

Lehrstuhl für Phytopathologie
der Technischen Universität München

**Primärbefall der Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.)
mit *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary
unter Berücksichtigung zweier physikalischer Bodenparameter
und einer Pflanzgutbeizung**

Reinhold Bäßler

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften (Dr. agr.) genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. W. Huber

Prüfer der Dissertation: 1. apl. Prof. Dr. V. Zinkernagel, i.R.
2. Univ. Prof. Dr. U. Schmidhalter

Die Dissertation wurde am 14. April 2005 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 24. Juni 2005 angenommen.

I Inhaltsverzeichnis

- I Inhaltsverzeichnis ab Seite I
- II Tabellenverzeichnis ab Seite IV
- III Abbildungsverzeichnis ab Seite VI
- IV Abkürzungsverzeichnis ab Seite IX

	Seite
1 Einleitung.....	1
2 Literatur der Kraut- und Knollenfäule.....	3
2.1 Erreger und systematische Stellung.....	3
2.2 Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung.....	3
2.3 Symptome an Kartoffelstängel und Kartoffelblatt.....	4
2.4 Symptome an Kartoffelknollen.....	4
2.5 Biologie und Epidemiologie des Erregers.....	5
2.6 Bekämpfung und Prognosemodelle.....	19
3 Einfluss von zwei physikalischen Bodenparametern.....	22
3.1 Literatur.....	22
3.1.1 Körnung (Textur).....	22
3.1.1.1 Kornformen, Oberfläche und Korngrößenfraktionen.....	22
3.1.1.2 Bodenarten.....	23
3.1.2 Bodenwasser.....	24
3.1.2.1 Einteilung des Bodenwassers (Bindungsarten).....	24
3.1.2.2 Intensität der Wasserbindung.....	26
3.1.2.3 Wasserbewegung in flüssiger Phase.....	31
3.2 Material und Methoden des Gewächshausversuches.....	35
3.2.1 Versuchsaufbau.....	35
3.2.2 Bodenaufbereitung.....	35
3.2.3 Wasserspannungskurven.....	35
3.2.4 Pflanzgut und Sortenwahl.....	38
3.2.5 Künstliche Infektion des Pflanzgutes.....	39
3.2.6 Überprüfung der künstlichen Infektion.....	40
3.2.7 Pflanzung für den Gewächshausversuch.....	40
3.2.8 Steuerung der Bodenfeuchte.....	42

3.2.9	Auflaufkontrolle und Probenentnahme	43
3.2.10	Prüfung der latenten Stängelverseuchung durch die PCR	44
3.2.11	Die Polymerase-Kettenreaktion.....	44
3.2.12	Statistische Auswertung des Versuches	45
3.3	Ergebnisse des Gewächshausversuches.....	47
3.3.1	Wasserspannungskurven und Porengrößenverteilung.....	47
3.3.2	Inokulationskontrolle und Auflaufergebnisse	50
3.3.3	Tensiometermessungen und Gießvorgänge.....	51
3.3.4	Ergebnisse der Probenentnahme.....	53
3.3.5	Ergebnisse der PCR-Untersuchungen	53
4	Pflanzgutbeizung im Feldversuch.....	60
4.1	Literatur zur Bekämpfung der Krautfäule durch eine Knollenbehandlung ...	60
4.2	Material und Methoden	63
4.2.1	Standorte und Vorarbeiten.....	63
4.2.2	Beizung des Pflanzgutes und Versuchsanlage	65
4.2.3	Erfassung der Witterungsdaten.....	68
4.2.4	Bonituren	68
4.2.5	Detached-leaf-Test	68
4.2.6	PCR-Untersuchung.....	70
4.2.7	Ertragsbestimmungen	70
4.2.8	Statistische Auswertung	70
4.3	Ergebnisse.....	71
4.3.1	Versuchsjahr 2000, Standort Scheyern.....	71
4.3.1.1	Witterung und wichtige Ereignisse.....	71
4.3.1.2	Auflauf.....	73
4.3.1.3	Ergebnisse der PCR-Untersuchung	74
4.3.1.4	Ergebnisse des Detached-leaf-Tests	74
4.3.1.5	Stängelbefall durch <i>Phytophthora infestans</i>	76
4.3.1.6	Blattbefall durch <i>Phytophthora infestans</i>	79
4.3.1.7	Ertragsbestimmung 2000	81
4.3.2	Versuchsjahr 2001, Standort Dürnast.....	83
4.3.2.1	Witterung und wichtige Ereignisse.....	83
4.3.2.2	Auflauf.....	84
4.3.2.3	Stängelbefall durch <i>Phytophthora infestans</i>	85

4.3.2.4 Blattbefall durch <i>Phytophthora infestans</i>	89
4.3.2.5 Ertragsbestimmung 2001	90
4.3.3 Versuchsjahr 2002, Standort Dürnast.....	91
4.3.3.1 Witterung und wichtige Ereignisse.....	91
4.3.3.2 Auflauf.....	93
4.3.3.3 Stängelbefall durch <i>Phytophthora infestans</i>	94
4.3.3.4 Blattbefall durch <i>Phytophthora infestans</i>	97
4.3.3.5 Ertragsbestimmung 2002.....	98
5 Diskussion.....	100
6 Zusammenfassung	118
7 Literatur	120
8 Anhang.....	134
8.1 Auswertungstabellen für die Wasserspannungskurven	134
8.2 Tensiometermessungen der verschiedenen Varianten	136
8.3 Auswertung der Polymerase-Kettenreaktion	141
9 Danksagung	144
10 Lebenslauf.....	145

II Tabellenverzeichnis

Nr.		Seite
1	Isolateinteilung nach Haplotypen und deren Eigenschaften	7
2	Beziehungen zwischen der Wasserspannung und der Porengröße mit daraus abgeleiteten Wasserbindungsformen.....	31
3	Häufige Werte der Wasserleitfähigkeit von wassergesättigten Böden verschiedener Körnung.....	33
4	Bodenanalysewerte der Bayerischen Hauptversuchsanstalt.....	35
5	Werte der durchschnittlich nutzbaren Feldkapazität des Monats Mai	36
6	Druckeinstellungen und Wartezeiten zur Erstellung der Wasserspannungskurven	37
7	Herkunft, Kreuzungstyp und Virulenzgene der verwendeten Isolate	39
8	Varianten des Gewächshausversuches	43
9	Porengrößenverteilung der drei Versuchsböden	49
10	Berechnung der einzustellenden Tensiometerwerte (Soll-Werte).....	50
11	Gemessene Tensiometerwerte innerhalb der Phase hoher Bodenfeuchte	52
12	Ergebnisse der latenten Stängelinfektion	53
13	Übersicht aller Effekte.....	57
14	Haupteffekt der Bodenart	58
15	Haupteffekt des Bewässerungsintervalls.....	58
16	Varianten und Wirkstoffe im Jahr 2000 (Ausschnitt)	65
17	Varianten und Wirkstoffe im Jahr 2001	66
18	Varianten und Wirkstoffe im Jahr 2002	67
19	Varianten des Detached-leaf-Testes im Jahr 2000	68
20	Boniturschema der Blattflächennekrosen.....	69
21	Varianten zur Polymerase Kettenreaktion-Untersuchung (2000)	70
22	Ergebnisse der Polymerase Kettenreaktion-Untersuchung (2000).....	74
23	Ringgewichte zur Berechnung der Wasserspannungskurven der drei Versuchsböden	133
24	Lagerungsdichte der drei Versuchsböden	134
25	Wassergehalt in Gewichts-Prozent (H ₂ O)/100 der drei Versuchsböden.....	134
26	Wassergehalt in Volumen-Prozent (H ₂ O)/100 der drei Versuchsböden	134

27	PCR-Auswertung Bodenart „lehmiger Sand“	140
28	PCR-Auswertung Bodenart „sandiger Lehm“	141
29	PCR-Auswertung Bodenart „schluffiger Lehm“	142

III Abbildungsverzeichnis

Nr.	Seite
1	6
Krankheitszyklus von <i>Phytophthora infestans</i> mit generativem und vegetativem Abschnitt.....	
2	9
Direkter und indirekter Weg der Stängelinfektion durch <i>Phytophthora infestans</i>	
3	10
Kartoffelschlag Ende Mai 2002 (Schwaig bei Erding)	
4	14
Befallszunahme in einem Feld mit künstlicher Infektionsquelle (a) und ohne eigenen Initialherd (b).....	
5	22
Körnungs-Summenkurve von Feinböden aus Sand (S), Löß (Ul), Geschiebelehm (Lsu) und tonreichem Schlick (Tu).....	
6	23
Körnungsdreieck zur Darstellung der Bodenart	
7	27
Wasserspannungskurve eines Sandbodens, eines tonigen Schluffbodens und eines Tonbodens (A-Horizonte)	
8	29
Einfluss des Gefüges auf die Beziehung zwischen Wasserspannung und Wassergehalt.....	
9	29
Beziehung zwischen Wassergehalt und Wasserspannung eines Sand- (S) und Lößbodens (Ut) in Abhängigkeit von Be- und Entwässerung (Hysteresiseffekt)	
10	30
Kenngrößen einer Wasserspannungskurve.....	
11	34
Wasserleitfähigkeit (gesättigte und ungesättigte) eines Sand-, Schluff- und Tonbodens in Abhängigkeit von der Wasserspannung	
12	36
Bodengefüllte Stechzylinder auf einer Tonplatte	
13	40
Künstliche Inokulation der Kartoffelknollen.....	
14	41
Übersicht des Gewächshausversuches	
15	41
Schemazeichnung eines Gewächshaustopfes	
16	44
Übersicht über die Reaktionen während der PCR.....	
17	47
Wasserspannungskurven des Versuchsbodens „lehmiger Sand“	
18	48
Wasserspannungskurven des Versuchsbodens „sandiger Lehm“	
19	48
Wasserspannungskurven des Versuchsbodens „schluffiger Lehm“	

20	Verlauf der Wasserspannung des Versuchsbodens „schluffiger Lehm“ bei 4 Tagen	52
21	Gelbild der Bodenart „schluffiger Lehm“ mit acht Tagen Bewässerungsintervall	54
22	Einfluss der Bodenart auf die latente Stängelverseuchung	55
23	Einfluss des Bewässerungsintervalls auf die latente Stängelverseuchung	56
24	Abhängigkeit der Stängelverseuchung vom Wassergehalt (Vol-Prozent) der Varianten	57
25	Einfluss der Bodenart auf den durchschnittlichen Stängelbefall.....	58
26	Einfluss des Bewässerungsintervalls auf den durchschnittlichen Stängelbefall	59
27	Methode der Knollenbehandlung 2002	67
28	Witterung und wichtige Ereignisse am Versuchsstandort Scheyern (2000)	71
29	Auflauf der Varianten am Versuchsstandort Scheyern (2000).....	73
30	Ergebnisse des Detached-leaf-Testes (2000).....	75
31	Stängelbefall der Kontrollvarianten (2000).....	76
32	Stängelbefall der Varianten Dimethomorph (Dosissteigerung) (2000).....	77
33	Stängelbefall der Varianten verschiedener Wirkstoffarten (2000).....	78
34	Stängelbefall der Varianten systemischer Wirkstoffanteile (2000).....	79
35	Blattbefall vom 13. Juli 2000	80
36	Blattbefall vom 19. Juli 2000	81
37	Ertragsdaten vom Versuchsstandort Scheyern (2000)	82
38	Witterung und wichtige Ereignisse am Versuchsstandort Dürnast (2001)	83
39	Auflauf der Varianten am Versuchsstandort Dürnast (2001).....	85
40	Stängelbefall der Kontrollvarianten (2001).....	86
41	Stängelbefall der Varianten mit Dosissteigerung (2001)	86
42	Stängelbefall der Varianten verschiedener Wirkstoffarten (2001).....	87
43	Stängelbefall der Emulsionspolymer-Variante (2001).....	88
44	Blattbefall vom 23. August 2001.....	89
45	Ertragsdaten vom Versuchsstandort Dürnast (2001).....	90
46	Witterung und wichtige Ereignisse am Versuchsstandort Dürnast (2002)	91
47	Auflauf der Varianten am Versuchsstandort Dürnast (2002).....	93
48	Stängelbefall der Kontrollvarianten (2002).....	94
49	Stängelbefall der Varianten mit verschiedenen Wirkstoffarten (2002).....	95

50	Stängelbefall der Varianten Fonganil und Fonganil mit Emulsionspolymer (2002)	96
51	Stängelbefall der Varianten VM 10 und VM 10 + Curzate 60 WG (2002)	97
52	Blattbefall vom 19. Juli 2002	98
53	Ertragsdaten vom Versuchsstandort Dürnast (2002).....	99
54	Tensiometermessungen für die Bodenart lehmiger Sand bei 2 Tagen hoher Bodenfeuchte	135
55	Tensiometermessungen für die Bodenart lehmiger Sand bei 4 Tagen hoher Bodenfeuchte	135
56	Tensiometermessungen für die Bodenart lehmiger Sand bei 8 Tagen hoher Bodenfeuchte	136
57	Tensiometermessungen für die Bodenart sandiger Lehm bei 2 Tagen hoher Bodenfeuchte	136
58	Tensiometermessungen für die Bodenart sandiger Lehm bei 4 Tagen hoher Bodenfeuchte	137
59	Tensiometermessungen für die Bodenart sandiger Lehm bei 8 Tagen hoher Bodenfeuchte	137
60	Tensiometermessungen für die Bodenart schluffiger Lehm bei 2 Tagen hoher Bodenfeuchte	138
61	Tensiometermessungen für die Bodenart schluffiger Lehm bei 4 Tagen hoher Bodenfeuchte	138
62	Tensiometermessungen für die Bodenart schluffiger Lehm bei 8 Tagen hoher Bodenfeuchte	139

IV Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
Abb.	Abbildung
Abk.	Abkürzung
a.i.	active ingredient
ANOVA	analysis of variance
Aqua dest.	destilliertes Wasser
BBA	Biologische Bundesanstalt in Braunschweig
DMM	Dimethomorph
DNA	Desoxyribonukleinsäure
DWD	Deutscher Wetterdienst
GBZ	Gesamtbewertungsziffer
Ha	Hektar
hPa	Hektopascal
N	Anzahl
PCR	Polymerase-Kettenreaktion
Tab.	Tabelle
TRIS	Tris-(Hydroxymethyl)-aminomethan
TUM	Technische Universität München

1 Einleitung

Die Kartoffel wurde in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts als Kulturpflanze aus ihrem Ursprungsland Südamerika über Spanien nach England eingeführt. In den folgenden Jahren konnte sie sich in ganz Europa verbreiten und löste das Getreide als ein seit dem Mittelalter bestehendes Bevölkerungsregulativ ab (THOMES, 1997).

Im Jahre 1845 wurden die Kartoffelflächen Europas erstmals epidemisch von der Kraut- und Knollenfäule heimgesucht. Besonders in Irland verursachte sie Hungersnöte und war verantwortlich für den Tod von circa einer Million Menschen. Die Stauden fielen innerhalb kurzer Zeit einer Fäule anheim und die spärlichen Erträge konnten aus den Winterlagern meist nur noch verfault geborgen werden. DALY spiegelte 1996 in eindrucksvoller Weise wider, welche Folgen diese Epidemie hatte:

„Most who died were weakened by hunger and then killed by what was collectively known as famine fever – louse borne relapsing fever and especially louse borne typhus– whose victims give off a characteristic, awful smell in the last stages before they die! By the time the famine was over, a million Irish had died and a million and a half had emigrated in small ships!”

Der Erreger der Kraut- und Knollenfäule, welcher den wissenschaftlichen Namen

***Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary**

trägt, ist in der Lage, ohne Bekämpfung Totalverluste des Kartoffelkrautes zu verursachen. Mit der Krautfäule im Feldbestand ist die Braunfäule der Knollen eng verknüpft, welche zudem meist mit dem Auftreten sekundärer Weichfäulen verbunden ist.

In den Grundsätzen des Integrierten Pflanzenschutzes wird die Verwendung von Warndienst- und Prognoseeinrichtungen zur Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten besonders hervorgehoben (BURTH, 2002). Mehrere Prognosemodelle beschäftigen sich deutschlandweit auch mit der Frage nach der Terminierung der entscheidenden Erstspritzung. Vor allem in Jahren mit nasser Frühjahrswitterung haben die verschiedenen Modelle aber erhebliche Schwierigkeiten, diesen Termin richtig vorherzusagen. Deswegen fordern ADLER (2000) und HAUSLADEN (2003), dass die Faktoren Bodenart und Bodenfeuchte in die bestehenden Modelle einbezogen werden.

Am Lehrstuhl für Phytopathologie der TU München–Weihenstephan wird seit dem Jahr 1994 daran gearbeitet, die Biologie des latenten Befalls der Kartoffelpflanzen zu klären und die Bedeutung des Primärinokulums für die Epidemie zu bewerten. TURKENSTEEN und FLIER (1998) berichten, dass der Beginn von Krautfäuleepidemien in den letzten Jahren immer früher einsetzte und zudem von stärkerem Stängelbefall geprägt war. Dem Pflanzgut als Infektionsquelle des früher auftretenden Befalles kommt dabei eine besondere Bedeutung zu (ADLER 2000). Eine Fokussierung der Forschung auf das unterirdische Infektionsgeschehen von der Pflanzung bis zum Auflauf und die Entwicklung von Methoden zur Verringerung der frühen Stängelinfektionen sind deswegen dringend notwendig.

Innerhalb der vorliegenden Arbeit konnte im Rahmen eines Gewächshausversuches überprüft werden, welchen Einfluss die physikalischen Bodenparameter „Bodenart“ und „Bodenfeuchte“ auf die unterirdische Infektion der auflaufenden Triebe haben. Im Rahmen dreijähriger Freilandversuche wurden zudem die Wirkungen von fungizidhaltigen Pflanzgutbeizen auf den Erstbefall und die Epidemie in den Kartoffelbeständen untersucht.

2 Literatur der Kraut- und Knollenfäule

2.1 Erreger und systematische Stellung

Der Erreger der Kraut- und Knollenfäule findet sich nach HOFFMANN und SCHMUTTERER (1999) in der folgenden Systematik:

Abteilung: Eumycota

Unterabteilung: Mastigomycotina

Klasse: Oomycetes

Ordnung: Peronosporales

Familie: Phytiaceae

Gattung: *Phytophthora*

Art: *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary

Die systematische Einteilung der Oomyceten wird in der Literatur allerdings kontrovers diskutiert. Einige Autoren sind der Meinung, dass ihr Metabolismus (PFYFFER et al., 1990; VOGEL, 1964), ihre Zellwandbestandteile (BARTNICKI-GARCIA und WANG, 1983) und bestimmte rRNA-Sequenzen (FÖRSTER et al., 1990) auf eine nahe Verwandtschaft zu den Vertretern der Chrysophyta wie Kieselalgen (Diatomeae) und Braunalgen (Phaeophyceae) hinweisen. BRUNS et al. (1991) und KNOLL (1992) sind ebenso der Ansicht, dass die Oomyceten mit den höheren Pflanzen und Algen enger verwandt sind, als mit den Ascomyceten und Basidiomyceten.

2.2 Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung

Die Kraut- und Knollenfäule besitzt weltweite Verbreitung und wird in manchen Gebieten als wichtigste Erkrankung und limitierender Faktor des Kartoffelanbaus betrachtet. Sie tritt epidemisch auf und ist vor allem in regenreichen Gebieten und Jahren bis heute eine ernste Gefahr geblieben. In Deutschland werden die durchschnittlichen Verluste auf acht bis zehn Prozent der Gesamternte geschätzt. Da der Erreger bei unkontrollierter Ausbreitung in der Lage ist, bis zu 70 Prozent einer Ernte zu vernichten, bleibt bei einem Verzicht auf wirksamen Bestandesschutz durch Fungizide das Aufkommen der Krautfäule wichtigster Parameter eines erfolgreichen Anbaues (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999). Neben der Reduktion der

Erntemenge durch Blattverlust muss mit dem Pilz auch die Braunfäule der Knollen in direktem Zusammenhang gesehen werden. Vor allem bei einer Kombination dieser Trockenfäule mit sekundären Weichfäulen entstehen während der Lagerung hohe Verluste (APPEL, 1928).

2.3 Symptome an Kartoffelstängel und Kartoffelblatt

Als Anfangssymptome sind an den unteren Blättern kleine gelbliche oder dunkelgrüne Flecken -vorzugsweise am Blattrand- zu erkennen. Sie sind unspezifisch und deswegen nur schwer zu differenzieren. Primärherde können meist durch das Auftreten von Stängelläsionen erkannt werden (EDDINS, 1945; ULLRICH, 1957; WENZL, 1967), welche wegen des längeren Anhaftens von Tau- und Regentropfen vor allem in den Blattachseln zu finden sind (ULLRICH, 1968). Stärkerer Stängelbefall wird vor allem nach niederschlagsreicher Witterung zu Beginn der Vegetationsperiode beobachtet (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999). Problembereiche der Erkennung von Stängelbefall liegen nach EHRHARDT (1993) auch in der Verwechslungsgefahr mit der Schwarzbeinigkeit und Botrytis.

Bei feuchtwarmer Witterung vergrößern sich die Läsionen der Krautfäule rasch, fließen zusammen und werden bis auf eine hellere Randzone dunkelbraun bis schwarz. Im Übergangsbereich des erkrankten zum gesunden Gewebe wird blattunterseits ein weißlichgrauer Mycelflaum gebildet, welcher beim Austrocknen der Läsion zwar verschwindet, bei darauffolgend hoher Luftfeuchtigkeit allerdings wieder erscheint. Bei anhaltend hoher Feuchtigkeit kann das gesamte Assimilationsgewebe der Pflanze durch Neuinfektionen und Ausdehnung von Nekrosen innerhalb weniger Tage zerstört werden. Bis auf die Wurzeln befällt *Phytophthora infestans* alle Teile der Kartoffelpflanze.

2.4 Symptome an Kartoffelknollen

Mit der Krautfäule steht eine Braunfäule (Trockenfäule) der Knollen in unmittelbarem Zusammenhang. An den befallenen Knollen sind oberflächlich verschieden große, unregelmäßige und leicht eingesunkene -blaugrau verfärbte- relativ harte Flecken zu erkennen. Das Speichergewebe ist unterhalb solcher Befallsstellen in größeren Bereichen mitunter bis zur Knollenmitte strähnig rostbraun verfärbt. Die Verfärbungen

sind teilweise adrig flockig oder diffus, eine scharfe Trennungslinie zwischen erkranktem und gesundem Gewebe besteht nicht. Bei geringer Anfangserkrankung setzen sich die Gewebeverbräunungen im Lager langsam fort (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999). Im Gefolge der Knolleninfektion durch *Phytophthora infestans* können während der Vegetationszeit, bei der Rodung oder im Lager (Wundinfektionen) sekundäre Fäulniserreger auftreten, welche die beschriebenen Symptome verändern. Solche Bakterienfäulen sind stets daran zu erkennen, dass die Stärkekörner unverletzt und die Zellmembranen aufgelöst ist (APPEL, 1928).

2.5 Biologie und Epidemiologie des Erregers

Der Erreger der Kraut- und Knollenfäule bildet als Thallus ein relativ breites, knorrig verzweigtes, unseptiertes Mycel. Die sich daran entwickelnden, hyphenartigen Sporangienträger sind sympodial, undeterminiert verzweigt, in Intervallen leicht verdickt und bilden -terminal an den Verzweigungen- zitronenförmige Sporangien. Ihr leichtes Abfallen und die Verbreitung durch Luftbewegungen ist typisch für diese Art im Gegensatz zu anderen *Phytophthora*-Arten.

An der Spitze der Sporangien befindet sich eine Papille mit verdickter Membran, am anderen Ende ein kurzes Stielchen. Die Sporangien sind farblos und dicht mit körnigem Plasma gefüllt. Die Größe bewegt sich in einer Bandbreite von 27 bis 30 x 15 bis 20 μm (Abbildung 1/①)

Bei der indirekten Keimung in freiem Wasser bilden sich im Sporangium sechs bis sechzehn Zoosporen, welche nach der Öffnung der Papille schlüpfen (Größe 10 x 7 μm , Abb. 1/②). Die Zoosporen sind heterokont zweigeißelig, schwärmen kurze Zeit im Wasser, setzen sich dann fest und umgeben sich mit einer festen Membran. Auf der Wirtspflanze bildet sich während des Infektionsvorganges ein Keimschlauch aus, an welchem sich das Appressorium mit einer Infektionshypho bildet. Bei der direkten Keimung wächst neben der Papille ein Keimschlauch aus, an dem sich ein sekundäres Sporangium, später auch ein tertiäres bilden kann. Die direkte Keimung führt nicht zur Appressorienbildung und Infektion (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999). SATO (1994) beschreibt eine Temperaturbande von 22 bis 24 °C, wonach innerhalb von 24 Stunden über 60 Prozent der Sporangien indirekt auskeimen.

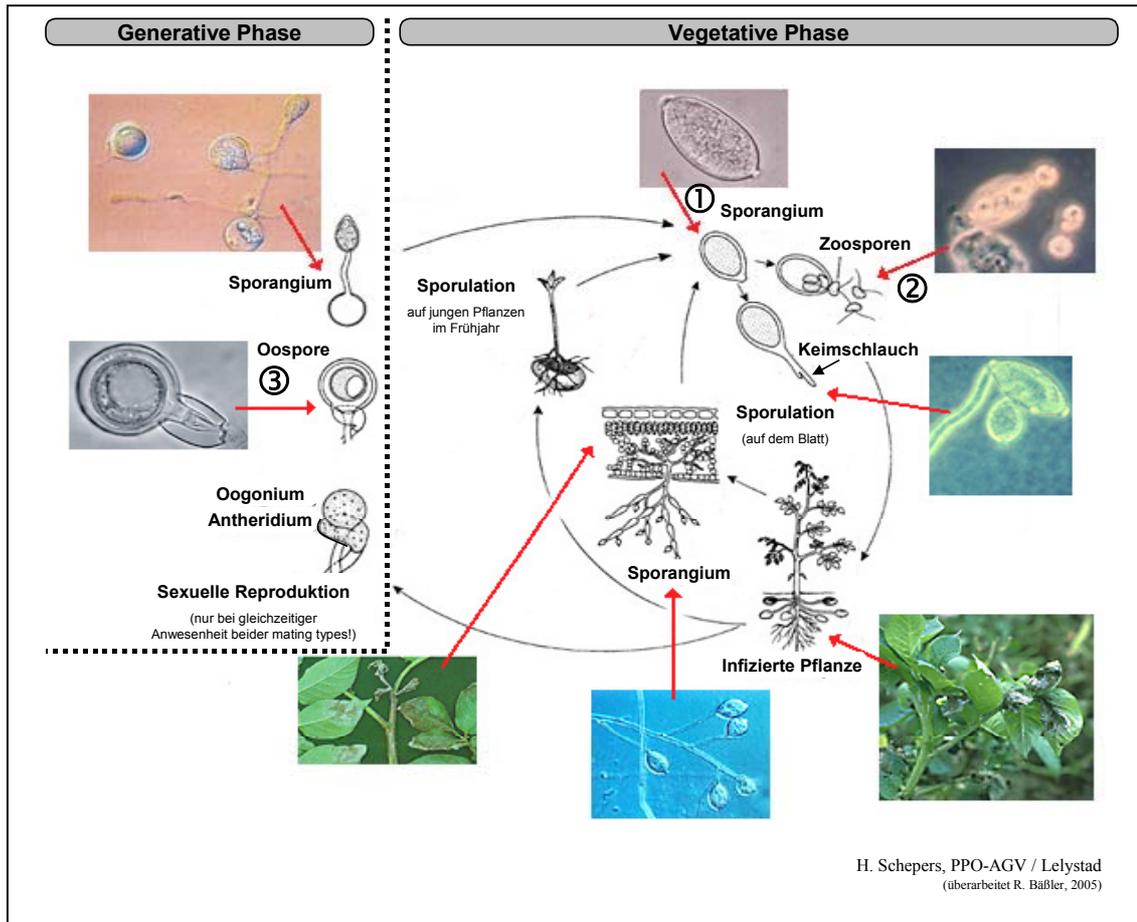


Abb. 1: Krankheitszyklus von *Phytophthora infestans* mit generativem und vegetativem Abschnitt

Der Erreger ist weitgehend heterothallisch, die Paarungstypen (mating types) A1 und A2 zeigen unterschiedliche Kolonietypen in Reinkultur und sind regional sehr ungleich verbreitet. Der Paarungstyp A1 war bis in die frühen achtziger Jahre die einzige Form in Europa, A2 -ursprünglich in Peru und Mexiko- hat in einzelnen Ländern etwas zugenommen, mitunter nur in einzelnen Regionen. Der A2-Paarungstyp war bisher ausschließlich auf Kartoffel -vor allem bei Blattinfektionen- nachzuweisen. In manchen Jahren war der Anteil in der Population nur gering. Das Auftreten des A2-Typs in Ländern außerhalb von Mexiko wird mit der Verschleppung (über Pflanzgut) und nicht mit einer Veränderung des Paarungstyps in der heimischen Population in Verbindung gebracht.

Bei der sexuellen Vermehrung werden Oogonien (\varnothing ca. 38 μm) und amphigyne Antheridien gebildet, nach ihrer Fusion (Kernübertritt in das Oogonium) entsteht bei 15 bis 20 °C eine derbwandige Oospore, welche nach einer Ruheperiode bei 12 bis 25 °C mit ein bis zwei Keimschläuchen auskeimt (Abb.1/③). Am Ende dieser Keimschläuche bildet sich ein Sporangium. Im Pflanzengewebe beträgt die Keimrate

zwischen zwei und vierzig Prozent, Stängelinfektionen wurden nach Oosporeninokulation nachgewiesen. Die Oosporenbildung tritt bei stark krautfäuleanfälligen Sorten öfter auf als bei weniger anfälligen. Sie ist von hoher Feuchtigkeit abhängig und bewegt sich in einem Temperaturband von 8 bis 15 °C. Interaktionen mit chemischen und physikalischen Faktoren sind relativ ungeklärt. Die Bildung der Dauersporen wurde in den letzten Jahren in Europa häufiger beobachtet (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999).

SCHÖBER und RULLICH berichten 1986 von Oosporenbildung bei der Prüfung von Kreuzungsversuchen deutscher Isolate, wonach auch in der Bundesrepublik nunmehr beide Paarungstypen vorkommen. Innerhalb der Jahre 1980 bis 1985 fand eine beträchtliche Zunahme von Virulenzgenen deutscher Isolate statt. Pathotypen mit geringer Virulenz, wie solche, die im Jahre 1950 gefunden wurden, existieren nicht mehr (SCHÖBER-BUTIN et al., 1995). FRY et al. (1993) gehen davon aus, dass die alte Population durch die neue innerhalb weniger Jahre verdrängt wurde. RULLICH und SCHÖBER-BUTIN (2002) zeigen, dass seit 1993/1994 auch in Deutschland eine Verdrängung der alten Population stattfindet; sie bezeichnen diesen Vorgang allerdings als noch nicht abgeschlossen.

Alle Isolate des alten Haplotyps Ib gehören zum Paarungstyp A1; sie sind außerdem sensitiv gegenüber dem fungiziden Wirkstoff Metalaxyl. In den Haplotypen Ia und IIa der neuen Population sind beide Paarungstypen zu finden und es existieren sowohl resistente als auch sensitive Stämme gegenüber Metalaxyl. Der Anteil komplexer Pathotypen ist bei den neuen Haplotypen Ia bzw. IIa höher als beim alten Haplotyp Ia. Bei einem zeitlichen Vergleich der Haplotypenzusammensetzung zeigt sich, dass die Haplotypen Ia und IIa seit ihrem Auftreten in der Dekade 1971 bis 1980 stark zugenommen haben (RULLICH und SCHÖBER-BUTIN, 2002). Eine Übersicht der Isolateinteilung nach Haplotypen und deren Eigenschaften ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1: Isolateinteilung nach Haplotypen und deren Eigenschaften

Haplotyp	Paarungstyp	Metalaxyl	Anteil komplexer Pathotypen
<i>Ib (=alt)</i>	<i>A1</i>	<i>sensitiv</i>	<i>gering</i>
<i>Ia, IIa (IIb)</i>	<i>A1, A2</i>	<i>sensitiv oder resistent</i>	<i>hoch</i>

Der A2-Typ repräsentiert einen weitgehend einheitlichen Klon, während bei A1 die genetischen Strukturen in der Population weit variieren. Das Vorkommen von di-, tri- und tetraploiden Typen in einer Population wird aufgrund von DNA-Analysen angenommen, selbstfertile Individuen wurden nachgewiesen (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999). Effiziente Mechanismen zur Erhöhung der Variabilität innerhalb einer asexuellen Population stellen nach ANDRIVON (1995) die Mutation und die Heterokaryosis dar. Das Auftreten beider Paarungstypen hat zu starken genetischen Veränderungen der *Phytophthora infestans*-Population in verschiedenen Ländern geführt. Nachweise darüber wurden durch Alloenzym- und DNA-Gehalte sowie DNA-Fingerprinting erbracht. Der Anstieg des Stängelbefalls -eine Beobachtung der letzten Jahre- soll damit in keinem Zusammenhang stehen. Rekombinationen zwischen A2 und A1 (alt) sollen stattgefunden zu haben (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999). FRY et al. (1993) berichten dagegen, dass Rekombinationen von „neuen“ und „alten“ Genotypen nicht gefunden wurden. Sie schreiben zudem, dass sich die neuen Populationen durch eine höhere „Fitness“ auszeichnen. Die Überprüfung von Populationen nach der Migration von 1970 brachte keinen generellen Anstieg der Pathogenität des Erregers mit sich (ANDRIVON, 1995).

Die Überwinterung der Erregers geschieht hauptsächlich in Verbindung mit der Wirtspflanze. Der Pilz ist zwar zu saprophytischer Lebensweise fähig, kann sich aber im Boden nicht längere Zeit halten oder gar anreichern (ZAN, 1956). Bodenmikroorganismen spielen hierbei als Antagonisten des Pilzes eine wichtige Rolle (ANDRIVON, 1994). DE BRUYN (1926/1) und MALAJCZUK (1983) messen dem Überleben des Pilzes auf totem Pflanzenmaterial eine gewisse Bedeutung zu. Der Boden scheidet nach HOFFMANN und SCHMUTTERER (1999) als Infektionsquelle trotzdem weitgehend aus.

Der Überdauerung auf Nebenwirten wird in Europa keine Bedeutung beigemessen (SCHICK und KLINKOWSKI, 1961).

Die Überdauerung des Mycels in Knollen, welche als Ernterückstände im Boden verbleiben, ist möglich. Sollten solche Knollen nicht vollständig durchfrieren, können sie in manchen Gebieten in Form von Durchwuchskartoffeln im Folgejahr eine beachtliche Infektionsquelle darstellen (HÄNNI, 1949; BRAUN, 1953).

Hauptsächlich aber übersteht der Erreger die Vegetationspause in den eingelagerten Knollen (KOLBE, 1986). APPEL (1928) berichtet, dass das Mycel in den Knollen noch bei 3°C wächst, wobei das Optimum bei 20°C, das Maximum bei 31-32°C liegt.

Relativ niedrige Temperaturen bei der Lagerung gestatten es dem Pilz, sich während langer Zeit in der Knolle zu erhalten, da er unter günstigeren Temperaturverhältnissen in etwa einem Monat die ganze Knolle durchwuchern hat und dann „verhungern“ muss. Kühle Temperaturen hemmen zudem die Entwicklung verschiedener Konkurrenz-Mikroorganismen von *Phytophthora infestans* (HÄNNI, 1949).

Kranke Knollen werden bei der Auslagerung häufig auf Abfallhaufen entsorgt und können dann nach einer Keimung ebenfalls primärbefallene Pflanzen entwickeln.

Von diesen Haufen aus hat der Pilz die Möglichkeit, sich auf größere Flächen auszubreiten (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999).

Zu einem epidemisch bedeutsamen Anteil gelangen *Phytophthora*-infizierte Knollen zur Auspflanzung (APPEL, 1928; ULLRICH, 1957; SCHICK und KLINKOWSKI, 1961; KOLBE, 1986; FLIER und TURKENSTEEN, 2000). Der Pilz kann von einer kranken Knolle direkt in den Trieb einwachsen (ULLRICH, 1957; ADLER, 2000), was NIEPOLD und SCHÖBER-BUTIN (1999) sowie APPEL et al., (2001) auch mittels der Polymerase Kettenreaktion nachweisen konnten (Abb. 2/①). SCHLENZIG (1997) konnte den Erreger bis zu 39 Tage vor dem sichtbaren Ausbruch der Krankheit im Bestand durch einen indirekten ELISA-Test nachweisen.

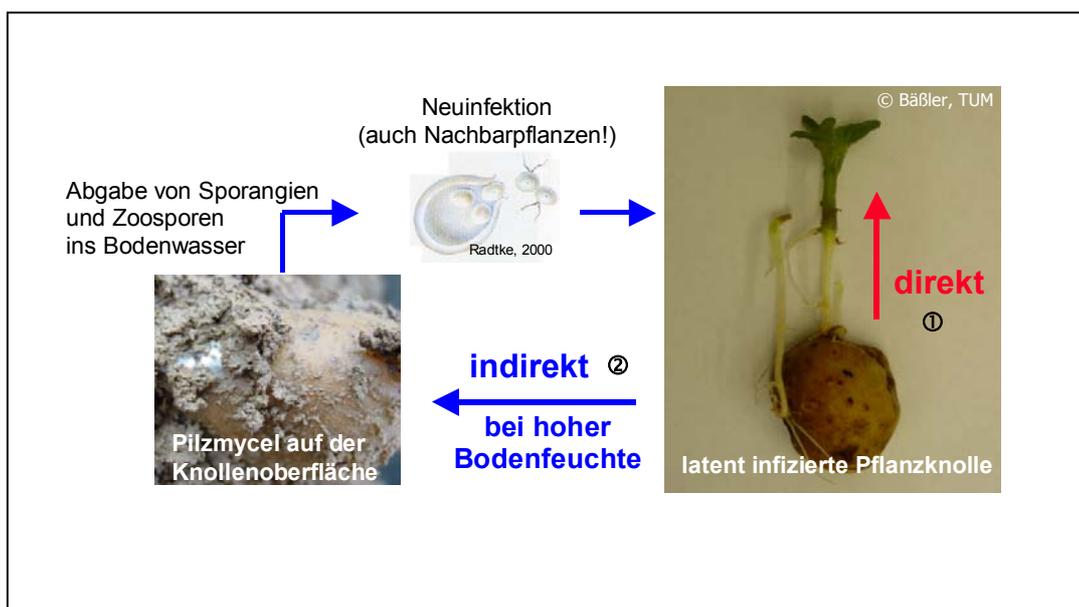


Abb. 2: Direkter und indirekter Weg der Stängelinfektion durch von *Phytophthora infestans*

Phytophthora infestans hat neben dem direkten Einwachsen in einen Trieb aber auch die Möglichkeit, sich nach einer Sporulation auf der Oberfläche von latent infizierten Pflanzknollen unterirdisch über das Bodenwasser zu verbreiten (LACEY, 1967; SATO, 1980; BAIN und MÖLLER, 1998), (Abb. 2/©). VAN DER ZAAG (1956) nimmt dabei an, dass im Mittel auf der Oberfläche einer infizierten Knolle bis zu 100.000 Sporangien entstehen. Diese unterirdische Sporulation führt zunächst zu einer Erregerausbreitung in der nächsten Knollenumgebung (HÄNNI, 1949) und legt bei entsprechend hohem Wassergehalt des Bodens (Abb. 3) nach horizontaler Verbreitung infolge zahlreicher Neuinfektionen den Grundstein für massive Stängelverseuchungen auf kleinstem Raum.



Abb. 3: Kartoffelschlag Ende Mai 2002 (Schwaig bei Erding)

Das eingewachsene Mycel bewirkt bei systemischer Infektion zum Teil ein Absterben der jungen Triebe, ehe sie die Bodenoberfläche erreichen (APPEL, 1928; HÄNNI, 1949; ADLER, 2000). Andere Triebe stoßen nach oben durch und tragen den Erreger in den oberirdischen Raum (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999). Aus einer erkrankten Knolle können dabei nach ADLER (2000) sowohl latent infizierte Triebe, als auch gesunde Stängel emporwachsen. Der latente Befall eines Stängels muss zudem nicht notwendigerweise zu einer sichtbaren Infektion führen. Die Autorin geht auch davon aus, dass die Bildung von latent infizierten Stängeln aus künstlich inokuliertem Pflanzgut entscheidend von der Bodenart und dem Wassergehalt des Bodens nach der Pflanzung abhängt.

Der infizierte Aufwuchs legt im Bestand durch einzelne Primärherde den Beginn der feldeigenen *Phytophthora infestans*-Epidemie (EDDINS, 1945).

Im Feldbestand wird die Ausbreitung des Pilzes von Knolle zu Knolle im Boden auch nach LACEY (1967) infolge starker Regenfälle bzw. bei hohem Bodenwassergehalt nicht ausgeschlossen. SCHLENZIG (1997) stellte im Jahr 1995 den ersten Befall nach extrem hoher Bodenfeuchte nach der Pflanzung von inokulierten Knollen an mehreren dicht beieinander stehenden Pflanzen innerhalb einer Reihe fest. Die Ausbreitung der Krankheit erfolgte dabei bevorzugt innerhalb einer Reihe, weil ihrer Ansicht nach hier die Knollenabstände geringer waren und durch die Bodenbearbeitung das Abfließen des Wassers in Dammrichtung gefördert wurde.

SATO (1980) beobachtete, dass vornehmlich die untere Seite von Pflanzknollen befallen wurde. Er geht davon aus, dass der in diesem Bereich länger zur Verfügung stehende „Wasserfilm“ eine erfolgreiche Infektion der Knollen durch die Zoosporen eher ermöglicht. Diese haben unter diesen Bedingungen mehr Zeit, Infektionsorte wie Lentizellen oder Augen an den Knollen zu finden, als im „trockeneren“ Dammbereich darüber.

Latent befallene Pflanzknollen haben nach ADLER (2000) heute eine größere Bedeutung für den sichtbaren Primärbefall als früher. Während früher von Abfallhaufen und Durchwuchskartoffeln der erste sichtbare Befall im eigenen Kartoffelbestand hauptsächlich durch sekundäre Infektionen hervorgerufen wurde, hat die Bedeutung des latent infizierten Pflanzgutes durch moderne Lagertechnik (Kaltlagerung) deutlich zugenommen. Dadurch ist heute ein früheres Auftreten der Krankheit in Form von teilweise massivem Stängelbefall vor allem in Jahren mit nasser Frühjahrswitterung möglich.

Beim Vorliegen beider Paarungstypen in Infektionsversuchen setzt die Oosporenbildung nach FRY et al. (1993) und TURKENSTEEN et al. (2000) zwischen 15 und 18 °C sieben bis vierzehn Tage nach der Inokulation ein. Sie ist vor der Nekrotisierung des Gewebes abgeschlossen (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999).

Die gebildeten Dauersporen wurden bei ANDERSON et al. (1998) in Blättern, Stängeln und Stolonen gefunden. PITTIS und SHATTOCK (1994) konnten bei der künstlichen Infektion von Knollen mit Zoosporen von A1- und A2-Isolaten eine Produktion von

Oosporen hingegen nur im Stängelbereich, nicht aber im Blattbereich der Pflanzen nachweisen.

Oosporen überleben die Winterverhältnisse in Europa (SCHÖBER und TURKENSTEEN, 1992; ANDERSON et al., 1998); sie kommen deswegen als zusätzliche Inokulumquelle in Frage (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999). PITTIS und SHATTOCK (1994) konnten für *in situ* produzierte Oosporen eine Lebensdauer von bis zu acht Monaten feststellen. In den Niederlanden wurde die Überlebensfähigkeit von Oosporen untersucht, indem sie -vermischt mit Sandboden oder Lehmboden- den lokalen Wetterereignissen ausgesetzt waren. Über einen Zeitraum von bis zu 48 Monaten war es den Dauersporen möglich, nach einer Wassersättigung (Flutung) der Böden aufgelegte Kartoffelblätter erfolgreich zu infizieren (TURKENSTEEN et al., 2000). CHANG und KO (1991) weisen im Zusammenhang mit dem Keimungsvorgang der Oosporen auf die essentielle Bedeutung von Licht für eine hohe Keimungsrate hin.

Durch einen Befall der unteren (am Boden aufliegenden) Blätter können die Oosporen nach Meinung von BOYD (1980) und RANTANEN et al. (2002) zu einem früheren Start der Epidemie beitragen.

DE BRUYN (1926/2) hatte auf sterilem Getreidestroh und anderen silikathaltigen Medien Oosporen gefunden, welche gegen Kälte und Trockenheit sehr widerstandsfähig waren. HÄNNI ging 1949 jedoch davon aus, dass den Oosporen als Bindeglied zwischen zwei *Phytophthora infestans*-Epidemien keine große Bedeutung beizumessen ist. Er leitete dies davon ab, dass der Beginn der Krautfäule im damaligen Beobachtungszeitraum nicht das Bild aufzeigte, welches man von Krankheiten her kennt, die sich aus keimenden Dauersporen neu entwickeln. Von einer reichlichen Oosporenbildung auf Blättern und Stängeln verschiedener Sorten unter den Freilandbedingungen von Mexiko berichten SCHICK und KLINKOWSKI (1961).

SCHÖBER und TURKENSTEEN sind 1992 der Auffassung, dass die Bedeutung der Oosporen und der neuen Population auf die Epidemiologie und folglich auf die Krankheitsvorhersage ungeklärt ist. Im Jahr 2000 stellen FLIER und TURKENSTEEN jedoch fest, dass die in infizierten Durchwuchskartoffeln zahlreich auftretenden Oosporen eine wichtige Quelle des „Oosporen-Inokulums“ darstellen können.

Der Pilz hat seit dem Auftritt des zweiten Paarungstyps grundsätzlich die Möglichkeit, die genetische Variabilität der Krautfäule-Population zu erhöhen (HABERMEYER und ADLER, 2000). Dies bedeutet, dass das Potential und die Geschwindigkeit zunehmen

können, sich an Resistenzeigenschaften von Sorten oder Mechanismen fungizider Wirkstoffe anzupassen und sich an andere Umwelt- und Lagerungsbedingungen zu adaptieren. Deswegen stufen die Autoren die Bedeutung der Dauersporen für die Populationsstruktur des Krautfäulepilzes höher ein, als seine Wichtigkeit als Infektionsquelle im Feld.

Die Entwicklung der Krautfäule ist weitgehend von den klimatischen Verhältnissen abhängig. Die Sporangienbildung hat bei ausreichender Feuchtigkeit -mindestens zehnstündiger Blattbenetzung oder einer relativen Luftfeuchte von über 90 Prozent (ULLRICH, 1957)- ihr Temperaturoptimum zwischen 18 und 23 °C. Der Minimalwert für die Bildung liegt bei 6,5 °C, der Maximalwert bei 27 °C (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999). Nach JOHANNES (1953) ist für ein epidemisches Auftreten bei der Bildung von Sporangien eine Temperaturbande von 13 bis 18°C und eine relative Luftfeuchte zwischen 95 und 100 Prozent notwendig.

Phytophthora infestans benötigt von der Infektion bis zur ersten Fruktifikation lediglich drei bis vier Tage (bei Temperaturen von 15 bis 23 °C).

Die Keimung der Sporangien durch Freisetzung von Zoosporen erfolgt optimal zwischen 12 und 16 °C, wobei eine Untergrenze zwischen 0 (!) bis 3 °C und eine Obergrenze bei 25 °C liegt (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999). Die Entlassung der Zoosporen geschieht nur in tropfbar flüssiges Wasser auf den Blättern (JOHANNES, 1953), wobei Keimung und Infektion der Zoosporen eine mindestens vierstündige Blattbenetzung voraussetzen.

Die indirekte Keimung nimmt bis zu 24 °C zu, oberhalb von 30 °C keimen die Sporangien nicht mehr aus. Die Infektion kann blattober- und blattunterseits erfolgen, wobei die Temperatur zwischen 5 und 28 °C variieren kann, das Optimum befindet sich bei 15 °C. Sofern die entsprechenden Temperaturen herrschen, sind fast jede Nacht (mit Taubildung) die Infektionsvoraussetzungen erfüllt. Daher ist nach dem Auftritt von Primärherden mit einer ständigen Ausbreitung von *Phytophthora infestans* im Feldbestand zu rechnen, wobei diese bei ungünstigen Witterungsbedingungen eher „schleichenden“ Charakter besitzt (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999).

APPEL (1928) gibt an, dass sich die Art der Keimung auch durch die Konzentration der Nährlösung und durch die Änderung der Sauerstoffzufuhr beeinflussen lässt.

ULLRICH und SCHRÖDTER (1966) beobachten in ihrer Epidemiologie der Krautfäule zuerst die Bildung eines Initialherdes im Feld, welcher sich anschließend vergrößert.

Dabei nimmt die Befallsdichte mit der Entfernung vom Initialherd ab. Schließlich besiedelt der Pilz ein größeres Areal (= Epidemiebeginn), wobei die Befallsverteilung in weiterer Entfernung vom Initialherd gleichförmiger wird. Die Autoren weisen darauf hin, dass Zahl und Lage der Primärherde im allgemeinen unbekannt sind und deswegen der Termin des Beginns einer Epidemie nicht näher festzulegen ist. Der allgemeine Verlauf des Krautfäulebefalls in einem Kartoffelfeld wird dabei durch eine S-förmige Kurve charakterisiert. Die Befallszunahme nimmt später geringer zu, da immer weniger gesundes Blattgewebe zur Verfügung steht, womit die Wahrscheinlichkeit für das Zustandkommen neuer Infektionen durch die Sporangien abnimmt (Abb. 4).

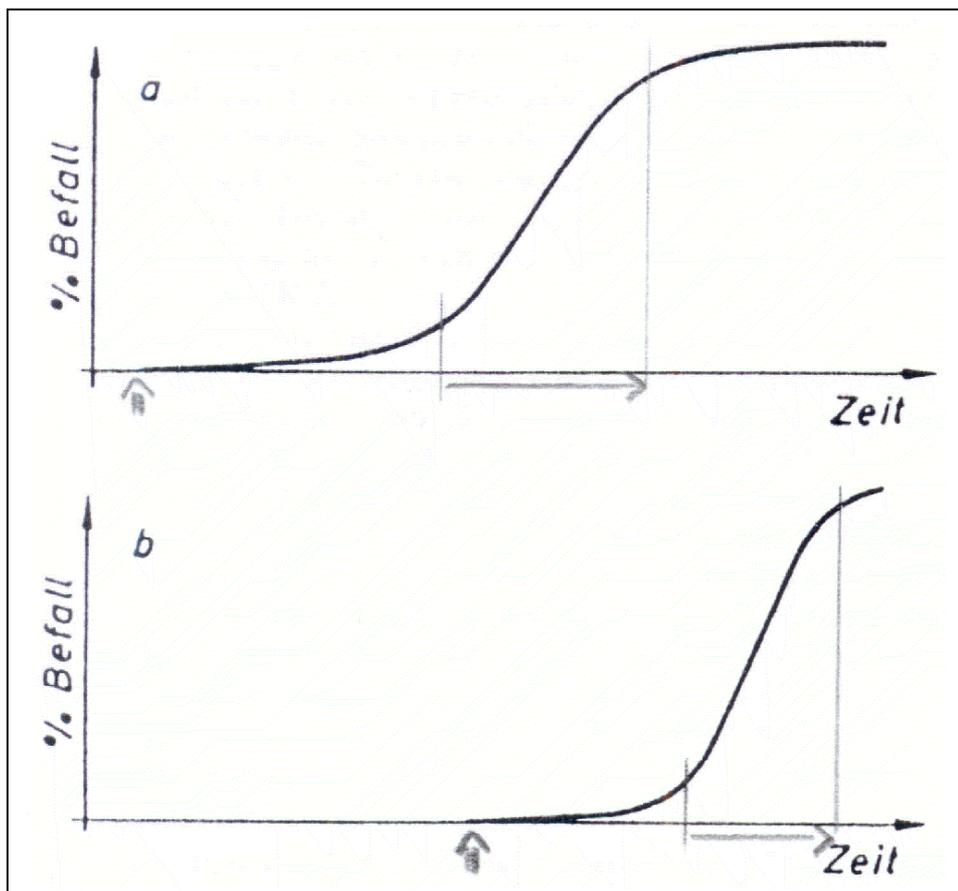


Abb. 4: Befallszunahme in einem Feld mit künstlicher Infektionsquelle (a) und ohne eigenen Initialherd (b) [CLAYSON und ROBERTSON, 1957]

Aus der Abbildung ist auch die Bedeutung von unterschiedlichen Herkünften des Primärinokulums ersichtlich. Entsteht ein Initialherd aus kranken Pflanzknollen, so läuft dort die Epidemie früher ab als in solchen Feldern, welche zuerst von außen infiziert werden (Abb. 4/a_↑). Nach den Beobachtungen von HIRST und STEDMAN (1960)

handelt es sich hierbei um einen Zeitraum von 12 bis 25 Tagen. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass der Initialherd zunächst nur aus einer einzigen Läsion besteht, der Befall nimmt daher anfangs nur langsam zu.

Im Falle des Sporenzufugs von Außen entstehen dagegen oft gleich mehrere Läsionen auf verschiedenen, im Bestand verstreuten Pflanzen. Die Folge davon ist eine später auftretende, aber rasch voranschreitende Befallszunahme, da sich schneller ein hohes Infektionspotential aufbaut (Abb. 4/b \uparrow).

Die Kraut- und Knollenfäule ist zum einen wegen ihrer großen Reproduktionskraft, zum anderen wegen der hohen und sofortigen Keimbereitschaft der Sporen in höchstem Maße zu epidemischem Auftreten fähig. Der Erreger muss zunächst vier konsekutive Generationen durchlaufen, um einen Befall der Größenordnung von 0,1 Prozent zu erreichen. Ihm genügen dann allerdings lediglich zwei weitere Generationen, um schwere Infektionen auf größeren Flächen zu setzen (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999).

Für die Entwicklung einer Epidemie sind die Anzahl der Primärherde, der prozentuale Anteil der Kartoffelanbaufläche, die Sortenanfälligkeit sowie das Makro- und Mikroklima entscheidend (SCHICK und KLINKOWSKI, 1961).

Warme und trockene Witterungsabschnitte übersteht der Pilz bei einer Temperatur von 32 °C bis zu 40 Tage innerhalb des Stängelgewebes, erst der Bereich über 40 °C ist kritisch für seine Existenz (CLAYSON und ROBERTSON, 1956). GEDDENS et al. (2002) gehen davon aus, dass sich Stängelläsionen zwar langsamer als Blattläsionen entwickeln, dafür aber länger sporulieren, speziell auch bei niedrigeren Temperaturen (unter 18 °C). KABLE testete im Jahr 1980 die Beziehung zwischen der Verringerung von lebensfähigen Mycel und der Dauer von hohen Temperaturexpositionen von sieben Tage alten Stängelläsionen. Er konnte dabei feststellen, dass die Fähigkeit zur Bildung von Sporangien bei 30°C nicht beeinflusst wurde, bei Temperaturen über 32,5°C jedoch progressiv abnahm. Innerhalb des Temperaturbereiches von 32,5 bis 40°C verkürzte sich die Zeit, welche notwendig war, um eine 95-prozentige Verminderung der Sporangienproduktion zu erreichen, von 41 auf 9 Stunden.

Die Knolleninfektion kann bereits während der Vegetationszeit erfolgen (APPEL, 1928). Dabei werden Sporangien mit dem Regenwasser in die oberen

Bodenschichten gespült (SCHICK und KLINKOWSKI, 1961; BAIN und MÖLLER, 1998). Die austretenden Zoosporen dringen mit den später gebildeten Keimschläuchen durch die Epidermiszellen, durch Stomata, noch nicht geschlossene Lentizellen oder den Nabel in das Speichergewebe ein. Die Augen sind längere Zeit infektionsgefährdet (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999).

LACEY beschreibt schon 1967, dass sich die Anfälligkeit von Knollen während der Vegetationsperiode ändert. Lentizellen sollen mit zunehmendem Knollenalter weniger anfällig werden, Augengewebe in seiner Anfälligkeit gegenüber *Phytophthora infestans* allerdings zunehmen.

BAIN et al. (1997) sind der Meinung, dass das Auftreten von Knolleninfektionen enger mit vorherig aufgetretenem Stängelbefall -vor allem von Infektionen an der Stängelbasis- verknüpft ist als mit der Heftigkeit des Blattbefalles.

Das Ausmaß der Knolleninfektion ist nach SATO (1979) bei nassen, kalten Böden größer als bei nassen und warmen Böden.

Unter entsprechenden Witterungsbedingungen können bereits vor der Ernte zwischen 40 und 80 Prozent des gesamten Knollenbefalles erreicht sein. In manchen Jahren entsteht jedoch der Hauptteil des Knollenbefalles durch Schalenrisse und Wunden während der Rodung und der Einlagerung der Kartoffeln (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999).

Nach APPEL (1928) sind die während der Ernte auftretenden Knolleninfektionen deshalb besonders verhängnisvoll, weil die eben erst infizierten Knollen nicht als krank erkannt werden können und daher mit eingelagert werden.

Die Sporangien sind im Boden für den Infektionsvorgang der Knollen mehrere Wochen lebensfähig (LACEY, 1977). ANDRIVON (1994) berichtet, dass dadurch Knolleninfektionen in einem Zeitfenster zwischen 15 und 45 Tagen in Abhängigkeit der Bodenart entstehen können.

Die Bedeutung der Bodenfeuchte wird bei APPEL (1928) angeführt, wobei die Auskeimung der Zoosporen von der nötigen Feuchtigkeit des Bodens abhängt. Die Infektionswahrscheinlichkeit steigt dabei mit zunehmender „Schwere“ des Bodens, Knollen in tieferen Bodenschichten werden mit größeren Niederschlagsmengen erreicht. Allgemein nimmt der Befall mit steigender Feuchte im Boden im Bereich zwischen 40 und 80 Prozent der Feldkapazität deutlich zu (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999).

SCHICK und KLINKOWSKI stellen 1961 den Bezug zwischen hoher Bodenfeuchte beim Roden und erhöhter Knolleninfektion her, weil die Sporangien im Boden relativ lange keimfähig bleiben. Zudem wird bei hoher Bodenfeuchte während des Knollenwachstums die Bildung von Lentizellenwucherungen, welche als bevorzugte Eintrittspforte des Erregers gelten, gefördert.

ZAN (1962) berichtet von einer Überdauerung von Sporangien in einem Laborversuch über einen Zeitraum von 77 Tagen in einem Lehmboden bei 25 Prozent Wasserhaltekapazität und 15°C. Die Überlebensfähigkeit stieg mit abnehmender Temperatur und hatte ihr Optimum zwischen 15 und 25 Prozent der Wasserhaltekapazität. Die Eindringtiefe der Sporangien und Zoosporen variierte mit den Bodentypen und der Wassermenge, welche zugegeben wurde. Im getesteten Sandboden wurde der Erreger am weitesten nach unten verlagert und erreichte eine Tiefe von 20,3 cm.

Das Auftreten von Knolleninfektionen hängt vom Niederschlag und nicht von der Kartoffelsorte ab, wohingegen die Anzahl der infizierten Knollen sehr wohl von der Anfälligkeit der Sorte abhängig ist (LAPWOOD, 1977).

Die Filtereigenschaft des Bodens hinsichtlich eingewaschener Sporangien vom Kraut der Kartoffeln stellt LACEY (1965) dar. Danach werden Sporangien schon in den oberen Bodenschichten „herausgefiltert“, während Zoosporen (nach der Keimung der Sporangien) in tiefere Bodenschichten gelangen können. LACEY untersuchte 1966 die Verteilung von gesunden und kranken Knollen in den Dämmen. Dabei kam er zu dem Schluss, dass diese zwar vorrangig sortenabhängig ist (z.B. Bildung von kurzen oder langen Stolonen); Bodentyp und saisonale Einflüsse aber durchaus auch eine Rolle spielen. Zudem berichtet er über abnehmende Knolleninfektionen bei zunehmender Bodentiefe.

Die Tochterknolleninfektion durch die Übertragung der Erregers in Form von Mycel, welches durch die Stolonen in die neuen Knollen wächst, wird bei APPEL (1928) beschrieben. Demnach wurden bei Kartoffelsorten mit langen Stolonen zunächst die der Mutterknolle am nächsten wachsenden Tochterknollen infiziert, später erst die weiter entfernten.

BAIN und MÖLLER (1999) schildern in ihrem Rückblick ebenfalls die Infektion von Tochterknollen durch die erkrankte Mutterknolle. Zudem führen sie aber auch die Erkrankung ehemals gesunder Tochterknollen durch kranke Tochterknollen auf. Dies

geschieht durch den Boden, wobei nach LAPWOOD (1962) dabei eine Distanz von 1,3 cm zwischen zwei Knollen derselben Pflanze überbrückt werden kann. Weitere Strecken (bis 60 cm) können nur dann zurückgelegt werden, wenn die Bodenfeuchte einen Wert von ca. 75 Prozent der Feldkapazität erreicht (FAIRCLOUGH et al., 1993).

In den meisten Fällen dürfte nach ANDRIVON (1995) für die Knolleninfektion das asexuelle Inokulum von den Blättern das sexuelle Bodeninokulum (Oosporen) in der Menge soweit überschreiten, dass eine Infektion von Tochterknollen durch Oosporen vernachlässigbar ist. Der Autor ist der Meinung, dass Dauersporen dann wichtig werden könnten, wenn das infizierende Isolat eine größere Pathogenität besitzt als der asexuelle Genotyp zum gleichen Zeitpunkt aufweisen kann.

Das Ausmaß der Knolleninfektion steht generell im Zusammenhang mit der Anfälligkeit des Laubes, dem Ablauf der Krautfäuleepidemie, eventuellen Bekämpfungsmaßnahmen, der zeitlichen Verteilung und der Menge des Niederschlages, der räumlichen Lage der Knollen, dem Grad der Bodenbedeckung sowie dem Bodentyp und der Bodenfeuchte (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999).

Im Lager findet eine Ausbreitung des Erregers von Knolle zu Knolle bei Kaltlagerung (4 °C) nicht statt, allerdings werden Sorten beschrieben (Erstling, Clivia), bei denen bereits ab 6 °C eine Sporulation festgestellt wurde. Bei der Umlagerung können dann an entstandenen Haarrissen Neuinfektionen gesetzt werden (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999).

EDDINS (1945) berichtet, dass es zu einer Übertragung von *Phytophthora infestans* kommt, wenn -wie in den USA üblich- das Pflanzgut geschnitten und bis zur Pflanzung in sogenannten Bigpacks gelagert wird. Hier wird vor allem darauf hingewiesen, dass bei einer Lagerung der Bigpacks im Freien das Regenwasser eine Verteilung von eventuell sporulierendem Mycel ermöglicht.

2.6 Bekämpfung und Prognosemodelle

Die Gefahr von Krautfäule-Epidemien kann unter Berücksichtigung folgender pflanzenbauliche Aspekte eingedämmt werden: Sorgfältige Auslese des Pflanzgutes, Beseitigung von Mietenabfällen (SCHICK und KLINKOWSKI, 1961), Vorkeimung (APPEL, 1928), Auswahl wenig anfälliger Sorten (HÄNNI, 1949), weitem Reihenabstand und die Vermeidung hoher Stickstoffgaben (BURTH et al., 2002).

Der Fungizideinsatz über die Spritzapplikation ist ein wichtiger Baustein bei der Bekämpfung von *Phytophthora infestans*. Bei rein prophylaktischer Anwendung sind sieben bis vierzehn Applikationen je Vegetationsperiode keine Seltenheit. Die Festsetzung des richtigen Zeitpunktes für eine wirksame, ökonomisch vertretbare, chemische (Erst)Maßnahme fordert die Betreiber der existierenden Prognosemodelle jedes Jahr aufs Neue heraus (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999).

Prognosesysteme versuchen, die Landwirte bei der Bekämpfung des pilzlichen Schaderregers zu unterstützen. Die von ULLRICH und SCHRÖDTER (1966) entwickelte Negativprognose sagt im Wesentlichen zwei kritische Daten voraus. Erstens den Termin, vor dem nicht mit behandlungswürdigem Befall zu rechnen ist (GBZ von 150 = *Phytophthora*-Befall von 0,1 Prozent), nach dem aber die Frühkartoffel-Bestände überwacht und bei Befallsbeginn gespritzt werden müssen. Zweitens den Termin, nach dem die allgemeinen Behandlungsmaßnahmen einsetzen müssen, da mit einer schnellen Ausbreitung zu rechnen ist (GBZ von 270 = *Phytophthora*-Befall von 1 Prozent). KOLBE (1986) gibt zu bedenken, dass der Ausbruch einer *Phytophthora infestans*-Epidemie nicht nur abhängig von den Wetterkonstellationen ist, sondern ebenso von der Prädisposition der Wirtspflanze.

Neben funktionellen witterungsbasierten Modellen ist ein geo-epidemiologisches Erfassen des Schaderregers von Bedeutung. Das Konzept PhytophthoraModell Weihenstephan verknüpft diese beiden Bausteine miteinander und fungiert als Informationsplattform zur aktuellen *Phytophthora*-Situation. Die kurative Leistungsfähigkeit moderner Fungizide wird in diesem Beitrag als „sehr begrenzt“ eingestuft. Deshalb ist der optimale Behandlungsbeginn vor der Infektion des Pilzes zu sehen. Dem rechtzeitigen Spritzstart kommt bei der Integrierten Bekämpfung deswegen eine Schlüsselstellung zu. Allein aufgrund meteorologischer Daten lässt sich danach der Ausbruch einer Epidemie nicht prognostizieren! Es kann nur der Zeitpunkt berechnet

werden, bis zu dem kein epidemieartiges Auftreten von *Phytophthora infestans* festzustellen ist (HAUSLADEN, 2003).

Der Autor fordert -wie auch schon ADLER (2000)- eine Implementierung der Faktoren Bodenfeuchte und Bodenart in ein Modell zur Ableitung des Spritzstarts, da vor allem nach hohen Niederschlagsereignissen mit staunassen Dämmen der Behandlungsbeginn von den getesteten Modellen nur unzureichend abgebildet werden konnte.

Das Hauptproblem bei allen Modellen ergibt sich nach HOFFMANN und SCHMUTTERER (1999) aus der Heterogenität des Mikroklimas in einem Kartoffelbestand. Die Differenzen zwischen Prognosen durch computergestützte Simulationen und dem aktuellen Krankheitsverlauf im Feldbestand sind weitgehend bedingt durch lokale Witterungsereignisse, die mikroklimatischen Bestandesbedingungen sowie das primäre Inokulum (Quellen und Quantität), welche keine ausreichende Berücksichtigung finden. Unumgänglich für den Landwirt sind deswegen regelmäßige Bestandeskontrollen zur Erkennung von Primärherden.

Eine wirtschaftliche Schadensschwelle zur Behandlung der Krautfäule ist neben den Resistenzeigenschaften der Sorte und den Kosten der Krautfäulebekämpfung auch vom Marktgeschehen für das Ernteprodukt abhängig. Kritische Werte werden bei verschiedenen Sorten bis etwa 100 Tage nach dem Aufgang erreicht, die Bekämpfungsschwelle liegt häufig circa 70 Tage nach dem Feldaufgang (KOLBE, 1986).

Für die chemische Krautfäulebekämpfung sind in der Bundesrepublik z.B. die protektiven Dithiocarbamate (z.B. Mancozeb), Kupferoxychloridpräparate und Fentin-Hydroxid, teilweise in Mischung mit anderen Wirkstoffen (z. B. Cymoxanil) zugelassen. Cymoxanil hat eine Wirkung gegen blattpathogene Oomyceten, bietet eine rasche lokale Aufnahme bei schwacher apoplastischer Translokation. Dimethomorph (Morpholin) wird gegen blatt- und wurzelpathogene Oomyceten eingesetzt. Der Wirkstoff besitzt eine starke apoplastische Ausbreitungspotenz, fungizide und fungistatische Effekte, hemmt die Sporenkeimung, das Mycelwachstum und die Sporulation.

Bei der Anwendung von systemischen Produkten (z.B. Metalaxyl) kann Fungizidresistenz selektiert werden (KOLBE, 1986). Metalaxyl-resistente Erregertypen -offenbar in Populationen schon vor Einführung dieses Wirkstoffes vorliegend- haben sich weltweit nach großflächiger Anwendung des Wirkstoffes in den achtziger Jahren kurzfristig herausgebildet. Die Beziehungen zwischen Resistenz und Fitness werden

unterschiedlich bewertet; sensitive Formen sollen besser in den Knollen überwintern können, sodass im Frühjahr die Populationen empfindlicher auf das Fungizid reagieren. Bei einem verminderten Einsatz von selektierenden Präparaten steigt der Anteil von sensiblen Typen in der Population wieder an (Resensitivierung). Mit protektiv-systemischen Mischpräparaten nimmt der Toleranzanstieg langsamer zu, er lässt sich aber nicht gänzlich vermeiden. Eine vergleichbare Alternative zur chemischen Bekämpfung steht derzeit nicht zur Verfügung (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999).

3 Einfluss von zwei physikalischen Bodenparametern

3.1 Literatur

3.1.1 Körnung (Textur)

Die Feststoffe der Böden sind Gemische aus Mineralkörnern, Gesteinsbruchstücken und Humuspartikeln in unterschiedlicher Form und Größe. Nach der Größe werden verschiedene Korngrößenfraktionen eingeteilt; deren Mengenanteile im jeweiligen Boden werden als dessen Korngrößenverteilung oder Körnung bezeichnet. In der Praxis wird die Körnung auf Körner des Mineralkörpers, Aggregate und Organische Substanz bezogen. Die Körnung ist eine der wichtigsten Eigenschaften für die Bodenentwicklung, die Ertragsfähigkeit sowie die Puffer- und Filtereigenschaften der Böden (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992).

3.1.1.1 Kornformen, Oberfläche und Korngrößenfraktionen

Die Körner des Bodens haben unterschiedliche Formen, welche von der Mineralart abhängig sind und durch Verwitterung und Verlagerung verändert sein können. Die Körner der gröberen Fraktionen sind kantig bis abgerundet, die der feineren Fraktionen -soweit es sich um Schichtsilikate (Tonminerale und Glimmer) handelt- blättchenförmig.

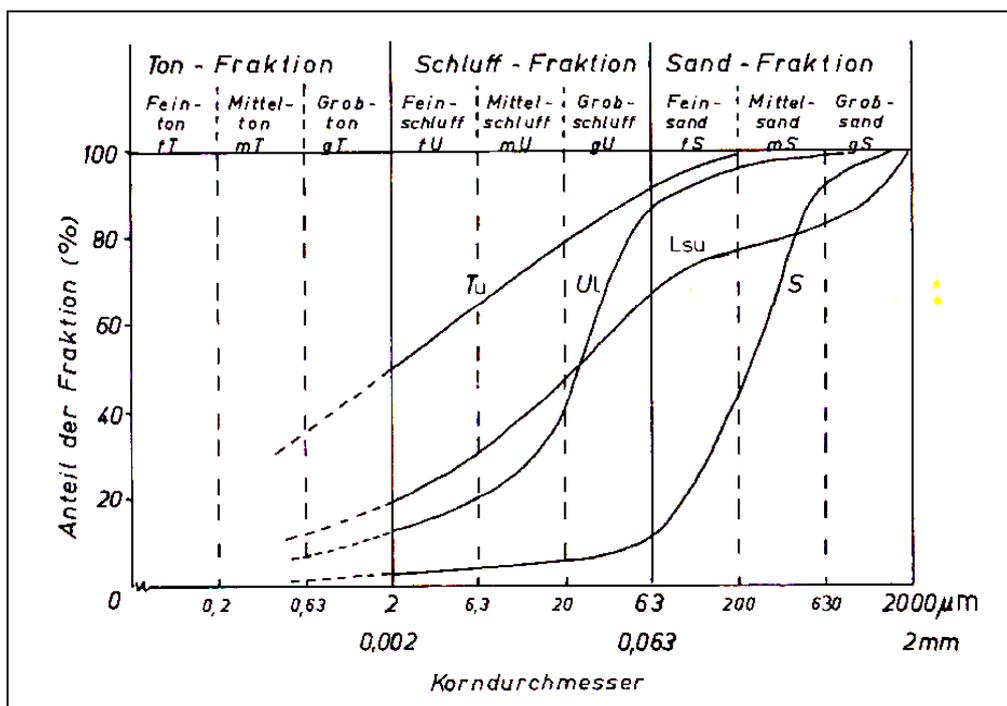


Abb. 5: Körnungs-Summenkurve von Feinböden aus Sand (S), Löß (Ul), Geschiebelehm (Lsu) und tonreichem Schlick (Tu) [SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992]

Mit abnehmender Korngröße nehmen Kornanzahl und Oberfläche bei gleicher Gesamtmasse der Teilchen stark zu.

Die Oberfläche der Tonfraktion kann wegen hoher Anteile blättchenförmiger und teilweise quellfähiger Tonminerale bis zu 400 m² je Gramm betragen!

Hauptkorngrößenfraktionen sind der Feinboden mit bis zu 2 mm Korndurchmesser und das Bodenskelett mit über 2 mm Durchmesser der Körner. In der Körnungssummenkurve (Feinboden) der Abbildung 5 sind die Anteile der Fraktionen von vier Bodenarten eingetragen. Ein steiler Verlauf eines Kurvenabschnittes kennzeichnet dabei einen hohen Anteil einer Fraktion (z.B. mS beim Sandboden). Eine solche Kurve ermöglicht das Ablesen der Summe aller Fraktionen unterhalb einer bestimmten Korngröße sowie den Anteil einzelner Fraktionen (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992).

3.1.1.2 Bodenarten

Gemische aus Sand, Schluff und Ton werden als Bodenart bezeichnet und sind mit Buchstabensymbolen signiert. Je nachdem, welche Fraktion vorherrschend ist, werden Sand (S)-, Schluff (U)- und Ton (T) Böden unterschieden. Dominiert eine Fraktion weniger stark, so wird auch die Fraktion mit dem zweithöchsten Mengenanteil adjektivisch in die Namensgebung einbezogen (z.B. schluffiger Ton [=Tu]). Lehme enthalten alle drei Fraktionen in nennenswerten Anteilen. Auch hier erfolgt eine Untergliederung mittels Adjektiven. Eine Übersicht der gebräuchlichen Bodenarten findet sich in Abbildung 6.

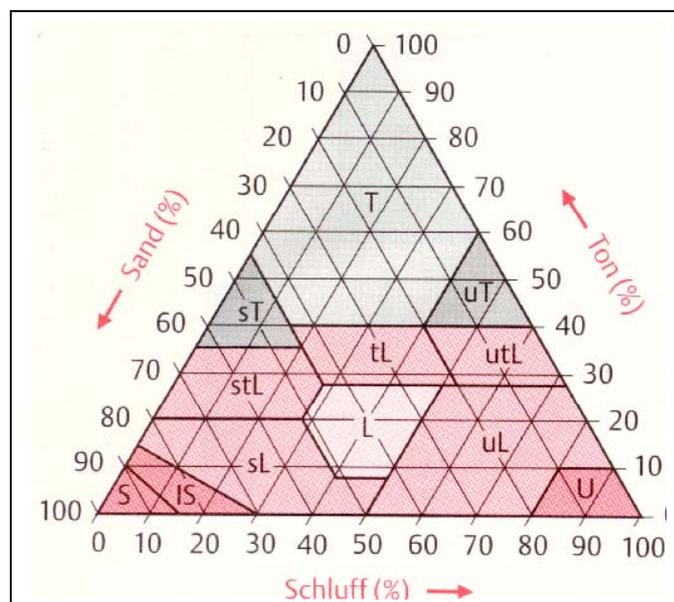


Abb. 6: Körnungsdreieck zur Darstellung der Bodenart [GISI, 1997]

Die in der Landwirtschaft verwendeten Bodenbegriffe „leicht“ (Sandböden), „mittelschwer“ (Schluff- und Lehmböden) und „schwer“ (Tonböden) beziehen sich auf die Bearbeitbarkeit der jeweiligen Flächen (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992).

3.1.2 Bodenwasser

Unter natürlichen Bedingungen enthält jeder Boden stets Wasser. Im „lufttrockenen“ Zustand (d.h. im Gleichgewicht mit geringer Luftfeuchtigkeit) kann diese Wassermenge sehr gering sein. Das Bodenwasser wird über die Niederschläge, das Grundwasser und in geringem Maße über Kondensation aus der Atmosphäre ergänzt. Wird durch Niederschlag mehr Wasser angeliefert, als der Boden aufnehmen kann, so fließt der Überschuss als Oberflächenwasser ab. Dieser Anteil ist umso größer, je intensiver die Niederschläge sind, je langsamer das Wasser vom Boden aufgenommen werden kann und je geneigter die Bodenoberfläche ist. Ton- und schluffreiche Böden haben deshalb einen größeren Anteil, ebenso verdichtete Böden. Besonders groß ist dieser Anteil, wenn der Boden bereits weitgehend mit Wasser gesättigt ist. Wenn das Wasser den gesamten Porenraum füllt, bezeichnet man diesen Zustand des Bodens als wassergesättigt (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992).

3.1.2.1 Einteilung des Bodenwassers (Bindungsarten)

Entgegen dem Wasser in einem offenen Gewässer sind Teile des Bodenwassers infolge von Bindungen durch Eigenschaften der festen Phase (Bodenmatrix) nicht frei beweglich. Da die Art dieser Bindung das Verhalten bestimmter Wasseranteile beeinflusst, wird das Bodenwasser oft nach der Art dieser Bindung eingeteilt.

Teile des Niederschlagswassers werden in den Poren des Bodens gegen die Schwerkraft festgehalten, andere Teile als Sickerwasser in tiefere Zonen verlagert. Das im Boden verbleibende Wasser wird als Haftwasser oder auch Bodenfeuchte bezeichnet.

Grund- oder Stauwasser werden diejenigen Anteile des Bodenwassers genannt, welche nicht durch Bindungen an der Bodenmatrix festgehalten werden. Diese Wasseranteile werden daher auch als freies Wasser bezeichnet.

Die Bindung des gegen den Einfluss der Schwerkraft im Boden verbleibenden Wassers beruht einerseits auf der Wirkung verschiedener Kräfte zwischen der Bodenmatrix und den Wassermolekülen sowie den Kräften zwischen den Wassermolekülen selbst.

Je nach Art dieser Kräfte kann man diesen Anteil des Bodenwassers in Adsorptions- und Kapillarwasser unterteilen.

Unter dem Adsorptionswasser wird das Wasser zusammengefasst, welches unter Einwirkung von Adsorptionskräften und osmotischen Kräften steht. Es umhüllt die feste Oberfläche der Teilchen, ohne dass Menisken ausgebildet werden. Dabei sind die ersten Molekularschichten von Adsorptionswasser sehr fest an die Mineraloberfläche gebunden. Die Dicke dieser ersten Schicht wird mit etwa 1nm angegeben.

Die Bildung von Kapillarwasser bei der Wiederbefeuchtung von ofentrockenen Böden rührt daher, dass sich bereits bei der Adsorption einiger weniger Wasserschichten an der Berührungsstelle der festen Teilchen stark gekrümmte Menisken bilden, welche die Berührungsstelle ringförmig umschließen. Diese vergrößern sich mit steigender Wasseranlagerung. Verursacht wird diese Bildung von Kapillarwasser durch die Tendenz der Grenzfläche von Wasser und Luft, sich zu verkleinern, weil sie hierdurch einen energieärmeren Zustand erreichen kann (= Kapillarkondensation). Die Menisken beruhen auf dem Zusammenwirken von Adhäsionskräften -zwischen der festen Oberfläche und Wassermolekülen- mit Kohäsionskräften zwischen den Wassermolekülen (unter Bildung von H-Brücken). Das auf diese Weise gebundene Wasser hat gegenüber dem freien Wasser eine höhere Oberflächenspannung (und damit einen niedrigeren Dampfdruck). Je kleiner der Durchmesser der kapillaren Hohlräume, umso stärker ist die Bindung des Wassers und umso mehr Energie (= niedrigerer Wasserdampfdruck) muss demnach für die Freisetzung dieser Wasseranteile aufgewendet werden.

Je höher der Wassergehalt eines Bodens ist, umso mehr überwiegt die kapillare Bindung gegenüber der adsorptiven Bindung.

Der gleiche Mechanismus, der zur Kapillarkondensation führt, verursacht auch den Aufstieg von Menisken in Kapillaren. Auch hier handelt es sich um das Bestreben des Wassers, die Oberfläche gegen die Luft zu verkleinern. Da dies am wirkungsvollsten geschieht, wenn Poren mit relativ großer Oberfläche bei kleinem Volumen mit Wasser gefüllt werden, steigt das Wasser in den engsten Poren am höchsten und in Poren mit unregelmäßiger Form höher als in ideal kreisförmigen. Der Grenzwert der Porendurchmesser für die Tragfähigkeit der Menisken entgegen der Schwerkraft beträgt ca. 10 μm . Kapillarwasser findet sich daher nur in Poren mit einem Durchmesser unterhalb dieses Wertes (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992).

3.1.2.2 Intensität der Wasserbindung

Neben den oben beschriebenen Kräften, welche von der festen Phase des Bodens ausgehen, nehmen auch noch andere, von außen einwirkende Kräfte Einfluss auf die Bewegung des Wassers im Boden und beeinflussen damit seine Verfügbarkeit für die Pflanzen. Um Angaben über Größe, Richtung und Ansatzpunkt der Kräfte machen zu können, wird anstelle der Kräfte selbst die Arbeit betrachtet, welche sie verrichten können bzw. ihre Arbeitsfähigkeit – ihr Potential.

Die Summe aller durch die verschiedenen im Boden auftretenden Teilpotentiale wird als Gesamtpotential ($\Psi_{\text{(Gesamt)}}$) definiert. Es gibt die Arbeit pro Masseneinheit Wasser an, welche geleistet werden muss, um dem Boden eine bestimmte Menge Wasser zu entziehen bzw. zuzuführen [Standardbedingungen: 1 atm Luftdruck, 25 °C]. Das Gesamtpotential setzt sich aus dem Gravitationspotential, dem Matrixpotential, dem osmotischen Potential und dem Gaspotential zusammen.

$$\Psi_{\text{(Gesamt)}} = \Psi_{\text{(Gravitation)}} + \Psi_{\text{(Matrix)}} + \Psi_{\text{(Osmose)}} + \Psi_{\text{(Gas)}}$$

Das Matrixpotential ($\Psi_{\text{(Matrix)}}$) -früher auch als Kapillarpotential bezeichnet- ist ein Maß für den Einfluss der Matrix. Es umfasst alle durch die Matrix auf das Wasser ausgeübten Einwirkungen. Je weniger Wasser ein Boden enthält, umso stärker halten die matrixbedingten Kräfte es fest, desto schwerer kann es dem Boden entzogen werden. Da die Auswirkungen dieses Potentials auf das Wasser der des Gravitationspotentials entgegengesetzt ist, kommt ihm ein negatives Vorzeichen zu. Als Druck aufgefasst entspricht es einem negativen hydrostatischen Druck. Häufig bleibt dieses negative Vorzeichen unberücksichtigt und der Zahlenwert allein wird unter dem Begriff „Wasserspannung“ verwendet. Während demnach bei abnehmendem Wassergehalt das Potential sinkt, steigt die Wasserspannung. Als Bezugsgröße für das Matrixpotential wird das Volumen oder Gewicht des Wassers herangezogen (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992).

Beziehung zwischen Wasserspannung und Wassergehalt

Die Beziehung zwischen Wasserspannung (bzw. Matrixpotential) und dem Wassergehalt ist von der Porengrößenverteilung und dem Porenvolumen abhängig und daher in den verschiedenen Horizonten der Böden unterschiedlich. Der Verlauf des Zusammenhanges lässt mehr Rückschlüsse auf den Wasserhaushalt eines Bodens zu als die Körnung, da er außer von dieser auch vom Gefüge und dem Gehalt an organischer Substanz beeinflusst wird. Dieser Zusammenhang wird mit verschiedenen Bezeichnungen benannt: Wasserspannungskurve, pF-Kurve, Bodenwassercharakteristik und weitere.

Die Wasserspannungskurven für drei Bodenhorizonte unterschiedlicher Körnung sind in Abbildung 7 dargestellt. Die Ordinate ist hierbei in logarithmischem Maßstab eingeteilt, um vor allem auch die Unterschiede im Bereich der niedrigen pF-Werte sichtbar zu machen. In Abwesenheit von Lufteinschlüssen entspricht das Volumen bei einer Wasserspannung von 1cm Wassersäule (WS) [$pF = 0 =$ Wassersättigung] dem Bodenvolumen, welches mit Wasser gefüllt ist.

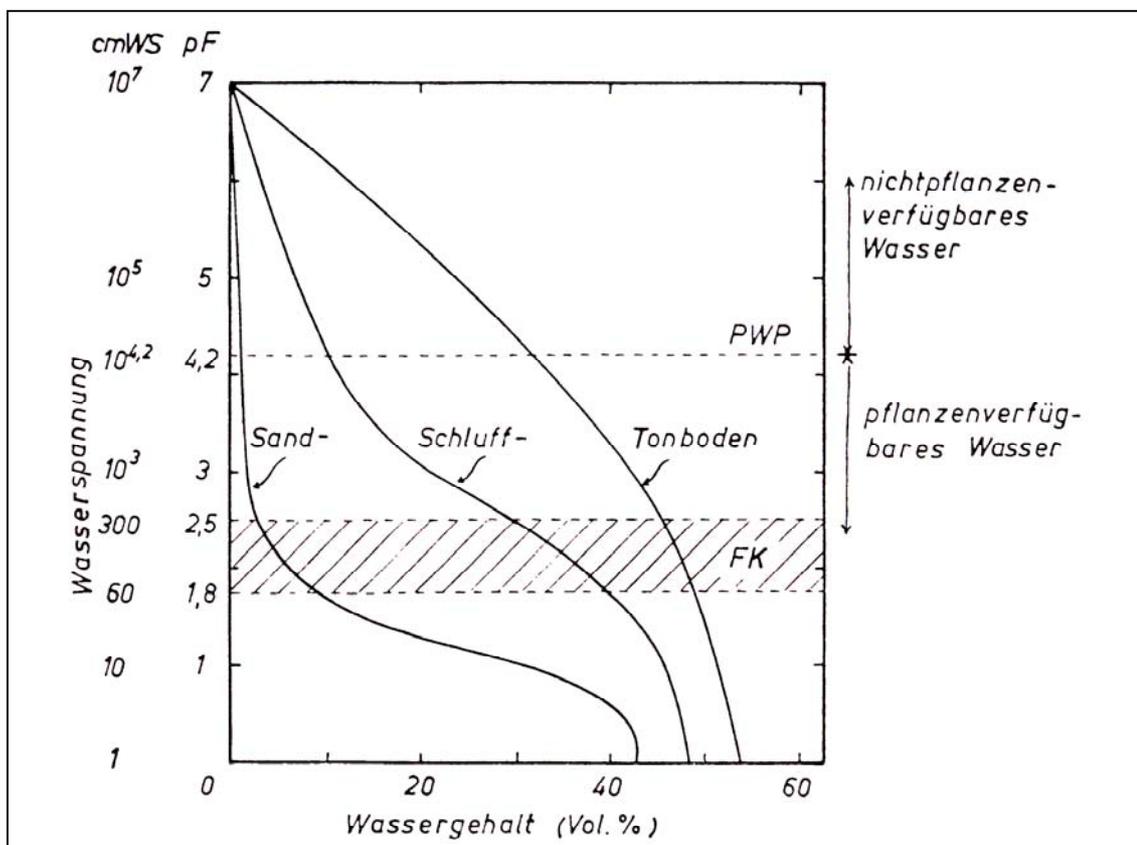


Abb. 7: Wasserspannungskurve eines Sandbodens, eines tonigen Schluffbodens und eines Tonbodens (A-Horizonte) (FK=Feldkapazität; PWP = Permanenter Welkepunkt) [SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992]

Der Verlauf einer Wasserspannungskurve kann von verschiedenen Mechanismen beeinflusst werden:

➤ Einfluss der Körnung

Wird den Böden Wasser entzogen ($pF: 0 \Rightarrow 7$), so verläuft beim Sandboden die pF -Kurve zunächst flach bis etwa pF 1,8. Dies weist darauf hin, dass in diesem Bereich das Wasser einerseits nur schwach gebunden, andererseits eine relativ einheitliche Bindungsstärke hat. Im Kapillarmodell ausgedrückt bedeutet dies, dass hier Poren mit relativ einheitlichem Äquivalentdurchmesser entleert werden (weite Grobporen mit einem Durchmesser $> 50 \mu m$). Der Kurvenverlauf der beiden weiteren Böden hängt mit deren anderer Porengrößenverteilung zusammen. Während beim Schluffboden (=Löß) mit 20 Prozent Wassergehalt die Mittelporen stark beteiligt sind, spielen beim Tonboden die Feinporen mit etwa 30 Prozent Wassergehalt eine große Rolle. Aus Abbildung 7 ist weiterhin ersichtlich, dass bei gleichem Wassergehalt die Bindungsstärke (= Matrixpotential) des Bodenwassers vom Sand- über den Schluff- hin zum Tonboden zunimmt – also mit steigendem Tongehalt.

➤ Einfluss des Gefüges

Neben der Körnung wird der Verlauf einer pF -Kurve auch durch das Gefüge und daher durch den Spannungszustand in der festen Matrix beeinflusst. Veränderung wirken sich bei den sekundären Grobporen (Schrumpfungsrisse, Tier- oder Wurzelröhren) am stärksten aus. Deswegen sind auch die Änderungen des Wassergehaltes im Bereich kleiner pF -Werte besonders groß. In Abbildung 8 ist im wassergesättigten Bereich des Lößbodens infolge des unterschiedlichen Gefüges eine Spanne des Wassergehaltes von 25 Prozent erreicht.

Besondere Bedeutung hat der Einfluss des Gefüges bei solchen Böden, die quellen oder schrumpfen. Einerseits nimmt dabei das gesamte Porenvolumen zu- bzw. ab, andererseits verändert sich auch die Porengrößenverteilung. Bei Quellung ($pF: 7 \Rightarrow 0$) nimmt der Anteil an groben Sekundärporen ab, der an Mittelporen, vor allem aber der an Feinporen stark zu. Die in Abbildung 7 dargestellten Kurven würden dann wesentlich flacher verlaufen. Die Wasserspannungskurven von Tonböden sind daher keine unveränderlichen Charakteristika wie die von Sandböden.

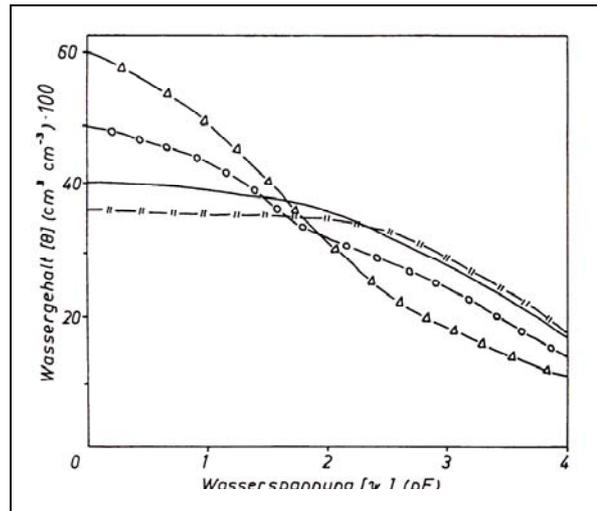


Abb. 8: Einfluss des Gefüges auf die Beziehung zwischen Wasserspannung und Wassergehalt [SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992]

➤ Hysterisis der Wasserspannungskurve

Die Wasserspannungskurve ist ebenfalls noch abhängig von der Richtung der Wassergehaltsänderung (also $pF: 0 \Rightarrow 7$ oder umgekehrt). In Abbildung 9 sind die verschiedenen Kurven für den Entwässerungs- ($pF: 0 \Rightarrow 7$) und Bewässerungsverlauf dargestellt. Diese Erscheinung wird als Hysterisis bezeichnet. Als Ursachen kommen die für Ent- oder Bewässerung gegensätzliche Wirkung von Porenengpässen, unterschiedliche Luftinklusionen, Veränderungen der Benetzbarkeit und auch die durch Schrumpfung bewirkten, nur teilweise reversiblen Gefügeänderungen in Betracht.

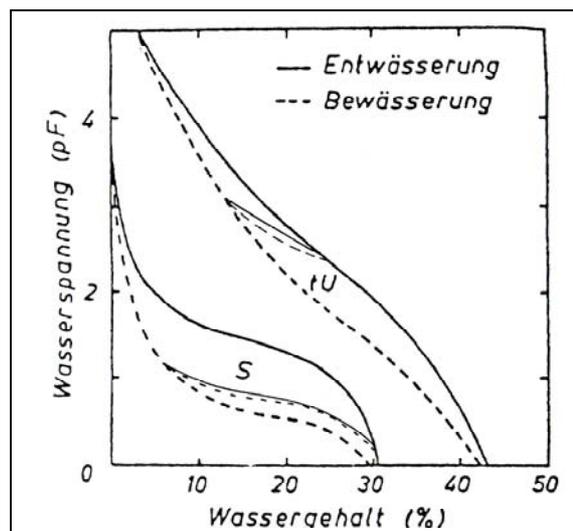


Abb. 9: Beziehung zwischen Wassergehalt und Wasserspannungen eines Sand- (S) und eines Lössbodens (U) in Abhängigkeit von Be- und Entwässerung (Hysterisiseffekt) [SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992]

Kenngrößen einer Wasserspannungskurve

Wichtige Kenngrößen einer Wasserspannungskurve werden durch die Feldkapazität (FK), den Permanenten Welkepunkt (PWP) sowie die nutzbare Feldkapazität (nFK) angegeben.

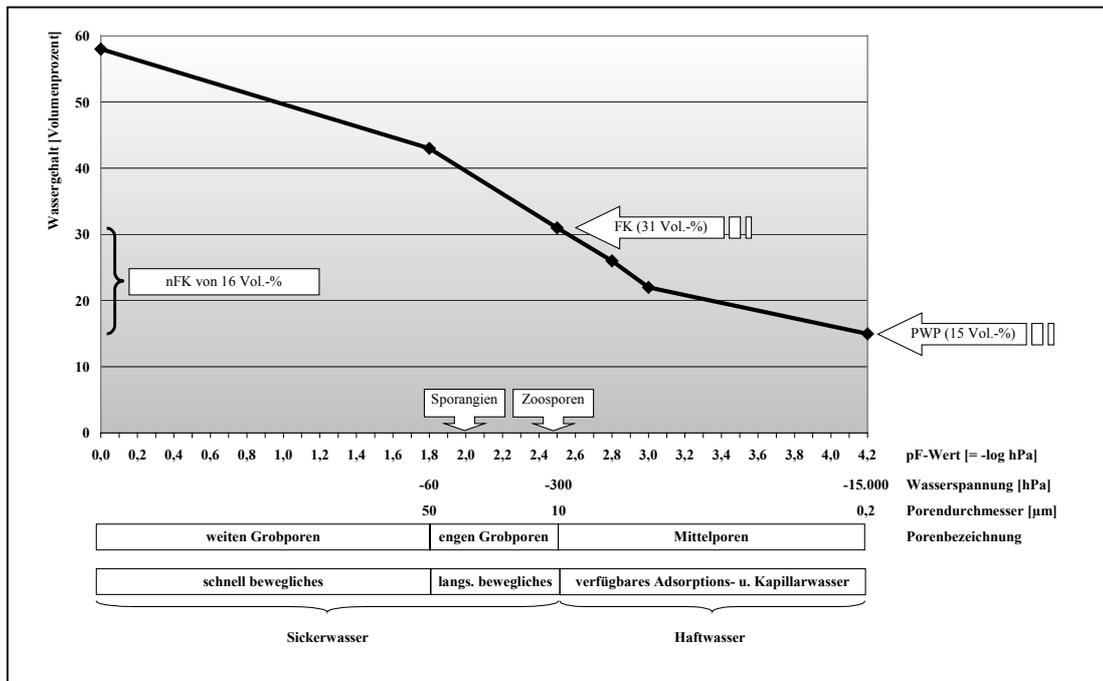


Abb. 10: Kenngrößen einer Wasserspannungskurve

In Abbildung 10 sind diese Kenngrößen neben weiteren wichtigen Beziehungen abgebildet. Die Feinporen ($pF > 4,2$) wurden in diese Darstellung nicht aufgenommen. Die Feldkapazität ist bei grundwassernahen Böden oder hohem jährlichem Niederschlagsvolumen (=ca. 900mm/a) der Wassergehalt bei 60 hPa (bzw. $pF = 1,8$ und einem Porendurchmesser von 50 µm). Man bezeichnet diese Böden als hydromorphe Standorte.

Die Feldkapazität bei grundwasserfernen Böden und relativ wenig Regen wird auf den Wassergehalt von 300 hPa festgesetzt. (bzw. $pF = 2,5$ und einem Porendurchmesser von 10 µm). Solche Standorte werden als terrestrisch bezeichnet.

Der Wassergehalt bei 15.000 hPa definiert den Permanenten Welkepunkt ($pF = 4,2$ und Porendurchmesser von 0,2 µm).

Als nutzbare Feldkapazität wird der Wassergehalt der Differenz zwischen Permanentem Welkepunkt und der Feldkapazität bezeichnet (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992).

Beziehung zwischen Wasserspannung und Porengröße und die daraus abgeleiteten Wasserbindungsformen

Die Beziehung zwischen Wasserspannung und Porengröße und die daraus abgeleiteten Wasserbindungsformen sind in Abbildung 11 in einer Übersicht dargestellt.

Tab. 2: Beziehungen zwischen der Wasserspannung und der Porengröße mit daraus abgeleiteten Wasserbindungsformen

Saugspannungsbereich		Porendurchmesser (μm)	Porenart	Unterteilung des Bodenwassers	Unterteilung der Speicherkapazität		
cm WS (hPa)	pF-Wert (lg hPa)				Totwasser	nutzbare Feldkapazität	Gesamtporenvolumen bzw. max. Wasserkapazität
> 15.000	> 4,2	< 0,2	Feinporen	nicht pflanzenverfügbar			
300 - 15.000	2,5 - 4,2	10 - 0,2	Mittelporen	pflanzenverfügbar			
60 - 300	1,8 - 2,5	50 - 10	enge Grobporen	langsam beweglich	Sickerwasser	Luftkapazität bzw. Grund-/Stauwasser	
< 60	< 1,8	> 50	weite Grobporen	schnell beweglich			

(Original: K. Windolph, Gestaltung: M. Rüttnick aus <http://nibis.ni.schule.de>, geändert R. Bäbler)

Bestimmung der Wasserspannungskurve

Die Wasserspannungskurve eines Bodens im Bereich 0 bis 15.000 hPa wird durch die Druck-Methode von L.A. Richards erstellt. Dabei wird von einer wassergesättigten Bodenprobe ausgegangen, welche auf einer keramischen Platte mit Luftdrücken ins Gleichgewicht gebracht wird, welche bestimmten Wasserspannungen entsprechen. Anschließend wird die im Boden verbleibende Wassermenge gemessen. Die Wasserspannungskurve erhält man, indem die eingesetzten Drücke gegen die bestimmten Wassergehalte aufgetragen werden (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992).

3.1.2.3 Wasserbewegung in flüssiger Phase

Das Bodenwasser ist selten in einem statischen Gleichgewicht, da Niederschläge und Evapotranspiration das Einstellen eines Potentialgleichgewichtes immer wieder unterbrechen. Es ist vielmehr meist in Bewegung und zwar immer in Richtung auf das niedrigere Potential. Dies gilt sowohl für den wassergesättigten Zustand im Einflussbereich des Grund- und Stauwassers als auch für den nicht gesättigten Bereich oberhalb einer Grundwasseroberfläche.

Das Ausmaß der Wasserbewegung ist einerseits abhängig vom antreibenden Potentialgefälle, andererseits von der Durchlässigkeit oder Wasserleitfähigkeit des Bodens. Dieser Sachverhalt lässt sich mit der Gleichung von Darcy darstellen:

$$Q = k \cdot (d\psi / dl)$$

Wobei Q [cm^3s^{-1}] die gesamte Wassermenge ist, welche je Zeiteinheit durch eine gegebene Fläche (=Fließquerschnitt) perkoliert, k ein Proportionalitätskoeffizient (=Wasserleitfähigkeits- oder Durchlässigkeitskoeffizient oder hydraulische Leitfähigkeit). ψ ist das antreibende Potential und l die Fließstrecke. Der Ausdruck $(d\psi / dl)$, welcher die Änderung des Potentials im Verlaufe der Fließstrecke angibt, wird als Potentialgradient bezeichnet.

Die Darcy-Gleichung gilt sowohl für vollständige als auch teilweise Wassersättigung. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass in natürlichem Boden die eindimensionale Strömung nur dann angenommen werden kann, wenn ausreichend kleine Ausschnitte und vor allem kurze Fließstrecken betrachtet werden.

Einfluss von Körnung und Gefüge

Die Wasserleitfähigkeit wird wesentlich von Anzahl, Größe und Form der Poren, durch welche das Wasser fließt, beeinflusst. Dieser Zusammenhang wird durch die Hagen-Poiseuille-sche Gleichung beschrieben.

$$Q = (\pi r^4 \delta \Psi) / (8 \eta l)$$

Q ist gleich der perkolierten Wassermenge pro Zeit, r dem Radius, $\delta \Psi$ der hydraulischen Potentialdifferenz, η der Viskosität und l der Fließstrecke.

Die Gleichung zeigt, dass Q in besonderem Maße von r abhängt, infolgedessen besteht zwischen der Porengrößenverteilung (und damit auch der Körnung des Bodens) und seiner Wasserleitfähigkeit ein enger Zusammenhang. In oberflächennahen Bodenschichten, wird der Einfluss der Körnung durch den Einfluss der gefügebedingten Grobporen überdeckt. Während die korngroßenbedingten Primärporen meist eine recht gleichmäßige gesättigte Wasserleitfähigkeit ergeben, kann die Wirkung der Sekundärporen sehr verschiedenartig sein.

Die Größenordnung der gesättigten Wasserleitfähigkeit von Sand-, Schluff- und Tonböden ist in Tabelle 3 zusammenfasst. Bei Schluff- und Tonböden gilt die größere Zahl jeweils für sekundärporenreiche Böden, die kleinere für sekundärporenfreie Böden.

Tab. 3: Häufige Werte der Wasserleitfähigkeit von wassergesättigten Böden verschiedener Körnung [SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992]

Bodenart	Wasserleitfähigkeit	
	(cm s ⁻¹)	(cm d ⁻¹)
Sandböden	≈ 4 · 10 ⁻¹ bis ≈ 4 · 10 ⁻³	≈ 3 · 10 ⁴ bis ≈ 3 · 10 ²
Schluffböden	≈ 4 · 10 ⁻¹ bis ≈ 5 · 10 ⁻⁵	≈ 3 · 10 ⁴ bis ≈ 4
Lehmböden	≈ 4 · 10 ⁻¹ bis ≈ 1 · 10 ⁻⁵	≈ 3 · 10 ⁴ bis ≈ 1
Tonböden	≈ 4 · 10 ⁻¹ bis ≈ 1 · 10 ⁻⁷	≈ 3 · 10 ⁴ bis ≈ 1 · 10 ⁻²

Die Wasserleitfähigkeit von quellfähigen Ton- und tonreichen Lehmböden ist stark von der Art der adsorbierten Ionen und vom Salzgehalt des perkolierenden Wassers abhängig. Die Wasserleitfähigkeit sinkt dabei mit der Perkolation von salzarmem Wasser.

Einfluss des Wassergehaltes

Die Wasserleitfähigkeit ist in hohem Maße vom Durchmesser der leitenden Poren abhängig. Dies gilt auch, wenn der leitende Querschnitt in Böden dadurch verkleinert wird, dass die Poren Luft enthalten, so dass sie nur z.T. am Wassertransport teilnehmen können. Da die weitesten Poren (welche bei Wassersättigung den größten Anteil am Wassertransport haben) als erste entwässert werden, sinkt die Wasserleitfähigkeit bei Beginn der Entwässerung besonders stark. Bei den verschiedenen Böden ist der Verlauf der Abnahme von der Porengrößenverteilung abhängig. Die Leitfähigkeit ist also nicht von der Wasserspannung abhängig, sondern vom Wassergehalt. Dass zu jedem Entwässerungszustand ein pF-Wert gehört, bedeutet keine Einschränkung dieser Feststellung. Bei weiter fortschreitender Entwässerung sinkt die Wasserleitfähigkeit um so stärker, je mehr Poren entleert werden. Wie Abbildung 11 zeigt, sinkt sie daher bei grobporenreichen Böden schon bei niedrigen Wasserspannungen, bei mittelporenreichen Böden erst bei etwas höheren und bei feinporenreichen Böden oft besonders wenig.

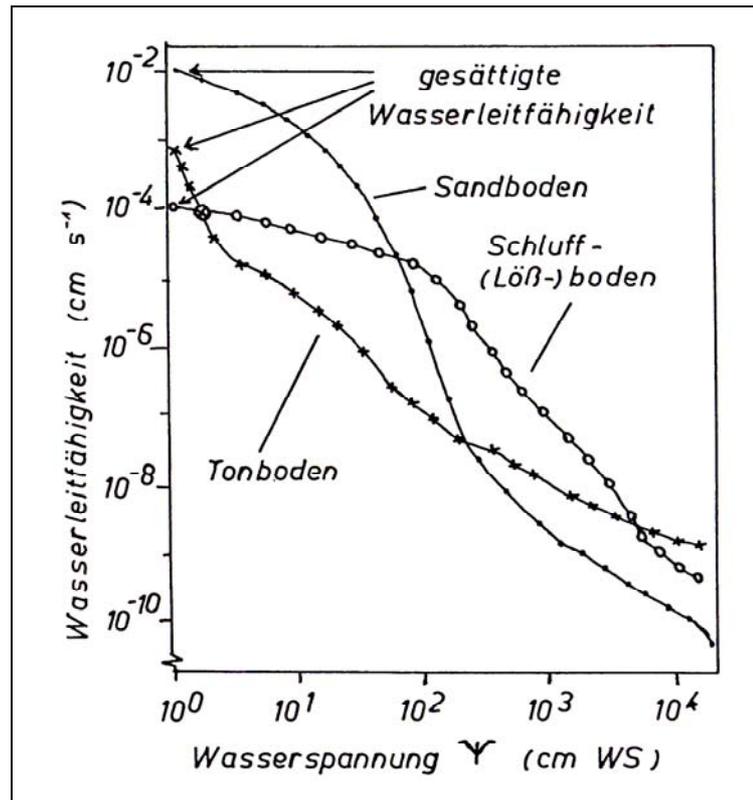


Abb. 11: Wasserleitfähigkeit (gesättigte und ungesättigte) eines Sand-, Schluff- und Tonbodens in Abhängigkeit von der Wasserspannung (cm WS = cm Wassersäule) [SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992]

Des weiteren ist in dieser Abbildung zu erkennen, dass die bei Wassersättigung hohe Wasserleitfähigkeit des Sandbodens bei $\Psi \approx 10^2$ cm WS infolge der Entwässerung der Grobporen unter die Werte des Lößbodens sinkt. Im Bereich von 100 bis 10.000 hPa, welcher unter Freilandbedingungen besonders häufig auftritt, hat also der Lößboden die höchste Wasserleitfähigkeit. Die relativ hohe Wasserleitfähigkeit des Tonbodens in gesättigtem Zustand ist die Folge von Sekundärporen, die aber sehr grob sind und daher schon bei < 10 cm WS entleert werden. Bei stärkerer Austrocknung ($\Psi > 10^4$ cm WS) ist die Wasserleitfähigkeit des Tonbodens größer als die aller anderen Böden, weil er in diesem Zustand wegen des noch relativ hohen Wassergehaltes die größten Fließquerschnitte hat (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992).

3.2 Material und Methoden des Gewächshausversuches

3.2.1 Versuchsaufbau

Das unterirdische Infektionsvermögen des Erregers durch den Boden von einer künstlich infizierten Pflanzknolle zu einer gesunden Kartoffel wurde im Gewächshausversuch nachgestellt. Mit der Verwendung von drei verschiedenen Bodenarten und jeweils drei Intervallen hoher Bodenfeuchte konnte der Einfluss von zwei bodenphysikalischen Parametern überprüft werden. Die steril aufbereiteten Versuchsböden wurden je Variante in 44 Wiederholungen aufgestellt. Zur genauen Steuerung der Bodenfeuchte war eine automatische Bewässerungsanlage aufgebaut. Das Ausmaß der Verseuchung wurde am Ende des Versuches durch die Untersuchung der Triebe der ehemals gesunden Knollen per Polymerase-Kettenreaktion quantifiziert.

3.2.2 Bodenaufbereitung

Drei verschiedene Böden wurden zur Aufbereitung aus landwirtschaftlichen Flächen in der Umgebung der Versuchsstation Dürnast entnommen. Eine Bodenanalyse an der Bayerischen Hauptversuchsanstalt für Landwirtschaft der TU München erbrachte die in Tabelle 4 aufgeführten Werte.

Tab. 4: Bodenanalysewerte der Bayerischen Hauptversuchsanstalt

Bodenart	lehmiger Sand	sandiger Lehm	schluffiger Lehm
Abk.	lS	sL	uL
pH-Wert	5,7	7,5	6,5

Die Böden wurden zur Erreichung der Keimfreiheit in einer Bodendämpfanlage für 24 Stunden bei 110°C gedämpft. Anschließend musste die Erde für eine gleichmäßige, homogene Bodenstruktur durch einen Bodenwolf zerkleinert und abgesiebt werden (Sieblochgröße: 1cm).

3.2.3 Wasserspannungskurven

Die automatische Bewässerungsanlage lässt die Regelung der Bodenfeuchte über die Einstellung des Hektopascalwertes (hPa) der jeweiligen Variante zu. Um in den Versuchsböden die Bodenfeuchtwerte unter Freilandbedingungen einstellen zu können, wurden aus den Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes die Werte der

Bodenwassergehalte für die drei Standardböden „Sand“, „sandiger Lehm“ und „Lehm“ herangezogen. Die nutzbare Feldkapazität der letzten zehn Jahre des Monats Mai wurden gemittelt und dieser Wert für die Versuchsböden übernommen (Tab. 5).

Tab. 5: Werte der durchschnittlich nutzbaren Feldkapazität des Monats Mai (Deutscher Wetterdienst)

Boden des DWD	ø Nutzbare Feldkapazität (Volumen-Prozent)	Versuchsboden
Sand	55	lehmiger Sand
lehmiger Sand	67	sandiger Lehm
Lehm	71	schluffiger Lehm

Die Zuordnung des Bodenwassergehaltes zur entsprechenden Wasserspannung erfolgte für die jeweilige Bodenart durch die Erarbeitung einer Wasserspannungskurve im Bereich von 0 bis 15.000 hPa. Die Wasserspannungskurve diente auch zur Bestimmung der Wassergehalte bei einem definierten Druck.

Am Lehrstuhl für Bodenkunde der Technischen Universität München wurden die Wasserspannungskurven (pF-Kurven) für die drei Bodenarten nach der Überdruckmethode erstellt. Dazu wurde das Gewicht von leeren Aluminiumringen bestimmt und anschließend in fünffacher Wiederholung mit den jeweiligen Versuchsböden plan aufgefüllt. Ein Ringverschluss nach unten erfolgte über ein ebenfalls ausgewogenes Scheibenfilterpapier. Die gefüllten Ringe wurden anschließend erneut ausgewogen und auf eine Tonplatte gestellt (Abb. 12).



Abb. 12: Bodengefüllte Stechzylinder auf einer Tonplatte

Für die Erstellung der pF-Kurve wurden die Bodenproben für 24 Stunden über eine Bewässerung dieser Tonplatte bis zur Wassersättigung geführt. Danach konnten die Ringe vorsichtig mit einem Spatel von der Tonplatte gelöst und erneut gewogen werden. Für weitere 48 Stunden wurden die Proben auf der Tonplatte in einer Spezial-pF-Apparatur (Drucktopf) einem Druck von 60 hPa ausgesetzt. Zur genauen Bestimmung der pF-Kurve erfolgte eine Druckerhöhung ab Wassersättigung bis hin zu 15.000 hPa in sieben Schritten. Bei jedem Intervall war eine Wiegung der einzelnen Proben vor jeder weiteren Druckerhöhung notwendig. Damit sich ein Wasserspannungsgleichgewicht einstellen konnte, musste nach jeder Druckerhöhung eine Wartezeit von mehreren Stunden bis Tagen eingehalten werden (Tab.6).

Tab. 6: Druckeinstellungen und Wartezeiten zur Erstellung der Wasserspannungskurven

Druck [hPa]	60	300	400	600	800	940	15000
Wartezeit [h]	48	96	72	96	96	168	120

Nach der letzten Druckerhöhung auf 15.000 hPa -vergleichbar mit der Wasserspannung des „Permanenten Welkepunkts“ (pF-Wert = 4,2)- wurden die Proben zur Bestimmung der Lagerungsdichte für 24 Stunden bei 105 °C in einen Trockenschrank gestellt. Mit der darauffolgenden letzten Wiegung konnten dann die zur Erstellung der Wasserspannungskurve notwendigen Parameter berechnet werden. Diese umfassten die Werte für die Lagerungsdichte (ρ_b), den Wassergehalt in Gewichtsprozent und Wassergehalt in Volumenprozent.

Lagerungsdichte (ρ_b):

Die Lagerungsdichte beschreibt das Trockengewicht der Bodenprobe im Verhältnis zum Volumen der Bodenprobe. Sie dient zur Beurteilung der Lagerung einer Bodenstruktur.

$$\rho_b \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Gewicht Probe (g bei 105}^\circ\text{C)} - \text{Gewicht Ring (g)} - \text{Gewicht Filterpapier (g bei 105}^\circ\text{C)}}{\text{Volumen Ring (cm}^3\text{)}}$$

Wassergehalt in Gewichtsprozent (Gew.-% H₂O):

Der Wassergehalt in Gewichtsprozent eines Bodens errechnet sich aus dem Verhältnis der Masse des im Boden befindlichen Wassers zur Masse des trockenen Bodens. Er wird in Prozent des Bodentrockengewichtes angegeben. Zunächst wird das Feuchtgewicht, dann das Trockengewicht des Bodens (bei 105°C) ermittelt.

$$\text{Gew.-% H}_2\text{O} = \frac{\text{Gewicht Erde feucht (g)} - \text{Gewicht Erde trocken (g bei 105°C)}}{\text{Gewicht Erde trocken (g bei 105°C)}}$$

Wassergehalt in Volumenprozent (Vol.-% H₂O):

Der Wassergehalt in Volumenprozent ergibt sich aus der Multiplikation des Wassergehaltes in Gewichtsprozent eines Bodens und der Lagerungsdichte (WARRICK, 2002).

$$\text{Vol.-% H}_2\text{O} = \text{Gew.-% H}_2\text{O} * \text{Lagerungsdichte}$$

3.2.4 Pflanzgut und Sortenwahl

Im Rahmen des Gewächshausversuches fanden die Sorten „Agria“ und „Linda“ Verwendung.

Agria ist eine Sorte, die der mittelfrühen Reifegruppe angehört. Sie ist eine Speisekartoffel mit sehr hohem Ertragspotential. Die Anfälligkeit gegenüber dem Pathogen *Phytophthora infestans* wird laut beschreibender Sortenliste des Bundessortenamtes mit der Note 3-4 bewertet (BUNDESSORTENAMT, 2001).

Für die gesunde Knolle wurde die Sorte Linda gewählt. Sie gehört wie Agria der mittelfrühen Reifegruppe an und zeichnet sich durch eine sehr gute Speisequalität und ein hohes Ertragspotential aus.

Gegenüber *Phytophthora infestans* zeigt sie eine mittlere Anfälligkeit und erhält die Note 5 (BUNDESSORTENAMT, 2001).

Um die Keimruhe zu brechen, wurden beide Sorten an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft für 24 Stunden bei 20°C mit Rindite begast (Gemisch aus Ethylenchlorhydrid, Ethylenchlorid und Tetrachlorkohlenstoff im Verhältnis 7:3:1). Nach Bildung von 0,5 cm langen Trieben wurden die Kartoffeln bis zur weiteren Behandlung in einer dunklen Klimakammer bei 12°C gelagert.

3.2.5 Künstliche Infektion des Pflanzgutes

Am Institut für Phytopathologie sind Isolate des Pilzes *Phytophthora infestans* ganzjährig auf Gemüsesaftagar vorrätig. Im mehrwöchigen Turnus werden diese auf frische Agarplatten umgeimpft. Vor der Inokulation werden die Isolate über Kartoffelscheiben auf ihre Pathogenität geprüft. Die verwendeten Isolate Dür und S41 hatten verschiedene Herkünfte und unterschiedliche Virulenzgene, welche an der Biologischen Bundesanstalt in Braunschweig getestet worden waren (Tab. 7).

Tab. 7: Herkunft, Kreuzungstyp und Virulenzgene der verwendeten Isolate

Isolat	Herkunft	Kreuzungstyp	Virulenzgene
Dür	Weihenstephan	A1	1.3.4.6.7.8.10.11
S41	Mecklenburg	A1	1.2.3.4.6.7.8.10.11

Für den Versuch fand ein Gemisch aus den zwei vorhandenen Isolaten Verwendung, wozu diese von den Petrischalen durch eine Lösung aus sterilem Aqua dest. in einen Erlenmeyerkolben überführt wurden. Zur Abtrennung der Hyphenfäden von den Sporangien wurde der jeweilige Pilzrasen durch Mull filtriert. Die Inokulumdichte konnte durch Auszählung der Sporangien in einer Thoma-Zählkammer bestimmt werden. Um die gewünschte Inokulumkonzentration von $5,5 \times 10^4$ Sporangien/ml zu erhalten, musste die Suspension mit der entsprechenden Menge an destilliertem Wasser verdünnt werden.

Die darauffolgende Lagerung der Sporangiensuspension bei 4 °C im Kühlschrank förderte das Schlüpfen der Zoosporen aus den Sporangien.

Am 14. November 2001 wurden die Kartoffeln der Sorte „Agria“ künstlich inokuliert. Dazu wurden die Knollen mit einer Spritze ca. 1 bis 1,5 cm neben einem „Auge“

angestochen und die Kanüle (Braun Sterican 100: 0,55 x 25mm) zur Mitte hin eingeführt (Abb. 13).



Abb. 13: Künstliche Inokulation der Kartoffelknollen

Während des Herausziehens der Kanüle konnte die Lösung in die Knollen injiziert werden. In Anlehnung an SCHLENZIG (1997) werden durch diese Maßnahmen zwischen 100 und 200 Zoosporen je Stich im Kartoffelgewebe eingebracht.

In Abhängigkeit von der Knollengröße wurde bisweilen auch an mehreren Stellen inokuliert, um eine größere Infektionswahrscheinlichkeit zu erreichen. Zur Vermeidung einer Sporulation von *Phytophthora infestans* auf der Knollenoberfläche wurde ausgetretene Infektionslösung mit einem Filterpapier abgetupft.

Im Anschluss an die Inokulationsmaßnahme wurden die Knollen bei 15 °C dunkel gelagert.

3.2.6 Überprüfung der künstlichen Infektion

Nach dreiwöchiger Lagerung wurde die künstliche Infektion in den Knollen überprüft. Dazu wurden 15 dieser Kartoffeln geschält, für 30 Sekunden in einer dreiprozentigen Natriumhypochloridlösung desinfiziert und anschließend mit destilliertem Wasser abgewaschen. Aus der Knollenmitte wurde eine 0,5 cm dicke Scheibe herausgeschnitten und in eine feuchte Kammer bei Zimmertemperatur ausgelegt.

3.2.7 Pflanzung für den Gewächshausversuch

Die künstlich infizierten Pflanzknollen der Sorte Agria wurden am 21. November 2001 in Pflanztöpfe mit vier Litern Volumen eingesetzt. Die Töpfe wurden dabei auf ein

Gesamtgewicht von 4kg mit der betreffenden Bodenart aufgefüllt. In einer Gewächshauskabine standen die 44 Töpfe jeder Variante bei einer Temperatur von 15°C, einer relativen Luftfeuchte von 50 Prozent und einer Belichtung mit 10kLux (12 Stunden je Tag). Jeder einzelne Topf konnte über zwei Tropfschläuche an den Bewässerungskreis der jeweiligen Variante angeschlossen werden (Abb. 14).



Abb. 14: Übersicht des Gewächshausversuches

Vier Wochen später wurden die gesunden Kartoffeln der Sorte Linda in einem Abstand von ca. 3 cm zur infizierten Knolle getopft. Es wurde auf minimale Beschädigung des vorhandenen Bodenprofils geachtet. Beide Sorten befanden sich danach auf gleicher Höhe im Topf (Abb.15).

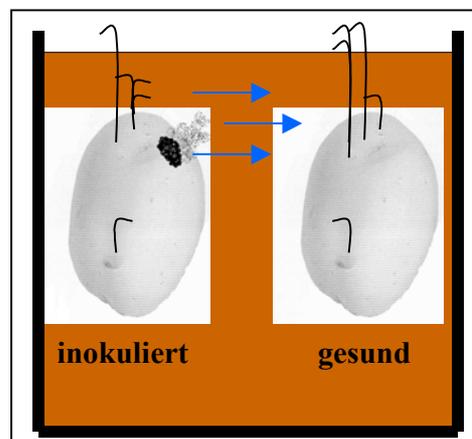


Abb. 15: Schemazeichnung eines Gewächshaustopfes

3.2.8 Steuerung der Bodenfeuchte

Am Institut für Gemüsebau der Fachhochschule Weihenstephan wurde 1994 eine Software entwickelt, bei der ein PC die Regelung und Steuerung des Klimas, der Bewässerung und der Düngung von Exaktversuchen übernehmen kann (FRENZ, 1994). Das System „KLIWADU“ wurde im Gewächshausversuch mit dem Teilssegment „Bewässerung“ auf einer automatischen Bewässerungsanlage der Firma Positronik installiert.

Kernelement der Anlage ist ein Softwareprogramm, welches die Bewässerungskreise regelt. Aufgrund der Messergebnisse der Tensiometer (Ist-Werte), welche in jeder Variante permanent die Saugspannung der Töpfe ermitteln, werden die Daten im Computer mit dem eingestellten Soll-Wert der Variante verglichen. Falls der Hektopascal-Wert zu hoch ist (Boden zu trocken) wird automatisch ein Magnetventil -welches mit der Wasserversorgung der Gewächshauskabine in Verbindung steht- elektronisch geöffnet. Dadurch werden die Töpfe der Variante solange über die Tropfschläuche mit Wasser versorgt, bis die Tensiometermessung im Topf dem Computer eine Saugspannung signalisiert, die mit dem vorgegebenen Soll-Wert übereinstimmt. Wenn Ist- und Soll-Wert übereinstimmen, wird der Bewässerungskreis über das Magnetventil geschlossen.

Die Software speichert alle gemessenen Tensiometerwerte in einer separaten Datei ab.

Bis zum Durchstoßen der ersten Lindatriebe wurden die Varianten über die Anlage bei einer Bodenfeuchte gehalten, welche laut DWD durchschnittlich für die jeweilige Bodenart im Monat Mai vorzufinden ist. Die berechneten Wasserspannungskurven für die Versuchsböden dienten zur Einstellung der Anlage. Daraus resultierte insgesamt eine Bodenfeuchte, die den gewünschten Anteil der durchschnittlich nutzbaren Feldkapazität der Versuchsböden entsprach. Pro Bewässerungsvorgang wurden 100 ml Wasser / Topf gegossen. Ein erneuter Vorgang konnte erst nach einer Stunde ausgelöst werden. Das Einhalten dieser Pause war notwendig, um eine gleichmäßige Wasserverteilung zu gewährleisten und den Tensiometerfühlern Zeit zu geben, den Unterdruck abzubauen, welcher durch den Bewässerungsvorgang ausgelöst worden war (FRENZ, 1994).

Nach dem Erscheinen der ersten Triebe der Sorte Linda wurden am 31. Dezember 2001 bei jeder Bodenart die drei Bewässerungsintervalle von zwei, vier und acht Tagen mit einer Bodenfeuchte von 30 hPa eingeleitet. Insgesamt stellen sich die Varianten wie in Tabelle 8 dar:

Tab. 8: Varianten des Gewächshausversuches

Variante	Bodenart und Bewässerungsdauer
1	lehmiger Sand, 2 Tage
2	lehmiger Sand, 4 Tage
3	lehmiger Sand, 8 Tage
4	sandiger Lehm, 2 Tage
5	sandiger Lehm, 4 Tage
6	sandiger Lehm, 8 Tage
7	schluffiger Lehm, 2 Tage
8	schluffiger Lehm, 4 Tage
9	schluffiger Lehm, 8 Tage

Die Absenkung der Bodenfeuchte wurde durch die Änderung des Soll-Wertes auf 30 hPa vorgenommen. Nach dem jeweiligen Intervall niedriger Wasserspannung wurden wieder die Ausgangswerte programmiert.

3.2.9 Auflaufkontrolle und Probenentnahme

Am 04. Dezember 2001 wurde eine Auflaufkontrolle der Agriaknollen durch die Untersuchung von 2 Töpfen je Variante hinsichtlich dem Merkmal „Triebbildung“ durchgeführt. Die Triebe der Sorte „Linda“ wurden am 22. Januar 2002 gezählt und geerntet. Sie hatten dabei eine Wuchshöhe von ca. 15cm erreicht. Der Trieb konnte in seiner gesamten Länge bis zur Ansatzstelle an der Mutterknolle durch vorsichtiges Herausdrehen entnommen werden. Bis zu seiner weiteren Verarbeitung wurden die Triebe umgehend bei -20 °C tiefgefroren. Zum Nachweis der möglichen Infektion durch *Phytophthora infestans* wurden die Stängelstücke später im Labor dem Nachweisverfahren der Polymerase-Kettenreaktion unterzogen.

3.2.10 Prüfung der latenten Stängelverseuchung durch die PCR

Die Prüfung der latenten Stängelverseuchung durch die Polymerase-Kettenreaktion wurde nach ADLER (2000) durchgeführt.

3.2.11 Die Polymerase-Kettenreaktion

Zur Untersuchung des latenten Befalls mit *Phytophthora infestans* wurde auf die Technik der PCR zurückgegriffen. Mittels dieser Technik und der optimierten Methode nach TOOLEY et al. (1997) ist der Nachweis von DNA-Mengen noch im Bereich von 500fg gegenüber dem DNA-Standard möglich (ADLER, 2000). Es handelt es sich dabei um die Vervielfältigung einer über große Teile bekannten DNA-Sequenz (Abb. 16) und dem anschließenden DNA-Nachweis mit einer herkömmlichen Analysemethode.

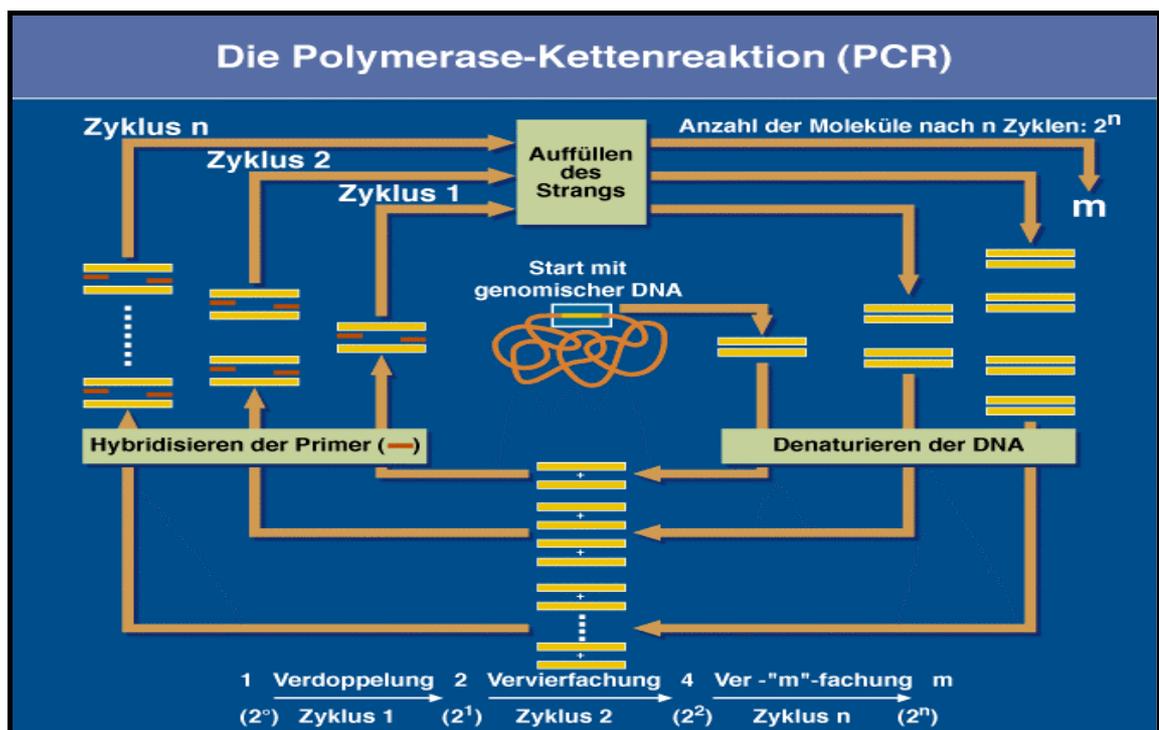


Abb. 16: Übersicht über die Reaktionen während der PCR [www.muenster.de]

3.2.12 Statistische Auswertung des Versuches

Als Teststatistik wird der F-Test verwendet. Die Signifikanz berechnet sich aus der kumulativen Wahrscheinlichkeitsdichte der F-Verteilung für den berechneten F-Wert und den jeweils zugehörigen Freiheitsgraden. Sie wird als p-Wert angegeben. Je kleiner der Wert, um so signifikanter das Ergebnis und um so unwahrscheinlicher ist ein Fehler der 1. Art, das heißt: Annahme von H_0 , obwohl ein Einfluss vorhanden ist.

Die statistische Null-Hypothese für dieses Design lautet:

H_0 : Der Haupteinfluss von Faktor A ist null

H_0 : Der Haupteinfluss von Faktor C ist null

H_0 : Die Wechselwirkung zwischen Faktor A und C ist null

Im Gewächshausversuch wurden für den unabhängigen Faktor Bodenart drei Stufen ($a=3$) und für den Faktor Bewässerungsintervall ebenfalls drei Stufen ($c=3$) untersucht. Der Versuchsansatz bestand darin, dass für die beiden Prädiktorvariablen (=unabhängige Variablen) Bodenart (Faktor A) und Bewässerungsintervall (Faktor C) alle Kombinationen der drei Stufen getestet wurden. Kombinatorisch ergeben sich daraus neun Möglichkeiten. Pro Kombination (=Variante) wurden mindestens 38 Wiederholungen ($n=38$) durchgeführt, so dass insgesamt 342 Fälle ausgewertet werden konnten.

Der sich daraus ergebende statistische Versuchsplan ist vollständig und zufällig (completely randomized design mit $a*c$ Varianten [=treatments] und $a*c*n$ Beobachtungen [observed values]).

Es galt statistisch zu prüfen, ob die Faktoren Bodenart und Bewässerungsintervall einen statistisch signifikanten Einfluss auf den Pilzbefall haben.

Zur Auswertung wurde ein „Zwei Faktoren-Drei Stufen ANOVA Modell verwendet. Ein dreistufiges Modell erlaubt festzustellen, ob zwischen den Faktoren und der abhängigen Variablen ein nichtlinearer Zusammenhang besteht. Als Software wurde Statistica in der Version 5.5 unter Verwendung des ANOVA/MANOVA-Moduls verwendet.

Die der statistischen Auswertung zugrunde liegende Gleichung wird durch das lineare Modell wiedergegeben. Mit den Laufvariablen i für die drei Stufen des Faktors a ($i=1,2,3(=a)$), j für die drei Stufen des Faktors c ($i=1,2,3(=c)$) und k für die Anzahl der

Wiederholungen ($k=1,2,\dots,n(=38)$) kann das Lineare Modell dieses Versuchsansatzes wie folgt beschrieben werden:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + (\alpha\gamma)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Hierbei bezeichnen:

- y_{ijk} k-te Beobachtung, $k = 1,2,\dots,n$ der abhängigen Variablen für Kombination (= cell), die durch den i-ten Faktor-Level A und j-ten Faktor-Level von C bestimmt wird.
- μ Referenzwert, im Allgemeinen der Gesamtmittelwert (grand mean, overall mean), bestimmt über alle y_{ijk} – Kombinationen.
- α_i $i = 1,2,\dots,a$. Haupteffekt von Faktor A, berechnet als Differenz der mittleren Antwort der Untermenge, definiert durch die i-te Stufe des Faktors A und dem Referenzwert μ .
- γ_j $j = 1,2,\dots,c$. Haupteffekt von Faktor C, berechnet als Differenz der mittleren Antwort der Untermenge, definiert durch die j-te Stufe des Faktors C und dem Referenzwert μ .
- $(\alpha\gamma)_{ij}$ Interaktion zwischen Faktor A und Faktor C. Berechnet als Differenz der mittleren Antwort der Untermenge, definiert durch die i-te Stufe des Faktors A und die j-te Stufe des Faktors C und der Antwort, gäbe es nur die Haupteffekte α_i und γ_j .
- ε_{ijk} Zufallsfehler, der die Variation innerhalb einer bestimmten Kombination der Stufen des Faktors A und Faktor C widerspiegelt. Er berechnet sich aus den n-Beobachtungen pro Faktorstufenkombination.

3.3 Ergebnisse des Gewächshausversuches

3.3.1 Wasserspannungskurven und Porengrößenverteilung

Für die genaue Einstellung der automatischen Bewässerungsanlage war es notwendig, die Wasserspannungskurven der drei eingesetzten Versuchsböden zu bestimmen. Dabei wird die Beziehung zwischen Wasserspannung (in hPa) und dem Wassergehalt (in Vol.-%) dargestellt. Die Wasserspannung wird zur vereinfachten Darstellung als pF-Wert auf der x-Achse abgebildet (pF-Wert = \log hPa-Wert). Bei vollständiger Wassersättigung (pF-Wert = 0) weist die Bodenart lehmiger Sand einen Wassergehalt von 52 Volumenprozent auf. Demgegenüber steht der Messwert am Permanenten Welkepunkt (pF-Wert = 4,2) mit nur noch 7 Volumenprozent Wassergehalt (Abb. 17). Bemerkenswert ist für die „leichteste“ Bodenart, dass bereits bei einer Wasserspannung von 1.000 hPa der Wassergehalt auf einem Niveau des Permanenten Welkepunkt war. Die nutzbare Feldkapazität als Differenz des Wassergehaltes zwischen pF 4,2 und pF 2,5 betrug hier 10 Volumenprozent.

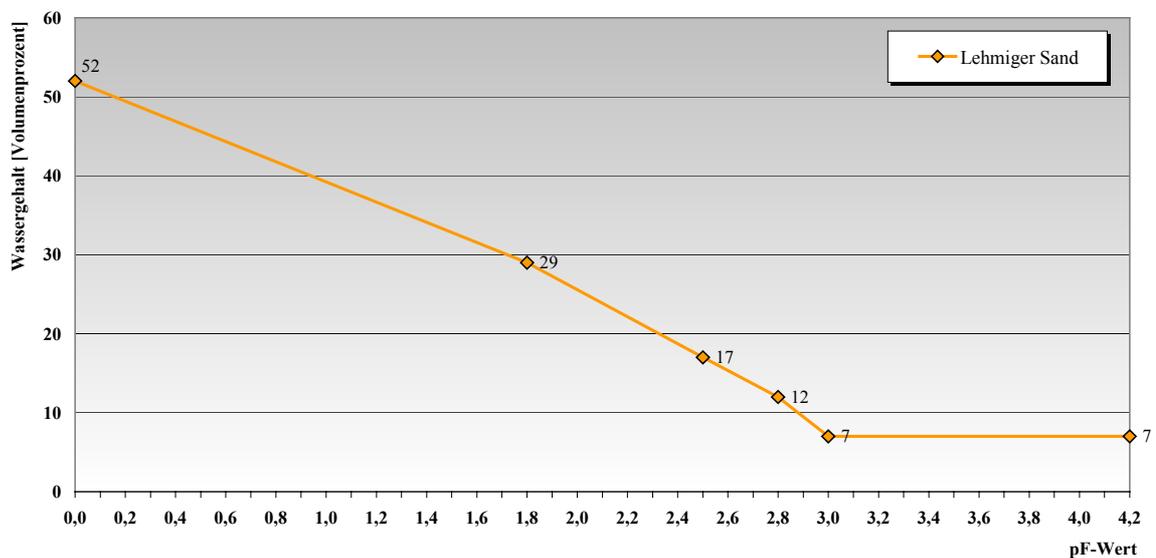


Abb. 17: Wasserspannungskurven des Versuchsbodens „lehmiger Sand“

Die Bodenart sandiger Lehm erreichte bei Wassersättigung einen Wassergehalt von 58 Volumenprozent. Selbst bei 15.000 hPa Druck wurde hier noch ein Wassergehalt ermittelt, der mehr als doppelt so hoch war wie der bei lehmigem Sand. Bei der Berechnung der nutzbaren Feldkapazität errechnet sich eine Größe von 16 Volumenprozent Wassergehalt (Abb.18).

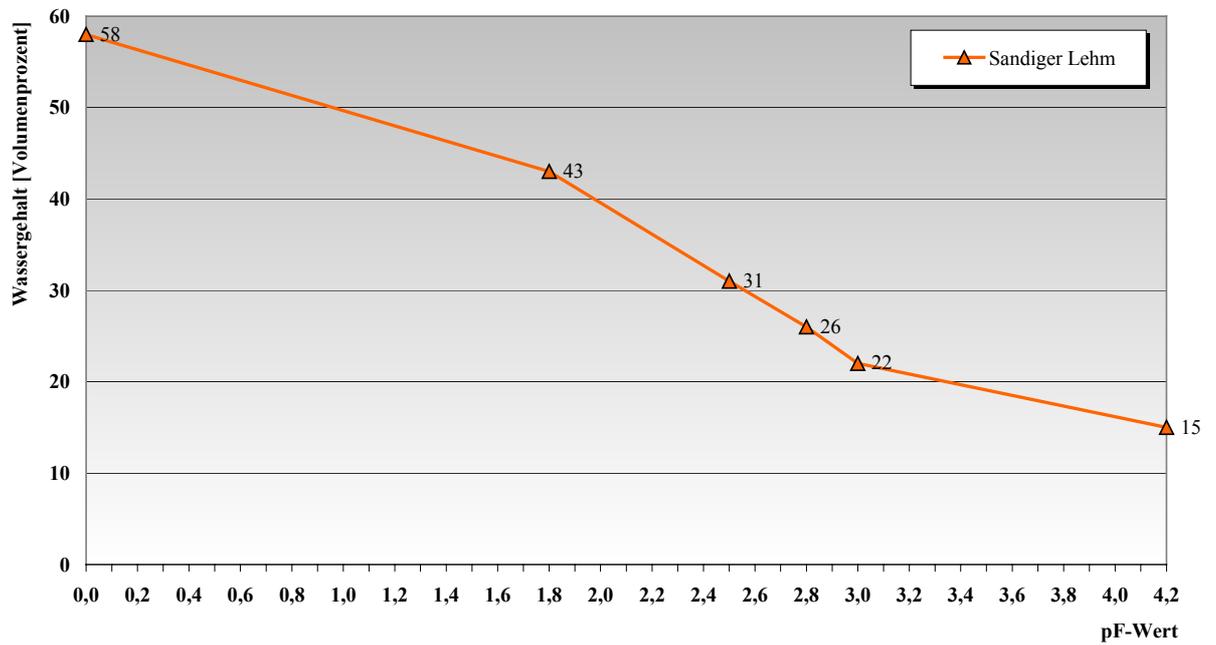


Abb. 18: Wasserspannungskurven des Versuchsbodens „sandiger Lehm“

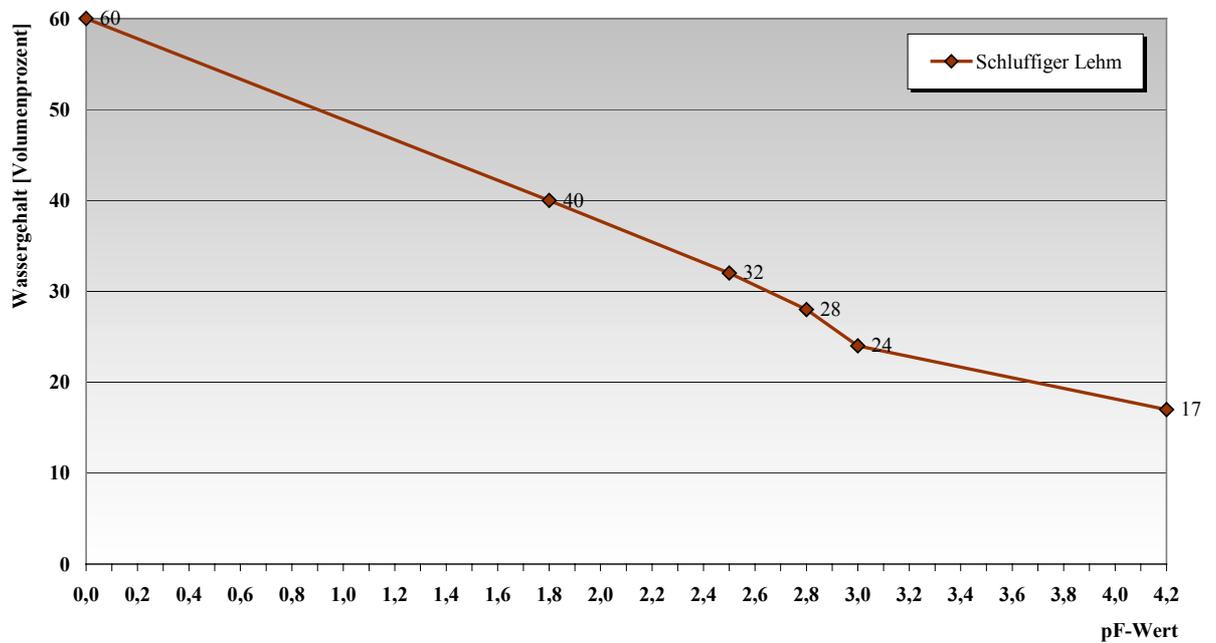


Abb. 19: Wasserspannungskurven des Versuchsbodens „schluffiger Lehm“

Die „schwerste“ Bodenart konnte erwartungsgemäß im Bereich der Mittelporen (zwischen pF 2,5 und 4,2) die höchsten Werte des Wassergehaltes aufweisen. Die nutzbare Feldkapazität von 15 Volumenprozent liegt zwar niedriger als beim sandigen Lehm, jedoch kann bei einem Vergleich der Flächen unterhalb der pF-Kurven für den Bereich der Mittelporen beim schluffigen Lehm ein höherer Wert als bei der mittleren Bodenart ermittelt werden (Abb. 18 und 19).

Der Wassergehalt im Boden ist vor allem vom Gesamtporenvolumen sowie dem Verhältnis der vier Porenarten abhängig. In Tabelle 9 ist die Porengrößenverteilung der drei Bodenarten angegeben (H.H. BECHER, pers. Mitteilung 2002).

Tab. 9: Porengrößenverteilung der drei Versuchsböden

Porenbezeichnung:		Weite Grobporen	Enge Grobporen	Mittelporen	Feinporen
Porendurchmesser:		> 50 µm	10 - 50 µm	0,2 - 10 µm	> 0,2 µm
Wasserspannungsbereich:		0 - 60 hPa	60 - 300 hPa	300 - 15.000 hPa	> 15.000 hPa
Bodenart	lehmiger Sand	23	15	7	7
	sandiger Lehm	18	9	17	14
	schluffiger Lehm	17	10	15	18

Im Versuch erfolgte die Einstellung der Bodenfeuchte in den neun Varianten über eine tensiometergesteuerte Bewässerungsanlage. Abweichungen der Wasserspannung zwischen Soll- und Ist-Wert lösten dabei einen Impuls zum Start der Tröpfchenbewässerung aus. Die Wassergehalte der drei Bodenarten sollten der nutzbaren Feldkapazität entsprechen, welche im langjährigen Durchschnitt im Monat Mai bei vergleichbaren Böden vorlag. Die einzustellenden Wasserspannungen wurden ermittelt, indem diese durchschnittlichen Wassergehalte an der Ordinate eingetragen und der zugehörige Wasserspannungswerte an der Abszisse abgelesen wurde. Es ergaben sich die Werte in Tabelle 10.

Tab. 10: Berechnung der einzustellenden Tensiometerwerte (Soll-Werte)

	Bodenart		
	lehmiger Sand	sandiger Lehm	schluffiger Lehm
Wassergehalt (Vol.-%) bei 300 hPa	17	31	32
- Wassergehalt (Vol.-%) bei 15000 hPa	7	15	17
= nFK (in Vol.-%)	10	16	15
bei einer Ø-nFK im Mai (in %)	55	67	71
=> Wassergehalt (Vol.-%) bei gewünschter Ø-nFK	5,50	10,72	10,65
Anzusetzender Ordinatenwert (Vol.-%)	12,5	25,72	27,65
Abgelesener Abszissenwert als pF-Wert	2,76	2,85	2,82
Abgelesener Abszissenwert als hPa-Wert	575	708	661

3.3.2 Inokulationskontrolle und Auflaufergebnisse

Wenige Tage nach der Lagerung der geschälten und desinfizierten Kartoffelscheiben konnte auf allen fünfzehn Proben makroskopisch ein weißer Pilzrasen beobachtet werden. Unter dem Mikroskop waren die zitronenförmigen Sporangien des Erregers der Kraut- und Knollenfäule zu identifizieren. Der Nachweis einer erfolgreichen künstlichen Inokulation des Pflanzgutes konnte hierdurch erbracht werden.

Am 17. Dezember 2001 wurden die Pflanzknollen der Sorte „Agria“ hinsichtlich dem Parameter „Auflauf“ bonitiert. Bei insgesamt fünfzig Prozent der ausgegrabenen Knollen waren Triebe ausgebildet (n = 18). Es handelte sich dabei allerdings ausschließlich um sogenannte Nottriebe, welche auf der Nabelseite der Knollen wuchsen. Die Triebanlagen auf der Kronenseite waren durch die Stärke der Infektion zerstört. Aufgrund der Verbräunungen am Stängelansatz und nach makroskopischer Untersuchung wurden bei achtzig Prozent dieser Nottriebe starke Infektionen durch *Phytophthora infestans* festgestellt. Teilweise wurde zu diesem Zeitpunkt bereits eine Oberflächensporulation der Knolle im Bereich der Infektionsstellen beobachtet. Alle 37 Kontrollproben zeigten eindeutige Verbräunungen im Knollengewebe. Aufgrund dieser Ergebnisse kann die Sorte „Agria“ eindeutig als Infektionsherd bewertet werden.

Drei Wochen nach der Pflanzung konnte in jedem Versuchstopf eine Triebbildung der Sorte „Linda“ verzeichnet werden. Am 10. Januar 2002 hatten die Triebe dieser Sorte bereits eine Länge von circa einem Zentimeter über der Bodenoberfläche erreicht.

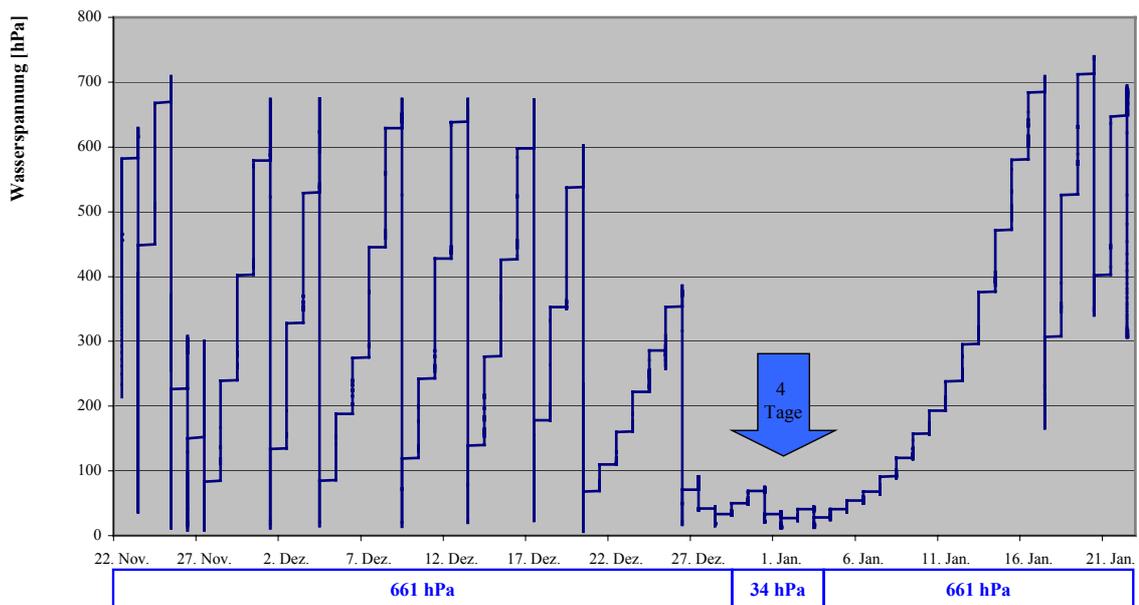
3.3.3 Tensiometermessungen und Gießvorgänge

Während der gesamten Wachstumszeit der Kartoffelpflanzen wurde die Bodenfeuchte durch die automatische Bewässerungsanlage gesteuert. Vor und nach der jeweiligen Phase mit hoher Bodenfeuchte (Wasserspannung bei 30 hPa) waren die Soll-Werte der Einstellung nach den Ergebnissen von Tab. 10 eingestellt. Am 31.12.2001, als circa 80 Prozent der Lindatriebe die Bodenoberfläche durchstoßen hatten, wurde bei allen Varianten gleichzeitig der Soll-Wert auf 30 hPa (pF -Wert = 1,48) abgesenkt. Dies führte bei der Bodenart lehmiger Sand zu einem Anstieg des Wassergehaltes von circa 16 Volumenprozent. Der Wassergehalt des sandigen Lehms wurde durch diese Maßnahme um circa 14,5 und der des schluffigen Lehms um ca. 11,5 Volumenprozent erhöht.

Während dieser Zeit des Versuches sollte die unterirdische Infektion über das Bodenwasser ablaufen. Es wurde eine verschieden lang anhaltende Phase hoher Bodenfeuchte ähnlich wie in landwirtschaftlichen Praxisflächen nachgestellt.

Im Anschluss daran trockneten die Böden während einer mehrtägigen Phase wieder solange ab, bis sie die Soll-Werte von Tabelle 12 erreicht hatten.

Der Verlauf der tatsächlichen Wasserspannungswerte vom Pflanztag bis zur Triebernte wurde von der Software in einer separaten Datei abgespeichert. Der Auftrag dieser Werte gegen die Zeit des Versuches stellt sich für den schluffigen Lehm bei einem Intervall der Wassersättigung von 4 Tagen wie in Abbildung 20 dar. Die Peaks in der Graphik resultieren aus dem kurzfristigen Abfallen der Wasserspannung kurz nach erfolgter Bewässerung. Die tatsächlich vorhandenen Werte pendelten sich langsam - nachdem sich die gegossene Wassermenge gleichmäßig im Bodenkörper verteilt hatte - wieder ein. Auffallend war, dass bei der Bodenart lehmiger Sand die eingestellte Wasserspannung nach der Pflanzung erst mit einer achtzehntägigen Verzögerung realisiert werden konnte.



Soll-Werte der Wasserspannung [hPa]

Abb. 20: Verlauf der Wasserspannung des Versuchsbodens „schluffiger Lehm“ bei 4 Tagen

In Tabelle 11 sind die gemessenen Hektopascal-Werte der Tensiometer für die drei eingesetzten Bodenarten während der Phase hoher Bodenfeuchte aufgeführt. Zum Beispiel ergeben sich für den lehmigen Sand (IS 2d) die grau hinterlegten Tageswerte für das Bewässerungsintervall von zwei Tagen (31. Dezember bis 02. Januar).

Die durchschnittlichen Hektopascalwerte für den jeweiligen Zeitausschnitt konnten daraus berechnet werden. Des Weiteren finden sich die jeweils zugehörigen Porendurchmesser, welche rein rechnerisch bei dieser Wasserspannung mit Wasser gefüllt sind.

Tab. 11: Gemessene Tensiometerwerte innerhalb der Phase hoher Bodenfeuchte

Datum	IS 2d	IS 4d	IS 8d	sL 2d	sL 4d	sL 8d	uL 2d	uL 4d	uL 8d
31. Dez 01	34	38	38	45	44	33	42	54	34
01. Jan 02	19	29	29	28	26	23	22	27	21
02. Jan 02	8	31	31	29	27	25	24	30	23
03. Jan 02	27	36	36	37	34	31	32	28	30
04. Jan 02	30	33	32	48	28	31	41	32	36
05. Jan 02	33	31	29	64	28	24	52	44	25
06. Jan 02	36	36	35	87	37	31	66	58	24
07. Jan 02	40	40	32	123	49	30	83	75	32
08. Jan 02	44	46	30	190	67	26	110	100	27
jew. Tage:	20	33	32	34	32	28	29	34	28
=> Poren (µm)	148	90	92	89	95	106	103	88	107

3.3.4 Ergebnisse der Probenentnahme

Lediglich fünf Prozent der Agriatriebe waren zum Zeitpunkt der Probenentnahme der Lindatriebe insgesamt aufgelaufen, während die restlichen Sprosse durch *Phytophthora infestans*-Infektionen vollständig zerstört waren. An vielen Kartoffeln konnte auch zu diesem Zeitpunkt noch auf der Knollenoberfläche sporulierender Pilzbefall ausgemacht werden.

Die Lindatriebe hatten zur „Ernte“ eine durchschnittliche Wuchshöhe von circa 15 cm erreicht. An den Stängeln waren keine sichtbaren Infektionen zu beobachten. Die Anzahl der Stängel je Topf und die insgesamt geernteten Triebe je Variante sind in den Tabellen 27 - 29 des Anhangs aufgeführt.

3.3.5 Ergebnisse der PCR-Untersuchungen

Für die Auswertung des Gewächshausversuches konnten insgesamt 805 Triebe der Sorte Linda durch die PCR untersucht werden. Ein Viertel aller Triebe wurde positiv hinsichtlich des latenten Befalls mit *Phytophthora infestans* beurteilt. Die Anteile der erkrankten Stängel waren allerdings stark von der jeweils eingesetzten Bodenart abhängig, wie in Tabelle 12 dargestellt ist.

Tab. 12: Ergebnisse der latenten Stängelinfektion

Bodenart	Bewässerungsintervall	Probenanzahl	Stängelinfektion [Prozent]
lehmiger Sand	2 Tage	81	0,0
	4 Tage	96	0,0
	8 Tage	90	6,6
sandiger Lehm	2 Tage	79	13,2
	4 Tage	73	29,2
	8 Tage	112	36,3
schluffiger Lehm	2 Tage	83	40,1
	4 Tage	110	45,5
	8 Tage	81	50,5

Alle Proben wurden im Doppelansatz getestet, Untersuchungen mit unklarem Ergebnis (verwischte Bande nach der Gelelektrophorese) wurden wiederholt.

In Abbildung 21 ist ein exemplarisches Gelbild zu sehen, in welchem Proben der Bodenart „schluffiger Lehm“ mit acht Tagen Bewässerungsintervall getestet wurden.

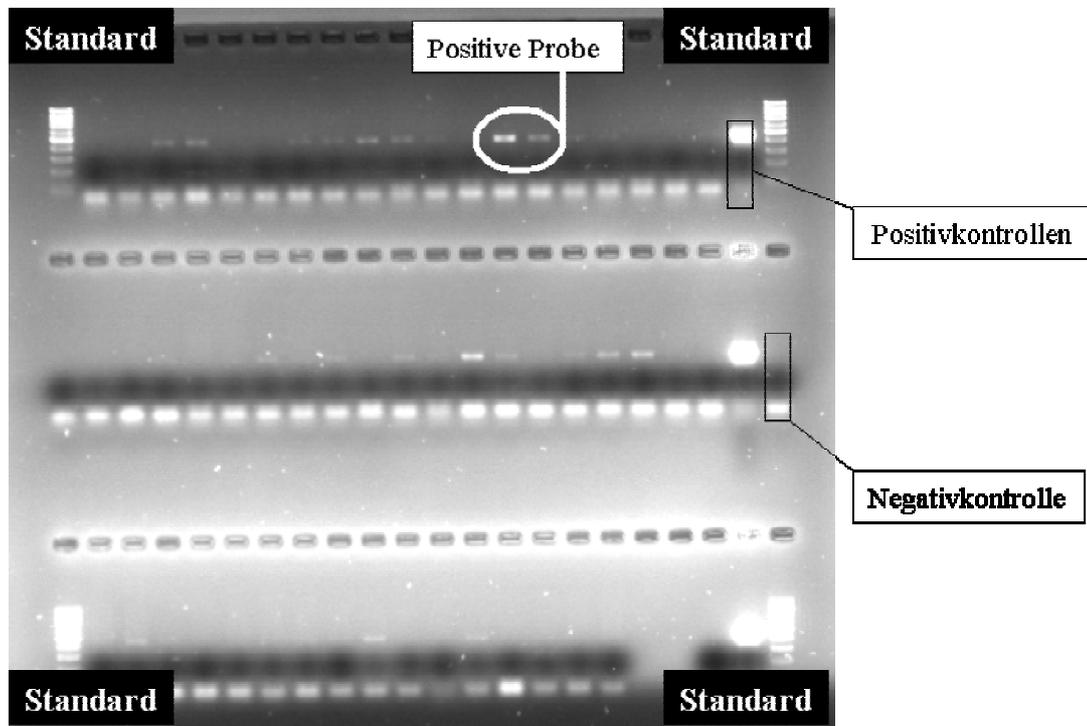


Abb. 21: Gelbild der Bodenart „schluffiger Lehm“ mit acht Tagen Bewässerungsintervall

Eine detaillierte Aufzeichnung der erkrankten Stängel je Variante und Topf ist in den Tabellen 27 - 29 im Anhang beigelegt.

Durch die Überprüfung der latenten Stängelverseuchung der ehemals gesunden Triebe von „Linda“ lassen sich folgende zwei Fragen beantworten:

- Unterscheiden sich die Intervalle der Wassersättigung bei einer Bodenart signifikant?
- Unterscheiden sich die Bodenarten bei einem Intervall der Wassersättigung signifikant?

Unterschiede konnten durch den F-Testes auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ berechnet werden. Eventuelle statistische Differenzen sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben der vergleichbaren Varianten gekennzeichnet. Gleiche Buchstaben erlauben keine signifikante Unterscheidung auf dem angegebenen Niveau.

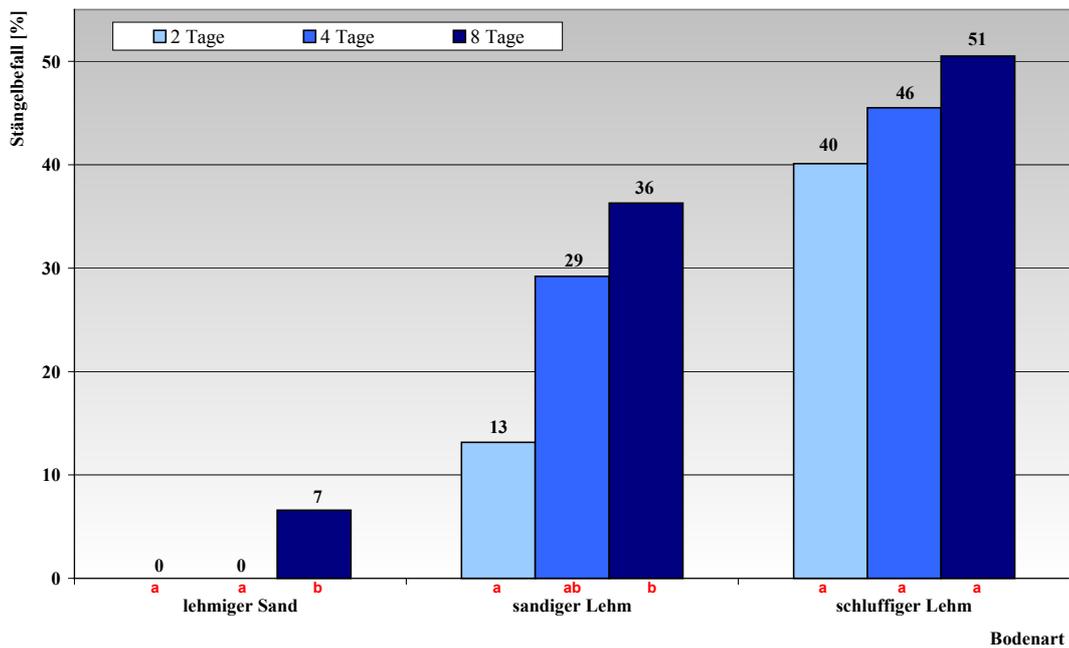


Abb. 22: Einfluss der Bodenart auf den latenten Stängelbefall

Bei der Bodenart lehmiger Sand konnte bei zwei und vier Tagen dauerndem Wassersättigungsintervall keine Stängelverseuchung der Sorte Linda detektiert werden (Abb. 22). Das achttägige Intervall brachte dann aber eine Verseuchung von 6,6 Prozent der Stängel dieser Variante. Es war möglich, das längste Intervall hoher Bodenfeuchte dieser Bodenart gegen die beiden kürzeren statistisch abzusichern.

Der sandige Lehm zeigte bereits bei zwei Tagen eine Verseuchung von 13,2 Prozent. Die nachgewiesene, latente Infektion steigerte sich dann nochmals bei vier Tagen (29,2 Prozent) bis acht Tagen mit 36,3 Prozent. Die beiden Intervalle von zwei und acht Tagen unterschieden sich bei dieser Bodenart statistisch voneinander.

Die höchsten Werte bei der Stängelerkrankung erreichte die Bodenart schluffiger Lehm. Bereits bei zwei Tagen waren schon 40,1 Prozent der Lindatriebe dieser Variante latent mit dem Erreger infiziert. Eine nochmalige Steigerung konnte durch die Verdoppelung des Intervalls auf vier Tage erreicht werden (45,5 Prozent). Spitzenreiter der Untersuchungsreihe war aber mit 50,5 Prozent das längste Intervall hoher Bodenfeuchte bei der schluffreichsten Bodenart. Mehr als jeder zweite Stängel dieser Variante war nach einer Woche hoher Bodenfeuchte bei Anwesenheit einer sporulierenden Infektionsquelle mit *Phytophthora infestans* latent infiziert. Zwischen den drei Varianten dieser Bodenart war kein Unterschied statistisch absicherbar.

Der Stängelbefall der drei Bodenarten bei gleichem Bewässerungsintervall ist in der Abbildung 23 angegeben.

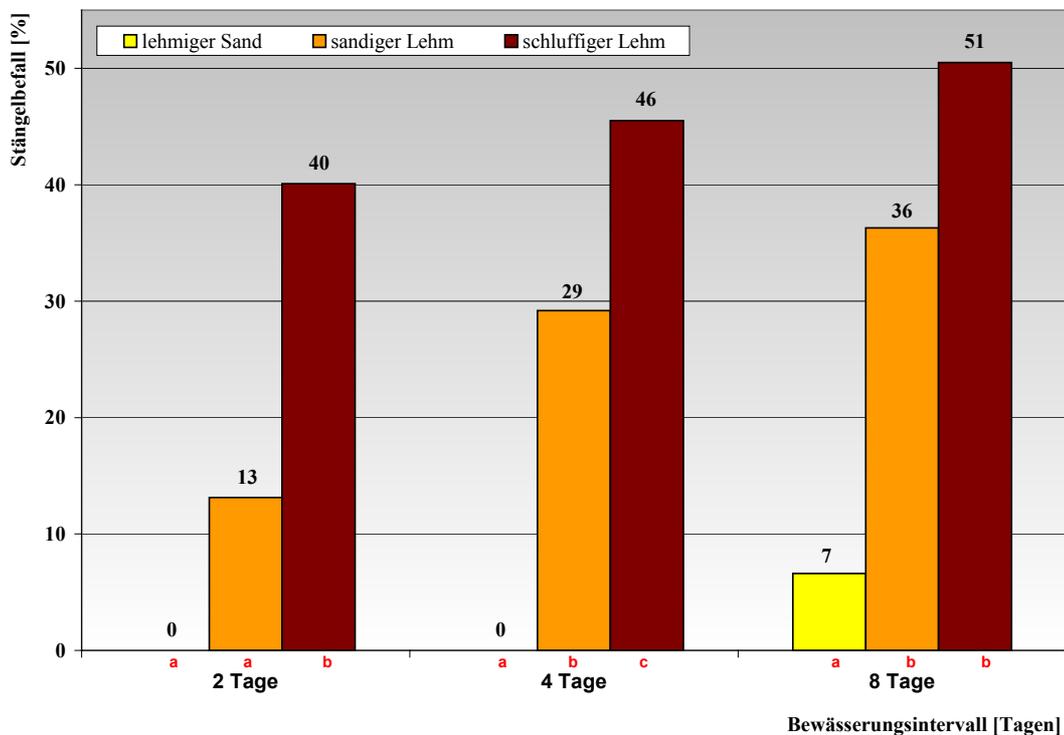


Abb. 23: Einfluss des Bewässerungsintervalles auf den latenten Stängelbefall

Bereits ein Bewässerungsintervall von 2 Tagen zeigt einen deutlichen Anstieg der latenten Stängelinfektion vom lehmigen Sand (0%) über den sandigen Lehm (13%) bis hin zum schluffigen Lehm mit 40 Prozent. Ein statistisch absicherbarer Unterschied ist zwischen dem schluffigen Lehm und den beiden anderen Bodenarten gegeben.

Im Bewässerungsintervall mit vier Tagen konnten bei der leichtesten Bodenart keine Infektionen nachgewiesen werden. Der sandige Lehm erfuhr wie der schluffige Lehm eine Steigerung der latenten Stängelinfektionen bei Verdoppelung der Dauer hoher Bodenfeuchte. Während der sandige Lehm um den Faktor 2,23 zunahm, erhöhte sich der Befall bei der schluffreichsten Bodenart nur um das 1,15 fache.

Das längste Bewässerungsintervall konnte, wie erwartet, mit den höchsten Werten an infizierten Trieben getestet werden. Bei einer achttägigen Phase hoher Bodenfeuchte konnte sich nun auch bei der Bodenart lehmiger Sand eine Stängelverseuchung von circa sieben Prozent etablieren. Eine mehr als fünffach höhere Erkrankung wiesen die Stängel der Bodenart sandiger Lehm bei gleichem Bewässerungsintervall auf. Auch der schwerste Boden konnte bei diesem Bewässerungsintervall nochmals zulegen und

erreichte eine Steigerung der Infektionen im Vergleich zum lehmiger Sand um das 7,4 fache.

Mit Hilfe der einzelnen Wasserspannungskurven der drei eingesetzten Bodenarten konnte nach der Ermittlung der tatsächlich angelegenen pF-Werte der zugehörige Wassergehalt der Böden abgelesen werden. Bei einem Auftrag dieses Wassergehaltes gegen die prozentuale Stängelverseuchung ergibt sich Abbildung 24. Hier ist die steigende Stängelverseuchung bei Zunahme der „Schwere“ des Bodens und steigender Intervalle hoher Bodenfeuchte innerhalb der einzelnen Bodenarten zu sehen.

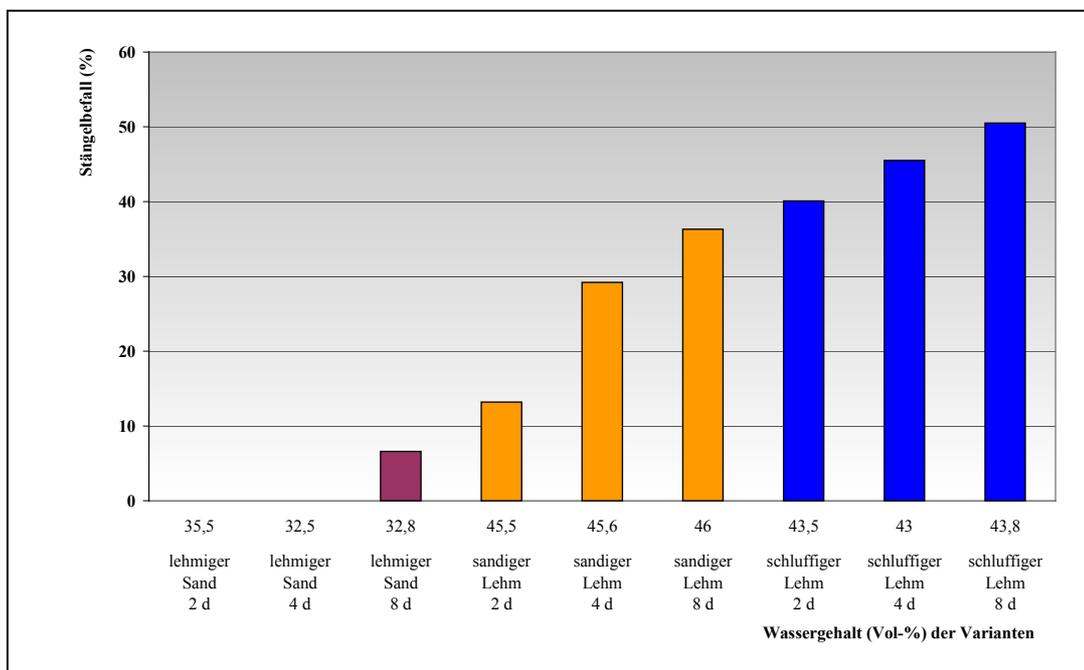


Abb. 24: Abhängigkeit des Stängelbefalles vom Wassergehalt (Vol-Prozent) der Varianten

Die Ergebnisse der statistischen Analyse werden unterteilt in die Übersicht aller Einflussfaktoren (Tab. 13), den Haupteffekt der Bodenart (Tab. 14) sowie den Haupteffekt des Bewässerungsintervalls (Tab. 15)

Tab. 13 : Übersicht aller Effekte

	FG Effekt	MQ Effekt	FG Fehler	MQ Fehler	F-Wert	p-Wert
Bodenart [1]	2	50.231,24	333	1.138,775	44,10990	0,000000
Bewässerungsintervall [2]	2	5.901,35	333	1.138,775	5,18220	0,006077
Wechselwirkung [1x2]	4	1.225,70	333	1.138,775	1,07634	0,368108

Tab. 14 : Haupteffekt der Bodenart

	Summe d. Quadr.	FG	Mw. Quadr.	F-Wert	p-Wert
Effekt	100.462,5	2	50.231,24	44,10990	0,000000
Fehler	379.212,0	333	1.138,77		

Tab. 15 : Haupteffekt des Bewässerungsintervalls

	Summe d. Quadr.	FG	Mw. Quadr.	F-Wert	p-Wert
Effekt	11.802,7	2	5.901,354	5,182196	0,006077
Fehler	379.212,0	333	1.138,775		

Das führt zu folgender Interpretation:

- Die Wechselwirkung zwischen Faktor „Bodenart“ und Faktor „Bewässerungsintervall“ ist vorhanden, jedoch sehr schwach.
- Der größte Effekt auf den Befall ist durch den Faktor „Bodenart“ gegeben, der im wesentlichen linear (!) auf die abhängige Größe (Stängelbefall) einwirkt (Abb. 25).

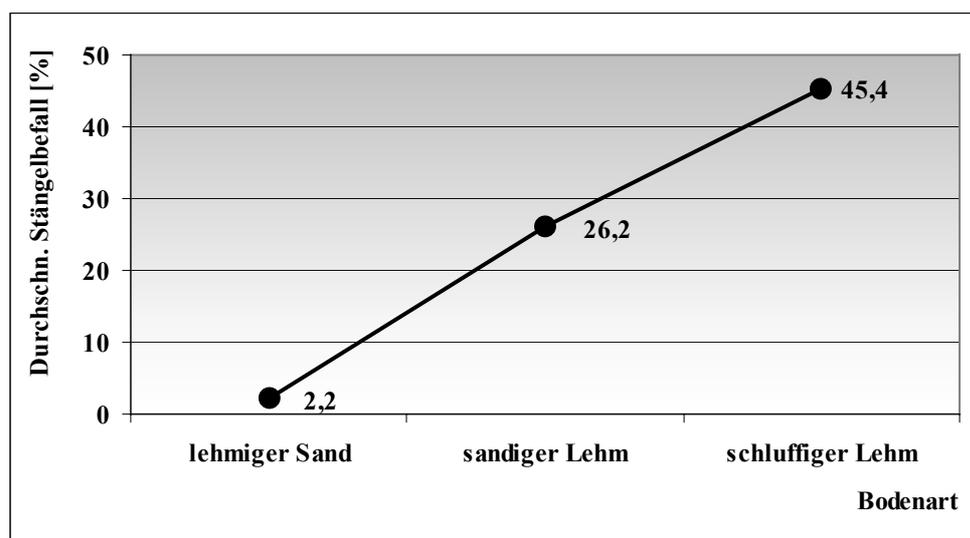


Abb. 25: Einfluss der Bodenart auf den durchschnittlichen Stängelbefall

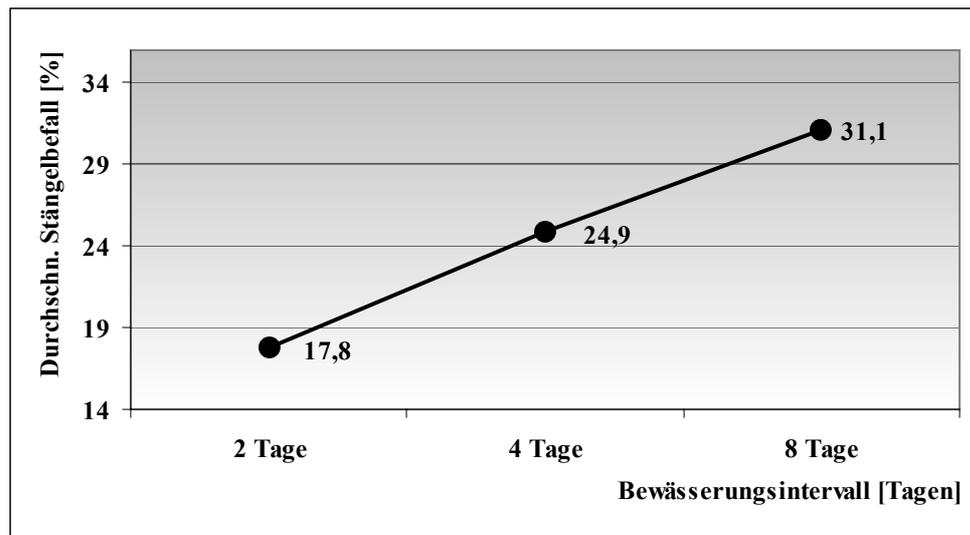


Abb. 26: Einfluss des Bewässerungsintervalls auf den durchschnittlichen Stängelbefall

- Der Faktor „Bewässerungsintervall“ (Abb. 26) hat einen minder starken Einfluss, der jedoch hochgradig nichtlinear ist (Sättigungsphänomen).
- Beide Effekte sind hochgradig signifikant.
- Die Wahrscheinlichkeit einer Fehlinterpretation der Ergebnisse ist sehr klein (siehe p-Werte).

4 Pflanzgutbeizung im Feldversuch

4.1 Literatur zur Bekämpfung der Krautfäule durch eine Knollenbehandlung

Die Idee einer Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule an der „Flaschenhalssituation“ Pflanzgut wurde von JENSEN schon im 19. Jahrhundert vorgeschlagen. Er setzte dabei die frisch geernteten, kranken Knollen für vier Stunden einer Temperatur von etwa 50°C aus. An so behandelten Knollen entwickelten sich keine Sporangienträger mehr, während die unbehandelten viele Träger entwickelten. Das Mycel scheint also durch das Erwärmen abgetötet worden zu sein.

Außerdem wurde versucht, den Pilz im Boden unschädlich zu machen. Man wollte die Ausbreitung des Erregers im Boden von einer Knolle zur anderen verhindern. Zu diesem Zweck setzte man dem Boden Sublimat [=Quecksilber(II)-chlorid], arseniksaures Kali, Kupfervitriol, Kupferkalkbrühe, Schwefel oder Gips zu. Die drei erstgenannten sollen dabei gut gewirkt haben. Trotzdem war es ausgeschlossen, dass diese Mittel eine ausgedehntere Verwendung finden konnten, da ihre hohe Toxizität und die beträchtlichen Kosten sie von vornherein für den weiten Praxisgebrauch ausschlossen (APPEL, 1928). HÄNNI (1949) weist deshalb auf die „desinfizierende“ Wirkung von trockener Zugluft auf die Knollenoberfläche hin.

KOLBE (1986) schildert Maßnahmen zur Vermeidung der Krankheit im 19. Jahrhundert, nach denen die Knollen vor dem Pflanzen in eine Lösung von Kalk, Kupfervitriol und Seesalz getaucht werden sollen. Daneben wird auch die Bestreuung der Felder mit dieser Präparatmischung zur Eindämmung der Krankheit empfohlen. Zu vermerken bleibt nach KOLBE auch, dass bereits Klünne -ein Kaufmann aus Wesel- im Jahre 1846 die Kartoffelbeizung mit Kupfervitriol zur Behandlung der Kartoffelkrankheit empfohlen hatte.

Bei der Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule wurde von BHATIA (1983) neben den Standardfungiziden Mancozeb, Captafol und Chlorothalonil auch der Wirkstoff Metalaxyl eingesetzt. Das systemische Fungizid Metalaxyl (Ridomil) war dabei sowohl bei Blatt- als auch bei der Bodenapplikation (vor dem letzten Häufeln) in der Lage, die Krautfäule der Sorte „Katahdin“ effektiv zu unterdrücken. Die geernteten Knollen wurden anschließend hinsichtlich ihres Präparatrückstandes untersucht. Während bei den drei Standardfungiziden keine Beobachtung bezüglich der Unterdrückung des Pilzes gemacht werden konnte, zeigten Knollen der metalaxylbehandelten Varianten eine vollständige Verhinderung von Wachstum und Entwicklung des Pilzes. Dies erklärt

der Autor durch die Präsenz einer fungiziden Substanz (= Metalaxyleinlagerung) in den Knollen. Zusätzliche Versuche erbrachten das Ergebnis, dass die fungizide Potenz innerhalb der ganzen Knollen gleichmäßig verteilt war. Darüber hinaus wird berichtet, dass dieser Effekt bei Lagerung zwischen 5 und 20°C über einen Zeitraum von 110 Tagen anhielt. Bei hohen Aufwandmengen wurde zudem die Keimruhe früher gebrochen, die Knollen keimten zeitiger und entwickelten mehr Triebe je Knolle.

HARTILL (1980) setzte zur erfolgreichen Kontrolle der Kraut- und Knollenfäule neben Metalaxyl (als WP-Formulierung) auch weitere Acylalanin-Analoga ein. Er verglich dabei auch die Formen der Spritzapplikation mit einer Pflanzgutbehandlung vor dem Legen. Dabei wurde das Pflanzgut solange mit einer Suspension von Fungizid und Methylcellulose (2 %) besprüht, bis die Knollenoberfläche keine weitere Flüssigkeit mehr halten konnte (run-off). Nach einer Trocknung der Knollen an der Luft wurden diese ausgepflanzt. Der Autor führt an, dass der Ertrag von verkaufsfähiger Ware bei herkömmlicher Spritzapplikation und Pflanzgutbehandlung gleich groß war.

Die in den USA weit verbreitete Praxis des Schneidens von Pflanzgut stellt die Landwirte dort vor die Problematik der Verschleppung von *Fusarium*-, *Rhizoctonia*-, und *Phytophthora infestans*-Populationen. In einem Versuch von INGLIS et al. (1999) wurde eine Wirkstoffkombination gegen die beiden erstgenannten Erreger um den Kontaktwirkstoff Mancozeb erweitert, welcher die Ausbreitung der Krautfäule verhindern sollte. Die so behandelten Varianten zeigten neben einem einheitlicheren Feldaufgang (weniger Fehlstellen) später auch einen gleichmäßigeren Habitus der Kartoffelstauden.

ROWE (1982) verglich die fungizide Potenz von Metalaxyl und einem systemischen Vergleichsprodukt (RE26745) bei Furchenbehandlung während des Legevorganges. Verbunden mit zwei anschließenden Spritzapplikationen mit dem Versuchsmittel konnte eine Krankheitskontrolle über die ganze Vegetationsperiode hinweg erreicht werden, während der Wirkstoff Metalaxyl „etwas weniger effektiv war“.

1988 publizierten STACHEWICZ und BURTH einen Beitrag zur Beizung von Pflanzkartoffeln mit Metalaxyl gegen *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Darin werden Modellmethoden vorgestellt, mit denen die Wirkung der Beizung unter Labor- und Freilandbedingungen ermittelt werden kann. Die Ergebnisse zeigen, dass der Anteil braunfauler Knollen bei Beizung bis 24 Stunden nach einer künstlichen Infektion deutlich gesenkt werden kann. Die Beizung schützt auch die Keimanlagen von bereits an Braunfäule erkrankten Knollen und verringert die Anfälligkeit des Kartoffelkrautes

gegenüber dem Erreger bis zu 70 Tage nach der Pflanzung. In der Beizung sehen die Autoren eine Möglichkeit, die Lagerverluste zu senken und über eine Reduzierung von Primärherden sowie über eine verminderte Krautfäule-Anfälligkeit einen Einfluss auf den Epidemieverlauf auszuüben.

ADLER (2000) empfiehlt zur Verzögerung des latenten sowie des sichtbaren primären Stängelbefalles in Risikojahren den Einsatz von systemisch wirkenden Spritzmitteln bei der ersten Applikation – möglichst noch vor dem Reihenschluss. Des weiteren berichtet sie davon, dass eine Verminderung der Anzahl latent befallener Stängel und eine Verzögerung des sichtbaren Befallsauftretens durch eine Beizung der Pflanzkartoffeln (Tauchverfahren vor dem Legen) mit den Produkten Ciluan und Ridomil Gold MZ erreicht werden konnte.

4.2 Material und Methoden

4.2.1 Standorte und Vorarbeiten

Standort 2000

Der Freilandversuch des Jahres 2000 wurde auf dem Versuchsgut Scheyern durchgeführt. Der Boden besteht aus sandigem Lehm und hat eine Ackerzahl von 55. In diesem Gebiet fallen jährlich Niederschläge in Höhe von durchschnittlich 900 mm.

Standort 2001 und 2002

Die Freilandversuche der Jahre 2001 und 2002 wurden auf dem Versuchsgut Dürnast angelegt. Der Boden ist ebenfalls aus sandigem Lehm aufgebaut und wird mit der Ackerzahl 65 bewertet. Die durchschnittliche Niederschlagsmenge erreicht pro Jahr Werte zwischen 750 und 800 mm.

Um statistisch absicherbare Ergebnisse zu bekommen, wurde mit einem Stichprobenumfang von $n=84$ Pflanzen je Parzelle gearbeitet. Bei drei Wiederholungen konnten jeweils 252 Pflanzen je Variante ausgewertet werden.

Als Versuchsanlage wurden vollständig randomisierte Blockanlagen gewählt, wobei die einzelne Parzellengröße ca. 21 m² betrug.

Der Versuch des ersten Jahres wurde in Scheyern mit einer halbautomatischen Legemaschine gepflanzt. In den beiden Folgejahren wurde die Freilandfläche zuerst ausgewinkelt und anschließend mit einem Zwischenachshäufelkörper und einem Spurengerät ein feines Gitter in die Bodenoberfläche gezogen. In die Kreuzpunkte wurde dann jeweils eine Knolle per Hand abgelegt. Nach dieser Tätigkeit konnten mit dem Zwischenachshäufelkörper die Dämme geschlossen werden.

Sortenwahl

Für die dreijährigen Freilandversuche fand durchweg die Sorte „Agria“ Verwendung. Es wurde nur Pflanzgut der Kategorie „Zertifiziertes Pflanzgut“ eingesetzt. „Agria“ ist eine Sorte, die der mittelfrühen Reifegruppe angehört. Sie hat infolge ihrer guten Verwertbarkeit für den Frischmarkt (gute Speisequalität) und für die Veredelungsindustrie große Bedeutung erlangt.

Künstliche Infektion

Die künstliche Infektion des Pflanzgutes mit dem Erreger der Kraut- und Knollenfäule für die Freilandversuche wurde nach der bereits früher beschriebenen Methode durchgeführt. Bis auf jeweils eine gesunde Kontrolle wurden alle Varianten der Versuche mit dem Pathogen geimpft.

Behandlung bis zur Beizung

Im Anschluss an die Inokulationsmaßnahme wurden die Knollen im ersten Versuchsjahr unter folgenden Bedingungen gelagert:

- ⇒ 07. April bis 19. April im Institut (Klimakammer):
 - bei 15 °C
 - im Wechsel: 8 Stunden Licht und 8 Stunden Dunkel
 - hohe Luftfeuchte
- ⇒ 20. April bis 01. Mai in Scheyern (Lagerhalle):
 - bei 6 °C
 - im Dunkeln

In den Jahren 2001 und 2002 wurden die Knollen nach der künstlichen Inokulation für acht Tage bis zur Beizbehandlung in einer Klimakammer auf dem Versuchsgut Dürnast bei 15°C in Dunkelheit gelagert.

Infektionskontrolle

Vierzehn Tage nach der Inokulation konnte die Infektion überprüft werden. Dazu wurden zwanzig Knollen einer zufälligen Stichprobe gewaschen und desinfiziert. Mehrere Scheiben jeder Knolle wurden in Petrischalen mit feuchtem Filterpapier gelegt, welche die ersten vier Tage bei 8 °C bis 15 °C, anschließend bei 20 °C aufbewahrt wurden. Der Nachweis von *Phytophthora infestans* wurde durch mikroskopische Überprüfung geführt.

4.2.2 Beizung des Pflanzgutes und Versuchsanlage

Versuchsjahr 2000

Am Vormittag des 02. Mai 2000 wurde das Pflanzgut gebeizt. Die Knollen wurden dazu in Plastikbehältern, welche die Beizbrühe enthielten, gerollt. Nach einer kurzen Trocknungszeit wurden die Kartoffeln variantenweise in Säcke verpackt und bis zum Legen am Nachmittag in eine abgedunkelte Klimakammer bei 20 °C gestellt.

Dabei wurde bei den verwendeten Fungiziden eine an praxisübliche Spritzapplikationen angelehnte Menge für die Beizbehandlung berechnet.

In der Praxis werden im Sprühverfahren während des Legevorganges Fungizide gegen *Rhizoctonia solani* -dem Erreger der Wurzentöterkrankheit- auf die Knollen ausgebracht. Dieser Pflanzenschutz wird mit circa 60 l Wasser/ha durchgeführt. In Anlehnung an diese Praxis wurde bei der Beizung im Jahr 2000 von einem Volumen von 120 ml Beize pro 100 Knollen ausgegangen. Als Pflanzdichte wurden bei der Berechnung 40.000 Knollen/ha unterstellt.

In Tabelle 16 ist ein Ausschnitt der Varianten des ersten Versuchsjahres aufgeführt.

Tab. 16: Varianten und Wirkstoffe im Jahr 2000 (Ausschnitt)

Variante	Behandlung	Wirkstoffe und Konzentrationen/ha
1	Gesundkontrolle	- - -
2	Kontrolle [inok.]	- - -
3	Dithane Ultra WP [inok.]	1.350 g a.i. Mancozeb/ha
4	Acrobat Plus WG [inok.]	1.200 g a.i. Mancozeb + 180 g a.i. Dimethomorph/ha
5	DMM 1000 [inok.]	1.000 g a.i. Dimethomorph/ha
6	DMM 500 [inok.]	500 g a.i. Dimethomorph/ha
7	DMM 200 [inok.]	200 g a.i. Dimethomorph/ha
8	Curzate 60 WG [inok.]	1.700 g a.i. Mancozeb + 112,5 g a.i. Cymoxanil/ha
9	Ridomil Gold MZ [inok.]	1.280 g a.i. Mancozeb + 80 g Metalaxyl-M/ha
10	VM [inok.]	600g a.i. Versuchsmittel/ha

Versuchsjahr 2001

Der methodische Ansatz der Beizung wurde im Jahr 2001 aus Gründen der genaueren und vollständigen Aufbringung der Wirkstoffe auf die Knollenoberfläche abgeändert. Am 23. Mai 2001 konnten die Knollen kurz vor dem Legen mit den Wirkstoffen behandelt werden. Die Knollen jeder Variante wurden dazu im Innenhof der Versuchsstation Dürnast nebeneinander auf einer Folie ausgelegt. 252 Knollen nahmen somit eine Fläche von ca. 0,4 m². Die Fungizidbrühe wurde mittels eines Drucksprüher der Firma Gardena appliziert (Abb. 27). Nachdem die Hälfte des Volumens aufgesprüht und die Beize angetrocknet war, wurden die Kartoffeln von Hand umgedreht und auf der anderen Knollenseite mit dem Rest der Beize besprüht. Es ließ sich über diesen Weg ein gleichmäßiges Spritzbild erbringen, wobei die Wirkstoffmenge vollständig auf der Knollenoberfläche verteilt werden konnte. Die Varianten des zweiten Versuchsjahres sind in Tabelle 17 aufgeführt.

Tab. 17: Varianten und Wirkstoffe im Jahr 2001

Variante	Behandlung	Wirkstoffe und Konzentrationen/ha
1	Kontrolle [gesund]	- - -
2	Kontrolle [inok.]	- - -
3	Dithane Ultra WP [inok.]	1.350 g a.i. Mancozeb/ha
4	Ridomil Gold MZ [inok.]	1.280 g a.i. Mancozeb + 80 g Metalaxyl-M/ha
5	Ridomil Gold MZ + E-Poly.[inok.]	1.280 g a.i. Mancozeb + 80 g a.i. Metalaxyl-M/ha + 0,25 Vol-% E-Poly/ha
6	VM 2,5 [inok.]	150g a.i. Versuchsmittel/ha
7	VM 5,0 [inok.]	300g a.i. Versuchsmittel/ha
8	VM 10 [inok.]	600g a.i. Versuchsmittel/ha
9	Acrobat [inok.]	400 g a.i. Dimethomorph/ha

Versuchsjahr 2002

Im letzten Versuchsjahr wurden die Knollen auf dem Feld zwischen dem Legen und Zuhäufeln mit den Fungizidlösungen besprüht (Abbildung 27). Diese Applikation wurde wiederum mit Drucksprüher der Firma Gardena durchgeführt. In Tabelle 18 sind die Varianten des dritten Versuchsjahres zusammengefasst.



Abb. 27: Methode der Knollenbehandlung 2002

Tab. 18: Varianten und Wirkstoffe im Jahr 2002

Variante	Behandlung	Wirkstoffe und Konzentrationen/ha
1	Kontrolle [gesund]	- - -
2	Kontrolle [inok.]	- - -
3	Dithane Ultra WP [inok.]	1.350 g a.i. Mancozeb/ha
4	Fonganil [inok.]	80 g a.i. Metalaxyl-M/ha
5	Fonganil + E-Poly.[inok.]	80 g a.i. Metalaxyl-M/ha + 0,25 Vol-% E-Poly/ha
6	Fonganil + 1/2 E-Poly.[inok.]	80 g a.i. Metalaxyl-M/ha + 0,125 Vol-% E-Poly/ha
7	VM 10 [inok.]	600g a.i. Versuchsmittel/ha
8	VM 10 + Curzate 60 WG [inok.]	600g a.i. Versuchsmittel/ha + 1.700 g a.i. Mancozeb/ha + 112,5 g a.i. Cymoxanil/ha
9	Fonganil + DMM [inok.]	80 g a.i. Metalaxyl-M/ha + 400 g a.i. Dimethomorph/ha
10	Fonganil + DMM + E-Poly. [inok.]	80 g a.i. Metalaxyl-M/ha + 400 g a.i. Dimethomorph/ha + 0,25 Vol-% E-Poly

4.2.3 Erfassung der Witterungsdaten

Die Witterungsdaten während der Vegetationsperioden wurden von Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes aufgezeichnet, welche in einer Entfernung von ca. 500 m von den Versuchsfeldern stehen. Die Wetterstationen zeichnen die Daten in einem zehnminütigen Intervall auf und ermittelten daraus die Stundendurchschnittswerte. Für die Versuche waren die Lufttemperatur (gemessen in 200 cm Höhe), und die Niederschlagsmenge entscheidend.

4.2.4 Bonituren

Zur Beurteilung des Krankheitsverlaufes wurden die Freilandversuche ab dem Auflaufen der Pflanzen in einem wöchentlichen Intervall bonitiert.

Der Auflauf wurde bestimmt, indem die Anzahl der aufgelaufenen Pflanzen zu den gelegten 252 Knollen einer Variante ins Verhältnis gesetzt wurde.

Der Stängelbefall konnte durch intensive Sichtbonitur auf Läsionen hin bonitiert werden. Dabei wurden alle Triebe jeder Kartoffelstaude wöchentlich untersucht, wobei eine Staude bereits als infiziert galt, wenn ein Trieb der Pflanze eine Nekrose aufwies. Das Verhältnis der befallenen Pflanzen zu den aufgelaufenen Stauden wurde in der Berechnung des Parameters Stängelinfection zugrundegelegt.

Die flächenmäßige Nekrosenbildung auf den Blättern wurde in jeder Parzelle geschätzt.

4.2.5 Detached-leaf-Test

Beim Detached-leaf-Test handelt es sich um ein Verfahren, mit welchem die Dauerwirkung der eingesetzten Beizmittel im Labor überprüft wird. Durch diese Maßnahme kann eine Sekundärinfektion der Blätter künstlich nachgestellt werden. Am 25. Juni 2000 wurden dazu Blattproben aus bestimmten Varianten des Beizversuches entnommen (Tab. 19).

Tab. 19: Varianten des Detached-leaf-Testes im Jahr 2000

Variante	Behandlung	Wirkstoffe und Konzentrationen/ha
2	Kontrolle [inok.]	- - -
9	Ridomil Gold MZ [inok.]	1.280 g a.i. Mancozeb + 80 g Metalaxyl-M/ha
10	VM 600 [inok.]	600g a.i. Versuchsmittel/ha
11	VM 300 [inok.]	300g a.i. Versuchsmittel/ha

Je Parzelle der genannten Varianten wurden 10 Blätter von verschiedenen Stauden entnommen. Der Stichprobenumfang belief sich somit auf 30 Wiederholungen je Variante. Bei den Proben handelte es sich um Fiederblätter, welche im Bereich bis 15 cm Pflanzhöhe gewachsen waren. Die Blätter wurden vom Stängel abgeschnitten und bis zum Eintreffen im Labor gekühlt. Dort angekommen wurde sofort mit der Inokulation begonnen. Die Versuchsblätter wurden in Zoosporenlösung getaucht, welche eine Konzentration von ca. 15.000 Zoosporen/ml enthielt. Die Blätter wurden direkt nach der Inokulation mit dem Pathogen in Petrischalen (9 cm Durchmesser) auf ein mit destilliertem Wasser befeuchtetes Filterpapier gelegt. Die Klimakammer wurde auf 12 Stunden Beleuchtung pro Tag programmiert. Der Detached-leaf-Test wurde ab dem Ansetzen des Versuchs bonitiert. Dabei kam folgendes Boniturschema für die nekrotisierte Blattfläche zum Einsatz (Tab. 20):

Tab. 20: Boniturschema der Blattflächennekrosen

Befallene Blattfläche	Blattflächennekrosen [prozentuale Erkrankung]
1	kein Befall
2	> 0 % bis einschl. 14,3 %
3	> 14,3 % bis einschl. 28,6 %
4	> 28,6 % bis einschl. 42,9 %
5	> 42,9 % bis einschl. 57,2 %
6	> 57,2 % bis einschl. 71,5 %
7	> 71,5 % bis einschl. 85,8 %
8	> 85,8 % bis einschl. 99,9 %
9	100 % Befall

Die Boniturergebnisse wurden anschließend zu einem Befallsindex je Variante zusammengezogen, welcher durch folgende Formel berechnet wurde:

$$\text{Befallsindex} = \frac{ix1 + jx2 + kx3 + mx5 + px6 + rx7 + yx8 + zx9}{n}$$

Dabei entsprechen die Buchstaben i, j, k, m, p, r, y, z der Probenanzahl pro Befallsstufe und n der Gesamtanzahl der untersuchten Proben.

4.2.6 PCR – Untersuchung

Durch die Polymerase Kettenreaktion sollte im Labor der Nachweis geführt werden, dass sich der Anteil latent infizierter Stängel durch eine Pflanzgutbeizung gegenüber der unbehandelten Kontrolle reduziert. Dazu wurden aus dem Freilandversuch vor dem ersten sichtbaren Befall Stängelproben entnommen. Die Wahrscheinlichkeit des Nachweises einer Sekundärinfektion war durch die Wahl des Entnahmeterrains sehr gering. Je ein Stängel pro Pflanze wurden aus den Varianten zwei, fünf, sechs und sieben entnommen und eingefroren (Tab. 21).

Tab. 21: Varianten zur Polymerase Kettenreaktion-Untersuchung (2000)

Variante	Behandlung	Wirkstoffe und Konzentrationen/ha
2	Kontrolle [inok.]	- - -
5	DMM 1000 [inok.]	1.000 g a.i. Dimethomorph/ha
6	DMM 500 [inok.]	500 g a.i. Dimethomorph/ha
7	DMM 200 [inok.]	200 g a.i. Dimethomorph/ha

Die Probenaufbereitung sowie der Nachweis des Pilzes im Kartoffelgewebe erfolgte wie bereits bei den Stängeln des Gewächshausversuches beschrieben.

4.2.7 Ertragsbestimmungen

Zur Bestimmung des Variantenertrages wurden die Parzellen nach der Abreife der Stauden mit einem Schwingsiebender geerntet und von Hand aufgelesen. Die anschließende Gewichtsbestimmung der Parzellen konnte mit einer mobilen Tischwaage durchgeführt werden. Durch die Aufaddierung der drei Wiederholungen konnte der Parzellenertrag in Kilogramm ermittelt werden.

4.2.8 Statistische Auswertung

Die statistische Verrechnung der gesammelten Daten für die Pflanzgutbeizung wurde mit dem EDV-Programm „SPSS“ für Windows, Version 11.0 für Windows NT durchgeführt. Zum Vergleich zwischen den Gruppen wurden die Werte auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) unterzogen.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Versuchsjahr 2000, Standort Scheyern

4.3.1.1 Witterung und wichtige Ereignisse

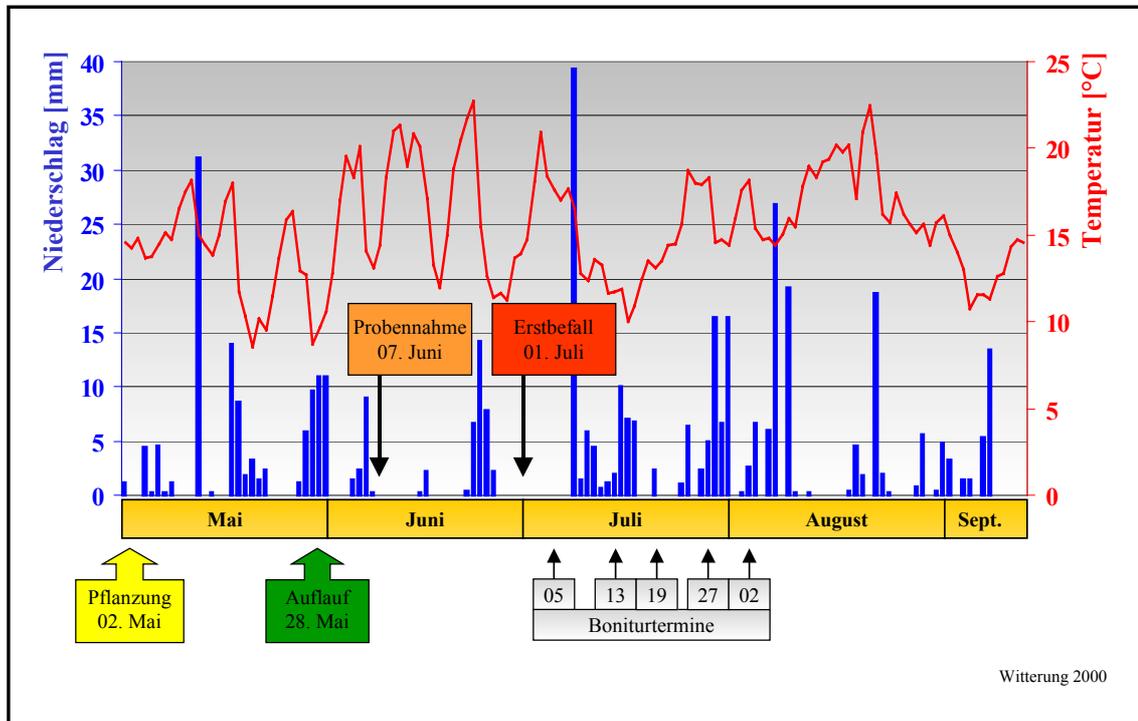


Abb. 28: Witterung und wichtige Ereignisse am Versuchsstandort Scheyern (2000)

Der ersten Vegetationsperiode der Freilandversuche ging ein außergewöhnlich warmer April voraus, bei welchem zwei Grad wärmere Temperaturen als im langjährigen Durchschnitt und nur achtzig Prozent des langjährigen Niederschlages gemessen wurden. An den ersten Tagen des Mais setzte sich die warme Witterung des letzten Aprildrittels fort, welche durch gelegentliche Regenschauer und Gewitter unterbrochen wurde. Am 02. Mai wurde der Freilandversuch angelegt. Heftige Unwetter mit örtlichen Überflutungen sorgten am Abend des 12. Mai für beträchtliche Regenmengen. Am Standort Scheyern wurden bei diesem Ereignis 31,2 Liter Niederschlag je Quadratmeter erreicht. Nach erneut teilweise heftigen Gewittern und ergiebigen Regengüssen am 17. und 18. Mai stellte sich in den Folgetagen unbeständige und deutlich kühlere Witterung ein. Nur kurzzeitig wurde es zwischen dem 23. und 25. Mai wieder freundlicher und wärmer, bevor sich an den letzten Tagen des Monats wieder

unbeständiges und nur mäßig warmes Wetter einstellte. Zum 28. Mai liefen die Kartoffeln des Feldversuches auf.

Im Juni herrschte anfangs sonniges und trockenes Hochdruckwetter, welches die Temperaturen rasch auf Werte nahe 30 Grad ansteigen ließ. Vom 04. bis 06. Juni erhöhte sich die Bodenfeuchte infolge einiger Regenschauer und läutete einen kurzzeitig kühleren Witterungsabschnitt ein. Die Stängelproben zur Polymerase Kettenreaktion-Untersuchung konnten am 07. Juni entnommen werden. Nach einer erneut hochsommerlichen Phase mit Temperaturen über 30 Grad sorgten wiederholte Gewitter ab dem 13. Juni für spürbare Abkühlung. Der Juni wurde dann nochmals in der Zeit vom 21. bis 25. von Regenschauern begleitet, wobei es mit nächtlichen Tiefsttemperaturen bis 5 Grad ungewöhnlich frisch wurde. Zum Monatsende stellte sich wieder sonniges und wärmeres Hochdruckwetter ein.

Fast der gesamte Juli wurde von einer unbeständigen und überwiegend kühlen Wetterlage geprägt, welche für die Ausbreitung der Krautfäule sehr förderlich war. Lediglich in der ersten Juliwoche herrschte bei Temperaturen bis über 25 Grad noch sommerliches Wetter. Mit einem Regenereignis von 39,4 Litern je Quadratmeter am 07. Juli begann eine lange Phase niederschlagsreicher und kühler Witterung, welche ab dem 20. Juli nur kurz von einer dreitägigen Schönwetterperiode unterbrochen wurde.

Wie schon der Vormonat wurde auch das erste Augustdrittel überwiegend von unbeständiger und relativ kühler Witterung geprägt, was vielerorts den Krautfäulebefall noch weiter ansteigen ließ. Ab dem 11. August erfolgte dann ein Wetterumschwung, welcher bis zum 17. August sonniges und hochsommerlich warmes Hochdruckwetter mit sich brachte. In den letzten Tagen stellte sich dann erneut wechselhaftes Wetter mit gelegentlichen Regenfällen ein, wobei sich die Temperaturen mit 20 bis 25 Grad allmählich der fortgeschrittenen Jahreszeit anpassten.

Der Septemberanfang war von unbeständigem Wetter mit häufigen Niederschlägen gekennzeichnet. Mit Temperaturen zwischen 13 und 18 Grad blieb es bis zum 08. September herbstlich kühl. In der daran anschließenden Schönwetterperiode konnten die Kartoffeln schließlich geerntet werden.

4.3.1.2 Auflauf

Der Freilandversuch am Standort Scheyern konnte am 28. Mai 2000 hinsichtlich des Auflaufes bonitiert werden. Vergleicht man die beiden linken Balken der Abbildung 29, so stellt sich eine Abnahme des Auflaufes bei der inokulierten Kontrolle gegenüber der gesunden Kontrolle von sieben Prozent infolge der künstlichen Infektion dar. Mit dem verwendeten Isolatgemisch war es möglich, die Pflanzknollen latent mit *Phytophthora infestans* zu impfen, ohne die inokulierten Varianten in ihrem Auflauf in gravierender Form zu beeinträchtigen.

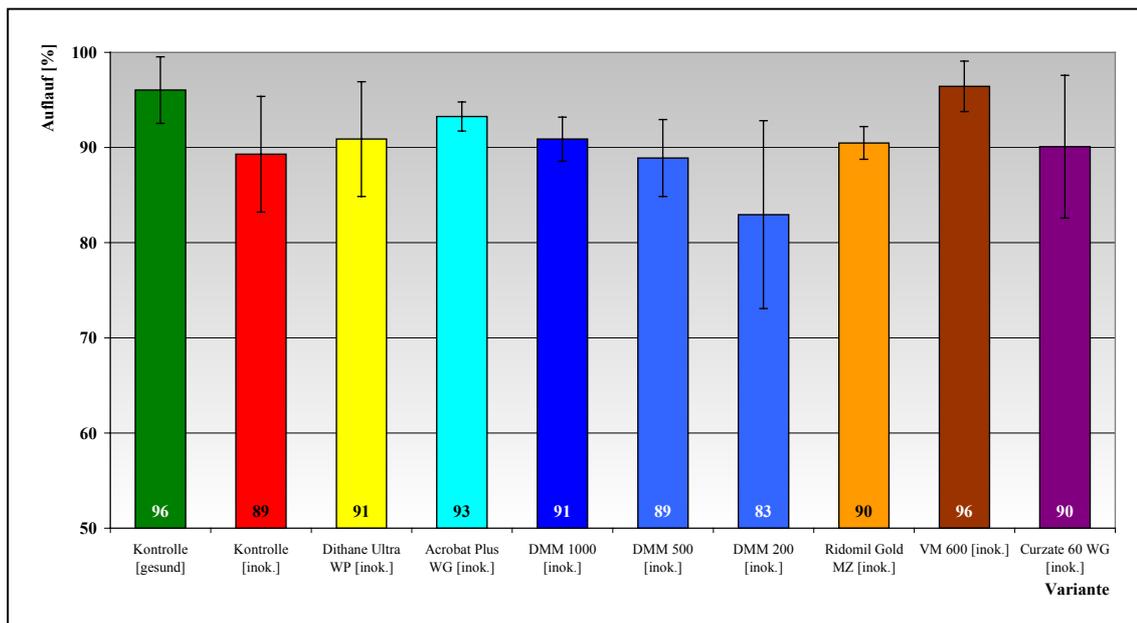


Abb. 29: Auflauf der Varianten am Versuchsstandort Scheyern (2000)

Bei einer Betrachtung der Varianten rechts der roten Kontrolle konnte mit der Fungizidbehandlung der Auflauf bis auf die beiden niedrig dosierten Dimethomorph-Varianten über das Niveau der Kontrolle angehoben werden. Besonders die Kombination aus Dimethomorph und Mancozeb war bei dem Produkt Acrobat Plus WG in der Lage die Anzahl der aufgewachsenen Pflanzen auf 93 Prozent anzuheben. Spitzenreiter in diesem Merkmal war allerdings ein systemisches Versuchsmittel, welches sogar die 96 Prozentmarke der gesunden Kontrolle erreichte. Bei steigender Aufwandmenge des Produktes Dimethomorph konnte der Auflauf erhöht werden. Die Abnahme des Auflaufes der Variante Dimethomorph 200 unter die inokulierte Kontrolle kann nicht mit einer Phytotoxizität erklärt werden, da diese Variante den geringsten Wirkstoffanteil beinhaltete.

Für das erste Freilandjahr konnten keine statistischen Unterschiede beim Merkmal „Auflauf“ berechnet werden.

4.3.1.3 Ergebnisse der PCR-Untersuchung

Im Labor wurden die gezogenen Stängelproben des 07. Juni hinsichtlich ihres latenten Befalles durch *Phytophthora infestans* untersucht. Es ergaben sich die in Tabelle 22 dargestellten Werte.

Tab. 22: Ergebnisse der Polymerase Kettenreaktion-Untersuchungen (2000)

Variante	Wiederholung	Probenanzahl	Stängelinfektion (prozentual)
Kontrolle [inok.]	1. Wdh	30	60,0
	2. Wdh	30	20,0
	3. Wdh	30	33,3
DMM 1000 [inok.]	1. Wdh	30	3,3
	2. Wdh	30	3,3
	3. Wdh	30	0,0
DMM 500 [inok.]	1. Wdh	30	0,0
	2. Wdh	30	0,0
	3. Wdh	30	0,0
DMM 200 [inok.]	1. Wdh	30	0,0
	2. Wdh	30	3,3
	3. Wdh	30	10,0

Die inokulierte Kontrolle unterschied sich statistisch von den behandelten Varianten mit einer durchschnittlichen Verseuchung von 37,7 Prozent. An diesem Wert konnte die Inokulation nochmals überprüft werden. Der Befall von Variante DMM 1000 war mit 2,2 Prozent gegenüber der geringsten Aufwandmenge bei DMM 200 mit 4,4 Prozent Verseuchung geringer. Allerdings konnte sich die Aufwandmenge der Variante DMM 500 nicht erwartungsgemäß in der Mitte platzieren. Zwischen den behandelten Varianten ergaben sich keine statistischen Unterschiede.

4.3.1.4 Ergebnisse des Detached-leaf-Tests

Eventuelle Langzeitwirkungen der angebeizten Fungizide wurden im Rahmen eines Detached-leaf-Testes überprüft. Über dieses Verfahren konnte die Aufnahme und

Verteilung von Wirkstoffen durch die Pflanze nachgewiesen und über Sichtbonituren quantitativ bewertet werden. Die Resultate des Versuches in einer Klimakammer sind in Abbildung 30 dargestellt. Hierbei wurde der Krankheitsindex von allen Boniturterminen dargestellt.

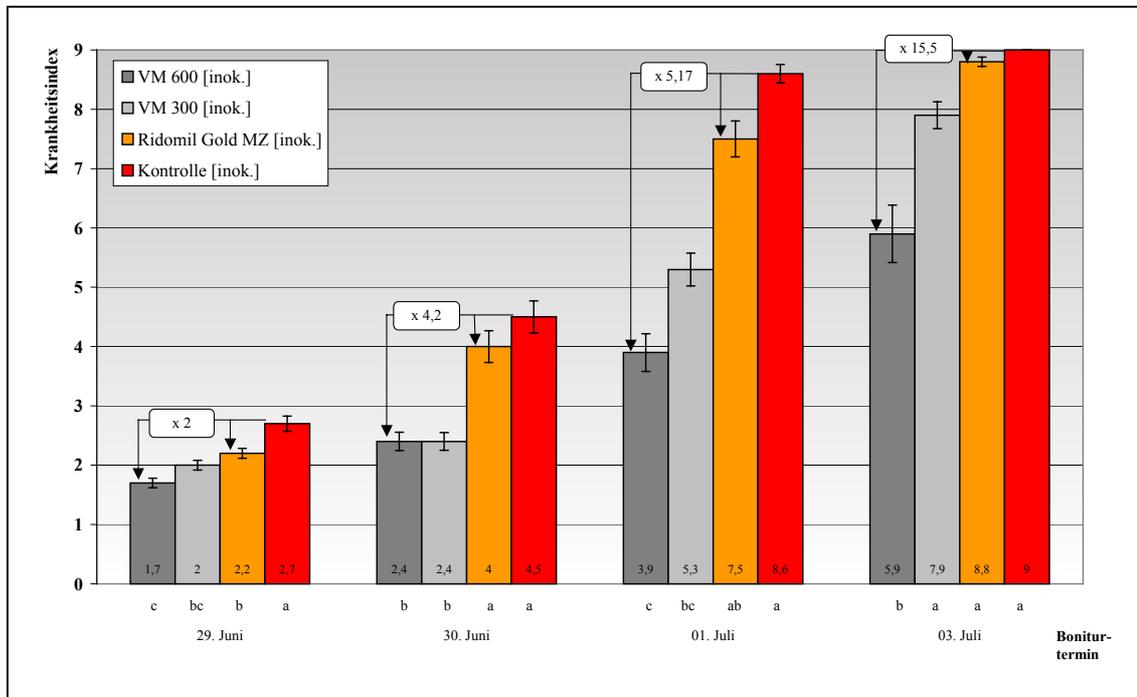


Abb. 30: Ergebnisse des Detached-leaf-Testes (2000)

Während des fünftägigen Boniturzeitraumes wurde eine Zunahme der Befallssituation über alle Varianten hinweg beobachtet. Die unbehandelte Kontrolle erreichte in jeder Bonitur die höchsten Werte. Demgegenüber konnte die hohe Konzentration des vollsystemischen Versuchsmittels durchweg den niedrigsten Befall verzeichnen. Am 29. Juni konnten drei statistische Untergruppen des Krankheitsindexes errechnet werden. Eine Trennung zwischen unbehandelter Kontrolle und behandelten Varianten war möglich. Die eingesetzten Fungizide ließen sich nochmals in die Untergruppe VM 300 mit Ridomil Gold MZ und die Untergruppe VM 600 aufteilen. Beim zweiten und dritten Boniturtag unterschied sich Ridomil Gold MZ nicht mehr von der unbehandelten Kontrolle. Zur Bonitur vom 03. Juli schließlich war nur noch die Variante VM 600 in der Lage, sich signifikant von allen anderen Varianten zu unterscheiden.

Bei einer Berechnung der Differenzen zwischen den Krankheitsindices von VM 600 zur Kontrolle und Ridomil Gold MZ zur Kontrolle (Pfeile in Abbildung 30) stellt sich ein höherer Wirkungsgrad des Versuchsmittels heraus. Während die Wirkung der Variante

VM 600 zum 29. Juni nur doppelt so groß war wie bei Ridomil Gold MZ konnte dieser Abstand bis zum 03. Juli mit einer fünfzehnfach besseren Wirkung gesteigert werden. Innerhalb der eingesetzten Beizen kristallisierte sich über alle Boniturtermine eine Zunahme der fungiziden Wirkung gegenüber dem Pathogen in der Reihenfolge Ridomil Gold MZ - VM 300 - VM 600 heraus.

4.3.1.5 Stängelbefall durch *Phytophthora infestans*

Kontrollvarianten

Im ersten Versuchsjahr trat der primäre Stängelbefall am 01. Juli in der inokulierten Kontrolle auf. Durch die Inokulation war es möglich gewesen, die Anzahl latent verseuchter Pflanzknollen des Freilandversuches zu erhöhen. In Abbildung 31 sind die beiden Kontrollvarianten aufgeführt.

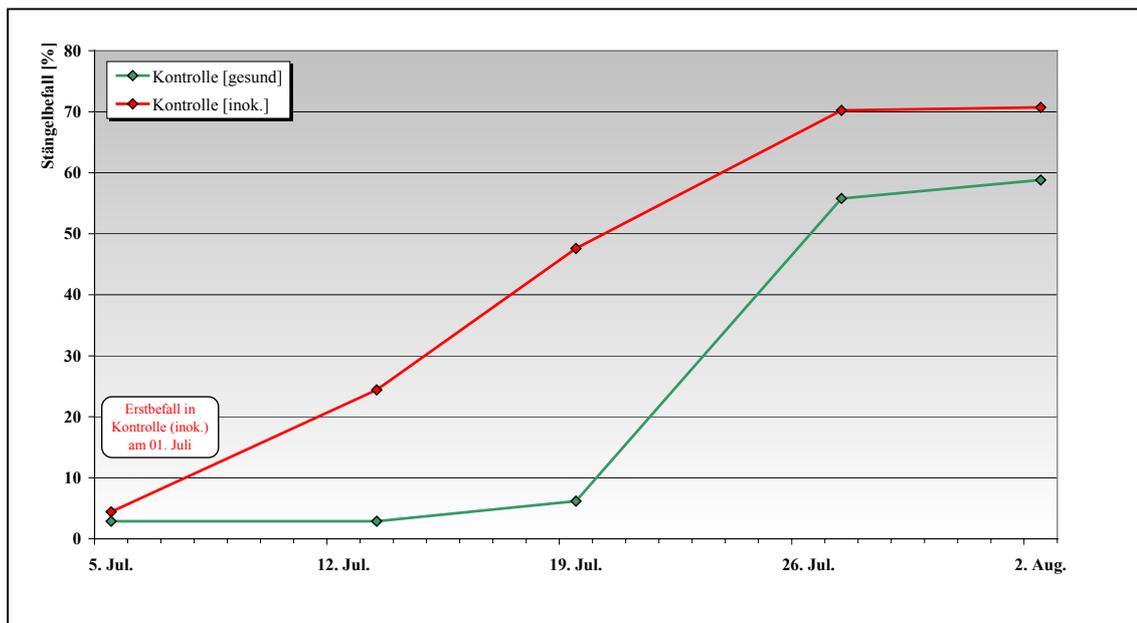


Abb. 31: Stängelbefall der Kontrollvarianten (2000)

Dabei ist neben der früheren Etablierung des Pilzes in der inokulierten Kontrolle auch ein stärkerer Anstieg der roten Kurve zu beobachten. Das Niveau der Stängelverseuchung lag in dieser Variante während des gesamten Boniturzeitraumes höher als in der gesunden Kontrolle.

Besonders in der regenreichen Periode Mitte Juli konnte sich der Pilz sehr massiv über Sekundärinfektionen ausbreiten und somit zum Boniturtermin vom 27. Juli auch in der gesunden Kontrolle einen Wert von über 55 Prozent befallener Stauden aufweisen. Bei der Berechnung von statistischen Unterschieden zwischen den Varianten an den

einzelnen Boniturtermine ist festzustellen, dass sich die inokulierte von der gesunden Kontrolle am 13., 19. und 27. Juli signifikant unterschieden hat.

Varianten der Dosissteigerung mit Dimethomorph

Mit dem Wirkstoff Dimethomorph wurde in drei Varianten eine Dosissteigerung durchgeführt. Ziel dieser Untersuchung war es, einen geringeren Stängelbefall durch *Phytophthora infestans* bei steigenden Wirkstoffmengen nachzuweisen.

DMM 1000 und DMM 500 konnten zur Bonitur vom 05. Juli den Stängelbefall vollständig unterdrücken (Abb. 32). Die geringste Dosierung des Wirkstoffes zeigte bereits einen Befall von 0,5 Prozent. Während der Befall in dieser Variante zum 13. Juli stagnierte, stieg der Stängelbefall bei DMM 500 auf 0,9 Prozent an. Die Variante DMM 1000 war auch zum 13. Juli noch vollständig befallsfrei. Gegenüber der unbehandelten Kontrolle brachte dies ein befallsfreies Zeitfenster von mindestens 13 Tagen mit sich. Bei steigenden Wirkstoffmengen war es somit möglich, einen geringeren Befall der Kartoffeltriebe durch das Pathogen nachzuweisen.

Es konnten keine statistischen Unterschiede zwischen den Dimethomorph-Varianten errechnet werden. Zu den mittleren drei Boniturterminen unterscheiden sich die behandelten Varianten aber signifikant von der unbehandelten Kontrolle.

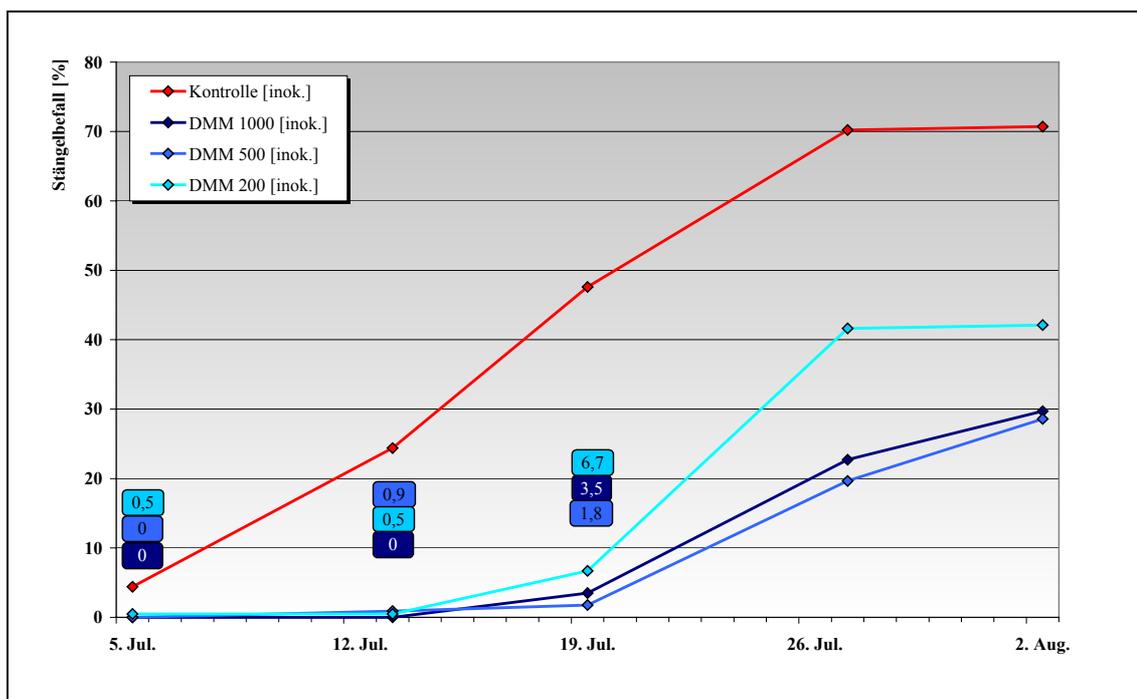


Abb. 32: Stängelbefall der Varianten Dimethomorph (Dosissteigerung) (2000)

Varianten verschiedener Wirkstoffarten

In Abbildung 33 sind die Befallsverläufe des Kontaktmittels „Dithane Ultra WP“, des lokalsystemischen Mittels „Acrobat Plus WG“ und des systemischen Mittels „Ridomil Gold MZ“ dargestellt. Der Vergleich von Fungiziden mit verschiedenen Wirkstoffarten erlaubt es, den hauptsächlichen Wirkungsort der Mittel festzustellen. Während der Wirkstoff Mancozeb bei Dithane Ultra WP in der Keimungsphase und dem Triebwachstum bis zur Bodenoberfläche lediglich das indirekte Infektionsgeschehen unterdrücken kann, sollte es dem systemischen Metalaxyl bei Ridomil Gold MZ -neben dem Eingriff auf Pathogenmaterial der Knollenoberfläche durch seinen Mancozebanteil- auch möglich sein, Pilzmaterial im Inneren des Kartoffelgewebes durch die Schale der Pflanzknolle hindurch zu bekämpfen. Somit könnte *Phytophthora infestans* auch der direkte Infektionsweg abgeschnitten werden. Tatsächlich sind die Varianten des systemischen Mittels auch noch am 19. Juli befallsfrei, was einen Anhaltspunkt für die Unterbindung des direkten Infektionsweges darstellt. Am 27. Juli lassen sich für Ridomil Gold MZ auch statistische Unterschiede zu den beiden anderen behandelten Varianten sowie zur Kontrolle berechnen. Alle drei Behandlungen unterscheiden sich darüber hinaus vom 13. bis 27. Juli von der unbehandelten Kontrollvariante.

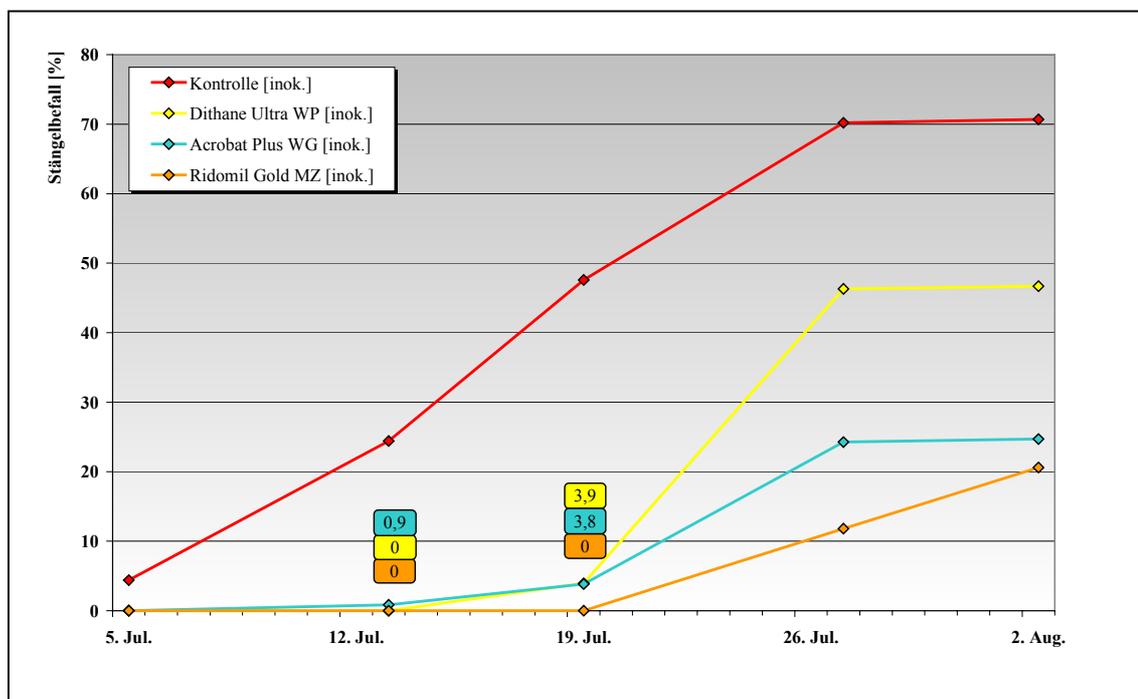


Abb. 33: Stängelbefall der Varianten verschiedener Wirkstoffarten (2000)

Varianten mit systemischen Wirkstoffanteilen

Die Überprüfung von Fungiziden mit systemischen Wirkstoffkomponenten wurde mit den Produkten Ridomil Gold MZ, Curzate 60 WG und einem Versuchsmittel durchgeführt (Abb. 34).

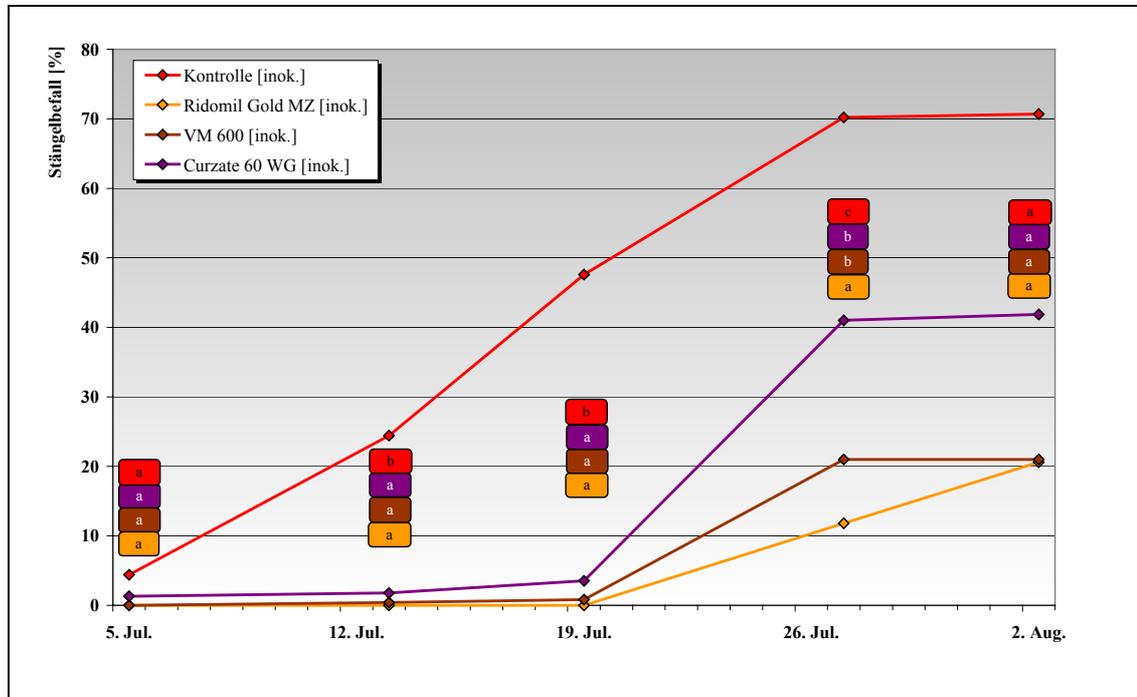


Abb. 34: Stängelbefall der Varianten systemischer Wirkstoffanteile (2000)

Das cymoxanilhaltige Curzate 60 WG war nicht in der Lage, den Auftritt des Primärbefalls zu verzögern. Bereits am 05. Juli waren 1,3 Prozent der Pflanzen vom Erreger befallen. Zum 13. Juli wies auch eine Pflanze des Versuchsmittels einen Stängelbefall auf. Bei der letzten befallsfreien Bonitur des Produktes Ridomil Gold MZ vom 19. Juli waren beim Versuchsmittel schon 0,8 und bei Curzate 60 WG bereits 3,5 Prozent der Kartoffelstauden befallen. Auffallend ist, dass es beim Versuchsmittel zwischen dem 27. Juli und 02. August zu keiner weiteren Krankheitszunahme kam. Dieser Umstand lässt auf eine hohe Persistenz des Produktes schließen.

Statistische Untergruppen der jeweiligen Boniturtermine sind in Abbildung 38 mit kleinen Buchstaben angegeben.

4.3.1.6 Blattbefall durch *Phytophthora infestans*

Neben dem Stängelbefall stellt der Blattbefall wegen der Vernichtung von Assimilationsfläche einen bedeutenden Parameter für die Beurteilung der fungiziden

Potenz der Beizen dar. Bei den erkrankten Blattflächen des Freilandversuches handelt es sich im wesentlichen um Nekrosen, welche durch *Phytophthora infestans* hervorgerufen wurden. Allerdings waren bei mikroskopischen Untersuchungen neben Sporangien der Krautfäule auch Erreger der *Alternaria*-Dürrfleckenkrankheit und *Colletotrichum*-Welkekrankheit sichtbar.

In Abbildung 35 ist die nekrotisierte Blattfläche der verschiedenen Varianten vom 13. Juli 2000 dargestellt.

Hier konnte bei verschiedenen Wirkstoffen Effekte bonitiert werden, welche eine Wurzelaufnahme von kontakt- und lokalsystemischen Mitteln vermuten lassen.

Die gesunde Kontrolle hatte zu dieser Bonitur 28 Prozent ihrer Assimilationsfläche eingebüßt. Die inokulierte Kontrolle hatte mit über einem Viertel befallener Stängel lokal ein viel höheres Inokulumpotential und war deshalb zum selben Zeitpunkt bereits bei einem Nekrotisierungsgrad von 65 Prozent angelangt. Auffallend ist, dass sich beim Blattbefall der Abstand zwischen dem Kontaktfungizid Dithane Ultra WP und dem lokalsystemischen Mittel Acrobat Plus WG nicht im selben Ausmaß wie beim Stängelbefall wiederfindet. Hier konnte Dimethomorph als Mischungspartner den Blattbefall noch deutlicher reduzieren. Während bei dem systemischen Produkt Curzate 60 WG fast das Niveau von Dithane Ultra WP erreichte, konnten Ridomil Gold MZ und das Versuchsmittel die Blattnekrotisierung erheblich besser eindämmen.

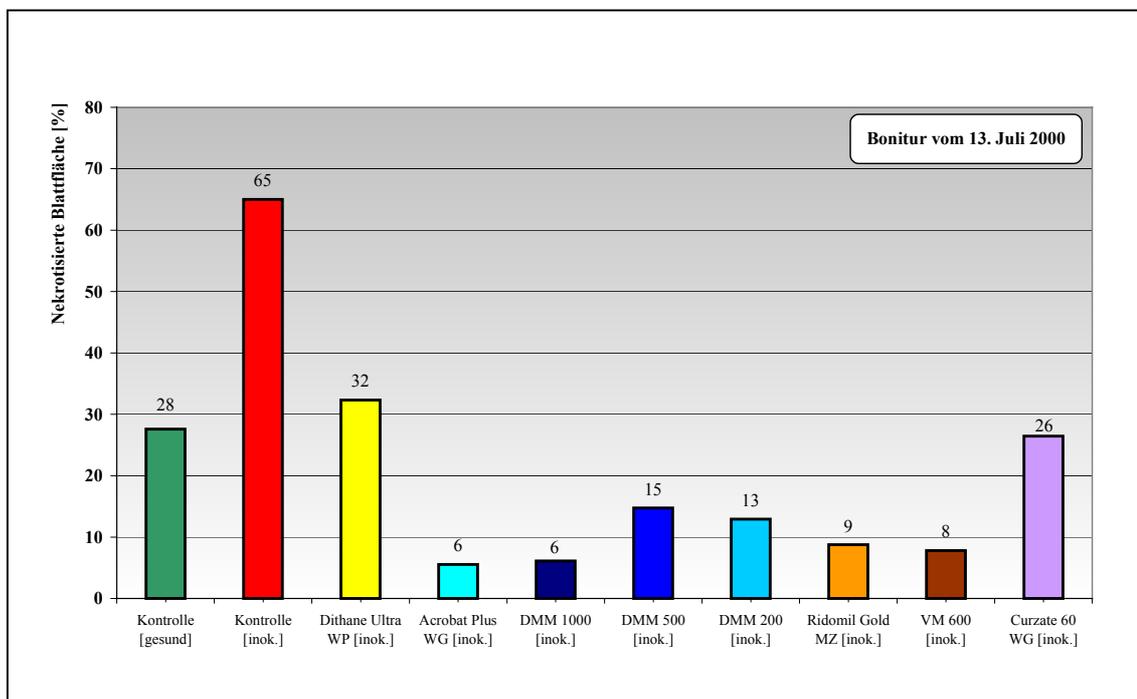


Abb. 35: Blattbefall vom 13. Juli 2000

Infolge einer mehrtägigen Niederschlagsphase erhöhten die gesetzten Sekundärinfektionen den Blattbefall innerhalb von sechs Tagen erheblich (Abb. 36). Nun wurde auch die gesunde Kontrolle im Blattapparat von *Phytophthora infestans* massiv befallen und erreichte einen Wert von 61 Prozent. Die inokulierte Kontrolle verfügte zum 19. Juli lediglich noch über 20 Prozent ihrer grünen Blattmasse.

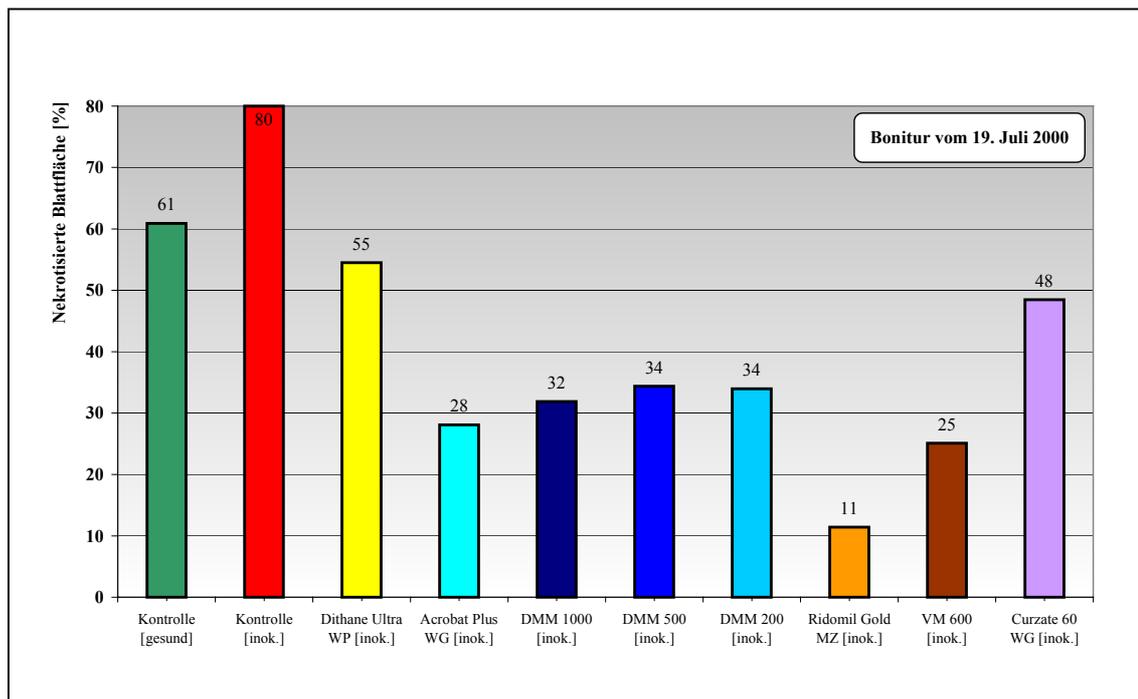


Abb. 36: Blattbefall vom 19. Juli 2000

Unter den behandelten Varianten kam es bis auf die Variante Ridomil Gold MZ zu Steigerungen der Befallsfläche von 19 bis 26 Prozent. Die Variante Ridomil Gold MZ erhöhte sich nur um drei Prozentpunkte und war in der Blockanlage des Freilandversuches nunmehr deutlich in Form „grüner Inseln“ zu erkennen.

4.3.1.7 Ertragsbestimmung 2000

Zum Abschluss des ersten Freilandjahres wurden die Versuchsanlage gerodet und mittels einer Feldwaage die Ertragsleistungen der Varianten bestimmt. Dabei konnten die Variantenerträge in Abbildung 37 ermittelt werden.

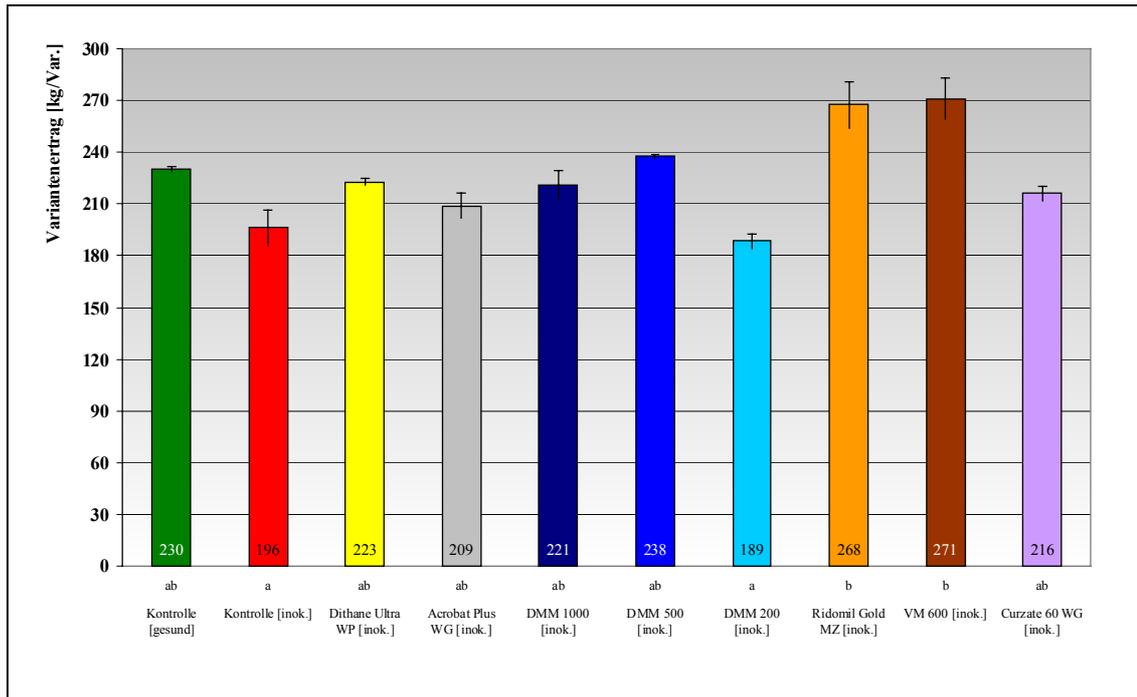


Abb. 37: Ertragsdaten vom Versuchsstandort Scheyern (2000)

Das Befallsgeschehen von *Phytophthora infestans* im Stängel- und Blattbereich während der Vegetationsperiode konnte sich bis auf den Ertrag der verschiedenen Varianten durchschlagen. Von den Varianten der inokulierten Kontrolle und Dimethomorph 200 konnten nur 196 bzw. 189 Kilogramm geerntet werden. Die beiden Varianten lassen sich auch statistisch von den Varianten Ridomil Gold MZ und dem Versuchsmittel unterscheiden. Bei den Varianten der Dosissteigerung mit dem Wirkstoff Dimethomorph konnte die Variante Dimethomorph 500 nicht mit der Tendenz abnehmender Erträge bei geringerer Dosierung einhergehen.

Trotz allem überraschte die geernteten Kartoffelmengen einiger behandelten Varianten, da in der gesamten Vegetationsperiode nur einmal Fungizid mit der Aufwandmenge einer herkömmlichen Spritzungen als Beizapplikation verwendet wurde.

4.3.2 Versuchsjahr 2001, Standort Dürnast

4.3.2.1 Witterung und wichtige Ereignisse

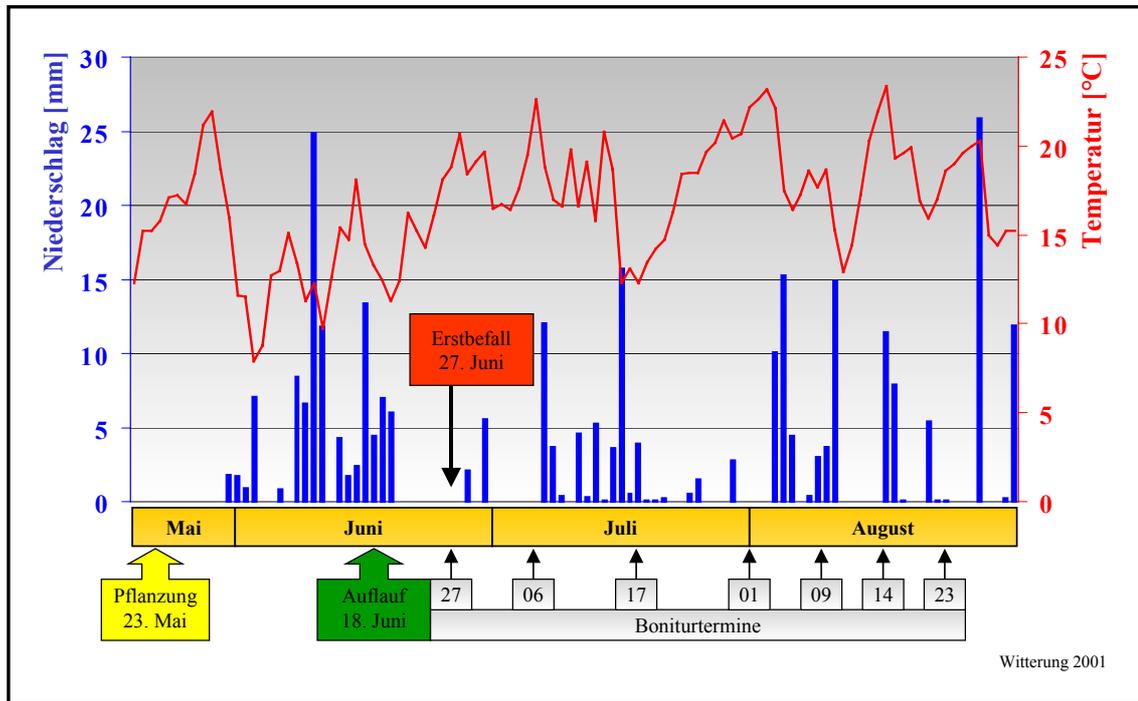


Abb. 38 : Witterung und wichtige Ereignisse am Versuchsstandort Dürnast (2001)

Nach der extremen Nässe der Vormonate stellten sich im Mai längere Schönwetterperioden ein. Nach dem Durchzug eines Tiefausläufers zwischen dem 14. und 18. Mai konnte der Feldversuch des zweiten Untersuchungsjahres am 23. Mai auf einer Fläche des Versuchsgutes Dürnast gelegt werden (Abb. 38). Bis zum Monatsende herrschte ein kräftiges Hochdruckgebiet, welches einen raschen Temperaturanstieg zur Folge hatte.

Der Monat Juni war bis weit über die Monatshälfte hinaus von unbeständiger und meist sehr kühler Witterung geprägt. So gab es während dieser Zeitspanne teilweise ergiebige Regenfälle, welche für einen deutlichen Anstieg des Bodenwassergehaltes verantwortlich waren. Vor allem am 10./11. und 16. Juni war die Fläche des Versuches infolge der Staunässe unbefahrbar. Eine anschließende Hochdruckwetterlage ließ die Temperaturen allmählich Richtung 25 Grad ansteigen. Am 27. Juni konnte dann der erste Primärbefall in der unbehandelten Kontrolle bonitiert werden. Ab dem 28. Juni war die schöne Witterung von gelegentlichen Gewittern begleitet.

Der Juli wurde von mehreren Tagen mit trockenem Hochdruckwetter und steigenden Temperaturen eingeleitet. Am 07. Juli läutete eine Schlechtwetterfront einen Wetterwechsel mit niederschlagsreicher Witterung bei kühleren Temperaturen ein.

In diesem Zeitraum konnte sich *Phytophthora infestans* über Sekundärinfektionen massiv im Versuchsfeld etablieren. Erst im letzten Drittel des Monats setzte sich wieder sommerliches Hochdruckwetter durch. Diese Phase wurde nur noch von gelegentlichen Gewittern mit etwas Niederschlag unterbrochen.

Zum Monatsanfang herrschte auf der Versuchsfläche sonniges und sehr heißes Wetter, wobei die Temperaturen über die 30 Grad-Marke anstiegen. Bereits am 03. August wurde diese Periode aber mit einem starken Gewitter beendet. In der Folge blieb es unbeständig mit zeitweisen Regenfällen und mäßigen Temperaturen. Nach einem Hochdruckeinfluss vom 11. bis 15. August mit den höchsten Temperaturen des Sommers ging die Witterung wieder mit wechselhaftem Geschehen weiter. Die Niederschlagsmengen waren dabei allerdings öfter gering. Ein Tiefausläufer brachte am 27. August nochmals Wassermengen von über 25 Litern je Quadratmeter. Der August endete mit weiteren Regenfällen und war im langjährigen Durchschnitt zu nass. Die Kartoffelernte konnte in der zweiten Septemberwoche durchgeführt werden, nachdem der Monat September mit Niederschlägen begonnen hatte.

4.3.2.2 Auflauf

Im zweiten Jahr der Freilandversuche wurde der Auflauf der Kartoffeln am 18. Juni bestimmt. Die künstliche Infektion der Kontrollvariante führte zu einer Reduktion des Auflaufes um 33 Prozent im Vergleich zur gesunden Kontrolle (Abb. 39). Durch die Behandlung mit Fungiziden stiegen die Auflaufraten der behandelten Varianten wieder an. Acrobat konnte dabei als einzige Variante diese Beobachtung nicht bestätigen. Das Kontaktfungizid Dithane Ultra WP war gegenüber der inokulierten Kontrolle bereits in der Lage, den Auflauf um 13 Prozent anzuheben. Die Variante Ridomil Gold MZ erreichte mit 89 Prozent die höchste Pflanzenanzahl aller inokulierten Varianten und konnte selbst von der gesunden Kontrolle nicht mehr statistisch unterschieden werden. Die Zugabe des Emulsionspolymers zu Ridomil Gold MZ als Adjuvans führte zu keiner nennenswerten Abnahme des Auflaufes. Bei dem Versuchsmittel, welches auch 2000 schon in der Bewertung war, konnte kein durchgehender Trend zwischen Aufwandmenge und Auflaufrate festgestellt werden. Hier scheint zwischen Variante VM 5 und Variante VM 10 eine Grenze für die Knollenverträglichkeit des Fungizids zu liegen.

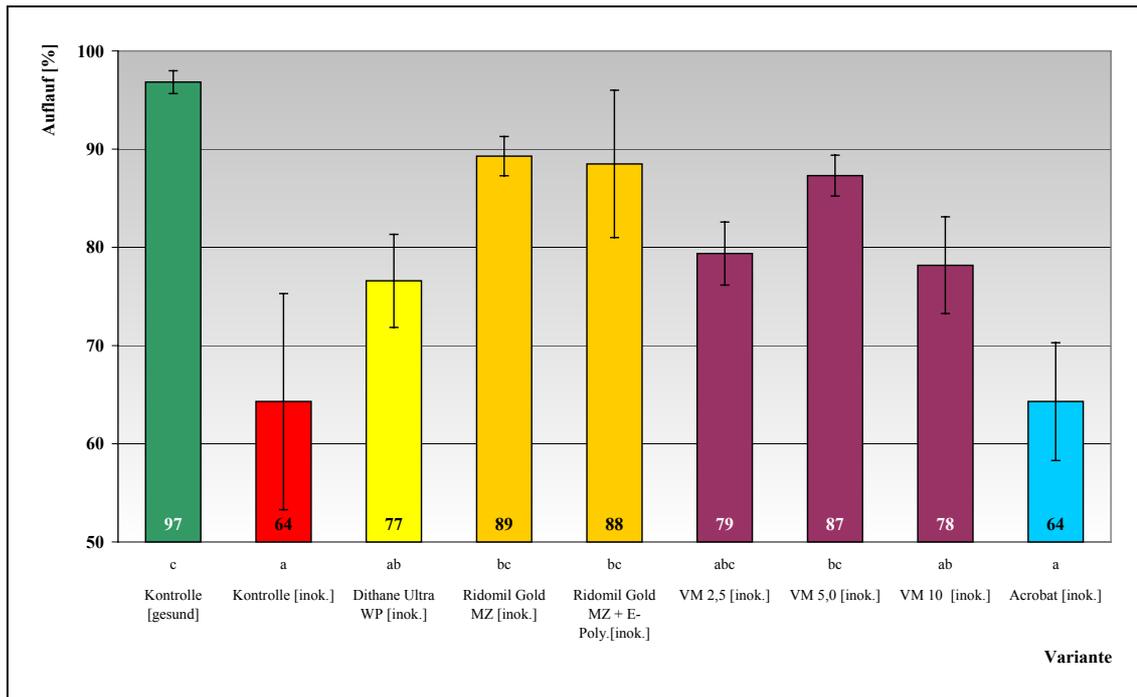


Abb. 39: Auflauf der Varianten am Versuchsstandort Dürnast 2001

4.3.2.3 Stängelbefall durch *Phytophthora infestans*

Kontrollvarianten

Im zweiten Versuchsjahr trat die Krautfäule an den Trieben der inokulierten Kontrolle 35 Tage nach dem Legen auf. Die künstliche Infektion ermöglichte es wiederum, die Anzahl latent verseuchter Pflanzknollen des Freilandversuches zu erhöhen. Während in der inokulierten Kontrolle der primäre Stängelbefall am 27. Juni auftrat, konnte die erste Stängelnekrose in der gesunden Kontrolle am 06. Juli bonitiert werden (Abb. 40). Die beiden Kurven lagen eng beieinander, wofür vor allem die regenreiche Witterung zur Julimitte und am Augustanfang verantwortlich war. Diese zog einen raschen Anstieg der sekundär gesetzten *Phytophthora* an den Stängeln bei der gesunden Kontrolle im Zeitfenster vom 17. Juli bis 09. August nach sich. Lediglich zur Bonitur vom 14. August ließ sich zwischen den beiden Varianten ein statistisch absicherbarer Unterschied errechnen.

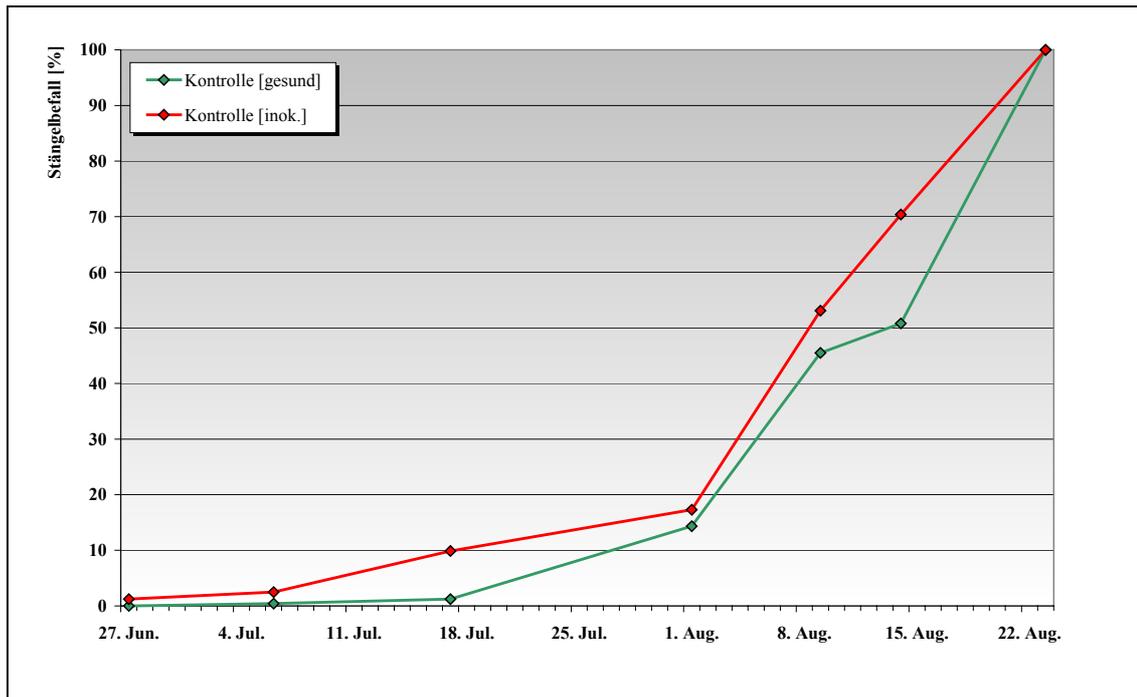


Abb. 40: Stängelbefall der Kontrollvarianten (2001)

Varianten der Dosissteigerung mit einem Versuchsmittel

Zur Überprüfung einer steigenden Wirkstoffdosierung hinsichtlich abnehmendem Stängelbefall wurde im zweiten Versuchsjahr mit dem systemischen Produkt des Vorjahres gearbeitet. Erst zur Bonitur vom 17. Juli traten in den behandelten Varianten Nekrosen im Stängelbereich der Stauden auf (Abb. 41). Auch VM 10 konnte trotz einer vierfach höheren Dosis als VM 2,5 den Stängelbefall nicht länger unterbinden.

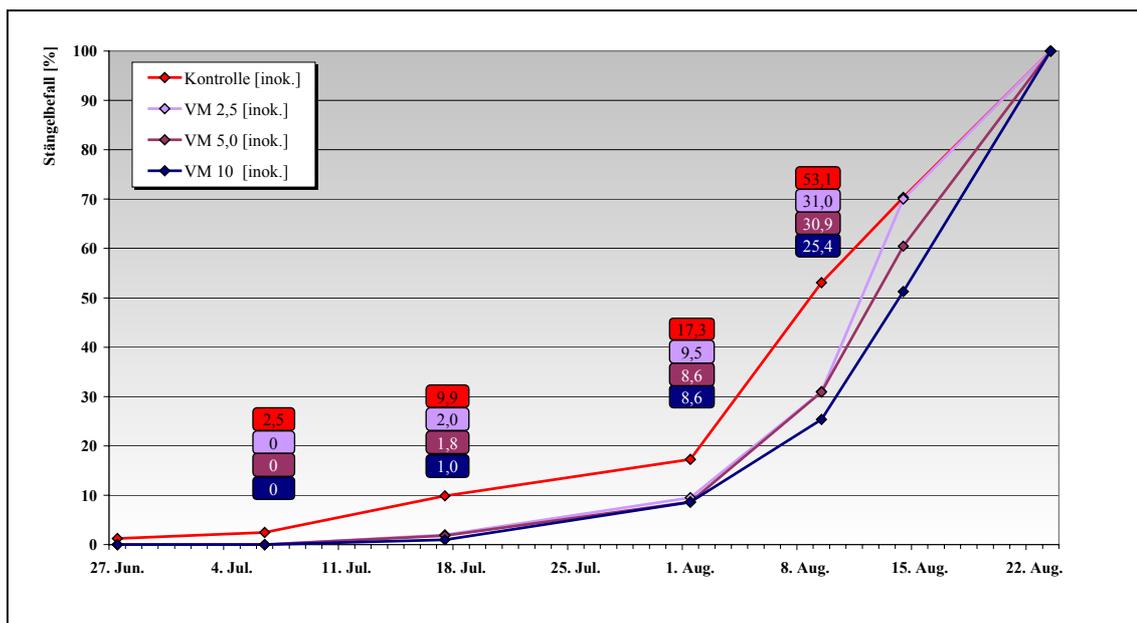


Abb. 41: Stängelbefall der Varianten der Dosissteigerung (2001)

Nach einem relativ konstanten Anstieg des Befalles bis zum 01. August war es die Variante mit der höchsten Dosierung, welche sich von den beiden anderen absetzen konnte. Somit war es möglich, zum 14. August die Variante VM 10 statistisch von den anderen zu unterscheiden. Im Zeitfenster 09. bis 14. August zog die Variante VM 2,5 mit dem Befallsniveau der inokulierten Kontrolle gleich. Über die gesamte Dauer der Vegetationsperiode waren mit höheren Wirkstoffmengen tatsächlich auch niedrigere Stängelbefallsraten zu verzeichnen.

Varianten verschiedener Wirkstoffarten

Das systemische Produkt Ridomil Gold MZ konnte bei einem Vergleich der Varianten mit verschiedenen Wirkstoffarten auch im zweiten Versuchsjahr klar dominieren (Abb. 42). Zum einen wurde über dieses Produkt der Primärbefall am längsten hinausgezögert, zum anderen war es durchweg in der Lage, die Anzahl der erkrankten Stauden auf dem niedrigsten Niveau dieser drei Varianten zu halten. Im Rahmen der Bonitur vom 14. August war es möglich, diese Variante von den übrigen statistisch zu unterscheiden. Dithane Ultra WP konnte bis zum 09. August den Befall niedriger halten als die unbehandelte Kontrolle. Zum 01. und 14. August waren sogar bessere Boniturergebnisse als beim lokalsystemischen Acrobat möglich.

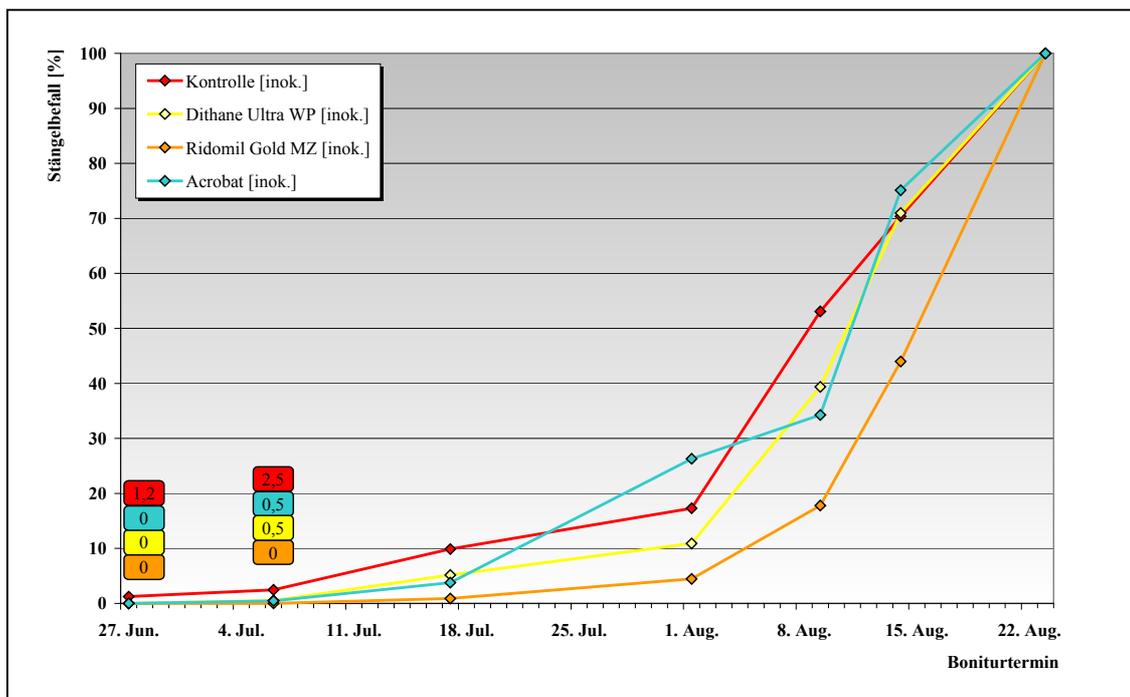


Abb. 42: Stängelbefall der Varianten verschiedener Wirkstoffarten (2001)

Das Produkt Acrobat schnitt an diesen Terminen schlechter ab als die inokulierte Kontrolle. Es ist anzunehmen, dass eine Nachlieferung von Wirkstoff aus dem Bereich des Beizhofes erst wieder durch die Niederschläge anfangs August möglich war. Demzufolge war diese Variante zum 09. August wieder in der Lage, sich erwartungsgemäß in die Befallstruktur der drei Produkte einzugliedern.

Ridomil Gold MZ mit Emulsionspolymer

Die Zugabe eines Emulsionspolymers wurde zur Abklärung der Wirkung einer „slow-release-Variante“ durchgeführt. Dem systemischen Produkt Ridomil Gold MZ wurde zu diesem Zweck ein Emulsionspolymer beigemischt. Dieses sorgt dafür, dass die Abgabe des Wirkstoffes aus dem Beizhof nur langsam vonstatten geht. Durch die langsame Freisetzung von Wirkstoff war es dieser Variante möglich, über das Maß von Ridomil Gold MZ den Befall zu unterdrücken. Sogar vier Wochen nach Auflauf waren die Parzellen der Slow-release-Variante immer noch befallsfrei. Die zunehmende Sekundärinfektion im Bestand konnte anschließend nicht mehr über die freigesetzte Wirkstoffmenge aufgefangen werden. Zur letzten Bonitur am 23. August, an welchem alle übrigen Varianten des zweiten Freilandjahres bereits vollständigen Befall aufwiesen, erreichte diese Variante gerade einmal ein Befallsniveau der Stängel von 19,6 Prozent (Abb. 43).

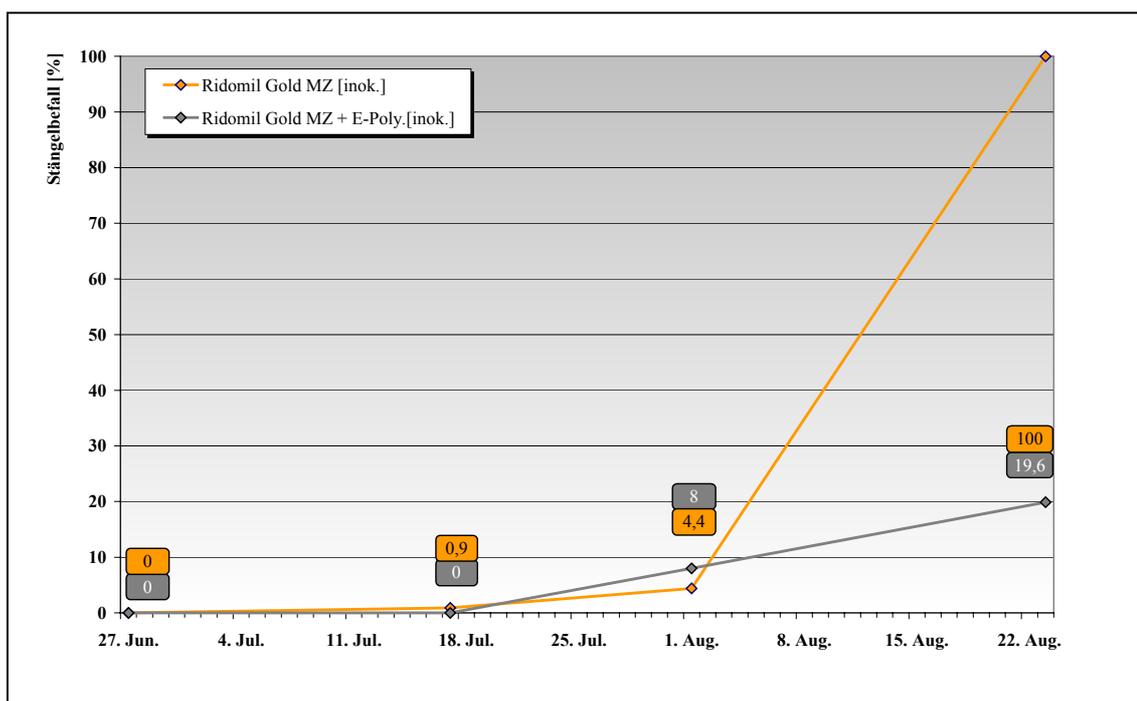


Abb. 43: Stängelbefall der Emulsionspolymer-Variante (2001)

Mit der Slow-release-Variante konnte aufgezeigt werden, welches Potential in einer Beize steckt, wenn eine Formulierung spezifisch auf die Anforderungen einer solchen Knollenbehandlung zugeschnitten ist.

4.3.2.4 Blattbefall durch *Phytophthora infestans*

Der Befall des Blattapparates durch *Phytophthora infestans* erreichte zur Bonitur vom 23. August Werte zwischen 28 und 65 Prozent nekrotisierter Assimilationsfläche (Abb. 44). Die Beizung zeigte bei den Varianten mit systemischen Wirkstoffanteilen die geringsten Anteile an Blattverlusten. Wie beim Stängelbefall konnte auch hier bei den Varianten der Dosissteigerung eine Abnahme des Blattbefalles bonitiert werden. Die Zugabe des Emulsionspolymers bewirkte bei dem Produkt Ridomil Gold MZ einen geringeren Grad der Krautfäule als in der Solovariante. Das Kontaktmittel Dithane Ultra WP sowie das lokalsystemische Produkt Acrobat konnte bei Betrachtung der behandelten Varianten den Krankheitsfortschritt am wenigsten eindämmen. Die inokulierte Kontrolle erreichte den Maximalwert mit 65 Prozent nekrotisierter Assimilationsfläche.

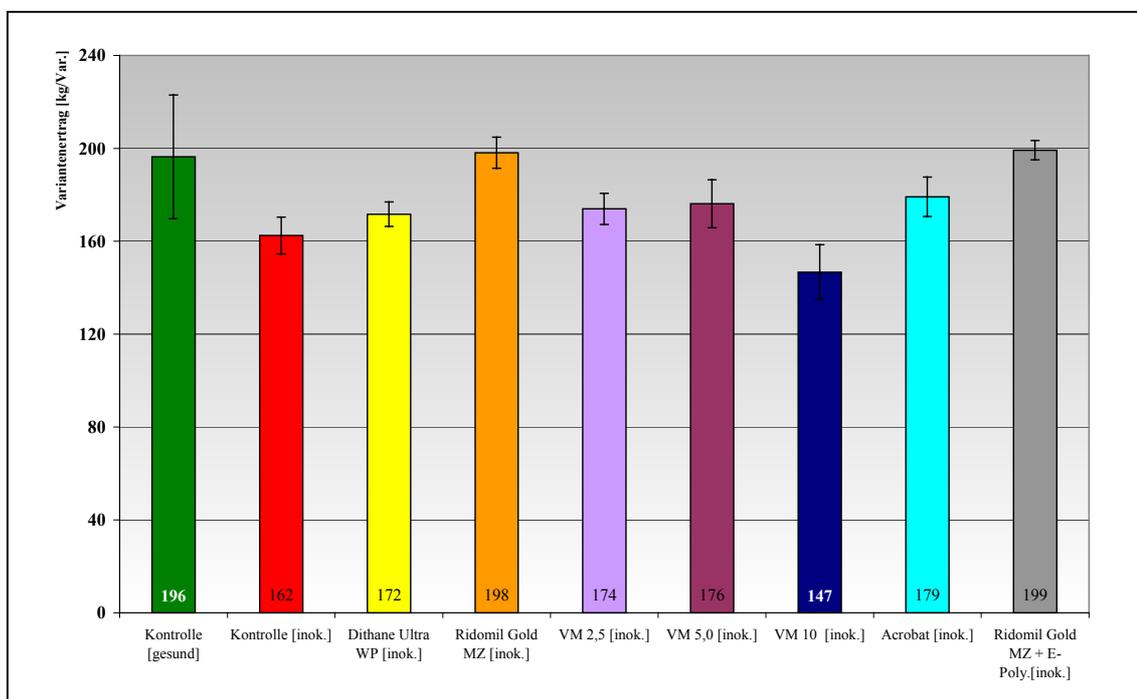


Abb. 44: Blattbefall vom 23. August 2001

4.3.2.5 Ertragsbestimmung 2001

Bei einem Vergleich der beiden Kontrollvarianten konnte die inokulierte Kontrolle nur 83 Prozent des Ertrages der gesunden Kontrolle erreichen (Abb. 45). Früher und massiver Stängelbefall, einhergehend mit Verlust von Blattfläche, sind hierfür verantwortlich. Bei den behandelten Varianten bewegten sich die Erträge zwischen 147 kg bei der Variante VM 10 und 199 kg bei der Variante Ridomil Gold MZ mit Emulsionspolymer. Während zwischen den Varianten VM 2,5 und VM 5 ein kleiner Anstieg der Erntemenge zu verzeichnen ist, blieb das Versuchsmittel in seiner höchsten Dosierung mit seinem Ertragsniveau sogar hinter der inokulierten Kontrolle zurück. Die Produkte mit verschiedenen Wirkstoffanteilen (siehe Abb. 42) unterschieden sich auch im Parameter Ertrag. Vom kontakt- über das lokalsystemische hin zum systemischen Mittel war eine Steigerung der Variantenerträge messbar.

Zwischen der geernteten Kartoffelerträgen konnten für das Jahr 2001 keine statistischen Unterschiede berechnet werden.

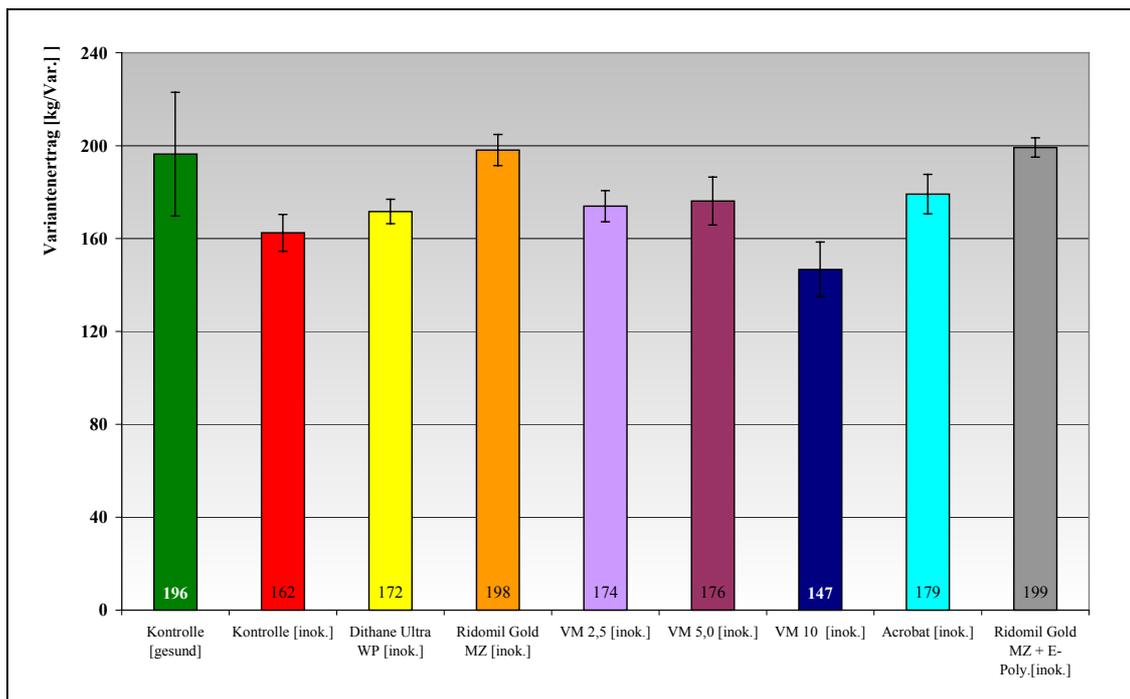


Abb. 45: Ertragsdaten vom Versuchsstandort Dürnst (2001)

4.3.3 Versuchsjahr 2002, Standort Dürnast

4.3.3.1 Witterung und wichtige Ereignisse

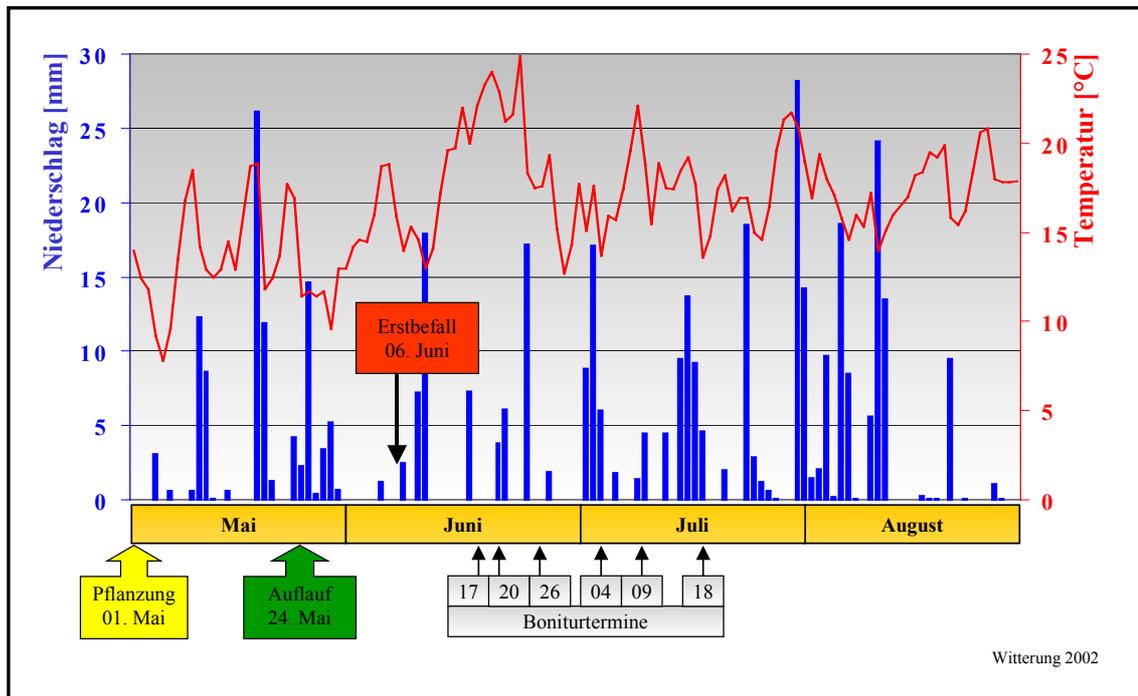


Abb. 46: Witterung und wichtige Ereignisse am Versuchsstandort Dürnast (2002)

Die letzten Tage des Monats April waren von freundlicher und warmer Witterung geprägt. Es war auf der abgetrockneten Fläche deshalb am 01. Mai 2002 möglich, den letzten Freilandversuch der Untersuchungszeit anzulegen (Abb. 46). Zum Monatsanfang herrschte zunächst noch sonniges und frühlingshaft warmes Wetter. Vom 04. Mai an gab es bei insgesamt stärkerer Bewölkung vermehrt Niederschläge, welche am 10. und 11. Mai mit ergiebigen Regenfällen einhergingen. Nach einem kurzen Zwischenhoch sorgte am Abend des 18. Mai ein Gewitter für Regenmengen von über 26 Liter je Quadratmeter. Nach einer kurzen Wetterbesserung zu Beginn des letzten Monatsdrittels wurde es erneut unbeständig mit zeitweiligen Regenfällen und kühleren Temperaturen. Am 24. Mai konnte der Auflauf der Kartoffeln bonitiert werden. Erst am Monatsende wurde es bei nachlassenden Niederschlägen freundlicher und mit einer Tageshöchsttemperatur von 20 Grad wieder wärmer.

Der Juni war anfangs geprägt durch sonniges und bis 25 Grad warmes Hochdruckwetter. Zwischen dem 05. und 10. Juni stellte sich unbeständige Witterung ein. Bereits am 06. Juni konnte *Phytophthora infestans* erstmals an einer Staude der unbehandelten Kontrolle festgestellt werden.

Ab dem 11. Juni herrschte sonnige und trockene Witterung, welche zur Monatsmitte Tageshöchstwerte von über 30 Grad mit sich brachte. Die Wetterlage wurde in der Folge nur vereinzelt durch Gewitter mit starken Regenschauern unterbrochen.

Im Juli war die Witterung von einem häufigen Wechsel von kurzen sommerlichen Hochdruckwetterlagen und längeren unbeständigen Abschnitten mit ausgiebigen Niederschlägen geprägt. Zwischen dem 08. und 10. Juli sorgten warme Luftmassen für Hitzegrade mit über 30 Grad, während zur Monatsmitte Gewitter mit Starkregenereignissen vorherrschten. Auch im letzten Monatsdrittel war die Freilandfläche durch teilweise intensive Niederschlagsereignisse sehr gut mit Wasser versorgt.

Der August war infolge wiederholter Unwetter und Regenschauer bis zur Monatsmitte hin sehr nass. Die Versuchsfläche konnte in diesem Sommermonat an mehreren Tagen nicht mit Maschinen befahren werden. Die Krautfäule fand hier zum Ausgang des Versuchszeitraumes nochmals exzellente Bedingungen. Erst in der zweiten Monatshälfte trocknete der Bestand infolge warmer und regenfreier Witterung wieder ab. Die Fläche konnte so zum Ende der ersten Septemberwoche gerodet werden.

4.3.3.2 Auflauf

Im letzten Versuchsjahr verursachte die künstliche Infektion mit dem Krautfäuleerreger erneut eine Abnahme des Auflaufes bei der inokulierten Kontrollvariante (Abb. 47). Die Behandlung des Pflanzgutes mit den Fungiziden hatte wie in den beiden Vorjahren eine Verbesserung des Auflaufes zur Folge. Lediglich das systemische Versuchsmittel, welches 2002 mit der höchsten Konzentration des Vorjahres beteiligt war, lässt wegen der geringeren Anzahl aufgelaufener Pflanzen auf eine geringfügige Phytotoxizität des Mittels schließen. Im Vergleich zur Variante mit dem Produkt VM 10 + Curzate 60 WG fällt auf, dass dort die Anzahl aufgelaufener Pflanzen erheblich zunahm. Mit der Erkenntnis der langanhaltenden Wirkungsdauer des Versuchsmittels aus dem Vorjahr ist es denkbar, dass dieses Mittel zwar lange, aber anfänglich nur schwach auf den Erreger wirkt. Die beigemischten Wirkstoffe Mancozeb und Cymoxanil lassen durch eine schnelle Wirkung den Auflauf um 24 Prozent ansteigen.

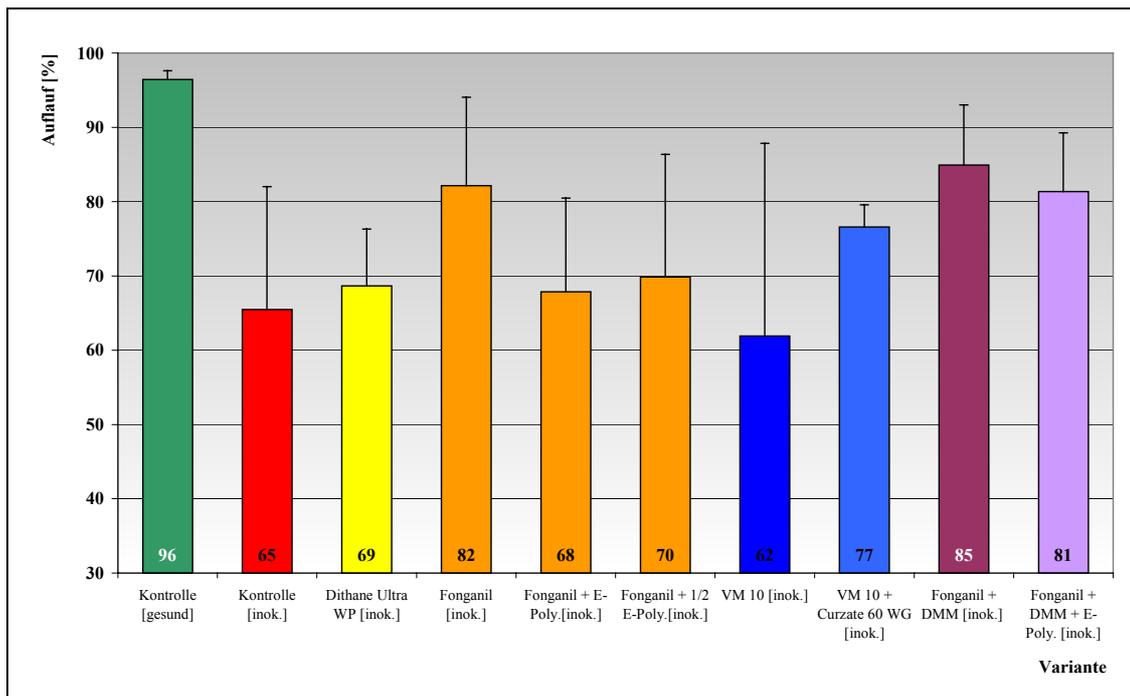


Abb. 47: Auflauf der Varianten am Versuchsstandort Dürnast (2002)

Der Kontaktwirkstoff Mancozeb war bereits in der Lage, vier Prozent mehr Stauden zum Auflaufen zu bringen. Der Einsatz des systemischen Wirkstoffes Metalaxyl konnte dazu beitragen, den Auflauf um 17 Prozent gegenüber der Kontrolle zu erhöhen. Durch die Zugabe des Emulsionspolymers, welches den Wirkstoff reversibel bindet, war es dem Krautfäuleerreger möglich, mehr Pflanzen vollständig abzutöten. Halbiert man die

Menge des Polymers und steuert somit eine Erhöhung der freigesetzten Wirkstoffmenge an, so resultiert daraus auch ein höherer Auflauf infolge der verbesserten Erregerbekämpfung.

Eine Vermischung von Fonganil mit Dimethomorph führte zu einer geringeren Verbesserung der Auflaufsituation. Wie auch bei der Variante Fonganil + Emulsionspolymer wurde durch die Zugabe des Adjuvans die Freisetzung von Wirkstoffen und damit die Bekämpfungsintensität reduziert, was eine Abnahme des Auflaufes auf einen Wert von 81 Prozent mit sich brachte.

Über alle Varianten hinweg konnte beim Parameter Auflauf kein statistischer Unterschied berechnet werden.

4.3.3.3 Stängelbefall durch *Phytophthora infestans*

Kontrollvarianten

Das letzte Versuchsjahr bestätigte, dass durch die Inokulation der Anteil latent infizierter Pflanzknollen gesteigert werden kann. Ein früherer Ausbruch der Krankheit verbunden mit einem höheren Stängelbefallsgrad über den ganzen Boniturzeitraum war durch die künstliche Infektion zum dritten Mal in Folge möglich (Abb. 48).

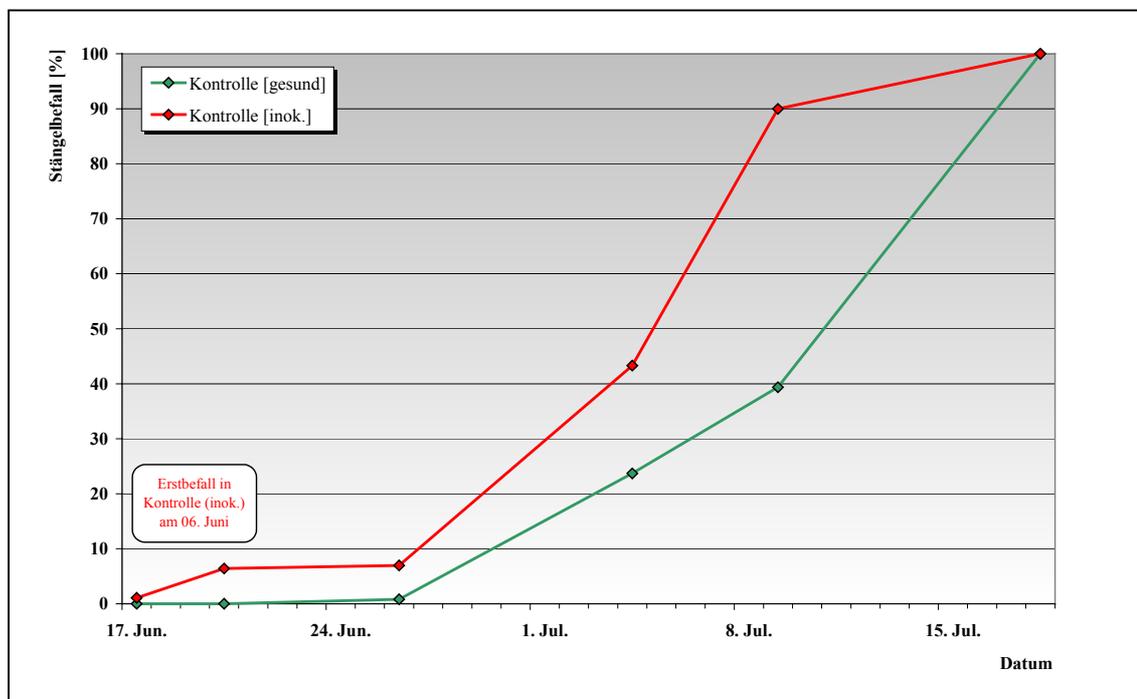


Abb. 48: Stängelbefall der Kontrollvarianten (2002)

Varianten verschiedener Wirkstoffarten

Bei einem Vergleich des Kontaktwirkstoffes Mancozeb mit dem systemischen Wirkstoff Metalaxyl bestätigte sich auch im Jahr 2002, dass Metalaxyl die direkte Infektion des Pilzes in die Triebe unterbinden konnte (Abb. 49). Des weiteren war es mit dem Wirkstoff wegen der Nachlieferung in die oberirdischen Pflanzenteile möglich, die Anzahl erkrankter Stängel besser und länger zu reduzieren als mit Mancozeb. Der Kontaktwirkstoff konnte mit dem Ergebnis des Jahres 2002 beweisen, dass bereits die Anbeizung mit dem Präparat eine überraschend gute Verzögerung des Erstbefalls und Reduktion der Stängelbefallsstärke mit sich brachte.

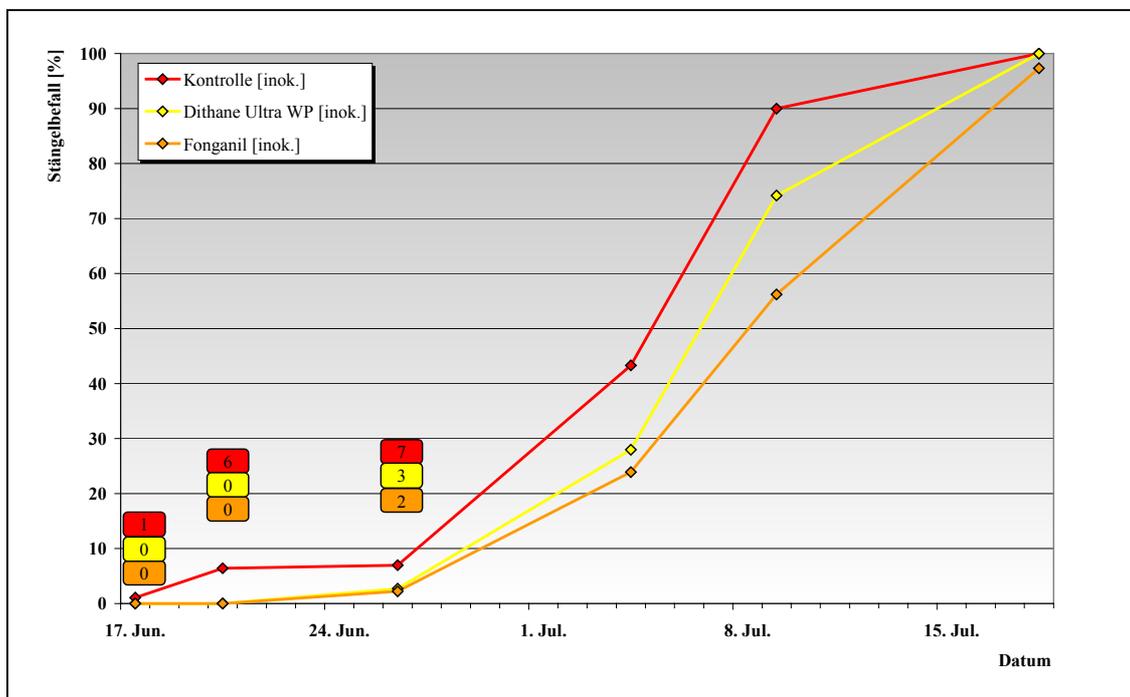


Abb. 49: Stängelbefall der Varianten mit verschiedenen Wirkstoffarten (2002)

Metalaxyl mit Emulsionspolymer

Im Jahr 2002 wurde die Fragestellung nach der Wirkungspotenz des Adjuvans bei dem Produkt Fongamil getestet. Neben dieser Variante wurden auch Varianten von Fongamil mit voller bzw. halber Aufwandmenge des Emulsionspolymers überprüft. Durch die Zugabe des Adjuvans wurde der befallsfreie Zeitraum mit dem Wirkstoff Metalaxyl um acht Tage verlängert, somit waren beide Varianten auch noch zur Bonitur vom 26. Juni ohne Stängelbefall (Abb. 50). Ab dem 04. Juli war die nachgelieferte Wirkstoffmenge dann für die weitere Eindämmung von sekundärem Stängelbefall nicht mehr ausreichend – der Befall stieg stärker an als in der adjuvansfreien Variante.

Die Variante mit halbiertem Aufwandmenge des Emulsionspolymers war diejenige, bei welcher die freigesetzte Metalaxylmenge das auftretende Inokulum am besten bekämpfen konnte. Auf der Gratwanderung zwischen zu starker Bindung des Wirkstoffes durch das Emulsionspolymer und keiner Möglichkeit der reversiblen Speicherung von Metalaxyl konnte die halbe Aufwandmenge des Adjuvans die besten Ergebnisse liefern.

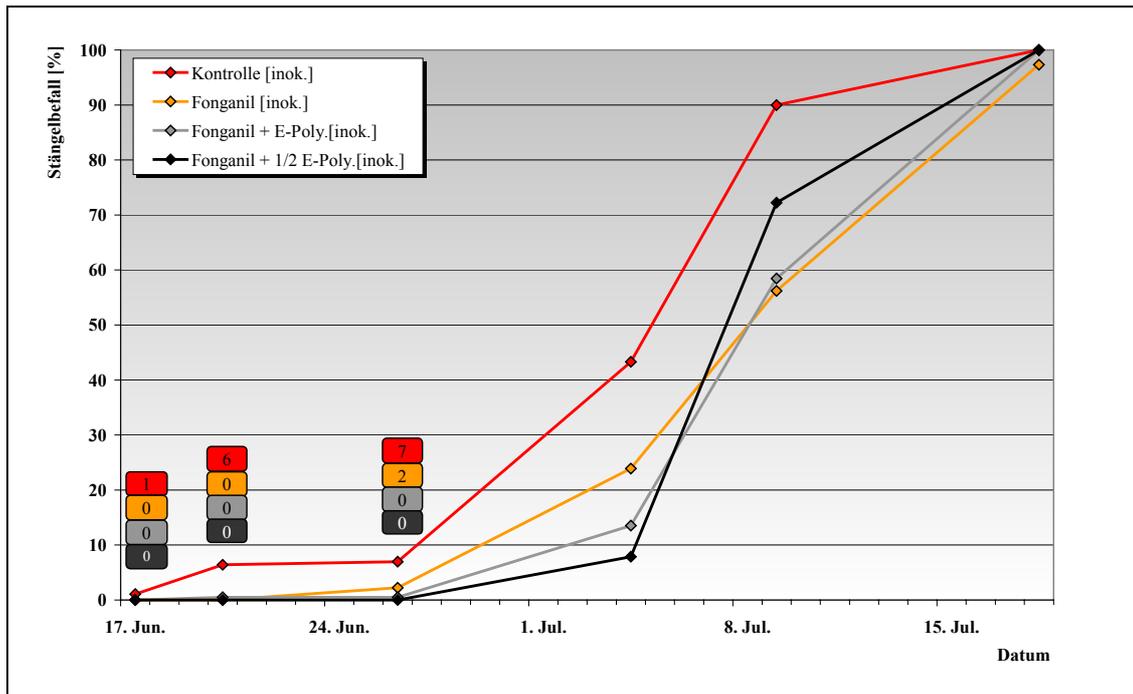


Abb. 50: Stängelbefall der Varianten Fongamil und Fongamil mit Emulsionspolymer (2002)

Versuchsmittel mit Curzate 60 WG

Mit der Variante VM 10 + Curzate 60 WG konnte im letzten Versuchsjahr der Auftritt des Stängelbefalles am längsten verzögert werden (Abb. 51). Die Kombination der beiden verbesserte das an sich schon sehr gute Ergebnis der Variante VM 10 noch einmal erheblich. Es war mit der Kombination nicht nur möglich, den befallsfreien Zeitraum bis einschließlich 26. Juni auszudehnen, sondern auch innerhalb der darauffolgenden acht Tage nur an zwei Prozent der Triebe eine Nekrose festzustellen. Die Resultate führen zu der Erkenntnis, dass die Beize insgesamt aus einer schnell wirkenden systemischen Komponente und einem langanhaltenden Kontaktpartner (zum Beispiel Mancozebanteil des Curzate 60 WG) bestehen sollte. Die in diesem Versuch vorgelegte „Langzeitwirkung“ sollte im Rahmen eines vernünftigen Resistenzmanagements nicht weiter verfolgt werden. Innerhalb dieses Versuches jedoch

waren solche Kombinationen zur Auslotung der Potenz von Pflanzgutbeizen angesiedelt worden.

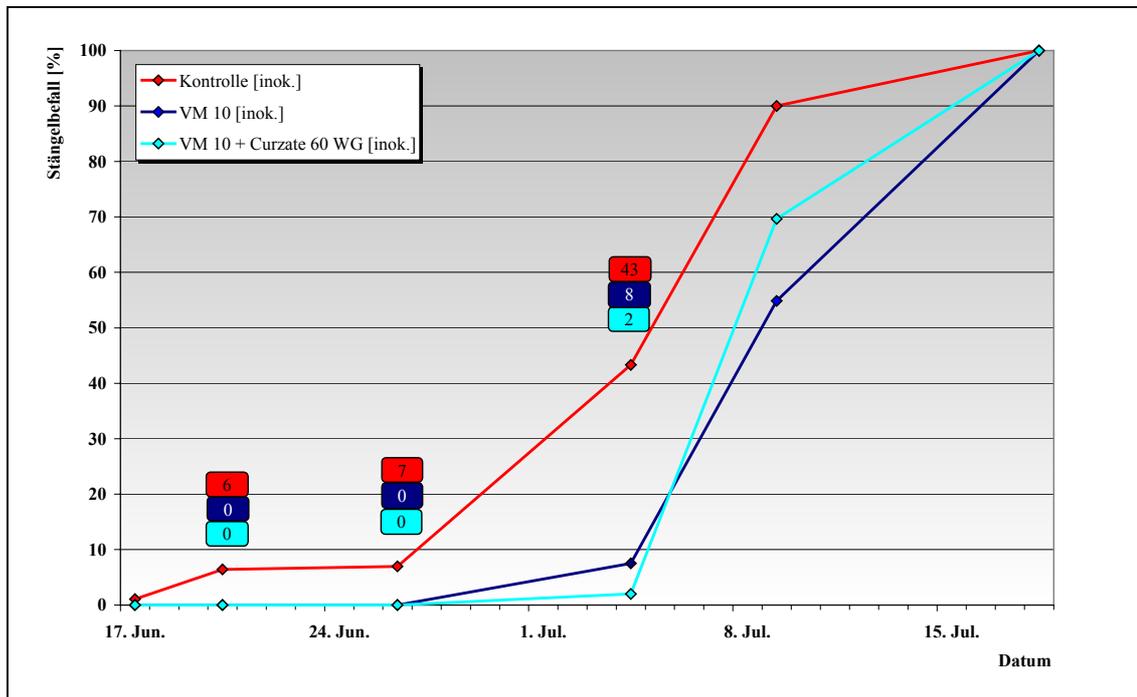


Abb. 51: Stängelbefall der Varianten VM 10 und VM 10 + Curzate 60 WG (2002)

4.3.3.4 Blattbefall durch *Phytophthora infestans*

Nach der Bonitur vom 09. Juli wurden sehr viele Neuinfektionen auf den Blättern der Kartoffelstauden festgestellt. Wegen des angekündigten Fortbestands der nassen und kühlen Witterung wurde beschlossen, den Blattapparat durch eine Spritzapplikation zu schützen und somit die Befallssituation des Assimilationsgewebes zu entzerren. Am 12. Juli wurde deshalb über alle Varianten eine Blattspritzung mit der vollen Aufwandmenge von Ranman und Shirilan gelegt. Der Befall des Blattapparates durch *Phytophthora infestans* erreichte dadurch zur letzten Bonitur des Stängelbefalles die Werte der Abbildung 52. Nachdem der Stängelbefall zur Bonitur vom 18. Juli bereits 100 Prozent erreicht hatte, folgten im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode keine zusätzlichen Bonituren hinsichtlich des Blattbefalles.

Die Blattfläche war im Bereich von acht bis 22 Prozent nekrotisiert. Während die inokulierte Kontrolle schon fast ein Viertel ihrer Assimilationsfläche verloren hatte, erreicht das systemische Versuchsmittel gerade einmal acht Prozent Befall. Im Bereich von Metalaxyl und dem Emulsionspolymer konnte zu diesem Zeitpunkt kein verbessernder Effekt des Adjuvans gegenüber der Solo-Metalaxylvariante erzielt werden. Wie in den Vorjahren konnte Mancozeb als eigentlicher Kontaktwirkstoff

innerhalb der Beizung auch am Blattapparat einen verbessernden Effekt gegenüber der unbehandelten Kontrollvariante liefern. Nach dreijährigen Untersuchung muss davon ausgegangen werden, dass der Wirkstoff tatsächlich über das Wurzelsystem der Kartoffelstauden aufgenommen werden kann.

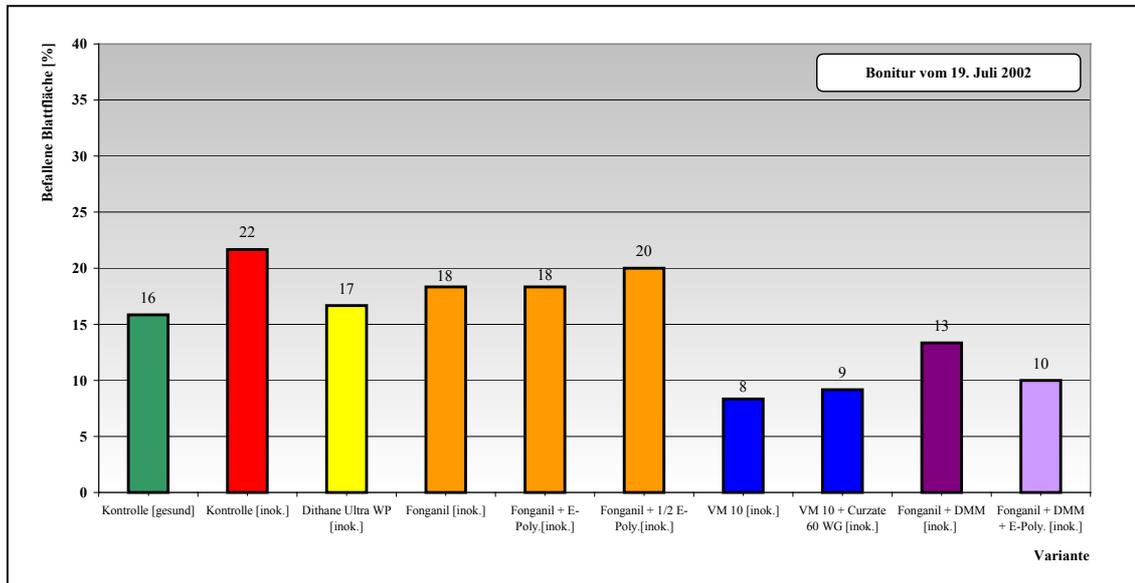


Abb. 52: Blattbefall vom 19. Juli 2002

Die Variante Fonganil + Dimethomorph mit Emulsionspolymer konnte an das Niveau der Versuchsmittelvariante anknüpfen. Eine leichte Verbesserung trat durch die Zugabe des Adjuvans gegenüber der Variante ohne Emulsionspolymer auf.

4.3.3.5 Ertragsbestimmung 2002

Innerhalb der Ertragsdaten des Freilandversuchs von 2002 waren Unterschiede zwischen den Varianten statistisch sicherbar. Mit 147 Kilogramm erreichte die inokulierte Kontrolle den geringsten Variantenertrag (Abb. 53). Über 69 Prozent Mehrertrag konnte durch die einmalige Behandlung des Pflanzgutes mit der Wirkstoffkombination VM 10 + Curzate 60 WG erreicht werden. Während bei den aufgeführten Metalaxylvarianten durch die Zugabe des Emulsionspolymers keine statistisch sicherbaren Ertragsunterschiede gefunden wurden, konnte Mancozeb in diesem Parameter mühelos mit dem systemischen Wirkstoff mithalten. Bei einem Vergleich der beiden Säulen rechts fällt die gewaltige Zunahme des Ertrages durch die Beimischung von Curzate 60 WG zum Versuchsmittel auf.

Vor allem an dieser Variante war es möglich, die befallsvermindernde Wirkung der Beize bis zum Ertrag hindurch darzustellen.

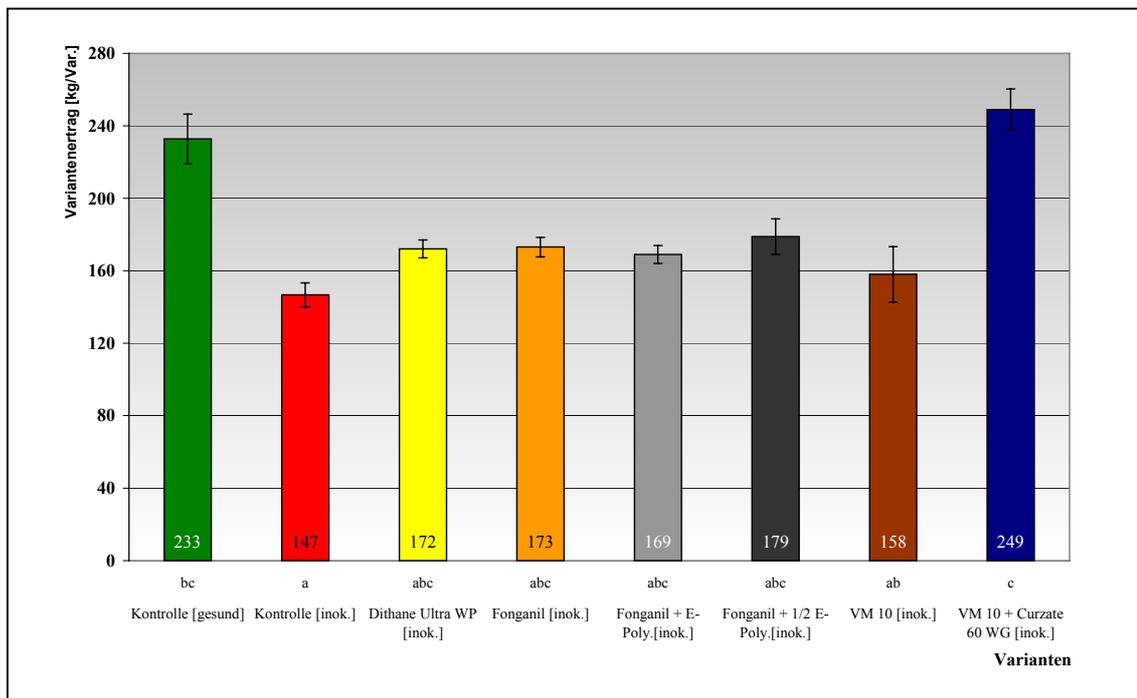


Abb. 53: Ertragsdaten von Versuchsstandort Dürrnast 2002

5 Diskussion

Mit der vorliegenden Arbeit wurde das Ziel verfolgt, den Einfluss von zwei physikalischen Bodenparametern auf die unterirdische Infektion von Kartoffeltrieben zu erfassen und die Auswirkungen einer Behandlung von Pflanzkartoffeln mit Oomycetenfungiziden zu überprüfen.

Seit vielen Jahren wird mit der Hilfe von Prognosemodellen versucht, einen genauen Zeitpunkt des Auftretens des Primärbefalls festzulegen. Vor allem in Jahren mit nasser Frühjahrswitterung kann der Termin für die entscheidende Erstspritzung aber nur unzureichend angegeben werden. Aufgrund der sehr begrenzten Leistungsfähigkeit kurativer Fungizide kommt dem rechtzeitigen Spritzstart bei der integrierten Bekämpfung des Erregers jedoch eine wesentliche Bedeutung zu (HAUSLADEN, 2002). Latent infiziertem Pflanzgut ist heute als Quelle für die Bildung von primär befallenen Stauden eine große Bedeutung beizumessen. Mit der unterirdischen, horizontalen Verbreitung von Sporenmaterial ist es dem Erreger bei ausreichender Bodenfeuchte möglich, auch Nachbarpflanzen zu infizieren (SCHLENZIG, 1997; ADLER, 2000).

Zahlreiche Autoren beobachteten bereits eine unterirdische Ausbreitung des Erregers, allerdings wurde dabei das Augenmerk vor allem auf die Infektion der Tochterknollen während der Vegetationsperiode gelegt (BAIN und MÖLLER, 1998; HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999). Für eine Implementierung der beiden physikalischen Bodenparameter in ein Prognosemodell ist eine Fokussierung der möglichen unterirdischen Ausbreitung auf das Zeitfenster „Pflanzung bis Auflauf“ unumgänglich.

Mit dem Gewächshausversuch konnte unter kontrollierten Feuchte- und Bodenbedingungen das Ausmaß der unterirdischen Infektion verfolgt werden.

Die Bestimmung der Wasserspannungskurven der drei verwendeten Böden spielte für die Bestimmung der anzulegenden hPa-Werte für den Aufwuchs und die Auswertung der Stängelverseuchung in Abhängigkeit des Wassergehaltes eine zentrale Rolle. Mit der Druckmethode wurden sechs Werte für jede Kurve ermittelt, welche vereinfachend im Zwischenbereich linear verbunden wurden. Die beiden Bodenarten sandiger Lehm und schluffiger Lehm liegen in den pF-Kurven nahe zusammen, zum Wassergehalt bei einer Wasserspannung von $pF = 1,8$ schneiden sich die Kurven sogar.

Der sandige Lehm hat hier ein größeres Porenvolumen im Bereich der weiten und engen Grobporen aufzuweisen. Bei Betrachtung des Volumens der Mittelporen findet sich hingegen eine Reihung schluffiger Lehm > sandiger Lehm > lehmiger Sand.

Um den Weg einer indirekten Infektion von Kartoffeltrieben über den Boden nachzuweisen, lag in jedem Topf jeweils eine gesunde Pflanzkartoffel neben einer künstlich infizierten Knolle. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse lagen alle drei Bodenarten keimfrei und homogen aufbereitet vor. Auf der Oberfläche der künstlich infizierten Knollen konnte der Pilz sporulieren und in den Phasen hoher Bodenfeuchte Sporangien und Zoosporen in das Bodenwasser entlassen. Diese wurden vor allem mit dem Massenstrom des Bodenwassers durch die Poren horizontal verbreitet und waren schließlich in der Lage, die Triebe der ehemals gesunden Nachbarknolle erfolgreich zu infizieren.

Die Quantifizierung der Stängelverseuchung im Labor mit Hilfe der PCR-Technik führte zu den Ergebnissen, dass bei Versuchsböden mit einem hohen Schluffanteil die Stängelverseuchung höher war als bei Versuchsböden mit hohem Sandanteil. Zusätzlich resultierten längere Phasen hoher Bodenwassergehalte in einer Zunahme der Stängelverseuchung, wobei der schluffige Lehm am schnellsten reagierte, der lehmige Sand hingegen am langsamsten.

Mit dem Gewächshausversuch konnte sowohl ein Einfluss der Bodenart als auch der Bewässerungsdauer nachgewiesen werden. Wechselwirkungen zwischen den beiden Faktoren waren vorhanden, jedoch sehr schwach ausgeprägt. Der größte Effekt auf die Stängelverseuchung war durch den Faktor Bodenart gegeben, welcher im wesentlichen linear auf die abhängige Größe (Stängelverseuchung) einwirkte.

Bei einem Auftrag der Stängelverseuchung gegen den Wassergehalt in einer Graphik kann eine kontinuierliche Zunahme des Befalles mit steigendem Wassergehalt der Böden abgebildet werden. Der Wassergehalt stellt hierbei eine Funktion von Bodenart und Bewässerungsintervall dar. Die Eckpunkte eines erfolgreichen Infektionsprozesses lassen sich aufgrund der Werte näher beschreiben. Eine Abgrenzung des Infektionsprozesses nach „unten“ ist durch die Porengröße gegeben. Es können alle Poren vom Infektionsprozess ausgeschlossen werden, welche unter 10 µm Durchmesser aufweisen, da durch diese auch keine Zoosporen mehr transportiert werden können. Eine Abgrenzung des Infektionsprozesses nach „oben“ ist durch den Wassergehalt des Bodens nach Niederschlagsereignissen möglich, da der Massenstrom der Sporangien und Zoosporen nur möglich ist, wenn die Poren wassergefüllt sind. Es muss für einen

erfolgreichen Massenstrom mindestens der Porenbereich mit dem Durchmesser der Zoosporen wassergefüllt sein. Aufgrund der fehlenden Kontinuität der Poren ist der Transport des Inokulums durch Poren, welche an ihrer engsten Stelle mindestens 10,5 µm Durchmesser aufweisen, möglich (BECHER, persönliche Mitteilungen, 2004). Der Massenstrom stellt einen Zeitprozess dar, bei welchem dieser temperaturabhängige Prozess das Bodenwasser bewegt. Je länger das Zeitintervall hoher Bodenfeuchte dauert, desto mehr Zeit steht für den Prozess zur Verfügung, womit die zurückgelegte Strecke der Sporangien und Zoosporen innerhalb der Poren in engem Zusammenhang steht. Dies bedeutet, dass umso mehr Infektionsereignisse stattfinden können, je länger der Massenstrom möglich ist.

Stoffverlagerungen im Boden sind an den Fluss von Wasser gebunden. Widerstände, welche dem Wasserfluss entgegengesetzt werden, sind dabei die Porengröße, das Porenvolumen sowie Porenform und deren Kontinuität. Die Betrachtungen des Bodenwassergehaltes spielen sich für den Versuch ausschließlich in der Zone ungesättigter Wasserleitfähigkeit der Böden ab. Für die Wasserbewegung sind die Bodenart, seine Struktur, die Niederschlagsmenge, die Exposition, die Stärke des Transpirationssogs des Pflanzenbewuchses sowie die Evapotranspiration ausschlaggebend. Horizontal gelangt das Inokulum mit dem Wasserstrom aus temporär wassergesättigten in wasserungesättigte Bodenbereiche. Die Wasserleitfähigkeit eines gesättigten Sandbodens lässt aufgrund der vielen Grobporen eine starke vertikale Infiltration zu (Bodenoberfläche). Ein schlechter horizontaler Transport hingegen erklärt sich aus der geringen Wasserleitfähigkeit im ungesättigten Bereich (unterhalb der Bodenoberfläche), wobei bereits ab sehr geringer Wasserspannung (> 100 hPa) der Wasserfluss stark verlangsamt ist.

Schluffböden mit höherem Anteil an feinen Poren weisen bei stärkerem Entwässerungsgrad eine höhere Wasserleitfähigkeit auf und können daher bei intensiverer Austrocknung noch einen höheren Wasserdurchsatz haben. Davon lässt sich ableiten, dass der lehmige Sand in der Phase der hohen Bodenfeuchte (zwischen 20 und 32 hPa) die größte Wasserleitfähigkeit der drei eingesetzten Versuchsböden hatte. Die Wasserbewegung findet im lehmigen Sand vor allem in vertikaler Richtung statt. Eine horizontale Ausbreitung ist im Vergleich zu schluffigen Böden nur in geringem Ausmaß gegeben. Inokulum wird in den vertikalen Grobporen somit schnell mit dem nach unten gerichteten Wasserfluss abtransportiert (ZAN 1962).

Da der lehmige Sand nur über wenige Mittelporen verfügt und ein horizontaler Transport limitiert ist, waren im Versuchsboden bei hoher Bodenfeuchte von zwei und vier Tagen keine indirekten Primärfektionen nachzuweisen. Erst bei achttägiger Wassernachlieferung durch die Beregnungsanlage konnte sich der Befeuchtungshorizont auch horizontal so weit vorschieben, dass die Triebe der gesunden Knolle durch das Wasser (und das Inokulum) erreicht werden konnten.

Auffallend war, dass bei der Bodenart lehmiger Sand die eingestellte Wasserspannung nach der Pflanzung erst mit einer achtzehntägigen Verzögerung realisiert werden konnte. Eine Erklärung hierfür könnten sogenannte „hängende Menisken“ sein, welche das Abfließen des Wassers aus dem Pflanztopf nach unten verhinderten. Da der Druck der zusätzlichen Wassermenge nach Beendigung eines Bewässerungsvorganges auf das in den Poren vorhandene Wasser entfällt, können Van-der-Waals-Kräfte und Wasserstoffbrücken die Wassermoleküle stark an die freien Porenden in Form von „hängenden Menisken“ binden. Dies hätte einen Wasserstau im unteren Bereich des Topfes zur Folge.

Der Transport von Bodenteilchen spielt bei zunehmender Dauer der Infiltration eine immer größere Rolle. Durch Verlagerung verengen sie die Grobporen und es kommt zu einer Abnahme des Gesamtporenvolumens (Sackung) mit einer gleichzeitigen Verschiebung der Porengrößenverteilung in Richtung Mittelporen / Feinporen. Dies bedingt in gewissem Umfang ebenfalls ein Ansteigen der horizontalen Wasserbewegung beim Sandboden.

Schluffige Böden sind durch einen relativ hohen Anteil an Mittelporen und Feinporen gekennzeichnet. Sie können bei gleicher Wasserspannung (kontrolliert durch die Tensiometer) im Gegensatz zu Sandböden mehr Wasser in den Poren binden und weisen deshalb einen höheren Wassergehalt auf. Es steht also bei gleicher Wasserspannung mehr Volumen durch Mittelporen und enge Grobporen zur Verfügung, wodurch die Zoosporen bereits transportiert werden können. Die geringere vertikale Wasserleitfähigkeit dieser Porendurchmesser führt zwar zu einer geringeren Befeuchtungstiefe, aber auch zu mehr Seitentransport des Wassers.

Das Niederschlagswasser bleibt somit länger in den oberen Bodenschichten, wodurch das Inokulum besser horizontal verbreitet werden kann und Nachbarpflanzen schneller und umfangreicher infiziert werden können.

Anhand der Porengrößenverteilung lässt sich der Versuchsboden sandiger Lehm zwischen die beiden anderen Bodenarten einordnen. Der kleinere Anteil an Mittelporen bestätigte das erwartete Ergebnis von geringerer Befallshäufigkeit dieser Bodenart im Vergleich zum schluffigen Lehm. Der geringere Anteil an Grobporen verursachte im Vergleich zum lehmigen Sand eine weniger starke Entwässerung bei gleicher Wasserspannung. Damit liegt beim sandigen Lehm eine größere Seitenverteilung vor, was mit einer früheren und höheren Stängelverseuchung als beim lehmigen Sand einhergeht.

Nach HOFFMANN und SCHMUTTERER (1999) nimmt der unterirdische Knollenbefall mit steigender Bodenfeuchte im Bereich zwischen 40 und 80 Prozent der Feldkapazität deutlich zu. Diese Datenpunkte liegen nach BECHER (persönliche Mitteilung, 2004) allerdings zum Beispiel für einen Feinsand für 80 % $FK_{(300)}$ bei 400 hPa (Porendurchmesser 7,5). Bei Lößlehm erhält man für 40 % $FK_{(300)}$ einen hPa-Wert von >15.000 . Beide Werte liegen aufgrund ihres Porendurchmessers nicht in der infektionsrelevanten Zone. Die Angabe einer durchschnittlichen Wasserspannung für terrestrische Böden ist nicht unproblematisch, da die Infiltration nach einem Regenereignis einen zeitlichen Prozess darstellt. Innerhalb der Zeitspanne werden fast wassergesättigte Krumenbereiche mit zunehmender Tiefenverlagerung des Bodenwassers wieder trockener und „schieben“ nach Auffüllung ihres Fein- und Mittelporenbereiches eine Bewässerungsfront innerhalb ihrer Grobporen nach unten weiter. Dieser Krumenbereich weist also hinsichtlich der Wasserspannung in einer Momentaufnahme sehr niedrige Werte auf, welche bei einem Weiterwandern der Bewässerungsfront schnell wieder auf höhere Hektopascalwerte ansteigen.

Andere Formen der Fortbewegung von Pilzsporen im Boden, welche nicht an die Bedingung wassergefüllter Poren im entsprechenden Durchmesserbereich gekoppelt sind, wären denkbar. Eine aktive Wanderung der Zoosporen bei nur teilweise wassergefüllten Poren kann ausgeschlossen werden, da der Erreger keinen dafür notwendigen Saum an Flimmerhärchen besitzt, sondern nur über zwei heterokonte Geißeln verfügt. Die Passage wassergefüllter Poren unterhalb 10 μm Durchmesser ist

denkbar, wenn sich die Zoosporen verformen. Eine Verformung der nackten Protoplasten zur Passage einer Engstelle im Porenraum ist zwar denkbar, jedoch reagieren die Zoosporen sehr empfindlich auf mechanische Beschädigungen. Bisher liegen dazu keine näheren Untersuchungsergebnisse vor. Inwieweit ein passiver Transport durch das Einwachsen von anderen Pilzhyphen in sporenbeladene Poren stattfindet, ist nicht geklärt. Eine Verschleppung durch Bodentierchen scheidet für Zoosporen aus, da die Poren für einen Durchgang der Bodentierchen zu klein sind.

Eine sichtbare Knolleninfektion endet in den meisten Fällen mit dem Absterben der Knolle, bevor überhaupt Austriebe gebildet werden können. Nur nach sehr schwachen Infektionen kommt es noch zur Entwicklung von Trieben, in denen SCHLENZIG (1997) den Erreger mit einem ELISA-Test aber in den wenigsten Fällen nachweisen konnte. Es ist möglich, dass dieser Umstand nicht am fehlenden Pilzmaterial, sondern an der unzureichenden Sensitivität der Nachweismethode lag. ADLER (2000) gibt zudem an, dass von einer kranken Knolle sowohl infizierte als auch gesunde Stängel gebildet werden können. Heftig befallene Knollen des Gewächshausversuches hatten keinerlei Triebe bis zur Bodenoberfläche vorzuweisen, bei einem Nachgraben in den Töpfen konnte festgestellt werden, dass alle Haupttriebe bereits in sehr frühem Stadium (wenige Millimeter Länge) abgestorben waren. Die von der Knolle gebildeten „Nottriebe“ auf der kronenabgewandten Seite waren zwar einige Zentimeter in Richtung Bodenoberfläche gewachsen, wurden dann aber auch derart von Pilzmycel durchwachsen, dass nur in sehr vereinzelt Töpfe überhaupt durchstoßende Triebe aus den inokulierten Knollen bonitiert werden konnten.

Erfolgreiche Infektionen der Stängel stellen in der Wirt-Pathogen-Beziehung auch einen Wettlauf mit der Zeit dar. Der Befall durch den Pilz darf nur so stark sein, dass die Triebe der Kartoffelpflanze nicht verkümmern, sonst tragen selbige den Pilz nicht an die Bodenoberfläche. Auf der anderen Seite muss das Pathogen so stark infiziert haben, dass eine Wirtsabwehr über die Bildung von nekrotisiertem Gewebe ausgeschlossen werden kann.

In der näheren Umgebung einer Pflanzknolle mit oberflächlich sporulierendem Pilzmycel kann bei hohen Bodenwassergehalten die unterirdische Ausbreitung (vor allem in Dammrichtung) so stark sein, dass auch die nächstliegenden Knollen nach einer Stängelinfektion keine Triebe ausbilden können. Nach VAN DER ZAAG (1956) entstehen auf der Oberfläche von infizierten Knollen im Mittel bis zu

100.000 Sporangien. Zusätzlich geht LACEY (1967) davon aus, dass bereits eine Konzentration von 1-2 Sporangien pro Milliliter genügt, um Kartoffelgewebe zu infizieren.

Ab einer gewissen Entfernung von der Inokulumquelle kann aber dann die Infektionsheftigkeit soweit abgenommen haben, dass oben beschriebene Gratwanderung zur Bildung von latent infizierten Stängeln führt.

Aufgrund der zahlreichen Faktoren, welche zur Entstehung solcher Triebe notwendig sind, lässt es sich nachvollziehen, dass nur in wenigen Fällen Triebe genau mit der „richtigen“ Inokulummenge beladen werden. Zusätzlich entsteht auf einem latent infizierten Trieb nach ADLER (2000) nicht unbedingt eine Nekrose mit sporulierendem Mycel. VAN DER ZAAG (1956) stellt aber fest, dass lediglich ein Primärherd auf der Fläche eines Quadratkilometers genügt, um eine *Phytophthora infestans*-Epidemie auszulösen.

Sporangien waren bei ZAN (1962) bis zu 77 Tage in einem Lehmboden bei 25 Prozent Porenvolumen überlebensfähig. Die Überlebensfähigkeit verlängerte sich dabei mit niedrigeren Temperaturen und einer Wasserhaltekapazität zwischen 15 und 25 Prozent. Sporangien können aufgrund ihrer Größe (27 bis 30 x 15 bis 20 µm) nur in engen Grobporen mit einem Mindestdurchmesser von mehr als 30 µm (pF-Wert kleiner 2,0 bzw. kleiner 100 hPa Wasserspannung) passiv mit dem Wasserstrom transportiert werden. Zoosporen sind zwar weitaus weniger lange überlebensfähig, können aber bereits im Grenzbereich zwischen Mittelporen und engen Grobporen transportiert werden (Mindestdurchmesser von mehr als 10 µm; pF-Wert von kleiner 2,5 und kleiner 316 hPa Wasserspannung). Sie haben nach ULLRICH (1959) bei 16 bis 24 °C eine Mobilitätsdauer von nur 30 Minuten, bei unter 10°C steigt diese aber schon auf 22 Stunden an.

Die Art der Keimung von Sporangien scheint in erster Linie über die Bodentemperatur bestimmt, da nach GISI (1997) die Bodenluft bei 15.000 hPa Wasserspannung immer noch eine Feuchtigkeit von 97 Prozent aufweisen kann. Im Gewächshausversuch scheint deshalb die Keimung über die Entlassung von Zoosporen die gewichtigere Rolle als die direkte Keimung gespielt zu haben.

SATO (1979) berichtet von einer Zunahme der Knolleninfektionen bei nassen und kalten Böden. Die eingestellte Kabinentemperatur des durchgeführten Versuchs lag mit

15 °C in der Temperaturbande, in welcher nach (HOFFMANN und SCHMUTTERER, 1999) die indirekte Keimung der Sporangien durch Zoosporenfreisetzung stattfindet. Bodentemperaturen wurden zwar nicht gemessen, jedoch ist davon auszugehen, dass der Boden der Plastiktöpfe mit vier Litern Volumen die Raumtemperatur bald angenommen hat. Die Zoosporenfreisetzung bringt zwei Dinge mit sich. Zum einen wird das Inokulum im Vergleich zur direkten Keimung vervielfacht, da pro Sporangium zwischen sechs und sechzehn Zoosporen entlassen werden. Zum anderen benötigt der Erreger zur unterirdischen Ausbreitung nun keine so niedrigen Wasserspannungen des Bodens mehr, da die zum Transport notwendigen minimalen Porendurchmesser für die Zoosporen schon bei einer höheren Wasserspannung mit Wasser gefüllt sind.

Dies bedeutet, dass eine sehr viel höhere Inokulummenge bereits bei höheren Hektopascalwerten transportiert werden kann und zudem kurzfristig auch noch durch die Geißeln eine eigenständige Mobilität aufweisen. Diese dürfte zwar für den Streckentransport eine unbedeutende Rolle spielen (CARLILE, 1983), für die chemotaktische Auffindung des Wirtsgewebes halten einige Autoren diese aktive Fortbewegungsmöglichkeit aber durchaus für relevant. BOYD (1980) hält einen Transport der Zoosporen von 10 bis 20 cm im Boden für möglich. Bei staunassen Dämmen mit überfluteten Zwischenreihen ist es jedoch denkbar, dass die Sporangien und Zoosporen nach einem eventuellen Verlassen des Dammes über weitere Strecken durch das Oberflächenwasser verbreitet werden.

Nach LACEY (1962) ist ein Wassergehalt von mindestens 20 Volumenprozent notwendig, um Sporangien und Zoosporen mit dem Massenstrom an Nachbarpflanzen befördern zu können. Die Wasserspannungskurven der Bodenarten zeigten, dass bei einem solchen Wassergehalt nur auf dem lehmigen Sand die Zoosporen bewegt werden ($pF=2,3$). Demgegenüber erscheint dieser Wassergehalt für einen Transport des Erregers auf schluffreichen Böden zu gering, da bei der Bodenart sandiger Lehm dann gerade die Poren mit 1,5 μm Durchmesser wassergefüllt sind, beim schluffigen Lehm gar nur die Poren mit 0,7 μm .

Derzeit wird von einem erhöhten unterirdischen Infektionsrisiko –verbunden mit einem frühen und heftigen Anfangsbefall- bei einer mehrtägigen „Unbefahrbarkeit“ der

Flächen im Zeitraum Mai bis Mitte Juni ausgegangen (HABERMEYER und ADLER, 2000). Auf terrestrischen Böden wird von einer Unbefahrbarkeit der Böden gesprochen, wenn der Bodenwassergehalt bis 120 Prozent der Feldkapazität ($pF = 2,5$) erreicht. Auf manchen Standorten werden als Limit auch Werte unterhalb der Feldkapazität genannt (BECHER, persönliche Mitteilungen, 2004). Erst bei einem Überschreiten der Feldkapazität ist eine horizontale Verbreitung von Zoosporen denkbar, da die für den Transport dieser Sporen notwendigen Poren wassergefüllt sind. Wie die Bewässerungsintervalle zeigen konnten, hängt das Ausmaß der Stängelinfektion mit der Dauer der hohen Bodenfeuchte zusammen.

Homogene Bodenstrukturen in ebener Lage sind in landwirtschaftlichen Praxisflächen eher selten anzutreffen. Stattdessen überwiegen inhomogene Bodenstrukturen selbst auf kleinflächigen Schlägen und führen zu Bodenfeuchtigkeitsunterschieden innerhalb des gleichen Feldes, da das Bodenwasser immer von den Bodenstellen mit hohem Schluff- oder Tonanteil entlang des Saugspannungsgradienten zu den sandigen und grobporeneren Abschnitten transportiert wird. Dies begründet eine Ausbreitung und einen Auftritt des Erregers an Stellen der Kartoffelfläche, an welchen nicht unbedingt mit Primärbefall gerechnet wird (APPEL, 2001).

Im Gegensatz zum lockeren Boden der Kartoffeldämme kann auf schweren Böden die Bodenoberfläche des Kartoffel-Legeniveaus während des Legevorgangs durch die Schare der Legemaschine verdichtet werden. Auf dieser Verdichtung erfolgt eine horizontale Ausbreitung des Erregers in Richtung der Kartoffeldämme. Die Beobachtungen von SCHLENZIG (1997) können damit erklärt werden.

Die Möglichkeit der Übertragung des Erregers zwischen Pflanzung und Auflauf ist auf der Grundlage der Versuchsergebnisse vor allem auf schluffreichen Böden bei langanhaltenden und ergiebigen Niederschlägen in Betracht zu ziehen. Der Faktor Bodenart nimmt auf das Befallsgeschehen den weitaus größeren Einfluss als die Bodenfeuchte. Mit dem vorgestellten Gewächshausversuch konnten die Zusammenhänge zwischen den beiden bodenphysikalischen Parametern und dem Stängelbefall unter vergleichbaren Bedingungen quantifiziert werden. Die überraschend deutlichen Aussagen des Umfangs unterirdischer Infektionen legt den Schluss nahe, dass bei einem dringend notwendigen „Bodenmodul“ für die Prognosemodelle die bodenphysikalischen Parameter Bodenart und Bodenfeuchte intensiver zu untersuchen sind.

Nach HÄNNI (1949) muss sich die direkte Bekämpfung schon gegen die Quellen, welche Primärherde bilden können, richten. Als Infektionsquellen für eine Epidemie der Krautfäule sind infizierte Knollen von Abfallhaufen, befallene Durchwuchskartoffeln und latent erkranktes Pflanzgut bekannt. Kontrovers wird die Möglichkeit diskutiert, nach einer Oosporenbildung des Pilzes im darauffolgenden Jahr eine frühzeitige Epidemie auszulösen. Die Überdauerung als Saprophyt oder auf Nebenwirten scheint hingegen im europäischen Raum nur eine untergeordnete Rolle zu spielen.

Inokulum von Abfallhaufen und Durchwuchskartoffeln erreicht die Kartoffelschläge über windbürtigen Eintrag erst, nachdem der Erreger auf ihnen einen vollständigen Entwicklungszyklus abschließen konnte. Dieser Umstand führt zu einer später auftretenden Krautfäule in angrenzenden Kartoffelschlägen, welche sich dort überwiegend als Blattbefall darstellt. EHRHART schreibt den Durchwuchskartoffeln wegen des in der heutigen Zeit fehlenden Nachsammelns von Knollen nach der Rodung eine höhere Bedeutung zu, gleichzeitig wird aber empfohlen, durch eine flache Bodenbearbeitung möglichst viele Knollen über den Winter erfrieren zu lassen. Die beiden Quellen scheinen aber für den Primärbefall nur eine geringe Bedeutung zu haben.

In landwirtschaftlichen Kartoffelschlägen wird von einer immer früher und vornehmlich am Stängel auftretenden Befallssituation berichtet (TURKENSTEEN und FLIER, 1998). Das Pflanzgut stellt dabei nach ADLER (2000) unter bestimmten Witterungsbedingungen die wichtigste Inokulumquelle der früh auftretenden Krautfäule dar. Selbst ein geringer Anteil an latent infizierten Knollen kann nach Phasen hoher Bodenfeuchte durch eine unterirdische Ausbreitung zahlreiche Neuinfektionen setzen. Daraus können sich später Stängelbefälle auf kleinstem Raum entwickeln, welche das Symptombild der „Befallsnester“ hervorrufen. Die prozentuale latente Verseuchung der Knollen wird durch die Witterungsereignisse zwischen Pflanzung und Auflauf bei weitem überlagert.

Mit der Verbesserung der Erntetechnik war es den Landwirten im Laufe der Jahre möglich, die Kartoffel auf immer schwereren und damit ertragreicheren Böden anzubauen. Wie mit dem Gewächshausversuch gezeigt, wurden dabei unbewusst bessere Bedingungen für die unterirdische Ausbreitung des Pilzes vor dem Auflaufen geschaffen. Die Knollen sind zudem heute während des Rodevorgangs und der Einlagerungsarbeiten nicht mehr der mechanischen Beanspruchung ausgesetzt wie in

früherer Zeit. Infolgedessen reduzieren sich die Verletzungen in Anzahl und Umfang auf ein geringes Ausmaß. Beschädigungen wie zum Beispiel Haarrisse führen aber im Gegensatz zu größeren Verletzungen weniger häufig zu optisch kranken Knollen nach der Lagerung. Aus diesem Grund weisen vor allem infizierte und gering beschädigte Knollen bei der heutigen Kaltlagerung (+4°C) keine bzw. nur schwache Symptombildung auf.

Erfolgreiche Infektionen des Erntegutes hängen im wesentlichen vom zeitlichen Zusammentreffen infektionstüchtiger Sporangien mit ausreichend hohen Niederschlagsereignissen ab (ULLRICH, 1957). Mit dem Einsatz moderner Fungizide über die gängige Spritzapplikation kann die Zeitspanne der Vegetationsperiode mit grüner Blattmasse verlängert werden. Die neuen Fungizide verfügen zwar über eine höhere Effektivität gegen die Krautfäule, können allerdings keinen hundertprozentigen Wirkungsgrad bieten. Es ist deswegen denkbar, dass sich das Zusammentreffen von infektionsfähigem Inokulum mit ausreichend hohen Niederschlägen für einen Transport der Sporen im Boden öfter ereignet. Ein höherer Befall der Knollen schon während ihres Wachstums ist die Folge.

Bei SCHÖBER-BUTIN (1998) werden für die zunehmende Komplexität der Pathotypen des Erregers in Deutschland drei Gründe angeführt. Erstens die Mutation und anschließende Selektion (SCHICK und KLINKOWSKI, 1962), zweitens die Selektion aus einem Pathotypen-Pool (ULLRICH, 1976) und drittens die Möglichkeit der sexuellen Rekombination seit 1985.

Über die Bedeutung der Oosporen gehen die Meinungen der Wissenschaftler auseinander. In Schweden (ANDERSSON et al., 1998) und den Niederlanden (TURKENSTEEN et al., 2000) wird den Dauersporen eine gewisse Bedeutung bei der Frage nach den Infektionsquellen von Primärbefall beigemessen. SCHÖBER (1992) gibt an, dass Oosporen in Deutschland selten gefunden wurden, aus Bodenaufschwemmungen aber isoliert werden konnten. Die Bedeutung für die Praxis ist aus Sicht der Autorin aber noch weitgehend ungeklärt. Auch HABERMEYER und ADLER (2000) sind der Meinung, dass die Bedeutung der Dauersporen als mögliche neuere Infektionsquelle derzeit noch nicht abschließend beurteilt werden kann. Sie stufen die Bedeutung der Dauersporen für die Populationsstruktur des Krautfäulepilzes aber deutlich höher ein als deren Wichtigkeit als Infektionsquelle im Feld.

Voraussetzung für die Durchführung der Exaktversuche war die Funktionalität einer Methode zur künstlichen Infektion des Pflanzgutes. Erst dadurch konnte eine gleichmäßige Ausgangsbelastung des Pflanzgutes gesichert werden. Durch die Optimierung der PCR-Technik nach TOOLEY (1997) durch ADLER (2000) war zudem die Überprüfung latenter Infektionen des Stängelgewebes von künstlich infiziertem Pflanzgut möglich.

Innerhalb der Freilandversuche konnte untersucht werden, welche Auswirkungen eine Pflanzgutbehandlung mit Oomycetenfungiziden auf den Auflauf, den Stängel- und Blattbefall sowie den Ertrag hat.

Die Inokulation der Kontrollvariante führte in allen Jahren zu einer Abnahme der aufgelaufenen Pflanzen. Während im Jahr 2000 nur sieben Prozent der Pflanzen ausblieben, steigerte sich der Anteil in den beiden Folgejahren auf durchschnittlich 33 Prozent. Die Reduktion des Auflaufes hängt neben den Bodenwassergehalten während dieses Zeitraumes auch mit der Fitness des verwendeten Isolates zum Zeitpunkt der Inokulation zusammen.

Die Pflanzgutbeizung war in allen drei Jahren in der Lage, die Auswirkungen der Knolleninfektionen zu mindern und den Auflauf zu erhöhen. Bei den behandelten Varianten konnte der Kontaktwirkstoff Mancozeb während der drei Jahre die Auflauftrate um durchschnittlich sechs Prozent erhöhen. INGLIS konnte 1999 nachweisen, dass durch die Behandlung von geschnittenen Pflanzgut mit dem Kontaktwirkstoff Mancozeb neben einem einheitlicheren Feldaufgang und einem gleichmäßigeren Habitus der Pflanzen auch eine Ertragssteigerung erreicht werden konnte.

Die mit Ridomil Gold MZ behandelten Varianten in den Jahren 2000 und 2001 hatten im Vergleich zur inokulierten Kontrolle einen um neun Prozent höheren Feldaufgang. Die Zugabe eines Emulsionspolymers zu Ridomil Gold MZ verringerte den Auflauf nur unwesentlich. Im Jahr 2002 wurde das Produkt Fongamil eingesetzt, da es Metalaxyl als Solowirkstoff beinhaltet. Dieses Produkt ist allerdings nicht gegen *Phytophthora infestans* im Kartoffelbau zugelassen. Aus dem Zusatz des Emulsionspolymers zu diesem Produkt resultierte im letzten Untersuchungsjahr eine Abnahme des Auflaufes. Eine Dosissteigerung des Versuchsmittels konnte 2001 keine durchgehende Erhöhung des Parameters nach sich ziehen. Im letzten Versuchsjahr fiel das Mittel als

Solowirkstoff hinter die Kontrollvariante zurück. Bei Anwendung einer Mischung mit Curzate 60 WG hingegen lag der Auflauf um acht Prozent über der Kontrolle.

Ein systemisches Versuchsmittel wies mit 96 Prozent in 2000 sogar ähnliche Ergebnisse wie das gesunde Pflanzgut auf. Das Produkt konnte in den beiden Folgejahren jedoch beim Parameter Auflauf nicht mehr an die sehr guten Werte des ersten Versuchsjahres anknüpfen. In 2002 fiel es sogar unter die Auflaufrate der Kontrollvariante zurück.

Das lokalsystemische Dimethomorph konnte bei den Varianten der Dosissteigerung im Jahr 2000 mit steigender Wirkstoffmenge auch den Auflauf erhöhen. Der Wirkstoff war 2001 innerhalb des Produktes Acrobat jedoch nicht mehr in der Lage, die Anzahl der aufgelaufenen Pflanzen zu erhöhen.

Im Jahr 2000 erfolgte eine Überprüfung der Beizwirkung durch die Untersuchung von Stängelmaterial mittels PCR-Technik. Dabei lag die latente Verseuchung der unbehandelten Kontrolle mit 37,7 Prozent achtmal höher als die Variante mit „DMM 1000“. Es konnte keine klare Aufwand-Wirkungsbeziehung erarbeitet werden, da bei der Variante „DMM 500“ kein Befall nachweisbar war, während „DMM 200“ 4,4 Prozent infizierte Stängel hatte.

Die Nachlieferung von fungizidem Wirkstoff aus dem Beizhof konnte im Jahr 2000 anhand von Blattproben acht Wochen nach der Pflanzung durch einen Detached-leaf-Test untersucht werden. 58 Tage nach der Pflanzung war es den behandelten Varianten möglich, den Blattbefall im Unterschied zur Kontrolle signifikant zu unterdrücken. Innerhalb der behandelten Varianten stellte sich das Versuchsmittel als besonders persistent heraus und erzielte 61 Tage nach Pflanzung eine fünfzehnfach bessere Wirkung als das Mittel Ridomil Gold MZ.

Die Behandlung des infizierten Pflanzgutes mit Fungiziden konnte den Ausbruch der Krautfäule in allen drei Versuchsjahren verzögern und die Epidemiegeschwindigkeit vermindern.

Der erste Befall trat jeweils in den infizierten Kontrollen auf, welche einen früheren und heftigeren Befall aufwiesen als die gesunde „Kontrollvariante“.

Die Zeitspannen der letzten befallsfreien Bonituren behandelter Varianten reichte von acht Tagen im Jahr 2001 bis zu 20 Tagen im Jahr 2002. Das Produkt Ridomil Gold MZ konnte dabei eine sehr gute Wirkung zeigen, da die Kombination des Kontaktwirkstoffes Mancozeb mit der systemischen Komponente Metalaxyl sowohl in den direkten als auch den indirekten Infektionsprozess eingreifen konnte. In allen drei Jahren waren die systemischen Produkte den lokalsystemischen Wirkstoffen und Kontaktmitteln überlegen.

1983 führten BHATIA und YOUNG Versuche zur Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule durch, in denen sowohl Mancozeb als auch Metalaxyl eingesetzt wurden. Dabei war Metalaxyl (im Produkt Ridomil) sowohl bei Blatt- als auch bei Bodenapplikation (vor dem letzten Häufeln) in der Lage, die Krautfäule effektiv zu unterdrücken. Des weiteren werden Ergebnisse der Untersuchung des Erntegutes vorgestellt, wonach es bei Metalaxyl (nach Spritzapplikation) zu einem basipetalen Transport und einer anschließenden Knolleneinlagerung des Wirkstoffes kam. Die Autoren gehen im gleichen Artikel davon aus, dass sich Metalaxyl bei mehrfachen Behandlungen während der Vegetationsperiode in den Knollen akkumuliert. Der fungizide Effekt hielt in diesen Knollen bei Lagerung zwischen 5 und 20 °C bis zu 110 Tage an.

STACHEWICZ und BURTH publizierten 1988 einen Beitrag zur Beizung von Pflanzkartoffeln mit dem Wirkstoff Metalaxyl. Es war wie im Freilandjahr 2002 der hier vorgestellten Versuche eine Reduzierung der Primärherde sowie eine verminderte Krautfäule-Anfälligkeit der Stauden gegeben. Die Autoren berichten dabei von einer anhaltenden Wirkung im Zeitraum von bis zu 70 Tagen nach der Pflanzung. ADLER (2000) erzielte bei der Pflanzgutbeizung mit Ridomil Gold MZ und Ciluan (im Tauchverfahren vor dem Legen) eine Verminderung der Anzahl latent befallener Stängel und eine Verzögerung des sichtbaren Befallsauftretens.

Zur Verbesserung der Resistenzproblematik wird der Wirkstoffes Metalaxyl heute vor allem in Verbindung mit Kontaktfungiziden angeboten. Der Anwendungszeitpunkt systemischer Produkte sollte zur Verzögerung des latenten Stängelbefalles nach ADLER (2000) bereits in der ersten Applikation liegen. Ebenso stellen APPEL et al. (2001) fest, dass sich bei witterungs- und bodenbedingten hohem

Primärbefallsrisiko Fungizide mit systemischer Tiefenwirkung im ersten Drittel der Spritzfolge bewährt haben.

STACHEWICZ et al. (1990) erzielen mit ein- bis zweimaligen präinfektionellen Anwendungen von „Ridomil Zineb“ eine wesentliche Verbesserung des Bekämpfungserfolges der Kraut und Knollenfäule, wenn die *Phytophthora*-Populationen hinreichend sensitiv reagierten. Bei der Untersuchung von Fitnessunterschieden zwischen metalaxylresistenten und metalaxylsensitiven Isolaten stellen die Autoren Unterschiede fest. Nach ROUGHGARDEN (1979) ist die Fitness definiert als Beitrag eines Individuums oder Genotyps zum Genpool der nächsten Generation. Die Zoosporen/Sporangiensuspension von phenylamidresistenten Isolaten war bei höheren Temperaturen weniger effizient als die von sensitiven Isolaten (STACHEWICZ et al., 1990). Es scheint unter Einbeziehung der bisherigen praktischen Erfahrungen wahrscheinlich, dass im Effizienzverlust eine der Ursachen für die Resensibilisierung metalaxylresistenter *Phytophthora infestans*-Populationen zu sehen ist. An der Knolle waren resistente Isolate nach den Autoren deutlich pathogener als die sensitiven, vor allem bei niedrigen postinfektionellen Lagerungstemperaturen. Infolge der Fäulnis der mit metalaxylresistenten *Phytophthora*-Stämmen infizierten Pflanzkartoffeln während der Überwinterung fallen diese Pflanzkartoffeln als Primärinfektionsquellen aus. Damit ist eine weitere potentielle Möglichkeit zur Resensibilisierung der *Phytophthora*-Population gegeben. Die Schlussfolgerungen werden allerdings unter Vorbehalt angegeben, da nur eine geringe Anzahl von *Phytophthora infestans*-Isolaten untersucht werden konnte und sich selbige durch eine große Variabilität auszeichneten.

Während aller drei Freilandjahre war der Kontaktwirkstoff Mancozeb in der Lage, den Stängelbefall im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle zu verringern. Der Wirkstoff wird nach bisheriger Erfahrung bei herkömmlicher Spritzapplikation nicht von der Pflanze aufgenommen. Er kann bei einer Beizbehandlung jedoch entscheidend in den Weg der indirekten Triebinfektion eingreifen. Dithane Ultra WP konnte im Vergleich zu Ridomil Gold MZ überraschend gute Ergebnisse hinsichtlich des Stängelbefalles liefern. Die Kontaktfungizide allein besitzen hier bereits ein sehr großes Wirkungsvermögen. Aus dieser mehrjährigen Beobachtung und den Ergebnissen des Gewächshausversuches (nur indirekte Triebinfektionen über das Bodenwasser) wird

klar, dass der indirekte Infektionsweg eine sehr viel gewichtigere Rolle als der direkte besitzt.

Dosissteigerungen mit dem Wirkstoff Dimethomorph im Jahr 2000 und einem systemischen Versuchsmittel in 2001 führten zu einer geringeren Befallshäufigkeit der hochdosierten Varianten während des Boniturzeitraumes.

Die verwendeten fungiziden Wirkstoffe waren bis auf das Versuchsmittel und dem Produkt Fongamil ausschließlich der Produktpalette für die herkömmliche Spritzapplikation entnommen worden. Eine Formulierungsabstimmung für einen Einsatz als Beizmittel war nicht möglich gewesen. Mit der Beimischung eines Emulsionspolymers konnte allerdings eine slow-release Formulierung nachgestellt werden. Es waren überraschende Verbesserungen der Effekte bei der Unterdrückung des Stängelbefalles möglich. Im Hochsommer 2002 erreichte die Variante lediglich ein Drittel des Befallsniveaus der Variante Metalaxyl 80 ohne Emulsionspolymer. Aufgrund der Resistenzproblematik systemischer Wirkstoffe sollte es aber nicht zielführend sein, einen Schutz vor *Phytophthora infestans* über die ganze Vegetationsperiode hinweg durch eine Pflanzgutbeizung sicherzustellen. Überlegenswert ist deshalb die Kombination eines kurzfristig wirkenden systemischen Wirkstoffes mit einem langanhaltenden Kontaktmittel. Dabei könnte der systemische Partner eine direkte Triebinfektion verhindern und das Kontaktmittel eine eventuell auftretende Sporulation von Mycel auf der Knollenoberfläche unterbinden. Die Formulierungstechnologie könnte ein hilfreiches Werkzeug sein, um die Wirkstoffe einerseits zum gewünschten Zeitpunkt, andererseits in der notwendigen Menge freisetzen zu können.

Die Pflanzgutbehandlung wirkte sich ebenfalls auf den Befall des Blattapparates durch *Phytophthora infestans* aus. Die Produkte mit systemischen Anteilen konnten dabei einen deutlich besseren Schutz bieten als das Kontaktmittel. Bemerkenswert ist das vollsystemische Versuchsmittel, welches in 2001 und 2002 den geringsten Befall des Erregers im Blattbereich zuließ. Die Problematik der Resistenzbildung gilt beim Blattbefall natürlich ebenso wie beim Stängelbefall. Für eine erste Testung der Potenz von Fungizidbeizen gegen *Phytophthora infestans* waren die Ergebnisse vor allem im Hinblick auf die Wirkungsdauer überraschend. Das Versuchsmittel ließ 2002 lediglich acht Prozent Blattbefall zu einem Zeitpunkt zu, an welchem schon an jeder Staude des ganzen Freilandversuches mindestens ein Stängel durch die Krautfäule befallen war.

Ziel der Pflanzgutbeizung sollte aber vor allem die Unterdrückung des primären Stängelbefalles sein. Ein langanhaltender Fungizidschutz sollte wegen der Resistenzproblematik nicht aufgebaut werden.

Für den Landwirt stellt der erreichbare Ertrag einen wichtigen Parameter des Kartoffelanbaues dar. Mit den eingesetzten Produkten war fast durchweg eine Erhöhung des Ertrages durch die einmalige Applikation von Fungizid zur Pflanzung möglich. Im Jahr 2000 konnten sich Ridomil Gold MZ und das Versuchsmittel sogar statistisch absicherbar von der unbehandelten Kontrolle unterscheiden. Im zweiten Versuchsjahr war es wiederum die mit Ridomil Gold MZ gebeizte Variante, welche den höchsten Ertrag erreichte, während das Versuchsmittel hinter der unbehandelten Kontrolle zurückblieb. Im letzten Versuchsjahr konnte bei diesem vollsystemischen Produkt zwar mehr geerntet werden als in der Kontrollvariante, aber erst die Kombination mit Curzate 60 WG bescherte den höchsten Ertrag aller Varianten. APPEL (1999) stellte in seinen Untersuchungen eine physiologische Wirkung von Cymoxanil fest. Die größere Erntemenge war dabei ausschließlich auf eine Erhöhung der Knollenanzahl pro Staude zurückzuführen.

DMM 200 erreichte im ersten Versuchsjahr nur das Ertragsniveau der Kontrolle. Bei einem geringeren Auflauf der behandelten Variante war der Ertrag der Einzelpflanze allerdings höher als bei der Kontrollvariante. Im darauffolgenden Jahr ergaben sich keine statistischen Unterschiede.

Die Varianten mit Emulsionspolymer konnten an die Erträge der Solowirkstoffvarianten sowohl 2001 als auch 2002 anknüpfen. Eine verbesserte Situation beim Stängel- und Blattbefall ging einher mit gleich hohen Erntemengen. Ridomil Gold MZ und Fongamil konnten den Ertrag gegenüber der unbehandelten Kontrolle in allen drei Versuchsjahren steigern. HARTILL (1980) setzte zur erfolgreichen Kontrolle der Krautfäule ebenfalls Metalaxyl (als WP-Formulierung) ein. Er berichtet, dass der Ertrag von verkaufsfähiger Ware bei einer Pflanzgutbehandlung und herkömmlicher Spritzapplikation gleich hoch waren.

Das Tauchverfahren des ersten Versuchsjahres hat sich aufgrund der mangelhaften Benetzung von Beizbrühe an der Knollenoberfläche nicht bewährt. Deshalb wurde im zweiten Jahr zuerst getestet, welches Flüssigkeitsvolumen an der Oberfläche der 252 Knollen einer Variante appliziert werden konnte, ohne dass es zu einem Abtropfen kam. Die Produkte wurden dann in dem ermittelten Volumen Wasser gelöst und über

einen Drucksprüher auf die Knollen ausgebracht. Damit war eine vollständige und gleichmäßige Verteilung der Wirkstoffe auf den Kartoffeln möglich.

Zur Bekämpfung von frühzeitigem Stängelbefall müssen in der Praxis derzeit Spritzapplikationen zu einem Zeitpunkt gesetzt werden, an dem die Kartoffelpflanzen erst einen kleinen Teil der Bodenoberfläche bedecken. Die Möglichkeiten der Bekämpfung zeigen zusätzlich Wirkungsgrade, welche den Praktiker bei dem hohen Kostenaufwand nicht zufrieden stellen. Die besondere Problematik mit der momentan überwiegend vorhandenen Geräteausstattung der landwirtschaftlichen Betriebe besteht dabei vor allem auch in technisch bedingtem Eintrag von Fungiziden in Nichtzielflächen.

Im Rahmen der geschilderten Untersuchungen konnten die Zusammenhänge der unterirdischen Ausbreitung des Pathogens aufgezeigt werden. Die Bewertung des Pflanzgutes hinsichtlich seiner latenten Verseuchung ist aufgrund des zeit- und kostenintensiven Nachweisverfahrens nicht praktikabel. Nach den Ergebnissen der Freilandversuche und des Gewächshausversuches spielt die Höhe der Ausgangsbelastung der Knollen nur eine untergeordnete Rolle. Der Stängelbefall wird in diesem Zusammenhang von den Witterungsereignissen nach der Pflanzung deutlich überlagert.

Unter der Voraussetzung, dass die Zahl latent befallener Knollen aus dem Lager in den letzten Jahren zugenommen hat (FLIER et al., 1998) und die neuen Populationen von *Phytophthora infestans* aggressiver und anpassungsfähiger sind (GAVINO et al., 2000) stellt die Pflanzgutbehandlung eine mögliche Lösung für die Reduktion von früh auftretendem Stängelbefall dar. Mit der Pflanzgutbeizung wurde eine Möglichkeit überprüft, bei welcher die punktgenaue Applikation von Fungiziden mit einem sehr frühen Eingriff in die Pilzepidemie verknüpft werden kann. Je früher in seiner Entwicklung das Pathogen bekämpft wird, umso weniger ist es notwendig, eventuelle Kalamitäten später mit großem Fungizidaufwand über Spritzapplikationen zu verhindern. Ein Zugewinn an Sicherheit für die entscheidende Erstspritzung kann die Prognosemodelle bei der schwierigen Berechnung des Spritzstarts dahingehend unterstützen, dass die wichtige Erstapplikation durch einen längeren Handlungszeitraum vereinfacht wird.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde der Primärbefall der Kartoffeln mit *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary unter Berücksichtigung zweier physikalischer Bodenparameter und einer Pflanzgutbeizung untersucht. Folgende Ergebnisse konnten dabei erzielt werden:

1. Die Möglichkeit einer unterirdischen Triebinfektion durch *Phytophthora infestans* konnte im Rahmen eines Gewächshausversuches nachgewiesen werden. Der Einfluss der Bodenart war beim lehmigen Sand mit 2,2 Prozent latenter Verseuchung am geringsten. Mit 26,2 Prozent Stängelinfektion nahm der sandige Lehm eine Mittelstellung ein, während der schluffige Lehm ein Befallsniveau von 45,5 Prozent erreichte. Von den beiden geprüften physikalischen Bodenparametern Bodenart und Bodenfeuchte ging der größte Effekt von der Bodenart aus, welcher im wesentlichen linear auf die Stängelverseuchung wirkte.
2. Der Einfluss des Intervalls hoher Bodenfeuchte zeigte bei zweitägiger Dauer ein durchschnittliches Befallsniveau von 17,8 Prozent. Die Ausdehnung des Intervalls auf 4 Tage ging einher mit einer Steigerung der Stängelverseuchung auf einen Wert von 24,9 Prozent. Bei acht Tagen mit hoher Bodenfeuchte stieg die prozentuale Stängelverseuchung auf 31,1 Prozent an. Der Faktor Bewässerungsintervall hat einen minder starken Effekt auf die Stängelverseuchung, welcher jedoch hochgradig nichtlinear ist (Sättigungsphänomen).
3. Die Witterung im Zeitfenster Pflanzung bis Auflauf überlagerte in Ihrer Auswirkung auf den Stängelbefall die prozentuale Ausgangsbelastung des Pflanzgutes bei weitem.
4. Für einen erfolgreichen Infektionsprozess mussten mindestens die Bodenporen mit einem Durchmesser von 10 μm wassergefüllt sein. Das Ausmaß der unterirdischen Stängelinfektion wurde durch den Zeitraum und die Höhe des Wassergehaltes der Böden bestimmt.

5. Durch eine künstliche Inokulation des Pflanzgutes konnte die Anzahl primärbefallener Pflanzen erhöht werden.
6. Die Pflanzgutbeizung führte zu einer Erhöhung der Anzahl aufgelaufener Kartoffelstauden, welche zuvor mit dem Erreger künstlich infiziert worden waren.
7. Durch die Beizung des Pflanzgutes konnte neben der Verzögerung des Ausbruches von *Phytophthora infestans* zwischen 8 und 20 Tagen auch die Epidemiegeschwindigkeit vermindert werden.
8. Eine signifikante Verminderung des Blattbefalles konnte durch eine Pflanzgutbehandlung im Zeitraum bis 58 Tage nach der Pflanzung erreicht werden.
9. Die indirekte Infektion hat bei einem Vergleich der beiden unterirdischen Infektionswege die weitaus größere Bedeutung.
10. Im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle war eine Steigerung des Ertrages bei den behandelten Varianten möglich.

7 Literatur

- ADLER, N., 2000: Untersuchungen zum Befall von Kartoffeln mit *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary mittels visueller Bonituren und PCR-Methoden.
Dissertation, Technische Universität München
- ADLER, N., HABERMEYER, J., ZINKERNAGEL, V., 1999: PCR techniques used detection of *Phytophthora infestans* latent infections in potato.
In: Schepers, H., Bouma, E. (Hrsg.): PAV-Report No. 5, January 1999, Applied Research for Arable Farming and Field Production of Vegetables, 247-255
- ANDERSON, B., SANDSTRÖM, M., STRÖMBERG, A., 1998: Indications of soil borne inoculum of *Phytophthora infestans*.
Potato Research **41**, 305-310
- ANDERSON, B., SANDSTRÖM, M., STRÖMBERG, A., 1998: Sexual reproduction fo *Phytophthora infestans* on potato on Sweden.
In: Schepers, H., Bouma, E. (Hrsg.): PAV-Report No. 3, January 1998, Applied Research for Arable Farming and Field Production of Vegetables, 92-96
- ANDRIVON, D., 1994: Dynamics of the survival and infectivity to potato tubers of sporangia of *Phytophthora infestans* in three different soils.
Soil Biol. Biochem. **26**, 945-952
- ANDRIVON, D., 1995: Biology, ecology and epidemiology of the potato late blight pathogen *Phytophthora infestans* in soil.
Phytopathology **85**, 1053-1056
- ANDRIVON, D., 1998.: Variation for pathogenicity in old and new populations of *Phytophthora infestans*: a brief review.
In: Schepers, H., Bouma, E. (Hrsg.): PAV-Report No. 3, January 1998, Applied Research for Arable Farming and Field Production of Vegetables, 49-55

- APPEL, O., 1928: Handbuch der Pflanzenkrankheiten – Die pflanzlichen Parasiten.
Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin, 24 ff
- APPEL, R., 1999: Untersuchungen zur Wirkung einer Pflanzgut-Beizung mit Cymoxanil und Metalaxyl auf den Primärbefall mit *Phytophthora infestans*.
Diplomarbeit, Technische Universität München
- APPEL, R., ADLER, N., HABERMEYER, H., 2001: A method for the artificial inoculation of potato tubers with *Phytophthora infestans* and polymerase chain reaction assay of latently infected sprouts and stems.
J. Phytopathology **149**, 287-292
- APPEL, R., HABERMEYER, J., 2001: Einfluss der Bodenfeuchte auf Primärbefall von *Phytophthora infestans*.
Kartoffelbau **52**, 190-193
- BAIN, R.A., FAIRCLOUGH, R.W., HOLMES, S.J., LIGERTWOOD, G.L., 1997: The role of *Phytophthora infestans* inoculum from stem lesions in the infection of tubers.
In: Bouma, E., Schepers, H. (Hrsg.), 1997: PAV-Report No. 1, January 1997, Applied Research for Arable Farming and Field Production of Vegetables, 98-105
- BAIN, R.A., MÖLLER, K., 1998: Factors influencing potato tuber infection by *Phytophthora infestans*.
In: Schepers, H., Bouma, E. (Hrsg.): PAV-Report No. 3, January 1999, Applied Research for Arable Farming and Field Production of Vegetables, 210-227
- BARTNICKI-GARCIA, S., WANG, M.C., 1983: Biochemical aspects of morphogenesis in *Phytophthora*.
In: Erwin, D.C., Bartnicki-Garcia, S., Tsao, P.H. (Hrsg.): *Phytophthora*, it's biology, taxonomy, ecology, and pathology, American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN, USA, 121-137

- BASHI, E., BEN-JOSEPH, Y., ROTEM, J., 1982: Inoculum potential of *Phytophthora infestans* and the development of potato late blight epidemics.
Phytopathology **72**, 1043-1047
- BECHER, H.H.: Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Lehrstuhl für Bodenkunde,
85350 Freising
- BHATIA, S.K., 1983: Detection of antifungal activity in potato tubers field-treated with Metalaxyl, a systemic fungicide.
Plant Disease **67**, 1075-1079
- BOYD, A.E.W., 1980: Development of potato blight (*Phytophthora infestans*) after planting infected seed tubers.
Ann. appl. Biol. **95**, 301-309
- BRAUN, H., 1953: Pilz- und Bakterienkrankheiten der Kartoffel.
In: Schick, R., Klinkowski, M. (Hrsg.), 1961: Die Kartoffel (Ein Handbuch), VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin
- BRUNS, T.D., WHITE, T.J., TAYLOR, J.W., 1991: Fungal molecular systematics.
Ann. Rev. Ecol. And Systematics **22**, 525-556
- BURTH, U., FREIER, B., HURLE, K., RESCHKE, M., SCHILLER, R., STEIN, B., WESTPHAL, D., 2002: Die Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes.
Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **54**, 208-211
- CHANG, T.T., KO, W.H., 1991: Factors affecting germination of oospores of *Phytophthora infestans*.
J. Phytopathology **133**, 29-35
- CLAYSON, A.M., ROBERTSON, N.F., 1956: Survival of *Phytophthora infestans* in potato stem lesions.
Plant Pathology **5**, 30-31

- CROXALL, H.E., SMITH, L.P., 1976: The epidemiology of potato blight in the East Midlands 1923-1974.
Ann. appl. Biol. **82**, 451-466
- DALY, D.C., 1996: The leaf that launched a thousand ships.
Natural History **1**, 24-31
- DE BRUYN (1926/1) in ANDRIVON, D., 1995: Biology, ecology and epidemiology of the potato late blight pathogen *Phytophthora infestans* in soil.
Phytopathology **85**, 1053-1056
- DE BRUYN (1926/2) in SCHICK, R., KLINKOWSKI, M., 1961: Die Kartoffel (Ein Handbuch), VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin
- EDDINS, A. H., 1945: Transmission and spread of late blight in seed potatoes.
Am. Potato J. **22**, 333-339
- EHRHARDT, K., 1993: Biologische und epidemiologische Grundlagen zur Vorhersage des Auftretens der Kraut- und Knollenfäule *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary an Kartoffeln.
Diplomarbeit, Technische Universität München
- FAIRCLOUGH et al. in BAIN, R.A., MÖLLER, K., 1998: Factors influencing potato tuber infection by *Phytophthora infestans*.
In: Schepers, H., Bouma, E. (Hrsg.): PAV-Report No. 3, January 1998, Applied Research for Arable Farming and Field Production of Vegetables, 210-227
- FLIER, W.G., 1998 in ADLER, N., 2000: Untersuchungen zum Befall von Kartoffeln mit *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary mittels visueller Bonituren und PCR-Methoden.
Dissertation, Technische Universität München

- FLIER, W.G., TURKENSTEEN, L.J., 2000: Sources of initial inoculum; relative importance, timing and implications für late blight epidemics.
In: Schepers, H. (Hrsg.): PAV-Report No. 6, February 2000, Applied Research for Arable Farming and Field Production of Vegetables, 176-179
- FÖRSTER, H., COFFEY, M.D., ELWOOD, H., SOGIN, M.L., 1990: Sequence analysis of the small subunit ribosomal RNAs of three zoosporic fungi and implications for fungal evolution.
Mycologia **82**, 306-312
- FRY, W.E, GOODWIN, S.B., DYER, A.T., MATUSZAK, J.M., DRENTH, A., TOOLEY, P.W., SUJKOWSKI, L.S., KOH, Y.J., COHEN, B.A., SPIELMAN, L.J., DEAHL, K.L., INGLIS, D.A., SANDLAN, K.P. 1993: Historical and recent migrations of *Phytophthora infestans*: chronology, pathways and implications.
Plant Disease **77**, 653-661
- GAVINO et al. (2000) in ADLER, N., 2000: Untersuchungen zum Befall von Kartoffeln mit *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary mittels visueller Bonituren und PCR-Methoden.
Dissertation, Technische Universität München
- GEDDENS, R., SHEPHERD, C., GENET, J.-L., 2002: Stem lesions of potato late blight: Biological features and fungicidal control of early-seasons infections.
In: Westerdijk, C.E., Schepers, H. (Hrsg.): PPO-Special Report No. 8, Applied Plant Research BV, Wageningen, 145-154
- GISI, U., 1997: Bodenökologie
Georg Thieme Verlag Stuttgart
- HACK, H., GALL, H., KLEMKE, T., KLOSE, R., MEIER, U., STAUSS, R., WITZENBERGER, A., 1993: Phänologische Entwicklungsstadien der Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.).
Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **45**, 11-19

- HABERMEYER, J., ADLER, N., 2000: Einflussfaktoren auf Primärbefall durch Kraut- und Knollenfäule.
Kartoffelbau **51**, 50-54
- HARTGE, K.H., HORN, R., 1989: Die physikalische Untersuchung von Böden.
Ferdinand Enke Verlag Stuttgart
- HAUSLADEN, H., 2002: Grundlagen für ein Entscheidungskonzept zur Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule an Kartoffeln und seine Einführung in die Praxis.
Dissertation, Technische Universität München
- HÄNNI, H., 1949: Beiträge zur Biologie und Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel.
Phytopath. Z. **15**, 209-332
- HARTILL, W.F.T., 1980: Spray and seed tuber treatments for late blight control in potatoes.
Plant Disease **64**, 764-766
- HOFFMANN, G. M., NIENHAUS, F., POEHLING, H.-M., SCHÖNBECK, F., WELTZIEN, H.C. WILBERT, H., 1994: Lehrbuch der Phytomedizin.
Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin
- HOFFMANN, G.M., SCHMUTTERER, H., 1999: Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen.
Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart
- INGLIS, D.A., POWELSON, M.L., DORRANCE, A.E., 1999: Effect of registered potato seed piece fungicides on tuber-borne *Phytophthora infestans*.
Plant Disease, 229-234
- JENSEN in APPEL O., 1928: Handbuch der Pflanzenkrankheiten – Die pflanzlichen Parasiten.
Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin

- JOHANNES, H., 1953: Beitrag zur Epidemiologie der *Phytophthora infestans*.
Zeitschr. für Pflanzenkrankh. und Pflanzenschutz **60**, 289-307
- JUDELSON, H.S., 1997: Review – The genetics and biology of *Phytophthora infestans*:
Modern approaches to a historical challenge.
Fungal Genetics and Biology **22**, 65-76
- KABLE, P.F., 1980: Survival of *Phytophthora infestans* in potato stem lesions at high
temperatures and implications for disease forecasting.
Plant Disease **64**, 165-166
- KELLY, C., BAIN, R.A., GENET, J.-L., 2004: The significance of seed tuber-borne
blight in two growing seasons.
In: Westerdijk, C.E., Schepers, H. (Hrsg.): PPO-Special Report No. 10, Applied
Plant Research BV, Wageningen, 95-100
- KNOLL, A.H., 1992; The early evolution of eukaryotes: a geological perspective.
Science **256**, 622-627
- KOLBE, W., 1986: 140 Jahre Kartoffelkrankheit. Geschichte und Verhütung der Kraut-
und Knollenfäule im Kartoffelbau.
Rheinischer Landwirtschafts-Verlag, Bonn
- KOOP, M., KLEIN, H.-U., 2000: Polymerase Chain Reaction.
Homepage des Ratsgymnasiums Münster (www.muenster.de)
- LACEY, J., 1965: The infectivity of soils containing *Phytophthora infestans*.
Ann. Appl. Biol. **56**, 363-380
- LACEY, J., 1966.: The distribution of healthy and blighted tubers in potato ridges.
Eur. Potato J. **9**, 86-98
- LACEY, J., 1967: Susceptibility of potato tubers to infection by *Phytophthora infestans*.
Ann. appl. Biol. **59**, 257-264

- LACEY, J., 1967: The role of water in the spread of *Phytophthora infestans* in the potato crop.
Ann. appl. Biol. **59**, 245-255
- LAMBERT, D. H., CURRIER, A.I., OLANYA, M. O., 1998: Transmission of *Phytophthora infestans* in cut potato seed.
Amer. J. of Potato Res. **75**, 257-263
- LAPWOOD, D.H., 1977: Factors affecting the field infection of potato tubers of different cultivars by blight (*Phytophthora infestans*).
Ann. appl. Biol. **69**, 23-42
- LEHTINEN, A., HANNUKALA, A., RANTANEN, T., 2002: Infection potential and variation of soil borne *Phytophthora infestans*.
In: Westerdijk, C.E., Schepers, H. (Hrsg.): PPO-Special Report No. 8, Applied Plant Research BV, Wageningen, 73-76
- MADDEL, C., 2002: Primärbefall durch *Phytophthora infestans* an Kartoffelpflanzen, Einfluss von Bodenart und Bodenfeuchte.
Diplomarbeit, Technische Universität München
- MALAJCZUK (1983) in ANDRIVON, D., 1995: Biology, ecology and epidemiology of the potato late blight pathogen *Phytophthora infestans* in soil.
Phytopathology **85**, 1053-1056
- MORRIS, B.M., GOW, N.A.R., 1993: Mechanism of electrotaxis of zoospores of phytopathogenic fungi.
Phytopathology **83**, 877-882
- NIEPOLD, F., SCHÖBER-BUTIN, B., 1999: Nachweis von *Phytophthora infestans* in Stängeln von Kartoffelpflanzen mittels einer Kanülen-Anstechmethode und der „nested PCR“.
Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **51**, 309-311

- PFYFFER, G., BARASHI_GAIA, E., WEBER, B., HOESCH, L., ORPIN, C.G., RAST, D., 1990: A further report on the occurrence of acyclic sugar alcohols in fungi. Mycol, Res. **92**, 219-222
- PITTIS, J.E., SHATTOCK, R.C., 1994: Viability, germination and infection potential of oospores of *Phytophthora infestans*. Plant Pathol. **43**, 387-396
- PLATT, H.W., PETERS, R.D., MEDINA, M., ARSENAULT, W., 1999: Impact of seed potatoes infected with *Phytophthora infestans* (US-1 or US-8 Genotypes) on crop growth and disease risk. Amer. J. of Potato Res. **75**, 67-73
- POWELSON, M.L., INGLIS, D.A., 1999: Foliar fungicides as protective seed piece treatments for management of late blight potatoes. Plant Disease **83**, 265-268
- RADTKE, W., RIECKMANN W., 2000: Kartoffel – Krankheiten, Schädlinge, Unkräuter. Verlag Th. Mann, D-Gelsenkirchen-Buer
- RANTANEN, T., HANNUKALA, A., LEHTINEN, A., 2002: Progress of suspected soil borne infection of *P. infestans* in potato as detected by quantitative PCR. In: Westerdijk, C.E., Schepers, H. (Hrsg.): PPO-Special Report No. 8, Applied Plant Research BV, Wageningen, 67-71
- ROUGHGARDEN (1979) in EHRHARDT, K., 1993: Biologische und epidemiologische Grundlagen zur Vorhersage des Auftretens der Kraut- und Knollenfäule *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary an Kartoffeln. Diplomarbeit, Technische Universität München
- ROWE, R.C., 1982: Translocation of Metalaxyl an RE26745 in potato and comparison of foliar and soil application for control of *Phytophthora infestans*. Plant Disease **66**, 989-993

- RULLICH, G., SCHÖBER-BUTIN, B., NIEPOLD, F., HABERMEYER, J., 2002: Alte und neue Populationen von *Phytophthora infestans* in Deutschland. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **54**, 152-155
- SATO, N., 1979: Effect of soil temperature on the field infection of potato tubers by *Phytophthora infestans*. Phytopathology **69**, 989-993
- SATO, N., 1980: Sources of inoculum and sites of infection of potato tubers by *Phytophthora infestans* in soil. Ann. Phytopath. Soc. Japan **46**, 231-240
- SATO, N., 1994: Effect of water temperature on direct germination of the sporangia of *Phytophthora infestans*. Ann. Phytopath. Soc. Japan **60**, 162-166
- SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P., 1992: Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- SCHEPERS, H.T.A.M., VAN SOESBERGEN, M.A.T., 1995: Factors affecting the occurrence and control of tuber blight. In: Dowley, L.J., Bannon, L.R., Keane, T., O'Sullivan, E. (Hrsg.): European Association for potato research (EAPR), Boole Press Ltd., Dublin, 171-176
- SCHICK, R., KLINKOWSKI, M., 1961: Die Kartoffel (Ein Handbuch). VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin
- SCHLENZIG, A., 1997: Epidemie und latenter Primärbefall von *Phytophthora infestans* an Kartoffeln sowie Charakterisierung von Freilandisolaten des Erregers. Dissertation, Technische Universität München, Hieronymus Typoskript-Edition

- SCHÖBER, B., RULLICH, G., 1986: Oosporenbildung von *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary.
Potato Res. **29**, 395-398
- SCHÖBER, B., TURKENSTEEN, L.J., 1992: Recent and further developments in potato fungal pathology.
Neth. J. Pl. Path. **98**, 73-83
- SCHÖBER-BUTIN, B., 1998: 100 Jahre Pflanzenschutzforschung – Krankheiten und Schädlinge der Kartoffel.
Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft **335**, Parey Buchverlag, Berlin
- SCHÖBER-BUTIN, B., 1998: *Phytophthora infestans*: pathotypes, mating types and fungicide resistance in Germany.
In: Schepers, H., Bouma, E. (Hrsg.): PAV-Report No. 3, January 1998, Applied Research for Arable Farming and Field Production of Vegetables, 178-182
- SCHÖBER-BUTIN, B., KNAPOVA, G., KNIPFELBERG, I., NIEPOLD, F., 1995: *Phytophthora infestans* in Germany: population dynamics and modern methods in diagnosis.
In: Dowley, L.J., Bannon, L.R., Keane, T., O'Sullivan, E. (Hrsg.): European Association for potato research (EAPR), Boole Press Ltd., Dublin, 96-101
- SPITS, H.G., BUS, C.B., SCHEPERS, H.T.A.M., 2003: Possibilities for control of late blight in early potatoes covered with a polyethylene film.
In: Westerdijk, C.E., Schepers, H. (Hrsg): PPO-Special Report No. 9, Applied Plant Research BV, Wageningen, 187-191
- STACHEWICZ, H., 1985: Ergebnisbericht zur *Phytophthora*-Bekämpfung durch Beizung des Pflanzgutes mit Metalaxyl.
Institut für Pflanzenschutzforschung Kleinmachnow der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR

- STACHEWICZ, H., BURTH, U., 1988: Beizung von Pflanzkartoffeln mit Metalaxyl gegen *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary.
Arch. Phytopathol. Pflanzenschutz, Berlin **24**, 35-43
- STACHEWICZ, H., BURTH, U., RATHKE, S., 1990: Zur Fitness von *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary bei Resistenz gegenüber Metalaxyl.
Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **42**, 103-107
- STAUB, T. H., HUBELE, A., 1981: Recent Advances in the Chemical Control of Oomycetes.
In: Wegler, R. (Hrsg.): Chemie der Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel, Band 6, Springer Verlag, Berlin, 389-422
- STEWART, H. E., WASTIE, R.L., BRADSHAW, J.E., 1993: The effect of moisture level of potting compost on the susceptibility of glasshouse-grown tubers to late blight.
Potato Res. **36**, 29-33
- THOMES, P., 1997: Neue Nutzpflanzen – Die Kartoffel.
www.rwth-aachen.de
- TOOLEY, P.W., BUNYARD, B.A., CARRAS, M.M., HATZILOUKAS, E., 1997: Development of PCR primers from internal transcribed spacer region 2 for detection of *Phytophthora* species infecting potatoes.
Appl. Environ. Microbiol. **63**, 1467-1475
- TURKENSTEEN, L.J., FLIER, W.G., 1998, in ADLER, N., 2000: Untersuchungen zum Befall von Kartoffeln mit *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary mittels visueller Bonituren und PCR-Methoden
Dissertation, Technische Universität München
- TURKENSTEEN, L.J., FLIER, W.G., WANNINGEN, R., MULDER, A., 2000: Production, survival and infectivity of oospores of *Phytophthora infestans*.
Plant Pathol. **49**, 688-696

- ULLRICH, J., 1957: Die Biologie und Epidemiologie von *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary.
Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **9**, 129-137
- ULLRICH, J., 1968: Schopf- und Blattachselbefall der Kartoffelpflanze durch den Krautfäuleerreger *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary.
Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **20**, 170-172
- ULLRICH, J., SCHRÖDTER, H., 1966: Das Problem der Vorhersage des Auftretens der Kartoffelkrautfäule (*Phytophthora infestans*) und die Möglichkeit seiner Lösung durch die „Negativprognose“.
Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **18**, 33-41
- VAN DER ZAAG (1956) in SCHLENZIG, A., 1997: Epidemie und latenter Primärbefall von *Phytophthora infestans* an Kartoffeln sowie Charakterisierung von Freilandisolaten des Erregers
Dissertation, Technische Universität München, Hieronymus Typoskript-Edition
- VOGEL, H.J., 1964: Distribution of lysine pathways among fungi: evolutionary implications.
American Naturalist **98**, 435-446
- WENZL, H., 1967: Histologische Studien über Befall durch *Phytophthora infestans* an Kartoffelstängeln.
Zeitschr. für Pflanzenkrankh. und Pflanzenschutz **74**, 533-539
- ZAN, K., 1956: Persistence and movement of *Phytophthora infestans* in soil.
Trans. Brit. Mycol. Soc. **39**, 385
- ZAN, K., 1962: Activity of *Phytophthora infestans* in soil in relation to tuber infection.
Trans. Brit. Mycol. Soc. **45**, 205-221

ZWANKHUIZEN, M.J., GOVERS, F., ZADOKS, J.C., 1989: Development of potato late blight epidemics: disease foci, disease gradients and infection sources. *Phytopathology* **88**, 754-763

8 Anhang

8.1 Auswertungstabellen für die Wasserspannungskurven

Tab. 23: Ringgewichte zur Berechnung der Wasserspannungskurven der drei Versuchsböden

Wochentag	Montag	Dienstag	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag	Ringgewicht
IS-1	9,479	27,273	25,003	23,588	23,486	23,355	22,872	22,372	22,819	22,230	22,819	22,230	22,819	88
IS-2	9,305	27,272	25,159	23,621	23,470	23,312	22,410	22,748	22,721	22,110	22,748	22,110	22,721	108/114
IS-3	9,540	27,540	25,213	24,466	23,910	23,594	23,070	22,343	23,024	22,150	22,343	23,024	22,150	83
IS-4	9,515	26,630	26,370	25,067	24,625	24,660	24,330	24,394	24,034	23,316	24,394	24,034	23,316	85
IS-5	9,465	26,220	26,025	24,660	24,432	24,335	24,068	23,303	23,688	23,068	23,303	23,688	23,068	56
IS-1	9,258	27,540	26,075	24,947	24,632	24,379	24,216	23,347	23,727	21,879	23,347	23,727	21,879	246
IS-2	9,461	27,880	26,352	25,187	24,976	24,720	24,584	24,321	23,676	22,127	24,321	23,676	22,127	47
IS-3	9,506	26,120	26,588	25,328	25,100	24,782	24,590	24,309	23,449	22,080	24,309	23,449	22,080	62
IS-4	9,517	26,380	26,805	25,610	25,432	25,148	24,963	24,738	23,810	22,439	24,738	23,810	22,439	257
IS-5	9,467	27,630	26,306	25,108	24,871	24,572	24,367	24,125	23,301	22,075	24,125	23,301	22,075	38
IS-1	9,462	27,220	25,166	24,311	24,174	23,937	23,684	23,513	22,716	21,137	23,513	22,716	21,137	34
IS-2	9,469	27,310	25,263	24,400	24,237	24,005	23,798	23,325	23,233	21,455	23,325	23,233	21,455	84
IS-3	9,575	27,630	26,044	25,091	24,919	24,675	24,485	24,368	23,436	21,636	24,368	23,436	21,636	29
IS-4	9,577	27,900	26,153	25,408	25,199	24,833	24,689	24,475	23,673	22,015	24,475	23,673	22,015	16
IS-5	9,381	26,760	24,844	24,011	23,803	23,516	23,349	23,179	22,484	20,758	23,179	22,484	20,758	214

Tab. 24: Lagerungsdichte der drei Versuchsböden

Bodenart	Ringnummer	Lagerungsdichte g/cm ³
IS	89	1,32
IS	109/114	1,33
IS	83	1,31
IS	85	1,43
IS	56	1,42
<hr/>		
sL	246	1,31
sL	47	1,31
sL	62	1,30
sL	257	1,34
sL	38	1,30
<hr/>		
uL	34	1,21
uL	84	1,24
uL	29	1,27
uL	16	1,29
uL	214	1,18

Tab. 25: Wassergehalt in Gewicht-Prozent (H₂O)/100 der drei Versuchsböden

		h Pa	0	60	300	400	600	800	940	15000	
Bodenart	IS	89	0,38	0,21	0,10	0,09	0,08	0,05	0,05	0,04	
	IS	109 / 114	0,39	0,23	0,11	0,10	0,09	0,02	0,04	0,05	
	IS	83	0,41	0,23	0,18	0,13	0,11	0,07	0,05	0,07	
	IS	85	0,37	0,21	0,12	0,10	0,09	0,07	0,05	0,05	
	IS	56	0,36	0,20	0,11	0,09	0,08	0,07	0,05	0,05	
	IS	Mittelwert	0,46	0,26	0,15	0,12	0,11	0,07	0,06	0,06	
	<hr/>										
	sL	246	0,43	0,32	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	
	sL	47	0,44	0,32	0,24	0,22	0,20	0,19	0,17	0,12	
	sL	62	0,47	0,35	0,25	0,24	0,21	0,20	0,17	0,11	
	sL	257	0,45	0,33	0,24	0,23	0,21	0,19	0,17	0,10	
	sL	38	0,44	0,32	0,23	0,22	0,19	0,18	0,16	0,10	
	sL	Mittelwert	0,45	0,33	0,24	0,22	0,20	0,19	0,17	0,12	
	<hr/>										
	uL	34	0,50	0,33	0,26	0,25	0,23	0,21	0,19	0,13	
	uL	84	0,47	0,31	0,24	0,23	0,21	0,19	0,19	0,15	
	uL	29	0,48	0,34	0,26	0,25	0,23	0,22	0,20	0,13	
	uL	16	0,46	0,32	0,27	0,25	0,22	0,21	0,19	0,15	
	uL	214	0,51	0,34	0,27	0,26	0,23	0,22	0,20	0,15	
	uL	Mittelwert	0,48	0,33	0,26	0,25	0,23	0,21	0,19	0,14	

Tab. 26: Wassergehalt in Volumen-Prozent (H₂O)/100 der drei Versuchsböden

		h Pa	0	60	300	400	600	800	940	15000	
Bodenart	IS	89	0,50	0,27	0,13	0,12	0,10	0,06	0,07	0,06	
	IS	109 / 114	0,52	0,30	0,15	0,13	0,12	0,03	0,06	0,06	
	IS	83	0,54	0,30	0,23	0,18	0,14	0,09	0,06	0,09	
	IS	85	0,53	0,30	0,18	0,15	0,13	0,10	0,07	0,07	
	IS	56	0,51	0,29	0,15	0,13	0,12	0,10	0,08	0,08	
	IS	Mittelwert	0,52	0,29	0,17	0,14	0,12	0,07	0,07	0,07	
	<hr/>										
	sL	246	0,57	0,42	0,30	0,28	0,25	0,24	0,21	0,19	
	sL	47	0,58	0,42	0,31	0,29	0,26	0,25	0,22	0,16	
	sL	62	0,60	0,45	0,33	0,31	0,27	0,26	0,22	0,14	
	sL	257	0,60	0,44	0,32	0,30	0,28	0,26	0,23	0,14	
	sL	38	0,58	0,42	0,31	0,28	0,25	0,23	0,20	0,13	
	sL	Mittelwert	0,58	0,43	0,31	0,29	0,26	0,25	0,22	0,15	
	<hr/>										
	uL	34	0,60	0,40	0,31	0,30	0,28	0,25	0,23	0,15	
	uL	84	0,59	0,38	0,30	0,28	0,26	0,24	0,24	0,18	
	uL	29	0,61	0,43	0,33	0,32	0,29	0,27	0,26	0,17	
	uL	16	0,59	0,42	0,34	0,32	0,29	0,27	0,25	0,19	
	uL	214	0,60	0,40	0,32	0,30	0,28	0,26	0,24	0,17	
	uL	Mittelwert	0,60	0,40	0,32	0,30	0,28	0,26	0,24	0,17	

8.2 Tensiometermessungen der verschiedenen Varianten

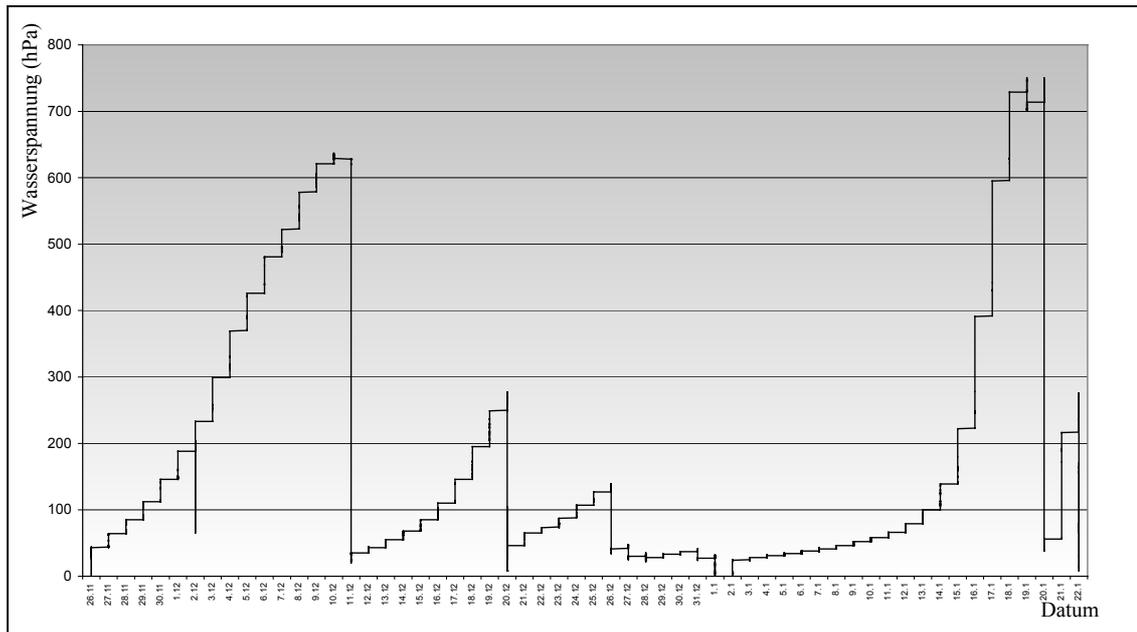


Abb. 54: Tensiometermessungen für die Bodenart lehmiger Sand bei 2 Tagen hoher Bodenfeuchte

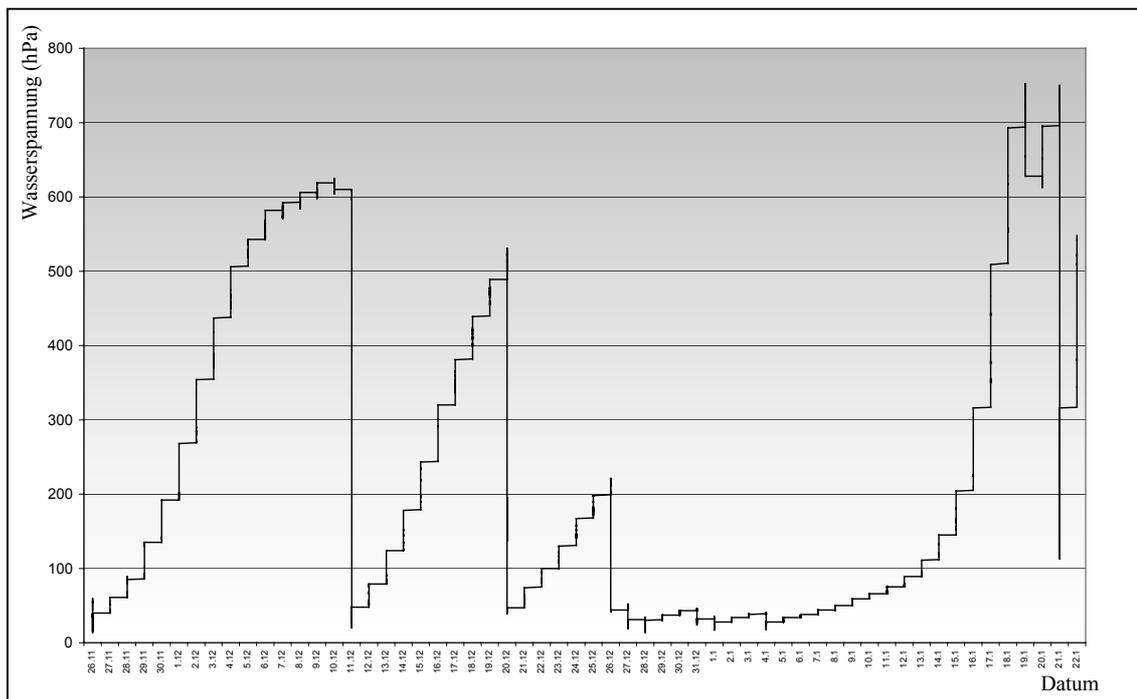


Abb. 55: Tensiometermessungen für die Bodenart lehmiger Sand bei 4 Tagen hoher Bodenfeuchte

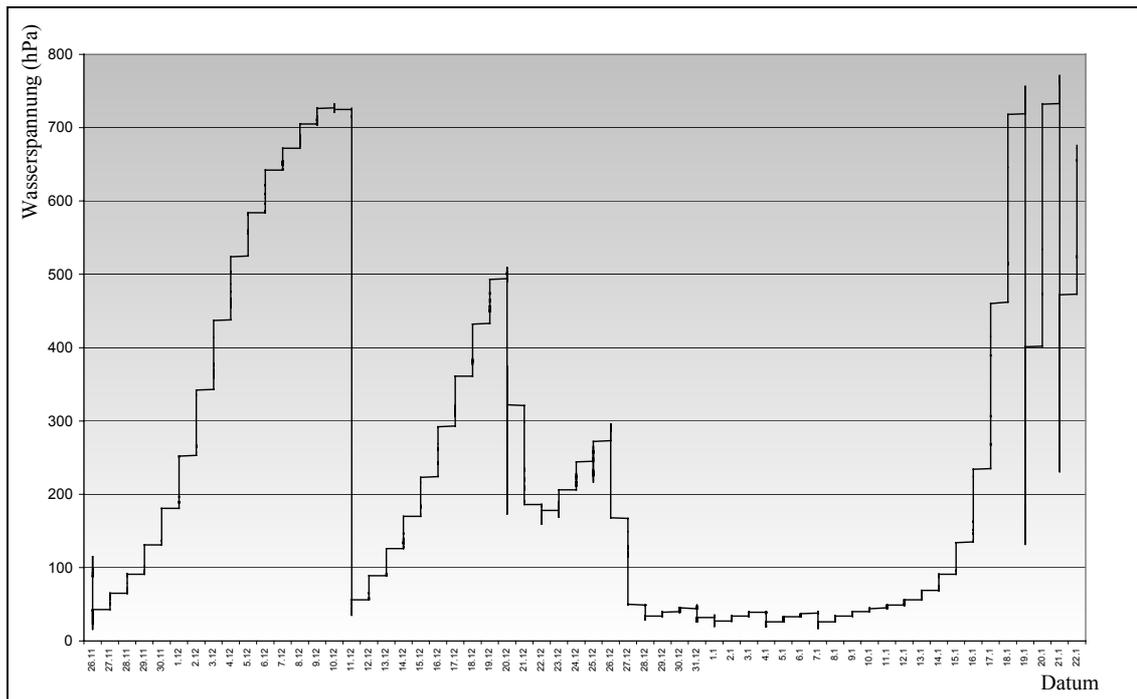


Abb. 56: Tensiometermessung für die Bodenart lehmiger Sand bei 8 Tagen hoher Bodenfeuchte

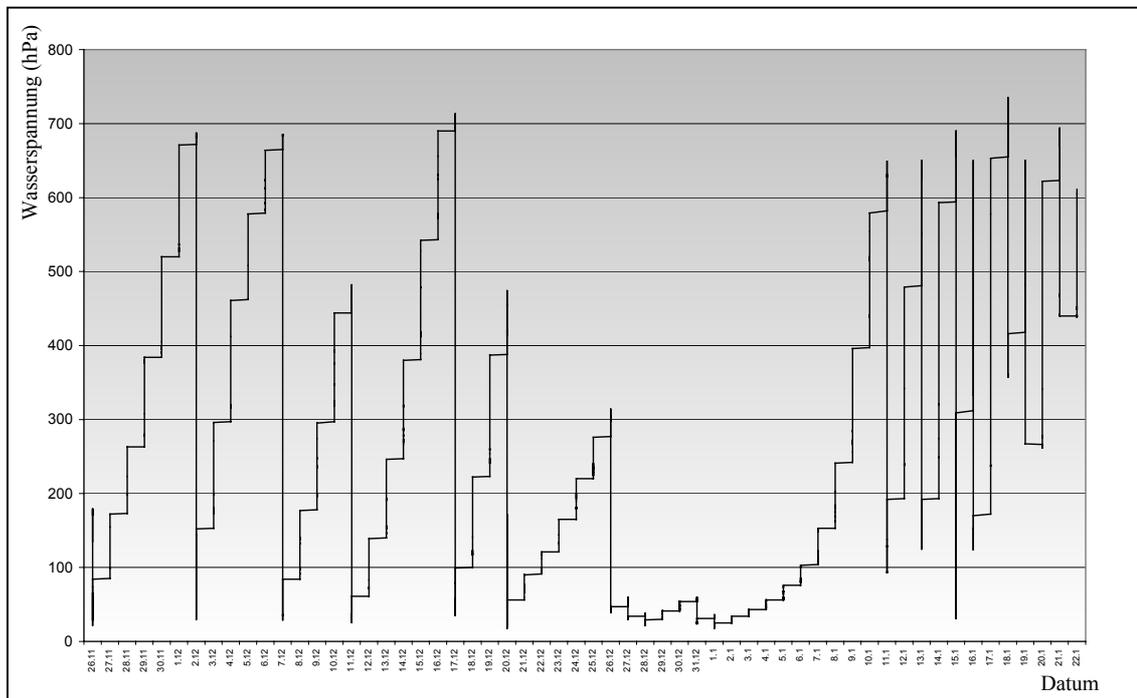


Abb. 57: Tensiometermessung für die Bodenart sandiger Lehm bei 2 Tagen hoher Bodenfeuchte

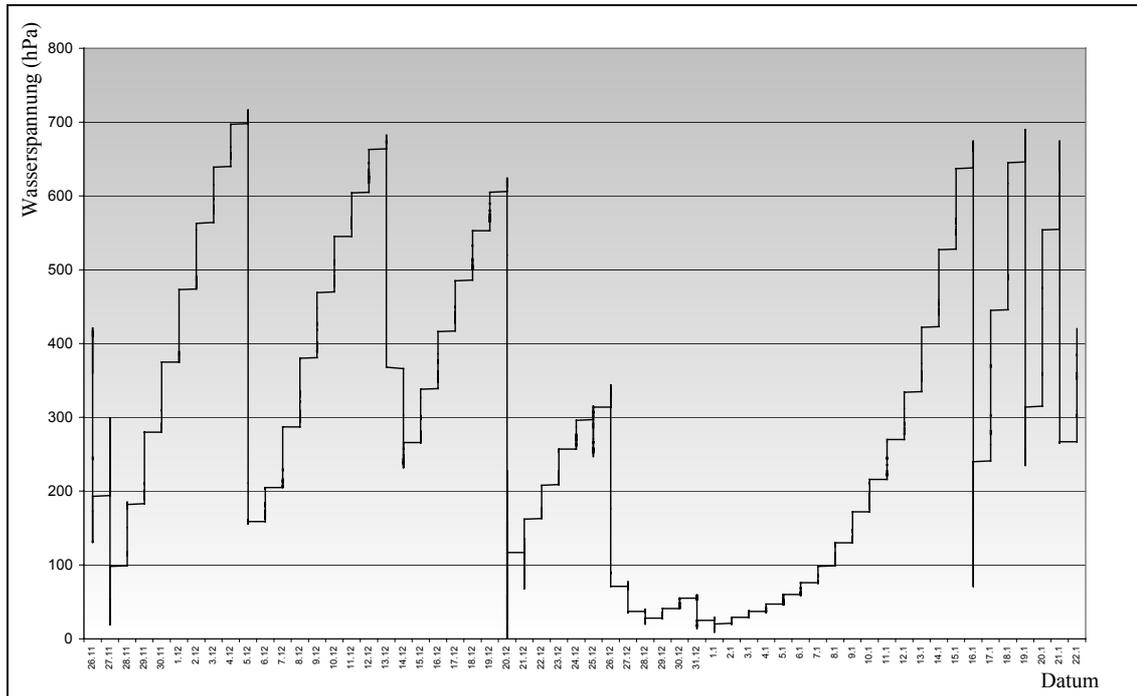


Abb. 60: Tensiometermessungen für die Bodenart schluffiger Lehm bei 2 Tagen hoher Bodenfeuchte

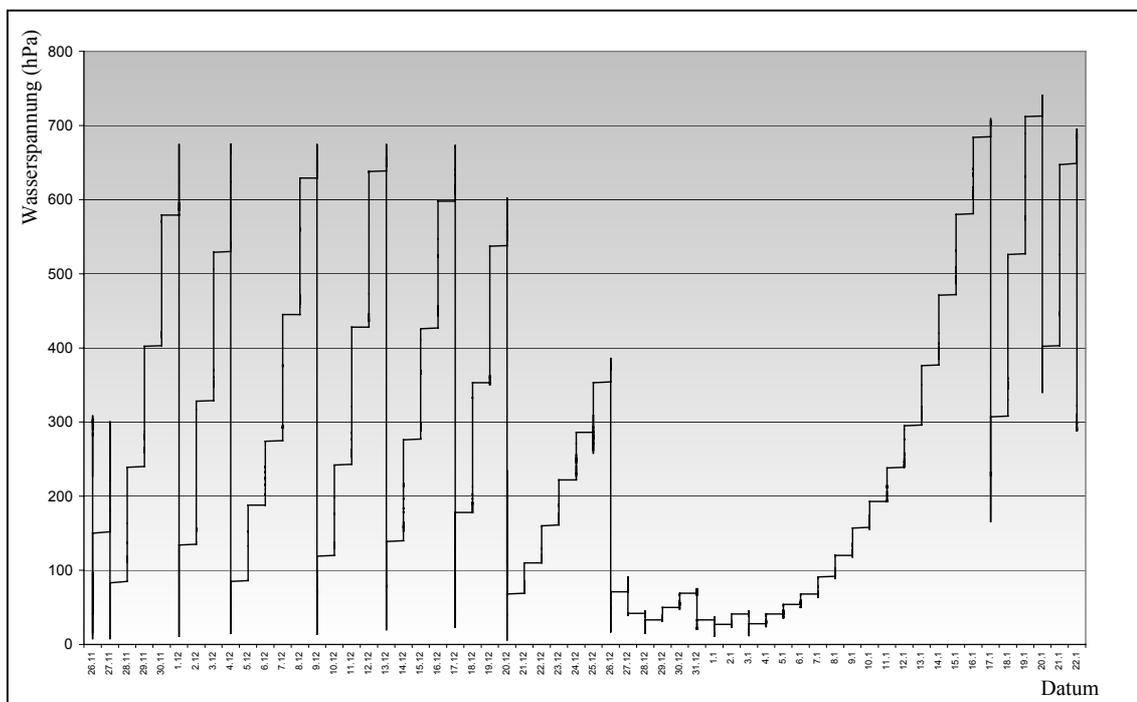


Abb. 61: Tensiometermessungen für die Bodenart schluffiger Lehm bei 4 Tagen hoher Bodenfeuchte

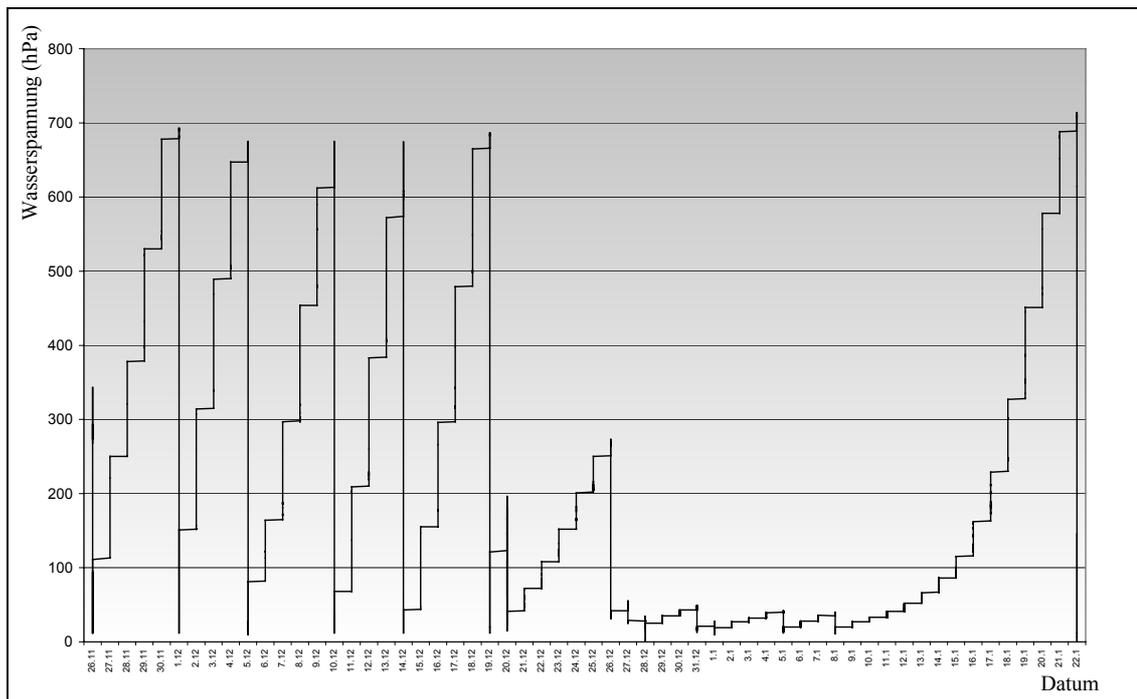


Abb. 62: Tensiometermessungen für die Bodenart schluffiger Lehm bei 8 Tagen hoher Bodenfeuchte

8.3 Auswertung der Polymerase Kettenreaktion

Tab. 29: PCR-Auswertung Bodenart „lehmiger Sand“

		lehmiger Sand								
		Bewässerungsintervall								
		2 Tage			4 Tage			8 Tage		
		Topfnr.	Stängel (Auflauf)	Stängel (+)	Topfnr.	Stängel (Auflauf)	Stängel (+)	Topfnr.	Stängel (Auflauf)	Stängel (+)
Topfanzahl	1	I 1	2		II 1	3		III 1	1	
	2	I 2	3		II 2	4		III 2	4	2
	3	I 3	1		II 3	2		III 3	3	1
	4	I 4	2		II 4	3		III 4	1	
	5	I 5	1		II 5	2		III 5	1	
	6	I 6	1		II 6	7		III 6	1	
	7	I 7	3		II 7	1		III 7	1	
	8	I 8	1		II 8	1		III 8	2	
	9	I 9	2		II 9	2		III 9	1	
	10	I 10	4		II 10	2		III 10	3	2
	11	I 11	3		II 11	2		III 11	1	
	12	I 12	2		II 12	3		III 12	1	
	13	I 13	3		II 13	1		III 13	1	
	14	I 14	2		II 14	5		III 14	6	
	15	I 15	1		II 15	1		III 15	2	
	16	I 16	1		II 16	1		III 16	6	
	17	I 17	2		II 17	2		III 17	3	
	18	I 18	2		II 18	2		III 18	4	
	19	I 19	1		II 19	3		III 20	4	
	20	I 20	2		II 20	3		III 21	2	
	21	I 21	1		II 21	2		III 22	3	
	22	I 22	1		II 22	1		III 23	2	
	23	I 23	1		II 23	4		III 24	1	
	24	I 25	1		II 24	1		III 25	3	
	25	I 26	2		II 25	1		III 26	3	
	26	I 27	4		II 26	4		III 29	3	
	27	I 28	1		II 28	5		III 30	3	
	28	I 29	1		II 29	2		III 31	1	
	29	I 32	2		II 30	1		III 32	1	
	30	I 33	1		II 31	1		III 33	6	
	31	I 35	4		II 32	5		III 34	1	
	32	I 36	1		II 33	3		III 35	1	
	33	I 37	1		II 34	1		III 39	3	
	34	I 38	1		II 35	3		III 40	1	
	35	I 39	3		II 37	2		III 41	1	1
	36	I 40	3		II 38	2		III 42	6	
	37	I 41	3		II 39	1		III 43	1	
	38	I 42	3		II 40	4		III 44	2	
	39	I 43	7		II 41	2				
	40	I 44	1		II 42	1				
	41									
	42									
	43									
		Stangelanzahl								
			81	0		96	0		90	6

Tab. 30: PCR- Auswertung Bodenart „sandiger Lehm“

		sandiger Lehm								
		Bewässerungsintervall								
		2 Tage			4 Tage			8 Tage		
		Topfnr.	Stängel (Auflauf)	Stängel (+)	Topfnr.	Stängel (Auflauf)	Stängel (+)	Topfnr.	Stängel (Auflauf)	Stängel (+)
Topfanzahl	1	IV 1	2	1	V 1	1		VI 2	2	
	2	IV 2	1		V 2	2	2	VI 3	3	1
	3	IV 3	4		V 3	1		VI 4	6	5
	4	IV 4	3		V 4	3	2	VI 5	10	6
	5	IV 5	1	1	V 5	2	1	VI 6	3	
	6	IV 6	1		V 6	1		VI 7	2	
	7	IV 7	3	1	V 7	1		VI 8	1	
	8	IV 8	1		V 8	2		VI 9	2	
	9	IV 9	2		V 9	2		VI 11	1	1
	10	IV 10	2		V 10	1		VI 12	5	1
	11	IV 11	6	1	V 11	2	1	VI 13	1	1
	12	IV 12	1		V 12	1		VI 14	4	3
	13	IV 13	1		V 13	1		VI 15	3	2
	14	IV 14	2		V 14	2		VI 16	1	1
	15	IV 15	3		V 15	1		VI 17	2	
	16	IV 16	2	1	V 16	4		VI 18	1	
	17	IV 17	1		V 17	2		VI 19	1	1
	18	IV 19	1		V 18	1	1	VI 20	1	
	19	IV 20	3		V 19	1	1	VI 21	4	1
	20	IV 21	1		V 20	4	2	VI 22	3	3
	21	IV 22	1		V 21	1		VI 23	3	3
	22	IV 23	2	1	V 22	3		VI 24	3	2
	23	IV 24	2		V 23	4	2	VI 25	2	
	24	IV 25	1		V 24	1	1	VI 26	1	
	25	IV 26	2		V 25	2	1	VI 27	4	1
	26	IV 28	1		V 26	1		VI 28	6	2
	27	IV 29	2		V 28	1	1	VI 29	2	
	28	IV 30	1		V 29	1		VI 30	5	
	29	IV 31	2		V 30	1		VI 31	8	1
	30	IV 32	2		V 31	2	2	VI 32	1	1
	31	IV 33	1		V 32	1		VI 33	1	
	32	IV 34	2		V 33	1	1	VI 34	2	
	33	IV 35	4		V 34	1		VI 35	4	1
	34	IV 37	1		V 35	3	1	VI 37	3	2
	35	IV 38	4	1	V 37	3	2	VI 38	1	
	36	IV 39	1		V 38	1		VI 39	1	
	37	IV 40	4		V 39	4	2	VI 40	1	1
	38	IV 41	1		V 40	1		VI 41	1	1
	39	IV 42	1	1	V 41	5		VI 42	1	1
	40	IV 43	3	1	V 42	1		VI 43	6	2
	41									
	42									
	43									
		Stängelanzahl								
			79	9		73	23		112	44

Tab. 31: PCR-Auswertung Bodenart „schluffiger Lehm“

		schluffiger Lehm								
		Bewässerungsintervall								
		2 Tage			4 Tage			8 Tage		
		Topfnr.	Stängel (Auflauf)	Stängel (+)	Topfnr.	Stängel (Auflauf)	Stängel (+)	Topfnr.	Stängel (Auflauf)	Stängel (+)
Topfanzahl	1	VII 2	2		VIII 2	4	3	IX 2	1	1
	2	VII 3	4	1	VIII 3	1		IX 3	2	
	3	VII 4	1	1	VIII 4	1		IX 4	1	
	4	VII 5	1	1	VIII 5	1	1	IX 5	5	5
	5	VII 6	5		VIII 6	8	2	IX 6	4	3
	6	VII 7	1		VIII 7	5	2	IX 7	4	
	7	VII 8	1		VIII 8	1	1	IX 8	1	1
	8	VII 9	1		VIII 9	1		IX 9	1	1
	9	VII 11	4	1	VIII 11	3	3	IX 11	3	3
	10	VII 12	1	1	VIII 12	1	1	IX 12	1	
	11	VII 13	7	6	VIII 13	5	2	IX 13	1	
	12	VII 14	3		VIII 14	2	2	IX 14	1	1
	13	VII 15	1		VIII 15	5	2	IX 15	1	1
	14	VII 16	1		VIII 16	3		IX 16	3	
	15	VII 17	1	1	VIII 17	3	2	IX 17	1	
	16	VII 18	1		VIII 18	1	1	IX 18	2	2
	17	VII 19	2	2	VIII 19	3	1	IX 19	1	1
	18	VII 20	2	1	VIII 20	3	1	IX 20	1	1
	19	VII 21	4	2	VIII 21	3	2	IX 21	1	1
	20	VII 22	1		VIII 22	5	3	IX 22	2	2
	21	VII 23	1	1	VIII 23	4		IX 23	1	
	22	VII 24	2		VIII 24	2		IX 24	1	
	23	VII 25	4	2	VIII 25	8	3	IX 25	1	
	24	VII 26	1		VIII 26	2	1	IX 26	7	
	25	VII 27	3		VIII 27	1	1	IX 27	1	
	26	VII 28	1		VIII 28	1	1	IX 28	2	1
	27	VII 29	4	4	VIII 29	1	1	IX 29	3	2
	28	VII 30	2		VIII 30	2		IX 30	2	
	29	VII 31	1	1	VIII 31	1		IX 31	1	
	30	VII 32	1		VIII 32	3		IX 32	3	3
	31	VII 33	1		VIII 33	3	2	IX 33	1	1
	32	VII 34	1		VIII 34	2	1	IX 34	1	
	33	VII 35	2	1	VIII 36	3		IX 35	2	2
	34	VII 37	1	1	VIII 37	1		IX 36	5	5
	35	VII 38	1	1	VIII 38	2	1	IX 37	2	
	36	VII 39	4		VIII 39	5		IX 38	1	
	37	VII 40	1	1	VIII 40	3	1	IX 39	1	1
	38	VII 41	3		VIII 41	4	2	IX 40	4	
	39	VII 42	3	2	VIII 42	2		IX 41	4	2
	40	VII 43	2	2	VIII 43	1	1	IX 42	1	
	41							IX 43	1	1
	42							IX 44	1	1
	43									
		Stängelanzahl								
		83	33		110	44		81	42	

9 Danksagung

Ein großes „Dankeschön“ und „Vergelt's Gott“ an alle Personen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben:

- Herrn Professor Dr. Volker Zinkernagel für das Angebot der interessanten Promotionsstelle, die wissenschaftliche Betreuung sowie die jederzeit gewährte Unterstützung.
- Herrn Prof. Dr. W. Huber für seine Bereitschaft zum Prüfungsvorsitz.
- Herrn Prof. Dr. Schmidhalter für die bereitwillige Übernahme des Koreferates.
- Herrn Dr. Hans Habermeyer für die sehr fruchtbaren und praxisnahen Diskussionen rund um die Promotion.
- Herrn Dr. Michael Zellner von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft für die Bereitstellung des Arbeitsplatzes und des Labors. Amtsleiter Herrn Klein und den weiteren Angehörigen dieser Einrichtung ganz herzlichen Dank für die freundliche Aufnahme, die jederzeitige Unterstützung und Diskussionsbereitschaft.
- Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Lehrstuhls für Phytopathologie der TUM, die zum Entstehen dieser Dissertation beigetragen haben. Insbesondere den Gärtnern gilt mein Dank, da Sie auch bei tropischen Temperaturen in den Freilandversuchen immer guter Laune waren. Frau Mergans und Frau Schröttle waren stets für Fragen bezüglich des „Papierkrieges“ offen und stellten unverzichtbare Kräfte im Sekretariat dar.
- den verbleibenden Doktoranden des Lehrstuhles für Phytopathologie, welche mich allesamt sehr freundlich und offen aufgenommen haben und jederzeit bereit waren, Auskünfte zu geben und mich tatkräftig zu unterstützen.
- meinen studentischen Hilfskräften Eva, Jana, Melanie und Olli für Ihre Mitarbeit. Sie sind mir auch in den Zeiten der Arbeitsspitzen zuverlässig und ausdauernd zur Seite gestanden.
- Claudia für Ihren unermüdlichen Einsatz im Rahmen Ihrer umfangreichen Diplomarbeit.
- meiner Frau Eva, die stets ein offenes Ohr für die angefallenen Schwierigkeiten und „Problemchen“ hatte und mich seelisch und moralisch unterstützte. Ein ganz liebes Dankeschön auch für die zahlreichen Vorträge und Arbeiten, die wir im Rahmen der Promotionen gemeinsam durchgeführt haben. Und für Lukas und Jakob....!

10 Lebenslauf

Persönliche Daten

Name : Reinhold Bäßler
Anschrift : Schloßstr. 3
86854 Amberg
geboren am : 17. März 1973
Familienstand : verheiratet, zwei Kinder

Schulbildung

1979-1983 : Grundschule Wiedergeltingen
1983-1992 : Joseph-Bernhart-Gymnasium in Türkheim

Wehrdienst

1992-1993 : Wehrdienst bei der TSLw 2 in Untermeitingen

Berufsausbildung

1993-1995 : Ausbildung zum Bankkaufmann bei der Sparkasse
Memmingen-Mindelheim

Hochschulstudium

11/1995-03/2001 : Studium der Agrarwissenschaften an der Technischen
Universität München, Freising-Weihenstephan

Praktika

05/1998-10/1998 : Landwirtschaft der Kongregation der Barmherzigen
Schwestern München, Pittenhart
11/1998-01/1999 : Firmenkreditabteilung, Sparkasse Memmingen-
Mindelheim

Berufliche Tätigkeit

seit 05/2001 : Wissenschaftlicher Angestellter am Lehrstuhl für
Phytopathologie der Technischen Universität München