z.B. *Hypogastrura tulbergi*) oder Staubläuse (*Lepinotus reticulatus*). Dabei wird z.B. der fungivore Collembole *Orchesella cincta* durch die Nahrungsquelle des Pilzes beeinflusst, so dass sein Wachstum und seine Überlebensrate am höchsten ist, wenn der Pilz auf einer für ihn idealen Strickstoffquelle gewachsen ist (HOGERVORST et al. 2003). Wird verbreitet durch *Musca domestica* (SAXENA & PANDEY 2002).
Antagonistisch gegenüber *Botrytis fabae* (JACKSON et al. 1997).

Bei *Vitis* an Blättern und Beeren (MACHOWICZ-STEFANIAK & KUROPATWA 1991). An Beeren Mitverursacher von Fruchtfäule oder Sekundärparasit. Endophytisch im Gefäßsystem von *V. berlandieri* x *V. riparia* (5 C und 5 BB; TIEDEMANN et al. 1988)

Cylindrocarpon destructans (Zinssm.) Scholten (1964)
Nectriaceae, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Ramularia destructans* Zinssm. (1918)
Teleomorph: *Nectria radicicola* Gerlach & L. Nilsson (1963)
Kosmopolit. Häufigste *Cylindrocarpon*-Art. Auch in wurzelfreiem Boden, aber hauptsächlich an Wurzeln und anderen unterirdischen Pflanzenteilen holziger und krautiger Pflanzen. In unterschiedlichen Böden oft in sehr hohen Dichten. Bis in tiefe Bodenschichten (100 cm). Wachstum in einem breiten pH-Bereich (3,1 - 8,0). pH-Optimum im neutralen oder leicht alkalischen Bereich. Feuchte Habitate werden bevorzugt. Dichte sinkt bei Stallmistdüngung und steigt bei N-Düngung. Wird häufiger von organischen als von mineralischen Partikeln isoliert. Kann sehr unterschiedliche C-Quellen nutzen. Im Gegensatz zu vielen anderen Pilzen wird auch Uracil als N-Quelle genutzt. Die Verwertung von Pektin, Xylan, Zellulose und Stärke kann sich je nach Stamm stark unterscheiden.
Häufiger Bewohner der Rhizoplane und Rhizosphäre verschiedener Pflanzen. Produziert die phytotoxische Substanz Brefeldin A. *N. radicicola* zeigt bei höheren Pflanzen sehr unterschiedliche phytopathogene Wirkungen.
N. radicicola kommt in den Zysten verschiedener Nematoden z.B. *Globodera rostochiensis* vor.
Besitzt im Vergleich mit *Fusarium oxysporum* und *Fusarium culmorum* geringe saprophytische Konkurrenzfähigkeit. Das Wachstum wird *in vitro* inhibiert durch *Trichoderma viride*, *Penicillium simplicissimum* und *Gliocladium roseum* (DASHWOOD et al. 1993). *N. radicicola* produziert die mykostatisch und antibiotisch wirkenden Substanzen Radicicolin und Monorden. Die antagonistische Wirkungen gegenüber saprophytischen und phytopathogenen Pilzen ist stark abhängig vom jeweiligen Stamm.
C. destructans wird bereits seit vielen Jahren mit dem Absterben reblausbefallener Wurzeln in Zusammenhang gebracht. Nach POPUSCHOI & MARZHINA (1980) ist er einer der am stärksten am Absterben von Nodositäten und an der Fäulnis von Tuberositäten beteiligten Pilze. Der Pilz wurde bereits bei mehreren Untersuchungen aus reblausbefallenem Wurzelgewebe isoliert, wobei meist nur auf *V. vinifera* basierende Kreuzungen Berücksichtigung finden (VANNACCI et al. 1984). Beobachtete Schadsymptome sind die Gelbfärbung und das Welken der Blätter, Nekrose des Rindengewebes, Braunfärbung des Xylems und Tylose der Xylemgefäße (GRASSO 1984). Die Ergebnis-

se bei Versuchen mit Topfpflanzen sind unterschiedlich. Während VANNACCI et al. (1984) nach 11 Monaten keine Schadsymptome an *V. vinifera* feststellen konnten, hat GRASSO (1984) bei Topfpflanzen eine Reduktion des Wurzelwachstums festgestellt. Die seit 1999 in Brasilien auftretenden Schäden und Stockausfälle an *V. labrusca* werden auf *C. destructans* zurückgeführt. Die Schadsymptome sind Stamm- und Wurzelfäule, Welkeerscheinungen und das Absterben der Rebstöcke (GARRIDO et al. 2004a,b). NEDOV & GULER (1987) isolierten *C. destructans* aus geschädigtem und gesundem Wurzelgewebe. Nach NEDOV (1985) ist *C. destructans* ein fakultativer Parasit bei *Vitis*. Bakterien- und Actinomycetenisolate aus Weinbergsböden mit *V. vinifera* cv. Chardonnay zeigen antagonistische Wirkung gegenüber *C. destructans*. Diese Antagonisten können durch unterschiedliche Bewirtschaftungsformen gefördert werden, vermutlich durch Beeinflussung des Gehalts an organischer Bodensubstanz (WHITELAW-WECKERT 2004a).

Cylindrocarpon cf. lichenicola (C. Massal.) D. Hawksw. (1979)
Nectriaceae, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Fusarium lichenicola* C. Massal. (1903), *Bactridium lichenicola* (C. Massal.) Wollenw. (1916), *Cylindrocarpon tonkinense* Bugnic. (1939), *Mastigosporium heterosporum* R.H. Petersen, (1961)
Saprophytischer Bodenpilz (IWEN et al. 2000).

Cylindrocarpon magnusianum Wollenw. (1928)
Nectriaceae, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Teleomorph: *Neonectria ramulariae* (Wollenw.) E. Müll. (1962)
Verbreitet in Europa, Ägypten und USA. Dort an einer Vielzahl von Wirtspflanzen und in verschiedenen Böden. Oft an holzigen Substraten. Im Vergleich mit anderen Arten dieser Gattung hohe saprophytische Konkurrenzfähigkeit. Die Konidien keimen selten im Boden und bilden eher Chlamydosporen. Als C-Quellen können Stärke, Pektin und Zellulose genutzt werden. *C. magnusianum* produziert die Siderophore Fusigen und Fusigen B.
Antagonistisch gegenüber *Gaeumannomyces graminis*, *Rhizoctonia solani, Pythium ultimum* und *Chlorella pyrenoidosa*. *C. magnusianum* verursacht schwere Schäden an den Wurzeln von Alfalfa und Steinklee.

Fusarium culmorum (W.G. Sm.) Sacc. (1895)
Nectriaceae, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Fusisporium culmorum* W.G. Sm. (1884)

Häufiger Kosmopolit mit einer Präferenz für gemäßigte Zonen. Sehr häufig in Agrarböden. In großer Zahl auf organischen Bodenpartikeln. Vorwiegend in den oberen Bodenschichten, in neutralen oder leicht alkalischen Böden. Der von *F. culmorum* verursachte Schaden an Weizen ist auf sandigen, trockenen Böden stärker als in feuchten Böden mit hohem Gehalt an organischer Substanz. Empfindlich gegenüber warmtrockenen und kalt-feuchten Böden. Auch die Bodentextur beeinflusst Populationen von *F. culmorum* (SHAKHNAZAROVA et al. 2000). Das pH-Optimum für das Wachstum auf Agar liegt bei 4,8 - 8. Als C-Quelle können verschiedene Formen von Pektin und Zellulose, Mannitol, L-Arabinose und Milchsäure genutzt werden. Es können verschiedene N-Quellen genutzt werden, wobei der Zellulose-Abbau besser bei Nitrat- als bei Ammoniumsalz-Zufuhr ist. Die Aufnahme von Stickstoff sinkt mit zunehmendem Alter des Mycels. Wird suppressiert durch Tebuconazole, Prochloraz und Mancozeb (MATTHIES & BUCHENAUER 2000, ROBERTI et al. 2000), Kupfer (PARK et al. 1998), Guazatine (ROBERTI et al. 2000) und Ethylen (ZIELINSKA & MICHNIEWICZ 2001). *F. culmorum* bildet verschiedene Metabolite: Culmorin (LANGSETH et al. 2001) mit schwach antifungaler Wirkung (PEDERSEN & MILLER 1999), Sesquiterpene wie Cyclonerodiol und dem Welkestoff Culmomarasmin (KISS et al. 2004). Außerdem Desoxynivalenol (GANG et al. 1998, CHELKOWSKI et al. 2000, BAKAN et al. 2002), Zearalenon (MIEDANER & PERKOWSKI 1996, BAKAN et al. 2001), Nivalenol (GANG et al. 1998, BAKAN et al. 2001, CHANDLER et al. 2003), Fusarenone (BAKAN et al. 2001), eine bislang nicht näher beschriebene Proteinase, welche bei der Infektion von Pflanzengewebe eine Rolle spielen könnte (PEKKARINEN et al. 2002), weitere hydrolytisch wirkende Enzyme (RUCKA et al. 1998) und Resorcinol (ZARNOWSKI et al. 2000).

F. culmorum hat ein großes Spektrum von Wirtspflanzen und verursacht dort verschiedenste Krankheitserscheinungen und Fäulnis auch an Wurzeln (KOIKE et al. 2003), wird allerdings auch häufig in sehr hohen Dichten aus gesunden Pflanzen isoliert.

Nahrungsquelle für verschiedene Collembolen (z.B. *Protaphorura armata;* SABATINI et al. 2004) und Kellerasseln. Ist antagonistisch gegenüber *Chalara elegans*.

Als Bodenpilz besitzt *F. culmorum* eine hohe saprophytische Konkurrenzfähigkeit. Er wird suppressiert durch *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea*, *Cladosporium herbarum* (LIGGITT et al. 1997), *Clonostachys rosea* (JENSEN et al. 2000), *Gliocladium roseum* (ROBERTI et al. 2000), *Gliocladium* spp. (TEPERI et al. 1998), *Trichoderma harzianum* (CHEETHAM et al. 1997, ROBERTI et al. 2000) und *Pantoea* spp. (JOHANSSON et al. 2003). Es gibt Hinweise auf additive Effekte mit Pflanzenviren. So führen Infektionen von Pflanzen mit *F. culmorum* und mit dem BYD-Virus (barley yellow dwarf virus) zu signifikanten Ertragsverlusten, wobei die Infektion mit *F. culmorum* durch die Virusinfektion begünstigt wird (KOCH & HUTH 1997).

Fusarium equiseti (Corda) Sacc. (1886)

Nectriaceae, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota

Synonym: *Selenosporium equiseti* Corda (1838)

Teleomorph: *Gibberella intricans* Wollenw. (1930)

Häufiger, weltweit verbreiteter Bodenpilz, vor allem in Agrarböden mit einer Vielzahl von Wirtspflanzen. Häufiger auf organischen als auf mineralischen Bodenteilchen; vorwiegend in den oberen Bodenschichten. Im Boden am häufigsten bei pH-Werten im neutralen Bereich und bei hoher Bodenfeuchte. In Böden kann die Keimung der Konidien durch mykostatische Faktoren verhindert werden. Der Abbau verschiedener C- und N-Quellen unterscheidet sich stark bei verschiedenen Stämmen. *F. equiseti* bildet extrazelluläre Phosphomonoesterase, Trichothecene (GROVE 1994, MORRISON et al. 2002), Enniatin, Equisetin und Epi-equisetin mit phytotoxischer Wirkung (WHEELER et al. 1999).

Häufiges Vorkommen in Wurzelgewebe verschiedener Pflanzen sowie im Rhizosphärenboden. Verursacht Fäulnis und Krankheitserscheinungen bei verschiedenen Pflanzen, z.B. Welkeerscheinungen bei Baumwolle (CHIMBEKUJWO 2000).

Ist antagonistisch gegenüber *Meloidogyne hapla* und produziert antagonistisch gegen Nematoden wirkende Trichotecene (NITAO et al. 2001). Isoliert aus den Zysten von *Heterodera glycines* (ROY et al 2000).

In vitro wird das Wachstum durch *Streptomyces*-Arten inhibiert.

Bei *Vitis vinifera* aus Beeren isoliert (MACHOWICZ-STEFANIAK & KUROPATWA 1991). Im Zusammenhang mit Reblausbefall aus reblausbefallenen Wurzeln von Europäerreben isoliert (VANNACCI et al. 1984). Nach NEDOV & GULER (1987) und MILKO (1961) am Absterben von Nodositäten beteiligt.

Fusarium incarnatum (Desm.) Sacc. (1886)

Nectriaceae, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota

Synonym: *Fusarium semitectum* Berk. & Ravenel (1874), *Fusisporium incarnatum* Desm., *Pseudofusarium semitectum* (Berk. & Ravenel) Matsush. (1975)

Teleomorph: *Gibberella* Sacc. (1877), Type species: *Gibberella pulicaris* (Fr.) Sacc. (1877)

Weltweit verbreitet; in einer Vielzahl unterschiedlicher Böden. Guter Wuchs bei sauren bis leicht alkalischen Bedingungen. Baut Stärke und Zellulose ab. Es können verschiedene C- und N-Quellen verwertet werden.

Vorratsschädling mit geringer pathogener Wirkung an lebenden Pflanzen. An den Wurzeln und in der Rhizosphäre verschiedener Pflanzen. Verursacht Wuchsdepressionen und Schäden an den Wurzeln von *Anigozanthos* spp. (SATOU et al. 2001). Verursacht

Krebssymptome und Absterben bei bei *Juglans regia* (SETA et al. 2004). Wurde aus den Zysten von *Heterodera glycines* isoliert (ROY et al. 2000).
Produziert Fusapyrone und Desoxyfusapyrone. Beide Substanzen haben starke antifungale Eigenschaften gegenüber verschiedenen Pflanzenpathogenen und/oder mykotoxischen, filamentösen Pilzen. In Bioassays zeigten sich inhibitorische Wirkungen gegenüber *Alternaria alternata*, *Botrytis conerea*, *Cladosporium cladosporioides*, *Penicillium brevicompactum* und anderen (ALTOMARE et al. 2000). Wachstum wird *in vitro* inhibiert durch *Memnoniella echinata*.
An den Zweigen von *Vitis*.

Fusarium merismoides* var. *merismoides Corda (1838)
Nectriaceae, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Fusarium rimosum* (Peck) Sacc., *Fusisporium rimosum* Peck
Teleomorph: *Gibberella* Sacc. (1877), Type species: *Gibberella pulicaris* (Fr.) Sacc. (1877)
Kosmopolit mit einer Hauptverbreitung in Böden der gemäßigten und tropischen Regionen. Vorkommen besonders in leicht sauren bis alkalischen Böden, wird aber auch häufig von verschiedenen Pflanzenoberflächen isoliert. Pektin- und Zelluloseabbau finden kaum oder gar nicht statt.
Bodenpilz mit saprophytischer Lebensweise und eventuell schwach entomopathogenen Eigenschaften (KLINGEN 2002).
Antagonistische Eigenschaften z.B. gegenüber *F. culmorum*.
Berichte über phytopathogene Eigenschaften liegen nicht vor.
An Trieben von *Vitis*.

Fusarium oxysporum Schltdl. (1824)
Nectriaceae, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Fusarium bulbigenum* Cooke & Massee (1887)
Teleomorph: *Gibberella pulicaris* (Fr.) Sacc. (1877)
Weltweite Verbreitung in einer Vielzahl sehr unterschiedlicher Böden und an verschiedenen Wirtspflanzen. Häufigste *Fusarium*-Art im Boden mit einer Vielzahl von Formae speciales. Kommt bis in Bodentiefen von mehr als 50 cm vor, wobei die Dichte keimfähiger Sporen mit zunehmender Bodentiefe abnimmt. Benötigt hohe Bodenfeuchtigkeit. Sehr pH-tolerant, vorwiegend aber in neutralen bis leicht alkalischen Böden. Vorkommen in mit Stallmist gedüngten Böden häufiger als in ungedüngten oder mit anderen Düngern bewirtschafteten Böden. Kann eine Vielzahl von C- und N-Quellen nutzen. Respiration steigt stark durch Glukose. Gute Dekomposition von Zellulose. Baut z.B.

verschiedene Herbizide und DDT ab. Wird durch verschiedene mykostatische Bodenfaktoren inhibiert. Bei pathogenen *F. oxysporum*-Stämmen wurden Verfallssymptome nach wiederholter Kultivierung der Wirtspflanzen in pathogensuppressiven Böden beobachtet. Eine Kontrollwirkung in Böden geht von dem Nematoden *Aphelenchus avenae* aus. Böden mit Zusatz von organischen Substraten (vor allem chitinhaltigen) suppressieren *F. oxysporum* stark. Produziert eine Vielzahl chemischer Substanzen, darunter Bikaverin mit antagonistischer Wirkung gegenüber Protozoen und Pilzen (LINNEMANNSTÖNS et al. 2002). In alternden Kulturen werden Verbindungen mit morphogenetischen und sporostatischen Eigenschaften gegenüber verschiedenen anderen Pilzen gebildet. Weitere Metaboliten sind: Fusarenone, Nivalenol, Oxysporin und Fusarinsäure, welche bei der Ausprägung von Welkesymptomen bei Tomaten beteiligt sind (BACON et al. 1996). Sehr häufig von sowohl lebenden als auch toten Wurzeln verschiedenster Pflanzen isoliert. Tote Substrate werden seltener besiedelt wenn sich bereits andere Pilze etabliert haben. Höhere saprophytische Konkurrenzfähigkeit als andere Wurzelparasiten. Inhibiert die Entwicklung des Nematoden *Heterodera schachtii* in Zuckerrüben. Antagonistisch gegenüber dem Nematoden *Meloidogyne hapla* (VERDEJO-LUCAS et al. 2002). Durch hohe Befallsdichten von *F. oxysporum* wird das Eindringen von *Pratylenchus penetrans* in Wurzeln von Alfalfa erleichtert. Nahrungsquelle für Nematoden, Collembolen (*Folsomia fimetaria*), Asseln (*Oniscus asellus*) und Milben (*Pygmephorus mesembrinae*).

In vitro zeigen *Streptomyces*-Arten, *Trichoderma*-Arten, *Penicillium janthinellum* und *Gliocladium roseum* antagonistische Wirkung. Parasitiert an Oosporen von *Phytophthora cactorum* und ist *in vitro* antagonistisch gegenüber einigen anderen Pilzen.

Über die pathogene Wirkung von *F. oxysporum* an *Vitis* liegen bereits einige Erkenntnisse unter anderem im Zusammenhang mit Reblausbefall vor. Erste Berichte über das Auftreten von Welkeerscheinungen von Reben hervorgerufen durch *Fusarium* liegen seit Ende des letzten Jahrhunderts vor (ANDRADE et al. 1993). Bereits 1961 konnte MILKO zeigen, dass *F. oxysporum* auch am Absterben sowohl von Nodositäten als auch von Tuberositäten beteiligt ist. Auch PEROV et al. (1970) identifizierten *F. oxysporum* als einen der 'aktiven Urheber' der Fäulnis reblausbefallener Rebwurzeln, wobei Unterschiede zwischen reblaustoleranten Sorten (Cimuri, Movane) und reblausanfälligen Sorten (Gutedel weiss, Aligote, Tavriz) nachgewiesen wurden. Reblaustolerante Sorten waren weniger anfällig als Wurzeln von reblausanfälligen Sorten. Zusätzlich wurden an reblausbefallenen Wurzeln mehr Mikroorganismen gefunden als an nicht befallenen. Nachfolgende Untersuchungen zeigten ähnliche Ergebnisse (GRANETT et al. 1998, OMER et al. 1999). Allerdings liegen bezüglich des Resistenz-, bzw. Toleranzverhaltens auch gegenteilige Untersuchungen vor (ANDRADE et al. 1995, GARRIDO et

al. 2004a). So sind Kreuzungen von *V. riparia* x *V. berlandieri* (SO4, 5A, Kober 5BB, 420A) und *V. riparia* x *V. rupestri* (3309 C) anfällig gegenüber *F. oxysporum* f.sp. *herbemontis* wohingegen manche *V. vinifera* x *V. rotundifolia*-Kreuzungen resistent gegenüber einem Befall sind. Intermediär verhalten sich *V. berlandieri* x *V. rupestris*-Kreuzungen wie Paulsen 1103 (ANDRADE et al. 1995).

An mit *F. oxysporum* infizierten Wurzeln entwickeln sich Rebläuse langsamer und zeigen geringere Überlebens- und Vermehrungsraten. Die Reblaus ist Vektor für die Pilzinokulate von geschädigten zu ungeschädigten Wurzeln. Auch ohne eine Prädisposition der Wurzeln wie z.B. durch die Reblaus besitzt *F. oxysporum* ein erhebliches Infektions- und Schadpotential bei *Vitis*. Dabei weisen befallene Reben im Feld über Jahre verspäteten, schwachen Wuchs der Triebe und geringe Stockerträge auf. An den Wurzeln wird Fäulnis des Epidermisgewebes und eine Rosafärbung der Rinden- und Gefäßgewebe beobachtet. Im Wurzelrindengewebe befallener Stöcke konnten sowohl inter- als auch intrazellulär Hyphen von *F. oxysporum* nachgewiesen werden, wobei das befallene Gewebe sich in der Auflösung befand und in den infizierten Zellen keine Zellinhalte mehr zu erkennen waren. (HIGHET & NAIR 1995). Die Autoren sehen den aus dem Befall mit *F. oxysporum* resultierenden Wurzelverlust als starken Stressfaktor an, der die beobachteten oberirdischen Wuchsdepressionen zur Folge hat, welche insbesondere bei Wassermangel noch weiter verstärkt werden können. Ähnliche Ergebnisse zeigen auch die Untersuchungen von GRASSO (1984) an der Unterlage 140 Ruggeri (*V. berlandieri* x *V. rupestris*). Die Infektion der Rebwurzeln mit *F. oxysporum* führte dabei zu einer Reduktion des Wurzelsystems. Im Freiland wurde an befallenen Pflanzen darüber hinaus Gelbfärbung und Welken der Blätter, Nekrose des Rindengewebes, Braunfärung des Xylems und Tylose der Xylemgefäße beobachtet.

Aufgrund dieser Beobachtungen und der Tatsache, dass *F. oxysporum* sowohl aus reblausbefallenem als auch nicht befallenem Wurzelgewebe isoliert werden kann (NEDOV & GULER 1987), muss *F. oxysporum* als faktultativer Parasit (NEDOV 1985) von *Vitis* angesehen werden.

Fusarium sacchari (E.J. Butler & Hafiz Khan) W. Gams (1971)

Nectriaceae, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota

Synonym: *Cephalosporium sacchari* E.J. Butler & Hafiz Khan, *Gibberella moniliformis* var. *subglutinans* Wollenw. & Reinking, *Gibberella subglutinans* (E.T. Edwards) P.E. Nelson, Toussoun & Marasas

Teleomorph: *Gibberella pulicaris* (Fr.) Sacc. (1877)

Verbreitet in gemäßigten bis tropischen Regionen. Vorkommen in einer Vielzahl unterschiedlicher neutraler bis alkalischer Böden bis in den mineralischen Untergrundhori-

zont hinein. Bei PK-Düngung wurde eine Zunahme, bei NK- und NP-Düngung eine Abnahme der Dichte beobachtet. Baut Zellulose ab. Zeigt Amylase- (MARLIDA et al. 2000) und Pektinase-Aktivität. Produziert das nicht-wirtsspezifische Phytotoxin Enniatin mit antibiotischer und insektizider Wirkung (HERRMANN et al. 1996), Trichothecene (KAWCHUK et al. 2002) und Deoxynivalenol (STYRIAK et al. 1994).
Verursacht eine Reihe von Pflanzenkrankheiten an unterschiedlichen Pflanzen wie Wurzelfäule insbesondere bei Getreide, Pflanzenkrebs und Absterbeerscheinungen an holzigen Pflanzen. Vorkommen auf den Wurzeln einer Vielzahl von Pflanzen. Bei manchen Pflanzen, z.B. Weizen dringen die Hyphen in die Wurzel ein.
Nahrungsquelle für die Milben *Pygmephorus mesembrinae* und *P. quadratus*.
Inhibiert das Wachstum von *Thielaviopsis basicola*, *Rhizoctonia solani*, *Gaeumannomyces graminis* und verschiedenen Bodenbakterien. Wird suppressiert durch *Enterobacter* sp. (SCHISLER et al. 2000a), *Enterobacter cloacae*, *Pseudomonas fluorescens* (SCHISLER et al. 2000b), *Pantoea* sp. (SCHISLER & SLININGER 1994) und *Cryptococcus laurentii* (SCHISLER et al. 1995).
Kann verschiedene Phytoalexine wie Rishitin (GARDNER et al. 1994, WELTRING & ALTENBURGER 1998, WELTRING et al. 1998a), Chaconine, Solanine (WELTRING et al. 1997) und Tomatine (WELTRING et al. 1998b) abbauen.
Bei *Vitis* von Zweigen isoliert.

Fusarium sambucinum Fuckel (1869)
Nectriaceae, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Teleomorph: *Gibberella pulicaris* (Fr.) Sacc. (1877)
Verbreitet in gemäßigten bis tropischen Regionen. Vorkommen in einer Vielzahl unterschiedlicher neutraler bis alkalischer Böden. Bildet Diacetoxyscirpenol (THRANE & HANSEN 1995), Fusacandin A und B (HOCHLOWSKI et al. 1995, JACKSON et al. 1995) mit antifungaler Wirkung (KAWAI et al. 1997), Trichothecene (JELEN et al. 1995, TAG et al. 2001), Sesquipertene (JELEN et al. 1995) und Sambutoxin (KIM et al. 1995, KAWAI et al. 1997). Wird suppressiert durch Natriumbenzoat, Natriumbisulfit, Kaliumsorbat, Trinatriumphosphat, Aluminiumsalze (MECTEAU et al. 2002), Zimtaldehyd, Salicylaldehyd und Thymol (VAUGHN & SPENCER 1994).
Wird suppressiert durch *Glomus intraradix* (NIEMIRA et al. 1996), *Gliocladium catenulatum*, *Trichoderma lignorum* (PAVLOVSKAYA et al. 1998), *Trichoderma viride*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus cereus* und *Bacillus thuringiensis* var. *galleriae* (SADFI et al. 2002).
Bei *Vitis* an Zweigen und Wurzeln.

Fusarium solani (Mart.) Sacc. (1881)

Nectriaceae, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota

Synonym: *Fusisporium solani* Mart. (1842)

Teleomorph: *Nectria haematococca* Berk. & Broome (1873)

Kosmopolit; sowohl in tropischen als auch gemäßigten Zonen verbreitet. In einer Vielzahl unterschiedlicher Böden. Kommt bis in tiefe Bodenschichten vor. Empfindlich gegenüber Bodenfungiziden. *In vitro* sehr hohe pH-Toleranz, optimales Wachstum bei pH 7,8. Es können sehr unterschiedliche C-Quellen genutzt werden. Es findet Zelluloseabbau statt. Als N-Quelle eignen sich Nitrate besser als Ammonium-Salze. In der Rhizosphäre verschiedener Pflanzen. Bestimmte Bodeneigenschaften wie der Aluminiumgehalt in sauren Böden haben suppressive Wirkung gegenüber *F. solani* (FURUYA et al. 1999). Die Bildung von Chlamydosporen wird in Böden mit *F. solani*-suppressiven Eigenschaften unterdrückt. Organische Substrate mit einem hohen C/N-Verhältnis suppressieren *F. solani* f. sp. *phaseoli* in Bohnenkulturen. Kann unterschiedliche Pestizide wie Propachlor, Propanil, Propham und Bromophos und das Phytoalexin Phaseollin metabolisieren. Bodenbehandlungen mit dem Fungizid Captan erhöhen die Dichte von *F. solani*.

Aus Wurzeln einer Vielzahl von Wild- und Kulturpflanzen isoliert. Bildet eine Vielzahl von Phytotoxinen wie Fusarubin (ALBRECHT et al. 1998), welches negative Auswirkungen auf die Phytosynthese in Tabakblättern hat, Javanicin, Marticin und Isomarticin. Außerdem werden Pectat-Lyase (GUO et al. 1995), Cutinase (LI & KOLATTUKUDY 1995, LI et al. 2002b), Proteinkinase (LI et al. 1997), extrazellulare Peroxidase (SAPARRAT et al. 2000) und Trichothecene (SUGIMOTO et al. 2002) gebildet. Bei keimenden Chlamydosporen wurde ein Tropismus des Keimschlauchs in Richtung der Wurzeln von Tomaten-, Erbsen-, Weizen- und Salatpflanzen beobachtet. Phytopathogen bei einer Vielzahl von Pflanzen wie Sojabohnen (ACHENBACH et al. 1996, GRAY & ACHENBACH 1996, SANOGO et al. 2000) in Verbindung mit Wurzelfäule und bei Zitrusbäumen. Hier verändert das von *F. solani* gebildete Phytotoxin Naphtharazin (NEMEC 1995, ROHNERT et al. 1998) im Xylem die metabolische Aktivität der Pflanze. Dadurch wird die Menge von Stressmetaboliten im Xylem erhöht und die hydraulische Leitfähigkeit der infizierten Wurzeln unterbrochen. Die Folge ist der Zusammenbruch des Wurzelsystems befallener Bäume (NEMEC 1995). Gebildete Pektin-abbauende Enzyme sind ein wesentlicher Pathogenitätsfaktor bei der Zerstörung der pektinhaltigen Schichten der Wirtsztellen (GUO et al. 1995, PODILA et al. 1995). Von Pflanzen gebildete Phytoalexine können in weniger schädliche Metabolite umgewandelt werden (LI et al. 1995). Antagonistisch gegenüber *Striga hermonthica* (SUGIMOTO et al. 2002). Die Ausprägung von durch *F. solani* verursachten Absterbeerscheinungen bei Sojabohnen wird durch Interaktionen

mit *Heterodera glycines* und Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen beeinflusst. Von besonderer Bedeutung scheinen die durch Pflügen verursachten Verdichtungszonen im Boden zu sein, welche Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften über und unter der Verdichtungszone haben (RUPE et al. 1999).

F. solani wurde von den Larven und Adulttieren des Käfers *Glischrochilus quadrisignatus* isoliert und ist der dominierende Pilzsymbiont des Ambrosiakäfers *Xyleborus ferrugineus*. Symbiontisch mit *Hypothenemus hampei*, wobei sogar die Fortpflanzungsraten des Käfers durch den Pilz erhöht werden (MORALES-RAMOS et al. 2000). Fakultativer Parasit der Zecke *Ixodes ricinus*. Nahrungsquelle für den Nematoden *Aphelenchus avenae*, Collembolen und Kellerasseln. Verursacht lethale Mykosen bei dem Borkenkäfer *Dendroctonus frontalis*. Antagonistisch gegenüber *Heterodera glycines* (MCLEAN & LAWRENCE 1995). Wird durch die Eier von *Meloidogyne arenaria* suppressiert (EL-BORAI et al. 2002).

Die Hyphen von *F. solani* können von *Trichoderma*-Arten parasitiert werden. In verschiedenen Böden gibt es eine negative Korrelation zwischen dem Auftreten von *F. solani* und *Trichoderma viride*. Wird suppressiert von *Chalara elegans*, *Gliocladium roseum* (CASTEJONMUNOZ & OYARZUN 1995), *Glomus intraradices* (FILION et al. 2003), *Lactarius* sp., fluoreszierenden Pseudomonaden (CASTEJONMUNOZ & OYARZUN 1995, LIM & KIM 1997), Streptomyceten und *Bacillus subtilis*. Die Bildung von Chlamydosporen wird durch Umwelteinflüsse wie C- und N-Quellen oder bakterielle Metabolite kontrolliert. Die Keimung der Konidien wird von *F. oxysporum*, Cochliodinol und weiteren mykostatisch wirkenden Faktoren verhindert. Mykoparasitisch bei *Aspergillus clavatus*, *Mucor hiemalis* und *Phycomyces blakesleeanus*. Antagonistisch gegenüber *Macrophomina phaseolina* (SINGH & KAISER 2000) und *F. oxys*porum (OYARZUN et al. 1994).

Bei *Vitis* an Beeren und Wurzeln. Nach MILKO 1961 schwach am Absterben von Nodositäten aber nicht an der Fäulnis von Tuberositäten beteiligt und bereits mehrfach aus Gewebe reblausbefallener Wurzeln isoliert (NEDOV & GULER 1987). Erhöht die Schäden in reblausinfiziertem Wurzelgewebe, wobei bei *V. vinifera*-Rebstöcken mit gleichzeitigem Befall durch Reblaus und *F. solani* der Blattchlorophyllgehalt, die Internodienlänge, die Triebbiomasse und die Wurzelbiomasse signifikant reduziert werden. Die Applikation von Fungiziden wie Metalaxyl und Benomyl reduziert die Schäden signifikant (OMER et al. 1995b).

Fusarium tabacinum (J.F.H. Beyma) W. Gams (1968)
Nectriaceae, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Monographella cucumerina* (Lindf.) Arx (1984), *Cephalosporium tabacinum* J.F.H. Beyma (1933), *Microdochium tabacinum* (J.F.H. Beyma) Arx (1984), *Plectosporium tabacinum* (J.F.H. Beyma) M.E. Palm, W. Gams & Nirenberg (1995)

Geotrichum candidum Link (1809)
Incertae sedis, Saccharomycetales, Saccharomycetidae, Saccharomycetes, Ascomycota
Synonym: *Oidium lactis* Thüm., *Oospora lactis* (Thüm.) Sacc. (1886), *Oospora mali* Kidd & Beaumont (1924), *Oospora piricola* L. Mangin
Teleomorph: *Dipodascus* Lagerh. (1892), Type species: *Dipodascus albidus* Lagerh. (1892)
Sehr häufiger, kosmopolitischer Bodenpilz in einer Vielzahl unterschiedlicher Böden. Auch in der Rhizosphäre verschiedener Pflanzen und Graswurzeln. Es können eine Vielzahl von Kohlenstoffquellen genutzt werden. Zellulose und Maltose werden nicht verwertet. Als N-Quelle dient unter anderem Ammoniumsulfat. Nitrat wird nicht verwertet. Auf einer Vielzahl organischer Substrate.
Wuchs wird *in vitro* suppressiert durch Kontakt mit den Hyphen von *Tuber melanosporum*. Sporulation ist abhängig vom C/N-Verhältnis.
Schädling von Zitrusfrüchten (PLAZA et al. 2003).

Gliocladium catenulatum J.C. Gilman & E.V. Abbott (1927)
Hypocreaceae, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Clonostachys rosea* f. *catenulata* (J.C. Gilman & E.V. Abbott) Schroers (2001)
Teleomorph: *Sphaerostilbella* (Henn.) Sacc. & D. Sacc. (1905), Type species: *Sphaerostilbella lutea* Henn. (1901)
Weltweite Verbreitung in einer Vielzahl von neutralen bis schwach alkalischen Böden. Wachstum bei pH-Werten von 3,0 - 8,2. Bis in Bodentiefen von 80 cm, allerdings mit abnehmen Dichten. Es können unterschiedliche C-Quellen wie Stärke und Zellulose verwertet werden. Bildet Glucosidase, Amylase, Cellulase, Verticillin und Glisoprenin (JOSHI et al. 1999) sowie Antibiotika (KOHNO et al. 1999). Aus dem Wurzelbereich verschiedener Pflanzen isoliert aber ohne nachweisbare Rhizosphäreneffekte.
Inhibiert die Wurzeln von Erbsen-, Weizen- und Rapssämlingen. Vorkommen in Wurzelgewebe von Bohnen und Graswurzeln (OPPERMAN & WEHNER 1994).

Parasit des Dauermycels von *Aspergillus flavus* (JOSHI et al. 1999). Antagonistisch gegenüber *Fusarium sambucinum* (PAVLOVSKAYA et al. 1998) und phytopathogenen Pilzen wie *Phytium ultimum* oder *Rhizoctonia solani* (MCQUILKEN et al. 2001). Wird aufgrund dieser Eigenschaft als mögliches BCA gegenüber diesen Phytoparasiten untersucht (PAAVANEN-HUHTALA et al. 2000, MCQUILKEN et al. 2001).
Bei *Vitis* an Holz und Blättern. Endophytisch in Gefäßen von *V. berlandieri* x *V. riparia*-Kreuzungen (5 C, 5 BB; TIEDEMANN et al. 1988)

Gliocladium roseum Bainier (1907)
Hypocreaceae, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Clonostachys araucaria* Corda (1839), *Clonostachys araucaria* var. *confusa* Pinkerton (1936), *Clonostachys rosea* (Link) Schroers, Samuels, Seifert & W. Gams (1999), *Haplotrichum roseum* (Link) Corda, *Penicillium roseum* Link (1816).
Teleomorph: *Sphaerostilbella* (Henn.) Sacc. & D. Sacc. (1905), Type species *Sphaerostilbella lutea* Henn. (1901)
Häufiger, weltweit verbreiteter Bodenpilz in einer Vielzahl unterschiedlicher Böden. Meist in den oberen Bodenschichten im neutralen bis alkalischen pH-Bereich. Sehr häufig in Stallmist bei pH 7,5. Vorkommen auch in kalkhaltigen Böden und in Weinbergsböden mit hohem Kupfergehalt. Indifferenz bis Stimulation des Wuchses durch NPK-Dünger. Wachstum bei einem pH-Wert von 3,2 bis 10,5. Es können eine Vielzahl von Substanzen als C-Quelle genutzt werden, darunter Glucose und Zellulose. Die Stärke des Zelluloseabbaus hängt von der Konzentration der N-Quelle ab. Eine geeignete N-Quelle ist Nitrat. Hohe Dichten in Böden, die mit den Fungiziden Captan, Quintozene, Thiram, Benomyl oder Dicloran behandelt wurden. Es werden eine Vielzahl chemischer Substanzen produziert wie Glisoprenin, welches z.B. die Ausbildung der Appressorien von *Magnaporthe grisea* inhibiert (THINES et al. 1998).
Im Wurzelgewebe verschiedener Pflanzen; dringt aber meist nur in die oberflächlichen Zellschichten der Wurzelrinde ein. Alternde Wurzeln werden meist stärker besiedelt als jüngere. Inokulationsversuche bei verschiedenen Pflanzen zeigten keine phytopathogene Wirkung, geschwächte Pflanzengewebe einiger Pflanzen werden angegriffen. Nichtpathogener Parasit an Himbeeren (YU & SUTTON 1997).
Mykoparasit vieler Pilzarten z.B. *Botrytis aclada* oder *Verticillium dahliae*, wobei die Hyphen abgetötet werden. Antagonistisch gegenüber *Botrytis cinerea* (BURGESS et al. 1997, KOHL et al. 1998, KOHL et al. 1999), *Botrytis squamosa* (JAMES & SUTTON 1996), *Gibberella acuminata*, *Mycosphaerella graminicola*, *Fusarium solani*, *Pythium ultimum* (STEINMETZ & SCHONBECK 1994), *Magnaporthe grisea* (THINES et al. 1998), *Alternaria alternata, Aureobasidium pullulans* (YANG & ROSSIGNOL 1999) und Bakterien (z.B *Bacil-*

lus subtilis). Aufgrund dieser Eigenschaften möglicher biologischer Kontrollorganismus für phytopathogene Pilze (PERELLO et al. 1997, SCHROERS et al. 1999). Bei Luzerne wird *Verticillium* wilt durch *G. roseum* stark reduziert.
Bei *Vitis* assoziiert mit *Eutypa lata* (PEROS et al. 1999) sowie an Blättern und Zweigen. Endophytisch im Gefäßsystem der Unterlagsreben 5 C und 5 BB (*V. berlandieri* x *V. riparia*; TIEDEMANN et al. 1988) In den reblausbefallenen Wurzeln von Europäerreben (VANNACCI et al. 1984) und nach PETRI 1907 an der Fäulnis von Tuberositäten und Nodositäten beteiligt.

Leptosphaeria coniothyrium (Fuckel) Sacc. (1875)
Leptosphaeriaceae, Pleosporales, Dothideomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Sphaeria coniothyrium* Fuckel (1870), *Coniothyrium fuckelii* Sacc. (1878), *Diapleella coniothyrium* (Fuckel) M.E. Barr (1986), *Kalmusia coniothyrium* (Fuckel) Huhndorf (1992), *Melanomma coniothyrium* (Fuckel) L. Holm (1957)
Weltweit in einer Vielzahl von unterschiedlichen Böden. Wird hauptsächlich aus den oberen Bodenschichten isoliert. Das pH-Optimum im Boden liegt oberhalb 6,5. Abbau von Pektin, Xylan und Zellulose.
In der Rhizosphäre verschiedener Pflanzen, allerdings ohne Akkumulationseffekte im Rhizosphärenbereich. An den Wurzeln von Pappeln, *Lolium perenne* und Klee. Verursacht Fäule an Trieben bei Brombeeren (NORDSKOG et al. 2003).
Bei *Vitis* an Trieben.

Mortierella alpina Peyronel (1913)
Mortierellaceae, Mortierellales, Incertae sedis, Zygomycetes, Zygomycota
Synonym: *Mortierella acuminata* Linnem. (1941), *Mortierella alpina* var. *renispora* (Dixon-Stew.) Linnem. (1941), *Mortierella monospora* Linnem. (1936), *Mortierella renispora* Dixon-Stew. (1932), *Mortierella thaxteri* Björl. (1936)
Von alpinen bis in wärmere Gebiete der gemäßigten Zonen verbreitet. In einer Vielzahl unterschiedlicher Böden; besonders häufig in Ackerböden. In neutralen bis alkalischen Böden. Häufiger von organischen als von mineralischen Bodenpartikeln isoliert. Vorkommen bis in sehr tiefe Bodenschichten über einem Meter Tiefe. Bei zunehmendem pH-Wert kann die Dichte mit zunehmender Bodentiefe sogar steigen. Vorwiegend in feuchten Böden. Mineralische Dünger können die Dichte erhöhen. Die Applikation von Bodenfungiziden reduziert die Dichte. *M. alpina* zeigt nach Adaptation auch bei 0 - 1 °C Wachstum.
Aus der Wurzelregion von *Juniperus*, *Salicornia*, Kartoffeln, Klee, Gräsern und Weizen isoliert.

Ist *in vitro* antagonistisch gegenüber *Rhizoctonia solani*, *Gaeumannomyces graminis*, verschiedenen phytopathogenen Pilzen (LAHN et al. 2002) und gram-positiven Bakterien (STREEKSTRA 1997). Wird von *Dimargaris verticillata* parasitiert.

Mucor hiemalis Wehmer (1903)

Mucoraceae, Mucorales, Incertae sedis, Zygomycetes, Zygomycota

Weltweit verbreitet. Einer der häufigsten Bodenpilze in einer Vielzahl unterschiedlicher Böden in einem weiten pH-Bereich. Bevorzugt werden neutrale bis schwach alkalische Böden. Vorwiegend in den oberen Bodenschichten aber auch bis in eine Tiefe von einem Meter. Kann zur Stabilisierung von Bodenaggregaten beitragen, das Mycel wird im Boden allerdings sehr schnell abgebaut. Als C-Quellen können unter anderem Pektin, Stärke, Hemizellulosen und Chitin verwertet werden. Durch das schnelle Wachstum können frische Substrate sehr schnell besiedelt werden, was insbesondere für die Besiedlung von Wurzeln gilt (Rhizosphäreneffekt). Nach Applikation von Mineraldüngern wurden erhöhte Dichten festgestellt. Eine Reduktion der Dichte findet bei Applikation von Captan, Nabam und Vapam statt.

Saprobier in der Wurzelregion einer Vielzahl von Pflanzen.

Parasitiert Lepidoptera, Coleoptera und Diptera.

Wird von einer Vielzahl obligater Mykoparasiten parasitiert. Wird *in vitro* suppressiert durch *Trichoderma koningii*, *Trichoderma viride*, *Stilbella fimetaria* und *Laccaria laccata* (WERNER & ZADWORNY 2003). *In vitro* wird die Sporulation durch Aflatoxin verhindert.

Zeigt antibakterielle und antifungale Aktivität.

Bei *Vitis* an Beeren.

Nectria inventa Pethybr. (1919)

Nectriaceae, Hypocreales, Sardariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota

Kosmopolitisch in unterschiedlichen Böden und auf verschiedenen organischen Substraten. Nur bis in geringe Bodentiefen. Dichte wird nur sehr gering vom pH-Wert beeinflusst. In den Rhizosphären verschiedener Pflanzen.

Optimales Wachstum zwischen 15 - 25° C. Es können verschiedene C-Quellen verwertet werden. Produziert Piperazin mit antibakterieller Wirkung. *In vitro* antagonistisch gegenüber *Phytophthora cactorum*, *Aspergillus fumigatus*, *Gaeumannomyces graminis*.

Unterdrückt den Wuchs der Wurzeln von Gerstensämlingen; fördert in manchen Fällen das Wurzelwachstum von Sämlingen von Zitruspflanzen.

Penicillium aurantiogriseum Dierckx (1901)

Trichocomaceae, Eurotiales, Eurotiomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota

Synonym: *Penicillium aurantiocandidum* Dierckx & Biourge (1901), *Penicillium aurantiovirens* Biourge (1923), *Penicillium brunneoviolaceum* Biourge (1923), *Penicillium cyclopium* Westling (1911), *Penicillium cyclopium* var. *aurantiovirens* (Biourge) Fassat. (1976), *Penicillium johanniolii* K.M. Zalessky (1927), *Penicillium lanosocoeruleum* Thom (1930), *Penicillium martensii* Biourge (1923), *Penicillium puberulum* Bainier (1907), *Penicillium verrucosum* var. *cyclopium* (Westling) Samson, Stolk & Hadlok (1976)

Teleomorph: *Eupenicillium* F. Ludw. (1892), Type species *Eupenicillium crustaceum* F. Ludw. (1892)

Kosmopolit mit einer Präferenz für kalt-gemäßigte Gebiete. In einer Vielzahl unterschiedlicher Böden bis in eine Tiefe von 50 cm. Keine erkennbare Boden-pH-Präferenz. *In vitro* Wachstum im Bereich pH 2,0 - 10,0. In der Rhizosphäre verschiedener Pflanzen. Es können unterschiedliche C-Quellen genutzt werden, darunter Stärke und Glukose. Zellulose-Abbau findet statt. Bildet Pektinase, Proteinase und Lipase. Bildet organische Säuren. Kann die Herbizide Simazine, Atrazine und Prometryne verwerten. Eine Reduktion der Dichte wurde nach der Applikation von Kalzium-Düngern und Dung, eine Zunahme nach der Applikation von Ammoniumsulfat festgestellt.

Ist Nahrungsquelle für verschiedene Milben.

Bildet verschiedene Metabolite mit antifungaler Wirkung wie Orsellinsäure. Weitere Metabolite sind Viridicatin, Viridicatol, das schwach antibakteriell wirkende Cyclopenin, die stark antibakteriell wirkende Penicillinsäure sowie verschiedene weitere fungitoxische Substanzen. Zeigt antagonistische Aktivität gegen eine Vielzahl verschiedener Pilze und Bakterien. Die Keimung der Konidien wird *in vitro* durch flüchtige von *Ocimum basilicum* und *Origanum majorana* gebildete Substanzen verhindert.

An *Vitis* an Beeren und Wurzeln. An Beeren Mitverursacher von Fruchtfäule oder Sekundärparasit. Wird sehr selten aus gesundem Wurzelgewebe von *Vitis* isoliert, weshalb *P. aurantiogriseum* als Saprophyt an *Vitis*-Wurzeln angesehen wird.

Penicillium brevicompactum Dierckx (1901)

Trichocomaceae, Eurotiales, Eurotiomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota

Synonym: *Penicillium brunneostoloniferum* S. Abe (1956), *Penicillium brunneostoloniferum* S. Abe ex C. Ramírez (1982), *Penicillium stoloniferum* Thom (1910), *Penicillium volgaense* Beliakova & Milko (1972)

Teleomorph: *Eupenicillium* F. Ludw. (1892), Type species *Eupenicillium crustaceum* F. Ludw. (1892)

Kosmopolitischer Bodenpilz in einer Vielzahl unterschiedlicher Böden, meist in geringen Dichten. Bis in tiefere Bodenschichten. Wird durch N-, K-, und NK-Düngung gefördert. Ein Abbau von Stärke, Zellulose und Pektin findet statt. In der Rhizosphäre verschiedener Pflanzen sowie in den Wurzeln von Eichen, Pappeln und verschiedenen Steppengräsern.
Bildet organische Säuren sowie eine Vielzahl von Metaboliten wie Pebrolide, antibiotisch und phytotoxisch wirkende Mycophenolsäure, Brevianamide (CANTIN et al. 1998), pflanzenwuchsregulierende Brevicompanine (KUSANO et al. 1998) oder den Juvenilhormon-Inhibitor Brevioxime (MOYA et al. 1997, MOYA et al. 1998).
Antagonistisch gegenüber *Botrytis fabae* (JACKSON et al. 1997), *Fusarium sporotrichioides*, *Neurospora sitophila*, *Rhizoctonia solani*, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus cereus* var. *mycoides*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* und *Streptomyces griseus*.
Bei *Vitis* an Beeren. Im Gefäßsystem von Unterlagsrebe der Sorte 5 BB und 5 C (*V. berlandieri* x *V. riparia*), wobei bei künstlicher Inokulation das Triebwachstum negativ beeinflusst wird (TIEDEMANN et al. 1988). An Beeren Mitverursacher von Fruchtfäule oder Sekundärparasit.

Penicillium chrysogenum* var. *chrysogenum Thom (1910)
Trichocomaceae, Eurotiales, Eurotiomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Penicillium aromaticum* f. *microsporum* Romankova (1955), *Penicillium camerunense* R. Heim (1949), *Penicillium chrysogenum* Thom (1910), *Penicillium harmonense* Baghd. (1968), *Penicillium meleagrinum* Biourge (1923), *Penicillium notatum* Westling (1911)
Teleomorph: *Eupenicillium* F. Ludw. (1892), Type species *Eupenicillium crustaceum* F. Ludw. (1892)
Weltweit in einer Vielzahl sehr unterschiedlicher Böden bis in tiefe Bodenschichten. Im Rhizosphärenboden von einer Vielzahl unterschiedlicher Pflanzen. Als C-Quellen können verschiedene Zucker verwendet werden. Es findet kein Zelluloseabbau statt. Für die Keimung der Konidien werden externe C- (Glukose, Galactose, Xylose, Arabinose) und N-Quellen benötigt. Baut verschiedene Pestizide wie Simazine, Propanil und Propham ab.
Dient als Nahrung für verschiedene Milben wie *Acarus siro*, *Tyrophagus putrescentiae* und *Pygmephorus mesembrinae*.
Produziert eine Vielzahl von Metaboliten, darunter antibiotisch wirksame Substanzen wie Penicillin (LEITER et al. 2001, HENSGENS et al. 2002), Negapillin, Averufin und Averantin mit antifungaler Wirkung (MASKEY et al. 2003), PAF (*Penicillium* antifungal pro-

tein; KAISERER et al. 2003, OBERPARLEITER et al. 2003) sowie die Sideramine Coprogen (ENYEDY et al. 2001), Fusigen und Fusigen B.
Antagonistisch gegenüber: *Phytium ultimum*, *Candida albicans*, *Fusarium oxysporum* (DONG & COHEN 2001a), *Fusarium sporotrichoides*, *Neurospora sitophila* und *Sclerotium cepivorum* und *Verticillium dahliae* (DONG & COHEN 2002a, b, DONG et al. 2003). Wird suppressiert durch Allosamidin (SAMI et al. 2001).
Bei *Vitis* an Beeren (POPUSCHOI & MARZHINA 1980, MAGNOLI et al. 2003)

Penicillium citrinum Sopp (1910)
Trichocomaceae, Eurotiales, Eurotiomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Penicillium baradicum* Biourge (1968), *Penicillium botryosum* Bat. & H. Maia (1957), *Penicillium sartoryi* Thom (1930), *Penicillium steckii* K.M. Zalessky (1927)
Teleomorph: *Eupenicillium* F. Ludw. (1892), Type species *Eupenicillium crustaceum* F. Ludw. (1892)
Häufiger Kosmopolit in einer sehr großen Vielzahl unterschiedlicher Böden vorwiegend in den oberen Bodenschichten. In der Rhizosphäre verschiedener Pflanzen. Pektin und Stärke werden gut abgebaut, wohingegen Zellulose nur in geringem Umfang oder gar nicht abgebaut wird. Als N-Quellen können Nitrit und Metaphosphat verwertet werden.
In den Wurzeln von Zuckerrüben.
Es werden eine Vielzahl von Stoffen wie Orsellinsäure, das fungistatisch wirkende Citrinin oder das Sideramin Coprogen gebildet. Weiterhin Citrin (COMERIO et al. 1998), Pektinlyase (SAPUNOVA et al. 1995) und Lipase (PIMENTEL et al. 1996). Die Keimung der Konidien wird durch von *Ocimum basilicum* gebildete flüchtige Substanzen gehemmt und durch von *Origanum majorana* gebildete füchtige Substanzen gefördert. Der Wuchs wird durch Indol-3-Essigsäure gefördert (GIRIDHAR & REDDY 1997b). Wuchs wird suppressiert durch Hydroxylamin (GIRIDHAR & REDDY 1997a), Eugenol und Thymol (VAZQUEZ et al. 2001).
Antagonistisch gegenüber *Macrophomina phaseolina*, *Gaeumannomyces graminis*, *Pythium* sp., *Sclerotinia sclerotiorum*, *Staphylococcus aureus* und *Salmonella typhi*.
Bei *Vitis* an Wurzeln (POPUSCHOI & MARZHINA 1980) und im Gefäßsystem der Unterlagsreben 5C und 5 BB (*V. berlandieri* x *V. riparia*, TIEDEMANN et al. 1988). Wird sehr selten aus gesundem Wurzelgewebe von *Vitis* isoliert, weshalb *P. citrinum* als Saprophyt an *Vitis*-Wurzeln angesehen werden kann.

Penicillium corylophilum Dierckx (1901)
Trichocomaceae, Eurotiales, Eurotiomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Penicillium barcinonense* C. Ramírez & A.T. Martínez

Teleomorph: *Eupenicillium* F. Ludw. (1892), Type species *Eupenicillium crustaceum* F. Ludw. (1892)
Weitverbreitet vor allem in wärmeren Klimaregionen. In der Rhizosphäre einiger annueller Pflanzen. Als C-Quelle kann Stärke, als N-Quelle Nitrit verwertet werden. Bildet Citreoisocoumarinol (MALMSTROM et al. 2000).

Penicillium expansum Link (1809)
Trichocomaceae, Eurotiales, Eurotiomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Penicillium crustaceum* Link (1809), *Penicillium glaucum* Stoll (1809)
Teleomorph: *Eupenicillium* F. Ludw. (1892), Type species *Eupenicillium crustaceum* F. Ludw. (1892)
Kosmopolit in einer Vielzahl unterschiedlicher Böden bis in tiefere Bodenschichten. Im Wurzelbereich verschiedener Pflanzen. Baut Pektin und Zellulose ab, wobei die Bildung von Zellulasen in Kulturmedien vom Ernährungszustand abhängt. Eine der häufigsten *Penicillium*-Arten auf Früchten und verschiedenen verrottenden Substraten. Manche kälteadaptierte Isolate zeigen auch bei 0°C Wachstum.
Bildet Phytolysin, Citrinin, Citrin (ABRUNHOSA et al. 2001, SANTOS et al. 2002), Penicillinsäure, Patulin (ABRUNHOSA et al. 2001, MCCALLUM et al. 2002, SANTOS et al. 2002, MAREK et al. 2003), Geosmin (DIONIGI 1994, 1995, DIONIGI & INGRAM 1994), Polygalcturonase (PICOLLIVALLE et al. 1995, YAO et al. 1996)
In vitro antagonistisch gegenüber der Grünalge *Chlorella pyrenoidosa*, verschiedenen Bakterien, saprophytischen Pilze, *Rhizoctonia solani* und *Alternaria alternata*. Der Wuchs wird *in vitro* durch Cochliodinol inhibiert. Die Bildung von Konidien wird durch Rubratoxin B inhibiert.
Wird suppressiert durch *Candida oleophila* (LURIE et al. 1995), *Candida guilliermondii* (SCHERM et al. 2003), *Candida sake* (NUNES et al. 2001, 2002), *Coprinus atramentarius*, *Lactarius turpis*, *Pleurotus cornucopiae* (FLORIANOWICZ 2000), *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Erwinia herbicola* (BRYK et al. 1998), *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus delbrueckii* (FLORIANOWICZ 2001) und *Pantoea agglomerans* (NUNES et al. 2002).
Bei *Vitis* an Beeren (POPUSCHOI & MARZHINA 1980, FARR et al. 1989, ABRUNHOSA et al. 2001).

Penicillium miczynskii K.M. Zalessky (1927)
Trichocomaceae, Eurotiales, Eurotiomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Eupenicillium shearii* Stolk & D.B. Scott (1967), *Penicillium michaelis* Quintan. (1982), *Penicillium pedemontanum* Mosca & A. Fontana (1963), *Penicillium shearii*

Stolk & D.B. Scott (1967), *Penicillium soppii* K.M. Zalessky (1927), *Penicillium syriacum* Baghd. (1968)
Teleomorph: *Eupenicillium* F. Ludw. (1892), Type species *Eupenicillium crustaceum* F. Ludw. (1892)
Weltweit verbreitet, aber selten.
Bei *Vitis* an Blättern.

Penicillium restrictum J.C. Gilman & E.V. Abbott (1927)
Trichocomaceae, Eurotiales, Eurotiomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Penicillium gorlenkoanum* Baghd. (1968), *Penicillium kazachstanicum* Novobr. (1974), *Penicillium kursanovii* Chalab. (1950), *Penicillium striatisporum* Stolk (1969), *Scopulariopsis striata* E. Müll. & Pacha-Aue (1969)
Teleomorph: *Eupenicillium* F. Ludw. (1892), Type species *Eupenicillium crustaceum* F. Ludw. (1892)
Häufiger, weltweit verbreiteter Bodenpilz; wächst bis in den mineralischen Untergrundhorizont. Die Verbreitung ist weitestgehend unabhängig vom Boden-pH. In der Rhizosphäre verschiedener Pflanzen. Nitrit wird als N-Quelle genutzt. Das Wachstum wird durch NPK-Düngung gefördert. Bildet Gliotoxin und Lipase (FREIRE et al. 1997).
Ist antagonistisch gegenüber Bakterien, insbesondere *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus* var. *mycoides*, *Erwinia carotovora*, *Proteus vulgaris* und *Staphylococcus aureus*. Inhibiert den Wuchs von *Fusarium culmorum*, *Gaeumannomyces graminis*, *Pseudocercosporella herpotrichoides*, *Pythium ultimum* und *Rhizoctonia solani*.
Bei *Vitis* an Blättern.

Penicillium simplicissimum (Oudem.) Thom (1930)
Trichocomaceae, Eurotiales, Eurotiomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Penicillium ciegleri* Quintan. (1982), *Penicillium cremeogriseum* Chalab. (1950), *Penicillium echinulonalgrovense* S. Abe (1956), *Penicillium janthinellum* Biourge (1923), *Penicillium kabunicum* Baghd. (1968), *Penicillium ochrochloron* var. *paraherquei* (S. Abe ex G. Sm.) Stolk & Samson (1986), *Penicillium paraherquei* S. Abe, (1956), *Penicillium paraherquei* S. Abe ex G. Sm. (1963), *Penicillium piscarium* Westling (1911), *Penicillium pulvillorum* Turfitt (1939), *Penicillium skrjabinii* Schmotina & Golovleva, *Spicaria simplicissima* Oudem. (1974)
Teleomorph: *Eupenicillium* F. Ludw. (1892), Type species *Eupenicillium crustaceum* F. Ludw. (1892)

Kosmopolit in einer Vielzahl unterschiedlicher Böden, auch in tiefen Bodenschichten. Als C-Quelle kann unter anderem Zellulose und Stärke verwertet werden. Eine geeignete N-Quelle ist Nitrit.
Bei Applikation von Mineraldüngern und Stallmist erhöht sich die Dichte keimfähiger Sporen. Produziert Citrat (FIRLER et al. 1998, MULLER et al. 2001), Succinate (GALLMETZER et al. 2002), das antibiotisch wirkende Xanthoepoctin (IGARASHI et al. 2000), alpha-Galactosidase (LUONTERI et al. 1998) und Xylanase (SCHMIDT et al. 1998).
In der Phylloplane und im Wurzelbereich einiger Pflanzen.
Antagonistisch gegenüber verschiedenen Pilzen und Bakterien.
Bei *Vitis* an Beeren und Blättern sowie nach MILKO (1961) stark am Absterben von Nodositäten beteiligt.

Penicillium spinulosum Thom (1910)
Trichocomaceae, Eurotiales, Eurotiomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Penicillium abeanum* G. Sm. (1963), *Penicillium nigricans* K.M. Zalessky, *Penicillium spinuloramigenum* Y. Sasaki (1946), *Penicillium trzebinskii* K.M. Zalessky (1927)
Teleomorph: *Eupenicillium* F. Ludw. (1892), Type species *Eupenicillium crustaceum* F. Ludw. (1892)
Weltweit verbreiteter, häufiger Bodenpilz. In Ackerböden selten und nur in geringen Dichten.
Es findet kein Abbau natürlicher Zellulose statt. Als eine der wenigen Pilzarten kann *P. spinulosum* Cutin abbauen. Als N-Quelle kann Nitrit verwertet werden. In den Rhizosphären verschiedener Pflanzen. Bildet nematizid und fungizid wirkendes Spinulosin, Fumigatin, Phyllostin, Osellinsäure, Orcinol und Chitosanase (AK et al. 1998).
Kulturfiltrate von *P. spinulosum* haben inhibitorische Wirkung gegenüber verschiedenen Bakterien und Pilzen. Parasitiert *Sclerotinia*-Arten.
Bei *Vitis* an Beeren.

Penicillium viridicatum Westling (1911)
Trichocomaceae, Eurotiales, Eurotiomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Synonym: *Penicillium olivinoviride* Biourge (1923)
Teleomorph: *Eupenicillium* F. Ludw. (1892), Type species *Eupenicillium crustaceum* F. Ludw. (1892)
Kosmopolitisch. Assoziiert mit Getreide und Getreideprodukten.

Penicillium waksmanii K.M. Zalessky (1927)
Trichocomaceae, Eurotiales, Eurotiomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota
Teleomorph: *Eupenicillium* F. Ludw. (1892), Type species *Eupenicillium crustaceum* F. Ludw. (1892)
Weltweit in unterschiedlichen Böden verbreitet. In den Rhizosphären verschiedener Pflanzen. Antagonismen gegenüber Bakterien und Pilzen wurden beobachtet.

Ramichloridium subulatum de Hoog (1977)
Incertae sedis, Incertae sedis, Incertae sedis, Ascomycetes, Ascomycota
R. subulatum wurde aus pestizidkontaminierten Bodenproben in Algerien isoliert. Das Wachstum wird durch verschiedene Pestizide stimuliert (BORDJIBA et al. 2001).

Rhizopus stolonifer* var. *stolonifer (Ehrenb.) Vuill. (1902)
Mucoraceae, Mucorales, Incertae sedis, Zygomycetes, Zygomycota
Synonym: *Mucor stolonifer* Ehrenb. (1818), *Mucor mucedo* L. (1753), *Ascophora mucedo* (L.) Tode (1790), *Mucor mucedo* (L.) Spreng. (1827), *Mucor stolonifer* Ehrenb. (1818), *Rhizopus nigricans* Ehrenb. (1821), *Mucor ascophorus* Link (1824), *Mucor artocarpi* Berk. & Broome (1873), *Rhizopus artocarpi* (Berk. & Broome) Boedijn (1959), *Rhizopus artocarpi* Racib. (1900)
Weltweite Verbreitung mit einer Präferenz für wärmere Gebiete. In einer Vielzahl sehr unterschiedlicher Böden vorwiegend in den oberen Bodenschichten, selten tiefer als 30 cm. Bevorzugt leicht alkalische Böden. Die Dichte erhöht sich bei Stallmist- und NPK-Düngung. Als C-Quellen können Pektin und Hemizellulose verwertet werden. Nitrat ist als N-Quelle nicht nutzbar. In der Rhizosphäre und in Wurzeln verschiedener Pflanzen. Vorkommen wird durch die Applikationen von Captan, Nabam, Vapam beeinflusst. Die Keimung der Sporen wird im Boden durch mykostatische Faktoren verhindert.
Phytoparasitisch bei Mandeln (TEVIOTDALE et al. 1995, 2001) und Verursacher von Fäulnis von Kartoffelwurzeln nach Verletzungen (STANGE et al. 2001).
Nahrungsquelle für die Milben *Caloglyphus redikorzevi* und *Kleemannia plumosa*.
In vitro wird der Wuchs durch *Bacillus subtilis*, *Penicillium kloeckeri*, *Penicillium spinulosum* und Rubratoxin B inhibiert. Wird parasitiert von *Dimargaris verticillata* und *Trichoderma viride*. Antagonismen gegenüber einigen Bakterien, *Alternaria solani* und *Chaetomium globosum* wurden beobachtet. Infiziert die Sklerotien von *Botrytis cinerea* und *Sclerotinia sclerotiorum*
Bei *Vitis* an Trieben (POPUSCHOI & MARZHINA 1980), Blättern (THÜMEN 1878) und Beeren (POPUSCHOI & MARZHINA 1980, PEARSON & GOHEEN 1994, SARIG et al. 1996, 1997).

Bei Befall der Beeren mit *R. stolonifer* werden die Phytoalexine Resveratrol und Pterostilbene gebildet.

Schizophyllum commune Fr. (1815)

Schizophyllaceae, Agaricales, Agaricomycetidae, Basidiomycetes, Basidiomycota

Synonym: *Agaricus alneus* L. (1755), *Agaricus multifidus* Batsch (1786), *Apus alneus* (L.) Gray (1821), *Merulius alneus* (L.) J.F. Gmel. (1792), *Schizophyllum alneum* J. Schröt. (1889), *Schizophyllum multifidum* (Batsch) Fr. (1875)

Weit verbreiteter (CASTILLO et al. 2004) holzbesiedelnder Pilz (HANKS et al. 2003). Verursacht Weißfäule an Holz (LEE et al. 2004). Produziert Zellulose- und Hemizellulosezersetzende Enzyme (FANG et al. 1999, THYGESEN et al. 2003), Beta-Galactosidase (MANKEL & KOTHE 1999) und Laccase (HATAMOTO et al. 1999). Produziert Schizophyllan (KWAK et al. 2005, MARTIN et al. 1999). Durch die Produktion von Hydrophobin wird die Oberflächenspannung von Wasser reduziert und der Pilz kann durch die Wasserschicht des feuchten Substrats hindurch Lufthyphen oder Fruchtkörper ausbilden (WOSTEN et al. 1999). *S. commune* ist in der Lage, sehr stickstoffarmes Substrat zu besiedeln, da als Stickstoffquelle auch freie Aminosäuren genutzt werden, die aus den älteren Teilen der Kolonie abgezogen und in jüngere Teile der Kolonie verlagert werden (intramycelial transport). Ein anderer Mechanismus nutzt als Quelle proteingebundene Aminosäuren aus den älteren Teilen der Kolonie (HANKS et al. 2003)

Wachstum wird inhibiert durch Extrakte von *Cuscuta reflexa*, *Ageratum conyzoide*, *Withania somnifera* und *Catharanthus roseus* (SINGH & BASU 2004). Wird *in vitro* von *Trichoderma* spp. (CROZIER et al. 2000) und *Bacillus subtilis* (DASS & TEYEGAGA 1996) suppressiert. Bildung von Fruchtkörpern wird durch Indol gefördert (KINOSHITA et al. 2002).

An verschiedenen oberirdischen Organen von *Vitis*.

Trichoderma koningii Oudem. (1902)

Hypocreaceae, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota

Synonym: *Acrostalagmus koningii* (Oudem.) Duché & R. Heim (1931)

Teleomorph: *Hypocrea* Fr. (1825), Type species: *Hypocrea rufa* (Pers.) Fr. (1849)

Häufiger, weit verbreiteter Bodenpilz in einer Vielzahl von Böden einschließlich Weinbergsböden. Vorwiegend in den oberen Bodenschichten aber auch bis in eine Tiefe von 120 cm. Meist in leicht sauren Böden. In mit Fungiziden behandelten Böden oft in hohen Dichten. In den Wurzeln und in den Rhizosphären verschiedener Pflanzen. Relativ unempfindlich gegenüber mykostatischen Bodeneffekten. Das pH-Optimum liegt im Bereich 3,7 - 6,0. Als N-Quellen können unter anderem Ammonium und Nitrat ge-

nutzt werden. Wuchs wird von der Menge des vorhandenen Stickstoffs (HOGERVORST et al. 2003) und der Art der Stickstiffquelle beeinflusst; Ammoniumsulphat steigert, Nitrat hemmt den Wuchs (WAKELIN et al. 1999). Wachstum nimmt mit zunehmenden Temperaturen (Optimum 25° C) und zunehmender Feuchte (Optimum 70 % Wasserhaltekapazität) zu (WAKELIN et al. 1999).

Geeignete C-Quellen sind Zellobiose und verschiedene Zucker. Saprobier (CELAR 2003, ARRIAGADA et al. 2004) und Mykoparasit (z.B. HUANG et al. 1995) . Zelluloseabbau findet statt. Es werden Phenoloxidase, proteolytische Enzyme und eine Anzahl antifungaler Substanzen gebildet (z.B. MUKHOPADHYAY et al. 1996). Produziert Zellulase (EL-HAWARY & MOSTAFA 2001, LI et al. 2004), Polygalacturonase und Pektinesterase (METCALF et al. 2004).

Mitverantwortlich für die pathogensuppressiven Eigenschaften von Böden gegenüber Take-all von Weizen; Wirkung in verschiedenen Böden sehr unterschiedlich (DUFFY et al. 1996, 1997)

Wachstum wird durch die Anwesenheit anderer Bodenorganismen stark beeinflusst und ist in sterilisiertem Boden deutlich höher (WAKELIN et al. 1999).

Der Wuchs wird bei hohen Konzentrationen des Fungizids Benomyl suppressiert, bei niedriger Dosierung gefördert (EL-MOUGITH 1999). Suppressiert *Fusarium pseudograminearum* (WONG et al. 2002), *Sclerotium rolfsii* (TSAHOURIDOU & THANASSOULOPOULOS 2001, 2002), *Sclerotinia sclerotiorum* (ESCANDE et al. 2002), *Verticilium dahliae* (GRUNDEN et al. 2001), *Ustilago segetum tritici* (MONDAL et al. 1996), *Rhizoctonia solani* (WORASATIT et al. 1994).

Bei *Vitis* an Blättern. Im Gefäßsystem der Unterlagsreben 5 BB und 5 C (*V. berlandieri* x *V. riparia,* TIEDEMANN et al. 1988)

Verticillium nigrescens Pethybr. (1919)

Incertae sedis, Hypocreales, Sordariomycetidae, Ascomycetes, Ascomycota

Synonym: *Cephalosporium serrae* Maffei (1930), *Cephalosporium serrae* var. *fuscum* Thirum. & Sukapure (1966), *Hyalopus serrae* (Maffei) M.A.J. Barbosa (1941), *Verticillium serrae* (Maffei) J.F.H. Beyma (1940)

Kosmopolit. Häufiger Bodenpilz vor allem in den oberen Bodenschichten. An den Wurzeln und in den Rhizosphären verschiedener Pflanzen. Wachstum wird nur sehr gering vom pH-Wert beeinflusst, das Optimum liegt im Bereich 5,3 - 7,2. Ein Einfluss von Düngemaßnahmen auf den Wuchs konnte nicht beobachtet werden.

Als oberirdische Fruchtkörper auf der Versuchsfläche O/R beobachtet:

Marasmius oreades (Bolton) Fr. (1836)
Marasmiaceae, Agaricales, Agaricomycetidae, Basidiomycetes, Basidiomycota
Synonym: *Agaricus coriaceus* Lightf. (1777), *Agaricus oreades* Bolton (1792), *Agaricus pratensis* Huds. (1778), *Scorteus oreades* (Fr.) Earle (1909)
Fruchtstände bilden sogenannte Hexenringe. Produziert Cyanid, welches den Wuchs verschiedener Gräser und verschiedener Pilze negativ beeinflusst (BLENIS et al. 2004). Bewirkt eine Änderung der Bodeneigenschaften dergestalt, dass die Böden wasserabweisend werden. Diese Wirkung hält auch nach der Besiedlung der Böden an (YORK & CANAWAY 2000). Im Bereich der ringförmig wachsenden Fruchtkörper wird der Gehalt an organischem Kohlenstoff, Stickstoff, mikrobeller Biomasse und Ergosterol stark reduziert (DJAJAKIRANA & JOERGENSEN 1996).

Coprinus plicatilis (Curtis) Fr. (1838),
Coprinaceae, Agaricales, Agaricomycetidae, Basidiomycetes, Basidiomycota, Fungi
Synonym: *Agaricus plicatilis* Curtis (1787), *Parasola plicatilis* (Curtis) Redhead, Vilgalys & Hopple (2001).